

KEI/2001  
수탁과제 최종보고서

# 온실가스 배출저감 목표설정 및 배출권 거래제도 활용방안

2001. 3

김용건



**한국환경정책·평가연구원**  
Korea Environment Institute

최종보고서

# **온실가스 배출저감 목표설정 및 배출권 거래제도 활용방안**

2001. 3

연구수행기관: 한국환경정책·평가연구원

환 경 부

# **온실가스 배출저감 목표설정 및 배출권 거래제도 활용방안**

2001. 3

연구수행기관: 한국환경정책·평가연구원

환 경 부

## 제출문

환경부장관 귀하

본 보고서를 “온실가스 배출저감 목표설정 및 배출권 거래제도 활용 방안” 연구과제의 최종보고서로 제출합니다.

2001년 3월

한국환경정책·평가연구원장

연구책임자: 김용건(한국환경정책·평가연구원)  
연구참여자: 한화진(한국환경정책·평가연구원)  
강광규(한국환경정책·평가연구원)  
민동기(한국환경정책·평가연구원)  
장기복(한국환경정책·평가연구원)  
이영수(한국환경정책·평가연구원)  
이세은(한국환경정책·평가연구원)  
김영란(한국환경정책·평가연구원)

# 목 차

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| I. 서 론 .....                                  | 1  |
| II. 기후변화협약 협상동향 .....                         | 3  |
| 1. 기후변화협약 .....                               | 3  |
| 1.1 지구온난화 문제의 대두 .....                        | 3  |
| 1.2 기후변화협약 .....                              | 4  |
| 2. 교토의정서 .....                                | 7  |
| 3. 최근 협상동향 및 전망 .....                         | 8  |
| 3.1 제6차 당사국총회 협상결과 .....                      | 8  |
| 3.2 평가 및 전망 .....                             | 10 |
| III. 온실가스 배출저감 목표설정 동향분석 및 시사점 .....          | 12 |
| 1. 온실가스 감축목표 설정방식의 종류 및 특징 .....              | 13 |
| 2. 감축목표 설정방식 사례 및 제안 분석 .....                 | 15 |
| 2.1 교토의정서 부속서B의 감축목표 .....                    | 15 |
| 2.2 교토의정서 협상과정에서의 감축목표 설정방식에 대한 논의 경과 .....   | 17 |
| 2.3 Triptych 방법론 .....                        | 18 |
| 2.4 아르헨티나의 삭감목표설정방식 .....                     | 24 |
| 2.5 축소수렴방식(Contraction and Convergence) ..... | 25 |
| 2.6 CICERO의 부문별 수렴 방식 .....                   | 28 |
| 2.7 WRI의 온실가스 집약도 방법 .....                    | 34 |
| 2.8 브라질 제안 .....                              | 35 |
| 3. 목표설정 방법별 평가 .....                          | 41 |
| 3.1 저감수준에 따른 경제적 효과에 대한 연구결과 .....            | 41 |
| 3.2 온실가스 배출전망에 따른 저감목표의 해석 및 시사점 .....        | 44 |
| IV. 온실가스 배출권 거래제도 논의동향 .....                  | 56 |
| 1. 배출권 거래제도의 개념 및 특징 .....                    | 56 |
| 1.1 배출권 거래제도의 개념 .....                        | 56 |
| 1.2 배출권 거래제도의 유형 .....                        | 57 |
| 1.3 배출권 거래제도의 특징 .....                        | 58 |
| 2. 배출권 거래제도 적용사례 및 시사점 .....                  | 63 |

|                                               |            |
|-----------------------------------------------|------------|
| 2.1 미국의 대기오염물질 배출권 거래제도 적용사례 .....            | 63         |
| 2.2 유럽의 배출권 거래제도 적용사례 .....                   | 72         |
| 3. 국제 온실가스 배출권 거래제도 협상동향 .....                | 76         |
| 3.1 국제 온실가스 배출권 거래제도 도입 배경 .....              | 76         |
| 3.2 교토의정서하의 배출권 거래에 따른 비용감소 효과 .....          | 78         |
| 3.3 주요 쟁점에 대한 각국의 입장 .....                    | 81         |
| 4. 각국의 온실가스 거래제도 도입 추진동향 .....                | 96         |
| 4.1 미국 .....                                  | 96         |
| 4.2 캐나다 .....                                 | 100        |
| 4.3 영국 .....                                  | 101        |
| 4.4 호주 .....                                  | 103        |
| 4.5 대만 .....                                  | 104        |
| 4.6 노르웨이 .....                                | 106        |
| 4.7 덴마크 .....                                 | 106        |
| <b>V. 우리나라의 온실가스 배출권 거래제도 도입 타당성 검토 .....</b> | <b>108</b> |
| 1. 온실가스 관리정책 조기실시의 필요성 .....                  | 108        |
| 2. 배출권 거래제도 도입의 필요성 .....                     | 112        |
| 3. 배출권 거래제도 설계변수와 적용 타당성 평가기준 .....           | 116        |
| 4. 온실가스 배출통계의 시사점 .....                       | 119        |
| 5. 수급단계별 배출권 거래제도 적용가능성 .....                 | 121        |
| 5.1 수급단계별 배출권 거래제 적용이 비용부담에 미치는 영향 .....      | 121        |
| 5.2 상류부문에 대한 적용잠재력 .....                      | 123        |
| 5.3 설비제작업체에 대한 적용가능성 .....                    | 124        |
| 5.4 하류부문에 대한 적용잠재력 .....                      | 124        |
| 6. 초기 배분방법별 비교 .....                          | 126        |
| <b>VI. 자발적 이산화탄소 배출권 거래제도 도입효과 분석 .....</b>   | <b>129</b> |
| 1. 자발적 이산화탄소 배출권 거래제도의 설계 .....               | 129        |
| 2. 인센티브 경매 및 배출권 거래에 대한 수리적 분석 .....          | 132        |
| 2.1 인센티브 경매 및 배출권 거래제도의 수리적 모형화 .....         | 132        |
| 2.2 인센티브 경매 메카니즘의 균형 분석 .....                 | 133        |
| 2.3 배출권 거래의 균형 분석 .....                       | 137        |

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 3. 시뮬레이션 분석 .....               | 138        |
| 3.1 분석 대상 및 기초자료 .....          | 138        |
| 3.2 배출권 거래의 균형분석(단계함수 이용) ..... | 143        |
| 3.3 배출권 거래의 균형분석(연속함수 이용) ..... | 143        |
| 3.4 배출권 거래의 균형분석(거래비용 고려) ..... | 151        |
| 3.5 인센티브 경매 메카니즘의 균형 분석 .....   | 155        |
| <b>Ⅶ. 배출권 거래제도 운영방안 .....</b>   | <b>163</b> |
| 1. 배출량 산정방법 .....               | 163        |
| 2. 인센티브 재원의 조성 .....            | 169        |
| 3. 감시감독체계 .....                 | 171        |
| 4. 기준 배출량의 결정 .....             | 173        |
| 5. 시장의 형성 및 관리 .....            | 176        |
| 6. 도입 일정(안) .....               | 178        |
| <b>참고 문헌 .....</b>              | <b>180</b> |
| <b>부록. 이산화탄소 배출량 산정방식 .....</b> | <b>186</b> |
| <b>주요 용어 해설 .....</b>           | <b>220</b> |

## <표 차 례>

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| <표 II-1> 기후변화협약의 의무사항 .....                       | 5  |
| <표 II-2> 기후변화 주요 협상일지 .....                       | 6  |
| <표 III-1> 각국의 온실가스 배출량 추이 및 저감 필요량 추정치 .....      | 16 |
| <표 III-2> AGBM 협상과정에서 제안되었던 감축의무 설정방식 개요 .....    | 19 |
| <표 III-3> Triptych 방법론의 주요 가정 .....               | 20 |
| <표 III-4> Triptych 방법론에 따른 주요국가의 배출저감목표 .....     | 22 |
| <표 III-5> 부문별 온실가스 배출량 전망 (단위: 백만TC, %), .....    | 23 |
| <표 III-6> 부문별 수렴 방식(CICERO)의 부문 분류 .....          | 29 |
| <표 III-7> 부문별 세계 GHG 배출에 대한 가정(단위: 연간 변화율%) ..... | 29 |
| <표 III-8> 수렴 년도의 배출 기준 유도 .....                   | 30 |

|                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------|-----|
| <표 III-9> 부문별 수렴 방식(CICERO)에 따른 국가별 배출 제한 목표치(%) .....    | 31  |
| <표 III-10> 시나리오별 저감비용 및 GDP 손실 .....                      | 43  |
| <표 III-11> 이산화탄소 관련 주요지표에 대한 국제비교(1998년) .....            | 45  |
| <표 III-12> 온실가스 배출관련 주요 지표 추이 .....                       | 45  |
| <표 III-13> 에너지부문 온실가스 관련 주요지표 전망 .....                    | 46  |
| <표 III-14> 시나리오별 온실가스 관련 주요지표 산정결과 .....                  | 47  |
| <표 IV-1> 미국 배출권 거래제도하의 유형별 상쇄율 .....                      | 64  |
| <표 IV-2> 산성비프로그램과 RECALIM 비교 .....                        | 66  |
| <표 IV-3> RECLAIM RTC 가격의 예상추이(1993년 10월) (단위: US\$) ..... | 68  |
| <표 IV-4> RECLAIM 거래실적 (1994-1997) .....                   | 69  |
| <표 IV-5> 미국 대기분야의 배출권 거래제도 적용사례 .....                     | 70  |
| <표 IV-6> 배출권 거래제도 적용사례 (대기오염물질 제외) .....                  | 71  |
| <표 IV-7> EU 소속 기업의 CFCs 거래실적 .....                        | 73  |
| <표 IV-8> 온실가스 감축비용과 배출권 거래제도의 효과 .....                    | 79  |
| <표 IV-9> 온실가스 배출권 거래규모(구매량) 추정결과 .....                    | 79  |
| <표 IV-10> 교토의정서에 따른 삭감의무 이행이 에너지 가격에 미치는 효과 .....         | 80  |
| <표 IV-11> 대만의 CO <sub>2</sub> 배출권 거래 제도에 대한 제안 .....      | 105 |
| <표 V-1> 산업 및 발전용 연료별 열량당 대기오염물질 배출계수 및 환경피해비<br>용 .....   | 109 |
| <표 V-2> 이산화탄소 저감에 따른 부수적 환경편익(대기오염물질) .....               | 111 |
| <표 V-3> 온실가스 관리를 위한 조기실시방안 사례 .....                       | 114 |
| <표 V-4> 온실가스 조기저감인증제도 사례 .....                            | 115 |
| <표 V-5> 배출권 거래제도 도입제안 사례 .....                            | 116 |
| <표 V-6> 온실가스 배출/흡수 부문별 추이 .....                           | 119 |
| <표 V-7> 온실가스별 배출 추이 .....                                 | 120 |
| <표 V-8> 부문별 CO <sub>2</sub> 배출 추이 .....                   | 120 |
| <표 V-9> 상하류 단계별 배출권 거래제 적용시 시장균형의 변화 .....                | 123 |
| <표 V-10> 배출권 초기 분배방법 .....                                | 126 |
| <표 VI-1> 배출계수와 Activity 자료에 따른 불확실성 .....                 | 129 |
| <표 VI-2> 분석대상 사업장 현황 .....                                | 140 |
| <표 VI-3> 저감 대안별 소요 비용(예: A 사업장) .....                     | 142 |
| <표 VI-4> 계획대비 80%의 삭감목표 설정시 시장균형 예측 .....                 | 144 |
| <표 VI-5> 각 사업장에 대한 함수 추정결과 .....                          | 146 |
| <표 VI-6> 시나리오 1의 시장균형 예측 결과 .....                         | 148 |

|                                                  |     |
|--------------------------------------------------|-----|
| <표 VI-7> 시나리오2의 거래예상 .....                       | 149 |
| <표 VI-8> 시나리오3의 거래예상 .....                       | 150 |
| <표 VI-9> 거래 비용 포함된 시나리오1의 거래예상 .....             | 152 |
| <표 VI-10> 거래비용 포함된 시나리오2의 거래예상 .....             | 153 |
| <표 VI-11> 거래비용이 포함된 시나리오3의 거래예상 .....            | 154 |
| <표 VI-12> 시나리오별 거래 분석 비교 .....                   | 155 |
| <표 VI-13> 시나리오 A의 분석결과 .....                     | 157 |
| <표 VI-14> 시나리오 B의 분석결과 .....                     | 158 |
| <표 VI-15> 시나리오 C의 분석결과 .....                     | 159 |
| <표 IV-16> 시나리오별 균형 비교 .....                      | 160 |
| <표 VI-17> 인센티브 부담률에 따른 참여유인 결여사업장 수 .....        | 161 |
| <표 VII-1> 이산화탄소 측정방법에 대한 사례 .....                | 165 |
| <표 VII-2> 연료별 배출계수에 대한 국가별 비교 .....              | 167 |
| <표 VII-3> 부문별 이산화탄소 원단위 변화 추이 .....              | 175 |
| <표 VII-4> 이산화탄소 배출권 거래제도 및 인센티브 경매 도입일정(안) ..... | 179 |

## <그 립 차 례>

|                                                            |     |
|------------------------------------------------------------|-----|
| [그림 III-1] 목표연도별 이산화탄소 배출저감에 따른 GDP 변화 .....               | 42  |
| [그림 III-2] 주요 국가의 CO <sub>2</sub> 증가율 추이 .....             | 48  |
| [그림 III-3] 국가별 이산화탄소 배출증가율 표준편차와 경제규모의 상관관계 .....          | 50  |
| [그림 III-4] 주요 국가의 일인당 이산화탄소 배출량 추이 .....                   | 52  |
| [그림 III-5] 주요 국가의 GDP당 이산화탄소 배출량 추이 .....                  | 53  |
| [그림 IV-1] 영국의 배출권 거래제도 개념도(UK ETG) .....                   | 102 |
| [그림 V-1] 배출권 거래제에 따른 시장균형의 변화 .....                        | 122 |
| [그림 VI-1] 비용정보의 불확실성에 따른 정책수단별 균형변화 .....                  | 136 |
| [그림 VI-2] A사업장 CO <sub>2</sub> 누적 저감량에 대한 한계비용 및 추세선 ..... | 141 |
| [그림 VI-3] CO <sub>2</sub> 누적 저감량에 대한 한계비용 .....            | 142 |
| [그림 VI-4] A사업장 CO <sub>2</sub> 누적 저감량에 대한 한계비용 및 추세선 ..... | 145 |

## I. 서론

1992년 리우정상회의에서 채택된 이래 기후변화협약은 전 세계의 정치·경제질서에 엄청난 파급효과를 초래할 것으로 예측되는 가운데 후속협상이 진행되고 있다. 1997년 교토에서 개최된 제3차 당사국총회에서는 당시 OECD에 가입하고 있던 선진국 및 동구권 국가에 대하여 2008년 이후의 온실가스 배출량에 대한 양적 감축목표를 확정(교토의정서)함으로써 협상을 급진전시켰다. 또한 교토의정서는 온실가스의 효율적인 감축을 유도하기 위해서 국가간 온실가스 거래제도의 도입을 채택함으로써 전 세계적인 온실가스시장의 태동을 가시화 하였다. 아직 교토의정서는 물론 협약 자체에 대해서도 구체적인 이행방안에 대한 협상이 여러 국가 간 이견으로 난항을 겪고 있지만 대부분의 선진국은 물론 많은 개도국에서 이에 대한 대응노력을 강화하고 있다.

온실가스는 인류의 경제활동 대부분에 있어 필연적으로 발생하는 물질이라는 점에서 온실가스 배출의 억제는 경제활동 자체의 근원적 변화를 요구한다. 따라서 온실가스의 배출을 줄이기 위한 노력은 국가경제에 큰 파급효과를 미칠 수 있으며 이를 위한 정책수단의 선택도 신중한 판단을 필요로 한다. 현재까지 우리나라는 선진국 수준의 양적 감축의무 부담대상에서 제외되어 있으나 선발개도국의 감축의무 부담에 대한 국제사회의 압력이 거세지고 있어 이에 대한 대비가 시급한 상황이다. 게다가 외환위기를 경험한 과거를 돌이켜 볼 때 전 세계적 온실가스 시장은 우리에게 또 하나의 위협이자 기회를 안겨주고 있다. 이에 대한 사전 대응노력을 내실화하지 못한다면 감축의무의 유예라는 이점을 상쇄하는 국가경쟁력의 약화가 초래될 수 있다.

본 연구는 크게 두 가지의 목적하에 수행되었다. 하나는 국가별 온실가스 감축 목표 설정방식에 대한 고찰을 통해 우리나라의 감축목표 설정방식에 대한 대안을 제시하는 것이고, 또 하나는 효율적인 국내 감축활동을 유도하기 위한 배출권 거래제도의 활용방안을 제시하는 것이다. 현 시점에 있어서 우리나라의 국가 온실가스 감축목표 설정방식과 국내 배출권 거래제도 활용방안 간에는 밀접한 연계성을 찾기 어렵다. 즉, 전자가 중장기적인 감축목표의 설정을 위한 합리적인 논리개발에 치중하게 될 수밖에 없는 반면에 후자는 단기적인 감축노력을 효율적으로 유도하기 위한 정책수단을 논의해야 하기 때문에 대상시기상으로 근본적인 괴리가 있으며, 따라서 전자에 대한 논의에서 도출된 감축목표 설정방식을 이행하기 위한 직

접적인 수단으로서 배출권 거래제도와 같은 세부 정책수단을 연계시킨다는 것은 적어도 현 시점에서는 무리한 시도가 될 것이다. 하지만 기후변화협약에 대한 대응전략을 논의하기 위해서 두 가지 주제가 갖는 중요성이 매우 크다는 점에서 본 연구에서는 이를 함께 다루도록 한다. 전자에서 도출되는 국가차원의 감축목표를 이행하기 위한 국가차원의 정책수단의 선택은 배출권 거래제도를 포함하여 보다 광범위한 대안들을 균형 있게 검토한 후 이루어져야 할 것이며, 이는 향후 후속연구에서 보다 심도 있게 검토되어야 할 것이다. 또한 국가 온실가스 감축목표 설정 방식에 대해서도 본 연구의 분석결과와 함께 국가경제에 미치는 파급효과에 대한 분석이 추가적으로 필요하다는 점을 지적하지 않을 수 없다.

본 연구에서는 먼저 II장에서 기후변화협약 및 교토의정서의 협상동향을 살펴봄으로써 본 연구의 필요성과 중요성을 도출한다. III장에서는 온실가스 감축목표 설정방식에 대해서 지금까지의 논의동향을 분석하고 우리나라에의 적용가능성을 검토한 후 합리적인 대안을 모색해 보도록 한다. IV장에서는 배출권 거래제도의 개념과 특징 및 적용사례를 통해 제도 자체에 대한 이해를 넓히고, 현재 구체적인 이행방식에 대한 협상이 활발히 진행되고 있는 국제 온실가스 배출권 거래제도에 대하여 알아보도록 한다. 이와 함께 여러 나라에서 이미 시행하거나 도입을 검토하고 있는 국가별 국내(domestic) 온실가스 배출권 거래제도의 추진동향을 분석함으로써 우리나라에 있어서의 도입 타당성에 대한 시사점을 도출하도록 한다. V장에서는 온실가스 배출실태 등 우리나라의 여건을 토대로 국내 온실가스 배출권 거래제도의 도입 타당성을 검토하고 합리적인 도입방안을 도출하도록 한다. 도입방안의 도출에 있어서 본 연구는 국가 차원의 전면적인 배출권 거래제도 도입 이전에 새로운 정책수단에 대한 경험을 축적하고 자발적 저감노력을 유도할 수 있는 초기단계의 시범적 실시형태에 초점을 맞추고자 한다. 이에 따라 모든 온실가스와 모든 배출형태를 동시에 규제하기 이전에 자발적 참여를 통한 이산화탄소 배출권 거래제도의 시범적 실시방안을 도출하고 이에 대한 경제적 분석결과를 VI장에 제시하고 있다. VII장에서는 구체적 운영방안을 제시하도록 한다.

## II. 기후변화협약 협상동향

이산화탄소를 비롯한 온실가스가 지구온난화와 기후변화를 통해 지구 생태계에 돌이킬 수 없는 악영향을 초래할 것이라는 점은 여러 가지 불확실성에도 불구하고 광범위한 공감대를 얻고 있다. 특히, 과학적인 불확실성을 이유로 기후변화 대응노력을 지체할 수는 없다는 점에 대한 국제사회의 인식은 기후변화협약에도 잘 나타나 있다. 1997년에 채택된 교토의정서는 기후변화협약의 정신을 구현하기 위한 구체적인 감축목표와 방법을 규정함으로써 기후변화에 대응하기 위한 범지구적인 노력을 촉구하고 있다.

### 1. 기후변화협약

#### 1.1 지구온난화 문제의 대두

태양으로부터 지구로 전달되는 에너지(복사선)는 주로 가시광선의 형태로 대기에서 산란되고 일부만이 지구표면에 도달되며 도달된 복사선은 적외선인 ‘열’복사의 형태로 반사되어 외계에 방출되거나 대기 중의 기체들에 의해 흡수된다. 흡수된 열은 대기의 온도를 적절하게 유지시켜 주는 역할을 하는데 이러한 현상을 자연적인 온실효과(natural greenhouse effect)라 한다. 만약 자연적인 온실효과가 없다면 지구표면에서 반사된 열이 모두 외계로 방출되어 지구의 온도는 현재보다 34℃ 정도 낮아져서 생물들이 서식하기에 부적절한 조건이 된다. 대기 중에 존재하면서 방출된 열을 흡수하여 온실효과에 기여하는 기체를 온실가스(greenhouse gases: GHGs)라 하는데 자연적인 온실효과에 가장 크게 기여하는 기체는 수증기이다.<sup>1)</sup>

이처럼 온실가스는 지구생태계를 유지하기 위해 필요하지만 일부 온실가스가 자연적 균형상태 이상으로 증가할 경우 지구의 온도가 상승하게 되는데 이러한 현상을 강화된 온실효과(enhanced greenhouse effect) 혹은 지구온난화(global warming)이라 한다.

1) 환경부·한국환경정책평가연구원 (1998)

‘기후변화에 관한 정부간 패널(Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC)’에 따르면 산업혁명이 시작된 1860년대부터 1990년까지 대기온도가 0.3~0.6℃ 상승했으며, 해수면도 10~25cm 높아진 것으로 관측되었으며, 이러한 변화는 1900년 이후에 급격히 심화되고 있는 것으로 평가되고 있다. 또한 IPCC의 2차 종합평가보고서(1995)는 “온실가스가 현 추세대로 증가할 경우 2100년의 지구기온은 지금보다 0.8~3.5℃ 상승하고 해수면은 15~95cm 올라갈 것”이라고 평가하고 있으며, 이러한 기온상승은 빙하기와 현재와의 기온차이가 5℃에 불과하다는 점을 상기할 때 지구 생태계가 감내하기 어려운 크기의 변화이며, 해안가 침수, 식량 및 수자원공급, 인간건강 침해 등 생태계와 사회경제적 분야에 돌이킬 수 없는 영향을 미칠 것으로 판단하고 있다.<sup>2)</sup>

## 1.2 기후변화협약

국제사회는 1979년 2월 제네바에서 세계기상기구(WMO) 주관으로 제1차 세계기후회의를 개최하여 기후변화에 관한 조사, 연구를 시작한 이후 온실가스가 기후변화에 미치는 영향과 그 평가에 대한 논의를 진행하였다. 1988년 11월에는 WMO, UNEP 주관 하에 IPCC가 설립되어 기후변화의 원인, 영향 및 대응에 관한 종합적 연구가 진행되고 있다.

기후변화에 대한 과학적 사실이 규명됨에 따라 1990년 12월 정부간 협상위원회(INC)가 설립되었고 6차례의 협상을 통해 92년 5월 기후변화협약 안을 확정, 6월 리우회의에서 채택하였다. 우리나라는 93년 12월 가입하였고 94년 3월 가입국수가 50개를 넘음으로써 협약이 발효되었으며 2001년 2월 현재 181개 국가 및 유럽연합(EU)이 가입하고 있다.

기후변화협약(UN Framework Convention on Climate Change: UNFCCC)은 기본 원칙, 온실가스 배출감소를 위한 각국의 의무사항, 자문기구, 재정지원체계, 국가보고서 및 기타 조직사항으로 구성되어 있다. 기후변화협약 제2조는 협약의 궁극적 목적이 기후체계에 대한 위험한, 인위적 간섭(interference)을 방지할 수 있도록 대기중의 온실가스 농도를 안정화하는 것임을 밝히고 있다. 제3조에는 이를 위한 원칙으로서 다음과 같은 다섯 가지를 제시하고 있다.

① 형평성과 ‘공동의 그러나 차별적 책임(common but differentiated

---

2) IPCC WG-I의 최근 연구결과에 따르면 100년간의 지구기온상승폭이 1.4~5.8℃에 달할 것으로 추정하고 있다. (BBC News, 2001/1/22)

responsibility)', 그리고 능력에 따라 현재 및 미래 세대의 인류를 위해 기후체계를 보전하여야 하며, 따라서 선진국(developed country)이 기후변화와 이에 따른 부정적 영향에 대한 대응을 주도하여야 한다.

- ② 기후변화의 부정적 영향에 취약한 개도국(developing country)과 협약 하에서 지나친 부담을 안게 되는 국가(특히 개도국)의 특수한 상황이 고려되어야 한다.
- ③ 기후변화의 원인을 예방 및 최소화하고, 부정적 영향을 완화하기 위해 모든 당사국(Party)<sup>3)</sup>은 예방적(precautionary) 조치를 취해야 한다. 기후변화를 다루는 정책 및 조치(policy and measure)는 가능한 최소의 비용으로 지구의 이익을 보장할 수 있도록 비용 효과적(cost-effective)이어야 하고, 심각하거나 돌이킬 수 없는 피해의 위협이 있는 경우에는 충분한 과학적 확실성의 결여가 이들 조치의 지연을 위한 이유로 이용되어서는 안 된다.
- ④ 모든 당사국은 지속가능한 개발(sustainable development)을 촉진할 권리와 의무를 갖는다. 기후체계를 보전하기 위한 정책 및 조치는 각국의 특별한 상황에 적합해야 하며, 국가별 개발 프로그램과 통합되어야 한다.

<표 II-1> 기후변화협약의 의무사항

| 협약 의무           | 일반 의무                                                           | 특별 의무                                                          |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 대상 국가           | - 모든 가입국                                                        | - 선진국(OECD)과 동구권 국가                                            |
| 온실가스 통계 작성 및 제출 | - 대상: 이산화탄소 등 온실가스의 배출 및 흡수량                                    |                                                                |
| 온실가스 감축목표       | - 없음.                                                           | - 2000년까지 1990년 수준으로 온실가스 배출량을 안정화시키도록 노력                      |
| 국가전략 추진         | - 기후변화방지 및 적응력 제고를 위한 국가 프로그램 수립·이행 및 공표                        | - 상기 목표달성을 위한 국가정책의 채택, 구체적 조치의 이행 및 성과를 보고                    |
| 공동협력사항          | - 온실가스 저감기술 및 공정 개발·보급·확대<br>- 흡수원 보호 및 증진<br>- 국가정책에 기후변화문제 반영 | - 개도국에 대한 재정 및 기술지원<br>- 국가간 경제 및 행정수단의 통합 추진<br>- 타국과 공동이행 가능 |

3) 당사국(Party)란 협약 혹은 의정서상의 법적 의무를 부담하겠다는 선언(비준: ratification)을 한 국가를 말함. 협약 혹은 의정서의 채택사항을 확인하는 절차에 불과한 서명(sign)과 달리 구속력을 가짐.

&lt;표 II-2&gt; 기후변화 주요 협상일지

| 시기              | 주요 내용                                                                                       |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1988            | WMO와 UNEP가 IPCC 설립, UN 총회에서 기후변화 최초논의                                                       |
| 1990            | IPCC 1차 평가보고서 발표(기후변화협약 협상 개시 제안)<br>제2차 세계기후회의에서도 협상 개시 제안<br>UN 총회에서 기후변화협약 협상을 위한 INC 설립 |
| 1991. 2         | INC 1차 회의                                                                                   |
| 1992. 5. 9      | INC 5차 회의 속개회의(뉴욕)에서 기후변화협약 채택                                                              |
| 1992. 6. 4      | 브라질 리우정상회의에서 협약 서명 개시                                                                       |
| 1994. 3. 21     | 기후변화협약 발효                                                                                   |
| 1995. 4. 7      | COP1에서 의정서에 대한 협상 시작                                                                        |
| 1995. 12. 11~15 | IPCC에서 2차 평가보고서 승인(강력한 정책 촉구)                                                               |
| 1996. 6. 19     | 협상 촉진을 위한 제네바 장관선언 채택(COP2)                                                                 |
| 1997. 12. 11    | COP3에서 교토의정서 채택(일본)                                                                         |
| 1998. 3. 16     | 교토의정서 서명 개시(유엔본부, 뉴욕), 1년간 84개국 서명                                                          |
| 1998. 11. 14.   | COP4에서 협약 이행을 강화하고 의정서 발효를 준비하기 위한 부에노스아이레스 행동계획 채택(주요 의사결정 시한을 COP6로 정함)                   |
| 2000. 11. 13~24 | COP6에서 주요쟁점에 대한 합의도출 실패, 2001년 7월에 속개 회의를 개최하여 추가 협상기로 결정                                   |
| 2002            | "Rio + 10" "2002 정상회의"                                                                      |
| 200?            | 교토의정서 발효                                                                                    |
| 2005            | 부속서 I국가의 교토의정서상 의무이행에 대한 "demonstrable progress" 평가, 제2차 의무이행기간(2013~?)에 대한 감축의무 협상 개시      |
| 2008~12         | 교토의정서상 제1차 의무이행기간                                                                           |
| 2013~17?        | 교토의정서상 제2차 의무이행기간?                                                                          |

자료원: UNFCCC(2000)

- ⑤ 모든 당사국은 지속가능한 경제성장(sustainable economic growth)과 모든 당사국(특히 개도국)의 개발을 지향하는 개방적 국제경제시스템을 촉진하기 위해 협력하여야 한다.

기후변화협약은 모든 가입국에 대한 일반의무와 부속서 I국가(선진국 및 동구권)에 대한 특별의무를 규정하고 있다. 부속서 I국가는 1992년 당시 경제협력개발기구(OECD) 24개국과 온실가스 감축 잠재력이 높은 동구권 11개국 등 총 35개국으로 이루어져 있는데 1990년 수준으로 온실가스 배출량을 안정화하도록 노력하여야 할 의무가 부과되었으며, 특히 부속서 II국가(동구권을 제외한 부속서 I국가)는 개도국에 대한 재정 및 기술지원 의무가 추가로 부과되었다.

## 2. 교토의정서

1995년 3월에 개최된 제1차 당사국총회(COP1)에서는 선진국의 의무를 강화키로 하고 1997년 12월 제3차 당사국 총회(COP3)에서 교토의정서를 채택하기로 결의하는 ‘Berlin Mandate’를 채택하였다. 선진국들은 2005년, 2010년, 2020년을 기준으로 하여 법적으로 구속력 있는(legally-binding) 상당한 수준의 감축목표를 설정하고, 에너지, 수송, 산업, 농업, 임업, 폐기물, 경제수단 등의 분야에서 감축정책과 감축수단을 구체화하여 의정서에 반영키로 하였다. COP1 결정이후 그동안 8차례의 AGBM(Ad Hoc Working Group on Berlin Mandate) 회의를 개최하여 선진국의 의무강화를 위한 구체적 방안을 논의한 끝에 1997년 COP3에서 선진국의 구속력 있는 양적 감축의무를 명문화한 교토의정서(Kyoto Protocol)를 채택하였다.

교토의정서는 부속서 B국가<sup>4)</sup>에 대한 구속력 있는(legally binding) 감축목표 설정, 배출권거래/청정개발체제/공동이행 등 교토메카니즘, 국가보고서 작성/제출/검토, 재정 및 기술이전, 기타 조직/행정/의사결정 관련사항을 주요내용을 담고 있다.

교토의정서에서 가장 핵심적인 내용은 부속서 B국가에 대한 양적 감축의무의 부과이다. 교토의정서는 부속서 B국가에 대하여 1차 의무이행기간(2008~2012)중 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub> 등 6개 온실가스의 배출량을 1990년도 대비 평균 5.2% 감축하도록 명시하고 있다.<sup>5)</sup> 이러한 감축목표는 당사국에 따라 차별화되어 있는데, 미국의 경우 7%, 캐나다 및 일본 6%, EU 8% 등이다. 일부 국가는 증가가 허용되었는데 아이슬란드 10%, 호주 8%, 노르웨이 1% 등이다. 러시아, 우크라이나, 뉴질랜드 등의 국가는 증감없이 0%의 목표를 받았고, 헝가리와 폴란드는 6%, 루마니아와 슬로바키아는 8% 등 동국권 국가들도 감축의무를 부담하고 있다. 이러한 감축목표의 할당은 기본적인 원칙이나 구체적 공식 없이 정치적 협상에 의해서 합의됨으로써 1차 이후의 차기 의무이행기간에 대한 감축의무 설정이나 비부속서 I국가의 감축의무 결정 등과 관련하여 진행될 추가적인 감축목표 협상에 대한 예측을 매우 어렵게 하고 있다는 점이다.

교토의정서는 부속서 I국가에 대한 감축목표와 함께 이를 달성하기 위한 비용을 최소화하기 위해 배출권 거래(emissions trading), 청정개발체제(Clean Development Mechanism: CDM), 공동이행(Joint Implementation: JI) 등 3가지의

4) 부속서 B국가란 교토의정서 부속서 B에 수록된 국가로 협약상의 부속서 I국가들 중에서 벨라루스와 터키를 제외하면 동일하다.

5) HFCs, PFCs 및 SF<sub>6</sub>에 대해서는 당사국의 재량에 따라 1995년을 기준연도로 선택할 수 있다.

국제협력수단을 허용하고 있다. 이 세 가지는 통상 교토메카니즘(Kyoto mechanism) 혹은 유연성 조치(flexibility measure)라 불리는데, 이에 따라 온실가스에 대한 범세계적 시장이 출범하게 된다는 점에서 국제경제에 미치는 영향이 클 것으로 예상된다. 또한 의정서 4조에는 지역경제협력체 혹은 일부 국가가 협의에 의해 감축목표를 함께 달성할 수 있도록 하는 공동실시(joint fulfillment)가 규정되어 있는데, 현재 EU가 이 조항의 적용을 받고 있다. 이에 따라 EU는 교토의정서에 명시되어 있는 8% 삭감목표를 회원국간에 재분배하였으며, 이에 따라 스웨덴(4%), 스페인(15%), 그리스(25%), 포르투갈(27%) 등이 증가목표를 할당받았으며, 영국(-12.5%), 독일 및 덴마크(-21%), 룩셈부르크(-28%) 등은 8%를 크게 상회하는 감축목표를 부담하게 되었다.

### 3. 최근 협상동향 및 전망

#### 3.1 제6차 당사국총회 협상결과

기후변화협약 제6차 당사국총회 및 13차 부속기구회의(전반부)가 11월 13일부터 25일까지 2주동안 182개국 정부대표, 323개 국제 및 비정부 기구, 443개 언론기관 등으로부터 7천명 이상이 참가한 가운데 네덜란드의 헤이그에서 개최되었다. 이 회의의 목적은 부에노스아이레스 행동계획에 따라 교토의정서하의 감축의무에 대한 구체적 이행방안을 확정하는 것이었다.

이번 회의는 당사국총회와 별도로 개최되는 부속기구회의를 1회 추가 개최하고 다수의 쟁점별 비공식 협의회를 개최하였음에도 불구하고 많은 쟁점에 대하여 합의가 도출되지 못함에 따라 2주간의 당사국총회에서 어떤 합의가 이루어질 수 있을가에 대해 회의 이전부터 적지 않은 비관론이 대두되어 왔다. 회의 두 번째 주에 들어서 당사국 총회 의장인 네덜란드 환경장관 잔 프롱크가 핵심쟁점들에 대한 타협안을 제시하며 정치적 타결을 시도했음에도 불구하고 회기를 하루 연장하면서까지 진행된 밤샘협상은 결국 수포로 돌아가고 말았다. 잔 프롱크 장관은 마지막 날 회의에서 이번 협상이 밖에서 지켜보는 수많은 사람들의 기대에 크게 못미치고 있다며 유감을 나타냈고, 당사국들에 의해 제6차 당사국총회를 다음해 7월에 재개하자는 데 합의함으로써 꺼져가는 불씨를 다시 되살려 놓았다.

프롱크 장관은 주요쟁점을 네 그룹으로 나누고 각 그룹별로 장관급 협상을 진행

하였다. 첫 번째 그룹은 개도국에 대한 지원과 관련된 것으로서 능력형성, 기술이전, 기후변화 및 대응조치로 인한 부정적 영향에 대한 보상, 그리고 지구환경기금(GEF)에 대한 지침을 포함하고 있다. 두 번째 그룹은 교토메카니즘, 세 번째 그룹은 토지이용변화 및 삼림(LULUCF), 그리고 네 번째 그룹은 의무이행체제와 관련된 보고, 검토, 벌칙 등을 포함하고 있다. 이 네 개의 그룹이 핵심쟁점을 잘 표현해주고 있다. 아래에서는 이 네가지 그룹에 대한 프롱크 장관의 타협안을 중심으로 협상동향을 간략히 살펴보도록 한다.

먼저 첫 번째 그룹에 있어서 가장 핵심적인 내용은 선진국이 얼마만큼의 재원을 공여할 것인가이다. 그동안 개도국은 구체적인 금액을 요구해온 반면 선진국은 이를 직접 거론하기조차 꺼려왔다. 이번 회의에서 Umbrella 그룹(미국, 일본 등 비 EU선진국)은 1차 이행기간(2008~2012)동안 10억달러의 추가재원확보를 제안함으로써 전향적인 자세를 보여주었고, 프롱크 의장은 2005년부터 매년 10억달러를 조성하자는 적극적인 제안을 제시했다. 특기할 만한 것은 기금의 조성방법 중 하나로 부속서 II국가의 배출권 할당량 중 일정비율을 징수, 재판매하는 방안을 포함하고 있는데, 이는 사실상 부속서 II국가의 삭감의무를 그만큼 높이는 것이어서 선진국으로부터 강한 반발을 사고 있다.

두 번째 그룹은 청정개발체제(CDM), 공동이행(JI), 배출권거래(IET) 등 3대 교토메카니즘의 운영방식에 대한 것인데, 보조성(supplementary), 거래책임(liability) 등 많은 주제에 대해서 Umbrella 그룹의 입장에 치우친 것으로 평가받고 있다. 즉, 보조성에 대해서는 EU 및 개도국이 주장하는 구체적인 한도설정을 언급하지 않고 있으며, 거래책임에 있어서도 사실상 Umbrella가 주장하는 발행국 책임원칙을 수용하고 있다. 우리나라가 가장 큰 노력을 기울였던 개도국 주도 CDM사업의 허용여부에 대해서는 가부를 확정하지 않고 있으며, 논란을 불러일으켰던 원자력의 CDM 허용과 관련해서는 부속서I국가가 원자력 CDM사업의 자체를 선언한다는 애매한 표현을 담고 있다.

흡수원(LULUCF)과 관련된 세 번째 그룹에서는 Umbrella 그룹의 주장과 EU의 주장을 절충하여 일정수준까지는 흡수량을 전량 인정해주고, 이 이상에 대해서는 일정 비율 할인하여 인정하되, 전체 흡수량이 기준년도 배출량의 3%를 넘지 못하도록 하고 있다. 한편 가장 첨예한 쟁점이 되었던 흡수원 사업의 CDM 허용여부에 대해서는 이를 허용하되 신규 조림 및 재조림사업에 한정하고 추가성, 영속성 등에 대해서 추가 논의기로 하고 있다.

마지막 그룹의 의무이행체제(Compliance system)와 관련해서는 의정서3조상의 양적 감축의무 및 교토메카니즘의 적격성을 담당하는 enforcement branch와 기타

다른 문제를 담당하는 facilitative branch를 두고 각각 11인으로 구성된 위원회를 설치하자는 제안을 하고 있다. 특기할 만한 것은 의정서3조상의 양적 감축의무를 이행하지 못할 경우 다음 이행기간의 할당량에서 초과배출량의 1.5배를 차감하도록 하는 규제조항인데, 이는 사실상 배출권의 차입(borrowing)을 허용하는 것으로 위반행위에 대해서 너무 약한 벌칙이 아니냐는 비판을 받고 있다.

이와 같은 프롱크장관의 절충안은 선진국이 교토의정서상의 양적 감축의무를 원만하게 달성할 수 있도록 흡수원의 활용과 배출권의 차입을 허용하면서, 개도국에게는 추가적인 재정지원을 약속함으로써 양측의 타협을 시도하였다고 평가된다. 이러한 타협안은 미국, 일본 등 Umbrella 그룹의 입장을 너무 많이 반영하는 것이 아니냐는 비판과 함께, 대부분의 국가들(미국, 일본 포함)로부터 부정적인 반응을 얻고 있다. 프롱크 장관은 이에 대해 모든 국가에게도 만족스러운 절충안이란 불가능하고 어느 국가에게도 이익을 가져다 주는 타협안도 어려울 것이라며 결국 고통을 어떻게 분담하는가가 문제라고 답하고 있다. 많은 비판에도 불구하고 프롱크 장관의 절충안은 다음 협상의 기초로서 중요한 역할을 할 것으로 예상된다.

### 3.2 평가 및 전망

COP6 협상이 결렬된 이유로는 미국의 정권교체에 따른 불명확한 입장, EU내부의 갈등 등 여러 가지 정치적 요소가 제기되고 있다. 미국은 COP6 이전에 COP6 개최를 자국의 대통령 선거 이후로 연기하여 줄 것을 요청하였으나 받아들여지지 않았다. 기후변화협상에서 핵심적인 역할을 맡고 있는 미국의 정권교체가 원활한 협상을 저해하였을 것이라는 점은 분명하다. 이와 함께 EU내에서도 명확한 입장 정리가 부족하였다는 점이 여러 차례 확인되었는데, 이처럼 협상의 양대 그룹이 각자의 입장을 확실히 하지 못하고 있다는 점 때문에 COP6는 개최 전부터 타결가능성에 회의적 시각이 우세하였다. 보다 근본적으로는 기후변화협약과 교토의정서에서 다루고 있는 내용이 워낙 광범위하고 복잡하기 때문에 이 모든 내용에 대한 합의를 단기간에 도출하려고 한 시도 자체가 무리였다는 시각도 제기되고 있다.

내용 면에서 이번 협상의 최대 쟁점은 보조성과 흡수원을 둘러싼 미국 등 Umbrella 그룹과 EU간의 갈등이었다. EU는 보조성의 원칙에 따라 교토메카니즘의 활용에 한도를 설정하여야 하며, 흡수원의 인정범위를 엄격히 제한해야 한다는 입장인 반면 Umbrella 그룹은 교토메카니즘의 활용에 대한 양적 한도설정에 반대하며 흡수원의 인정범위도 크게 확대하자는 의견이다. 보조성의 원칙은 감축목표

달성을 위한 노력이 자국내의 정책 및 조치를 통해 우선적으로 추진되어야 한다는 취지에서 의정서에 표현되었는데, 논리적으로 전체 온실가스의 배출량을 증가시키지 않는 한 어느 지역에서 저감노력이 이루어졌는가를 문제시할 이유는 없다. 따라서 정성적(qualitative)으로 자국내의 노력을 우선한다는 점을 재확인하는 수준에서 타협될 가능성이 크다고 판단된다. 흡수원의 문제는 조림 등 온실가스 흡수원에 따른 흡수량을 감축의무 달성에서 얼마만큼 인정할 것인가의 문제인데, 모두 인정하거나 전혀 인정하지 않는 극단적인 방안보다는 적절한 인정범위에 합의함으로써 해결될 수 있을 것으로 보인다. 개도국에 대한 선진국의 기술이전 및 재정지원 문제도 여전히 중요한 쟁점의 하나이지만 보조성과 흡수원에 대한 EU와 Umbrella 그룹간의 갈등이 해소되면 선진국과 개도국간의 갈등은 현재의 프롱크안을 기초로 의외로 쉽게 해결될 수 있을 것으로 관측된다.

COP6에서의 협상이 결렬된 이후 기후변화협약 및 교토의정서에 대한 회의적 시각이 커졌음에도 불구하고 2001년 7월에 속개될 후반기 회의에서의 합의를 예상하는 견해가 조심스럽게 제기되고 있다. 얼마 전 미국에서 COP6 속개회의 개최의 연기를 프롱크 의장에게 제안하였는데 이는 미국이 협상을 보다 비중 있게 다루고자 하는 의지로 해석되고 있다. 지금까지 협상에서 최대 걸림돌이었던 미국이 정권교체를 마무리하면 협상 타결은 급류를 탈 수 있을 것으로 예측된다. 이와 함께 올해 개최된 COP6 속개회의에서 핵심쟁점에 대한 합의가 도출될 것으로 예상되며, 세부 쟁점에 대한 마무리가 이루어지면 당초 예상되었던 2002년(Rio+10) 보다는 다소 늦어질 수 있지만 머지 않아 의정서의 발효도 가시화될 것으로 예상된다.

### III. 온실가스 배출저감 목표설정 동향분석 및 시사점

1997년 개최된 기후변화협약 제3차 당사국총회에서 채택된 교토의정서는 OECD 국가(한국 및 멕시코 제외) 및 동구권 국가를 포함하는 부속서B국가에 대하여 2008~2012년까지의 제1차 공약기간동안 이산화탄소, 메탄 등 6개 온실가스의 순 배출량을 1990년 대비 평균 5.2% 감축한다는 내용의 구속적인 양적 감축목표를 규정하고 있다. 이러한 감축목표는 국가별로 상이하게 결정되었는데, 아이슬란드는 기준 대비 10% 증가, 호주는 +8%, 노르웨이 +1%, 뉴질랜드, 러시아, 우크라이나는 0%, 크로아티아는 -5%, 캐나다, 헝가리, 일본, 폴란드는 -6%, 미국은 -7%, 기타 동구권, 유럽연합 및 스위스는 -8%로 합의되었다.

이와 같이 국가별로 차별화된 배출목표의 설정이 국가별 경제적, 사회적 여건을 반영해야 한다는 점은 자명하지만 과연 어떤 원칙에 따라야 하는가에 대해서는 분명한 해답이 제시되지 못하고 있다. 실제로 교토의정서상의 국가별 감축목표가 합의되기까지 당사국을 중심으로 다양한 원칙과 공식들이 제기되었음에도 불구하고 이들 주장들이 어떤 역할을 했는지를 규명하기는 거의 불가능하다. 결과적으로 이론적이고 도덕적인 원칙에 근거하기보다는 국가간의 정치적 타협의 산물이라고 보는 시각이 우세하다.

교토의정서상의 국가별 감축목표가 명확한 원칙이나 기준 없이 정치적 타협에 지나치게 의존하였다는 점은 이러한 국제적 의무분담이 합의되었다는 성과보다 더 심각한 과제를 국제사회에 남겨놓았다. 즉, 지구온난화를 위한 범세계적 노력은 단지 교토의정서상의 부속서B국가만에 한정하는 것도 아니며, 게다가 5년간의 1차 공약기간에 국한되는 것도 아니다. 부속서B에 속하지 않는 개도국의 온실가스 배출량이 조만간 부속서B국가를 넘어설 것으로 예상되며, 온실가스의 배출안정화를 위해서는 앞으로 수백년간의 감축노력이 요구될 수도 있다. 이처럼 장기간에 걸쳐 보다 많은 국가들에 대하여 감축목표를 결정하기 위해서는 단순한 일회성의 정치적 협상이 아니라 보다 체계적이고 영속적인 원칙과 공식을 필요로 한다. 특히 선진국을 중심으로 점차 증가하고 있는 개도국의 감축의무 동참압력과 2005년경부터 시작되는 부속서B국가의 제2차 공약기간의 목표감축량에 대한 협상을 앞두고 국가별 감축목표설정방식에 대한 논의가 활발해지고 있다.

다음에서는 국가별 온실가스 감축목표 설정방식에 대한 개념과 특성 및 지금까지의 적용사례를 살펴보고 우리나라의 감축목표 설정방식에 대한 시사점을 검토하고자 한다.

## 1. 온실가스 감축목표 설정방식의 종류 및 특징

온실가스 감축목표 설정방식은 감축목표량의 확정시점, 목표량의 결정기준, 목표의 구속성 여부 등 다양한 요소의 결합으로 이해할 수 있다. 먼저 감축목표량의 확정시점에 따라 사전결정방식과 사후결정방식으로 나눌 수 있다. 사전결정방식은 고정량 목표(fixed target)라 불리기도 하는데, 목표이행기간(공약기간) 전에 목표량을 확정하는 방식으로 과거의 배출량 혹은 미래 배출전망에 기초하여 총량적 배출한도를 미리 설정하는 방식이다. 이 방식은 온실가스 배출총량을 사전에 결정하게 되므로 총량에 대한 효과적 관리가 가능하다는 장점이 있지만 미래 경제상황의 변동에 따라 저감비용의 불확실성이 매우 커짐으로써 목표의 달성가능성 또한 불확실성이 높다는 단점이 있다. 현재 교토의정서상 부속서 B국가의 목표설정 방식이 이에 포함된다.

반면 사후결정방식이란 동적 목표(dynamic target)라고도 하는데, 목표이행기간 중 경제사회변수의 변화가 고려되어 감축목표량이 결정되는 방식으로, 인구, GDP 등 주요 경제사회변수에 변동에 따라 감축목표가 사후적으로 결정된다. 이러한 방식 하에서는 감축목표량의 산정공식만이 사전에 결정되고 목표량 자체는 이행기간에 발생하는 경제사회변수에 따라 사후에 결정된다. 따라서 이 방식은 이행기간 중 경제상황의 변화를 반영함으로써 목표달성이 용이하도록 하는 장점이 있는 반면, 감축목표가 경제상황의 변화에 따라 달라지게 되므로 배출총량의 엄격한 관리가 어렵다는 단점이 있다. 지난해 제5차 당사국총회에서 아르헨티나가 제시한 바 있는 GDP의 제공근에 비례하는 배출목표설정공식이 이에 해당하는데, 비구속적 방식의 형태로 논의되는 경향이 있다.

한편, 이행기간 중 배출총량이 확정되지 못하는 특성은 배출권 거래제도와 같이 총량개념에 기초한 정책수단의 활용을 보다 복잡하게 만드는 단점도 있다. Philibert와 Pershing(OECD, 2000)은 비구속적인 사후결정방식 하에서의 배출권 거래제 참여방법으로서 다음과 같은 네 가지 대안을 제시하고 있다.

- ① 배출권 판매와 동시에 구속적 목표로 자동 변경되며, 과잉판매시 벌칙을 적용받도록 한다.
- ② 비교적 낮은 강도의 구속적 동적 목표와 비교적 높은 강도의 비구속적 동적 목표를 함께 설정한다. 구속적 목표는 경제성장에 지나친 제약이 될 위험을 최소화 할 수 있도록 설정하고 비구속적 목표는 tropical hot air의 위험을 제거할 수 있도록 강한 수준으로 결정한다. 구속적 목표는 미달성시 배출권 구

매의무가 부과되는 구매기준(buying target)으로, 비구속적 목표는 초과달성시 배출권 판매권리가 부여되는 판매기준(selling target)으로 활용한다.

- ③ 이행기간(commitment period) 종료 후에 한해 거래를 허용함으로써 과잉판매 혹은 초과배출을 효과적으로 예방한다.
- ④ 과잉판매가 확인될 경우에 한해 초과판매량에 대한 재매입(buy back) 의무를 부과한다.

감축목표량을 어떤 기준 혹은 변수에 따라 결정하는가는 실제 목표량의 수준에 직접적으로 영향을 미치는 중요한 문제로서 형평성의 기준과도 밀접히 관련되어 있다. 논의되고 있는 형평성 관련 변수로는, 인구, GDP, 한계 및 총 저감비용, 과거 및 현재 배출량, 화석연료 의존성 등이 있다. 동태적 측면에서 현재의 배출량을 중시하는 방식에서 인구를 중시하는 방식으로 이행하자는 주장(Convergence)과 함께, GDP 등에 있어서 일정 수준의 임계치를 넘어서는 국가들이 자동적으로 의무를 부담하는 방식(Evolution) 등이 논의되고 있다. EU 및 아르헨티나 등에서는 부문별 배출특성을 고려할 수 있도록 부문으로 별도의 기준을 적용하는 방식을 적용한 바 있다.

목표량의 결정과 별도로 저감목표에 대한 강제방식(enforcement) 자체도 중요한 구성요소이다. 교토의정서에서 부속서B국가에 대해 제시하고 있는 목표는 미달성시 제재 혹은 지원 등 달성을 촉진하거나 혹은 불이행시 처벌을 위한 이행강제절차가 적용될 것으로 예상되는 구속적 목표(binding target)이다. 현재 협상과정에서 배출목표달성을 위해 필요한 배출권 구입 의무화, 불이행국의 배출권 거래금지, 벌금, 무역제재 등의 제재방법과 감축역량제고를 위한 재정적, 기술적 지원방안이 논의되고 있다. 또한 목표를 초과달성하는 경우에는 잉여배출권 판매를 통한 수익창출 및 차기공약기간으로의 이월(Banking) 등 다양한 인센티브가 논의되고 있다.

반면, 이러한 구속적 목표와 달리 목표의 초과달성에 대해서는 배출권 판매 등 인센티브를 제공하지만 미달성시에는 벌칙을 적용하지 않는 유인방안(비구속적 목표: non-binding target)이 개도국의 양적 감축노력 참여를 촉진하기 위해 미국 등 일부 국가에 의해 제안되고 있다. 이러한 방식의 하나로 개도국의 비구속적 목표를 CDM사업화하는 CDM 방식(CDM way)이 있는데, Philibert와 Pershing(OECD, 2000)은 이러한 방식에 대해 운영의 묘를 살린다면 교토의정서의 개정 없이도 개도국의 감축노력을 효과적으로 유도할 수 있는 방안이라 평가하고 있다. CDM 방식은 우리나라가 협상과정에서 주장하고 있는 개도국 단독 혹은 개도국 투자 CDM의 허용과도 밀접히 관련되어 있다.

## 2. 감축목표 설정방식 사례 및 제안 분석

### 2.1 교토의정서 부속서B의 감축목표

교토의정서상에서 양적 의무를 부담하고 있는 부속서 I 국가군의 총 온실가스 배출량은 '90-'95년 사이에 4.3% 감소하였다. 이는 주로 시장경제전환국가(Economies in Transition: EIT)들의 급격한 감소에 기인한 것이며, 이들 국가를 제외한 소위 부속서 II 국가군의 배출량은 약 3% 증가한 것으로 나타나고 있다.

부속서 II국가 중에서는 영국, 독일, 룩셈부르크, 스위스 등 몇몇 국가를 제외하곤 대부분 높은 경제성장에 따른 온실가스 배출증가를 보여주고 있다. 영국은 석탄에 대한 보조금을 철폐하고 전원구성을 석탄에서 천연가스로 전환함에 따라 배출량이 9%나 감소하였고, 독일은 동서독의 재통일이, 룩셈부르크는 철강산업의 효율변화가, 스위스는 산업공정배출 및 생산변화가 배출감소에 큰 영향을 준 것으로 평가된다. 이러한 현상은 일시적인 것으로 향후 증가세로 돌아설 가능성이 크다.

부속서 I국가의 배출량은 2000년경 '90년 수준의 97.6% 정도가 될 것으로 예측된다. 이는 '95년의 95.7% 수준에서 1.9%정도 증가한 것이다. 또한 제1차 공약기간(2008-2012)의 중간 년도인 2010년의 온실가스 배출량은 '90년 대비 약 105.2% 정도가 될 것으로 예측된다.

교토의정서 3조에 따른 양적 감축의무는 부속서 I국가 전체적으로 제1차 공약기간 중 '90년 대비 5.2% 감축하는 것이다. 이는 2010년경의 배출량이 '90년 대비 5.2% 상승할 것이라는 예측 하에서 10% 이상의 감축이 필요한 것으로 평가된다. 단, 2000년부터 시작되는 CDM사업에 따른 CER의 발생에 따라 부속서 I국가의 실질적 감축필요량이 상당부분 낮아질 수 있을 것이다.

부속서 I국가 중 2010년 기준시나리오(BAU) 배출량 예측치보다 더 낮은 양적 목표를 갖는 국가들의 자연발생 잉여배출권(Hot Air) 규모를 추정하면 약 12억톤(CO<sub>2</sub>환산)에 달하며 이의 대부분은 EIT국가들에서 발생할 것으로 예측된다. Hot Air의 거래를 허용하지 않을 경우 부속서 I국가의 총 감축필요량은 28.5억톤으로 증가한다. 따라서 Hot Air 규모는 부속서 I국가의 총 삭감필요량의 42.4%에 이르는 것으로 평가된다.('90년 배출량의 7.7%) 러시아와 우크라이나가 Hot Air의 90% 이상을 점유할 것으로 예상되며, 흡수원(LULUCF)을 어떻게 고려할 것인가에 따라서는 호주도 Hot Air를 보유할 수 있을 것이라는 예측이 나오고 있다.

&lt;표 III-1&gt; 각국의 온실가스 배출량 추이 및 저감 필요량 추정치

| 백만CO <sub>2</sub> 톤, % | 배출량('90)      | 비중           | '95/'90      | 2000/'90     | 2010/'90     | 교토타겟        | 저감필요량         |
|------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|---------------|
| <b>부속서 I국가</b>         | <b>15,740</b> | <b>100%</b>  | <b>95.7</b>  | <b>97.3</b>  | <b>105.8</b> | <b>94.8</b> | <b>1,732</b>  |
| <b>EU</b>              | <b>4,173</b>  | <b>26.5%</b> | <b>95.9</b>  | <b>102.4</b> | <b>107.1</b> | <b>92.1</b> | <b>627</b>    |
| Austria                | 64            | 0.4%         | 105          | 111          | 120          | 87          | 21            |
| Belgium                | 137           | 0.9%         | 104          | 108          | 117          | 92.5        | 34            |
| Denmark                | 72            | 0.5%         | 110          | 103          | 75           | 79          | -3            |
| Finland                | 65            | 0.4%         | 103          | 131          | 121          | 100         | 14            |
| France                 | 527           | 3.3%         | 97           | 100          | 111          | 100         | 59            |
| Germany                | 1,179         | 7.5%         | 88           | 90           | 99           | 79          | 236           |
| Greece                 | 99            | 0.6%         | 106          | 115          | 124          | 125         | -1            |
| Ireland                | 57            | 0.4%         | 93           | 120          | 110          | 113         | -2            |
| Italy                  | 532           | 3.4%         | 102          | 113          | 122          | 93.5        | 152           |
| Luxembourg             | 13            | 0.1%         | 76           | 67           | 67           | 72          | -1            |
| Netherlands            | 216           | 1.4%         | 108          | 92           | 105          | 94          | 24            |
| Portugal               | 68            | 0.4%         | 106          | 129          | 124          | 127         | -2            |
| Spain                  | 301           | 1.9%         | 102          | 122          | 122          | 115         | 21            |
| Sweden                 | 65            | 0.4%         | 103          | 104          | 155          | 104         | 33            |
| UK                     | 778           | 4.9%         | 91           | 102          | 93           | 87.5        | 43            |
| <b>기타 유럽</b>           | <b>102</b>    | <b>0.7%</b>  | <b>96.0</b>  | <b>103.4</b> | <b>101.0</b> | <b>96.5</b> | <b>5</b>      |
| Iceland                | 3             | 0.0%         | 105          | 105          | 120          | 110         | 0             |
| Norway                 | 45            | 0.3%         | 93           | 111          | 108          | 101         | 3             |
| Switzerland            | 54            | 0.3%         | 98           | 97           | 94           | 92          | 1             |
| <b>동구권</b>             | <b>4,375</b>  | <b>27.8%</b> | <b>67.3</b>  | <b>79.4</b>  | <b>71.9</b>  | <b>98.0</b> | <b>-1,143</b> |
| Bulgaria               | 73            | 0.5%         | 78           | 84           | 84           | 92          | -6            |
| Czech Republic         | 192           | 1.2%         | 79           | 82           | 99           | 92          | 13            |
| Hungary                | 102           | 0.6%         | 72           | 96           | 96           | 94          | 2             |
| Poland                 | 564           | 3.6%         | 78           | 96           | 96           | 94          | 11            |
| Romania                | 262           | 1.7%         | 60           | 60           | 68           | 92          | -63           |
| Russia                 | 2,389         | 15.2%        | 66           | 83           | 67           | 100         | -788          |
| Slovakia               | 54            | 0.3%         | 91           | 84           | 86           | 92          | -3            |
| Ukraine                | 740           | 4.7%         | 58           | 58           | 58           | 100         | -309          |
| <b>기타 부속서 I</b>        | <b>7,089</b>  | <b>45.0%</b> | <b>113.1</b> | <b>105.3</b> | <b>125.9</b> | <b>94.3</b> | <b>2,244</b>  |
| Australia              | 475           | 3.0%         | 100          | 115          | 128          | 108         | 95            |
| Canada                 | 554           | 3.5%         | 115          | 110          | 129          | 94          | 194           |
| Japan                  | 1,154         | 7.3%         | 110          | 104          | 124          | 94          | 346           |
| New Zealand            | 51            | 0.3%         | 110          | 116          | 112          | 100         | 6             |
| USA                    | 4,856         | 30.9%        | 115          | 104          | 126          | 93          | 1,602         |
| <b>주요 개도국</b>          | <b>4,444</b>  | <b>100%</b>  | <b>127.2</b> |              | <b>222.0</b> |             |               |
| China                  | 2,374         | 53.4%        | 127          |              | 224          |             |               |
| India                  | 602           | 13.5%        | 133          |              | 252          |             |               |
| Mexico                 | 308           | 6.9%         | 106          |              | 163          |             |               |
| Argentina              | 100           | 2.3%         | 128          |              | 211          |             |               |
| Brazil                 | 239           | 5.4%         | 120          |              | 212          |             |               |
| Korea                  | 305           | 6.9%         | 150          |              | 240          |             |               |
| South Africa           | 297           | 6.7%         | 108          |              | 133          |             |               |
| Indonesia              | 158           | 3.6%         | 144          |              | 313          |             |               |
| Malaysia               | 60            | 1.4%         | 153          |              | 311          |             |               |

주) 한국 제외한 '주요 개도국'은 이산화탄소 배출량임. 자료원: UNFCCC, IEA, WRI, USEIA

## 2.2 교토의정서 협상과정에서의 감축목표 설정방식에 대한 논의 경과

교토의정서의 국가별 감축목표 설정이 비록 원칙이나 체계적인 방법론에 따르지 않았으나 이를 위한 협상과정에서 각국은 여러 가지 원칙과 방법론을 제시하였다. 교토의정서를 탄생시키기 위한 협상을 이끌었던 AGBM(Ad Hoc Group on the Berlin Mandate) 회의가 8차까지 진행되는 동안 각국은 17건에 달하는 방법론을 제안하였다.

AGBM을 통해 제안된 17건의 제안을 살펴보면 일인당 배출량, GDP당 배출량, 그리고 일인당 GDP의 3가지 요인이 가장 중요한 지표로 거론되고 있다. 일인당 배출량이란 모든 인간이 동일한 권리를 갖는다는 평등주의(egalitarian)를 반영하는 것이고, 일인당 GDP 기준은 지불능력(ability to pay) 혹은 수평적(vertical) 형평성을 반영하는 것이다. 일인당 배출량 지표를 기준으로 감축목표를 할당하자는 주장이 가장 많은 제안(9건)에서 발견된다는 점은 평등주의가 가장 우세한 원칙으로 인식된다는 것으로 해석할 수 있다.

GDP당 배출량 기준은 특정의 형평성 원칙에서 파생된 개념은 아닐 수 있지만 많은 국가에서 제기되어 왔다. 이 기준의 논거를 찾는다면 온실가스의 배출을 유발하는 에너지의 이용이 경제적 부를 창출하기 위한 불가피한 투입요소라는 인식 하에, 가능한 한 온실가스가 덜 배출되는 방향으로 경제활동을 해야 한다는 당위론의 표출이라 하겠다. 이 기준은 교토의정서 이후의 논의과정에서도 개도국의 감축의무와 연계되어 꾸준히 거론되고 있다.

현재 배출량을 기준으로 하는 실적기준(grandfathering)은 주권(sovereignty)을 존중하는 현실적 접근으로 정치적 수용가능성이 높음에도 불구하고 이 원칙을 제안한 경우는 3건에 불과하였다. 이는 형평성의 대원칙으로서 적절하지 않다는 인식이 표출된 것으로 이해할 수 있다. 하지만 정치적 타협의 산물인 교토의정서에서 각국의 감축목표가 과거실적(1990년 배출량)을 크게 벗어나지 않게 결정되었다는 점은 실적기준 배분방식이 현실적으로 매우 중요한 역할을 하였다고 판단할 수 있다.

실적기준과 반대되는 개념이라 할 수 있는 오염원인자 부담원칙(polluter pays principle)은 누적 배출량이라는 지표의 형태로 5개의 제안에서 발견되는데, 브라질, 한국, 이란 등 개도국들에서 강하게 주장되고 있다. 누적배출량 수준이 높은 국가가 대부분 선진국이고 정치적 영향력이 큰 이들 국가가 누적배출량 기준을 선호하지 않는다는 점에서 이 원칙은 교토의정서 협상과정에서 중요한 역할을 하지

못한 것으로 평가된다. 하지만 환경문제를 다루는 데 있어서 가장 중요한 대원칙의 하나로 인식되고 있는 오염원인자 부담원칙의 정당성은 앞으로 개도국의 감축의무를 논의할 때 훨씬 더 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

국가별 감축목표 이행비용을 산정하여 GDP에 비례하도록 삭감목표를 배분하자는 의미의 수평적(vertical) 기준은 비록 합리적이며 이상적인 방법중의 하나이지만 삭감목표 이행비용을 산정한다는 것이 기술적으로 곤란하기 때문에 이러한 방법을 제안하는 경우는 단 1건에 불과하였다.

우리나라도 AGBM 6차 회의에 독자적인 제안을 제출한 바 있다. (문서번호: FCCC/ AGBM/1997/MISC.1/Add.1) 이 제안에서 우리나라는 형평성과 ‘공동의 차별화된 책임과 능력’ 및 ‘비용효과성과 경제개발 및 개방적 국제경제시스템과의 조화’라는 세 가지 원칙을 강조하였다. 여기에서 형평성이란 산업혁명 이후의 누적 배출량에 따른 부속서 I국가 간의 배출량 할당을 의미하며, 능력이란 일인당 GDP를 기초로 GDP에 따른 온실가스 배출의 탄력성(elasticity)을 뜻하는 것이라 밝히고 있다.

AGBM 협상과정에서 제안되었던 감축의무 분담방식들은 다양한 형평성 원칙 및 현실적 감축의무 설정방식들에 대한 각국의 입장을 살펴볼 수 있다는 점에서 향후 추가 협상의 방향을 예측하는데 유용한 정보를 제공한다. 하지만 상당히 많은 제안들이 추상적인 원칙이나 고려해야할 변수의 나열에 그칠 뿐 구체적인 계산방식을 결여하고 있다. 즉, 제안에서 주장하는 바가 정확히 무엇인지가 불명확한 경우가 많다. 앞에서 살펴본 17개의 제안 중에서 명확한 감축목표 산정공식을 발견할 수 있는 경우는 프랑스, 브라질-RIVM, 노르웨이, 일본(2차) 등에 불과한데 그나마 브라질-RIVM의 제안은 너무 복잡하며 노르웨이의 제안은 핵심적 모수(parameter)인 가중치의 결정방법을 결여하고 있어 적용상의 문제점이 여전히 남아 있다.

### 2.3 Triptych 방법론

유럽연합은 교토의정서 4조에 따라 유럽연합의 의정서상 저감목표인 1990년 대비 -8%라는 총량적 감축의무를 소속국가간에 차별적으로 하는 것에 합의한 바 있는데, 이 때 적용된 방법론이 부문별 접근방식의 일종인 Triptych 방법론(sectoral approach; TSA)이다. TSA에서는 전력부문, 국제경쟁력과 밀접히 관련된 에너지집약산업, 그리고 가정, 상업 등 내수부문을 포괄하는 국내부문의 세 부문으로 구분

<표 III-2> AGBM 협상과정에서 제안되었던 감축의무 설정방식 개요

| 제안국        | 제안 시기 | 원칙                 | 주요 특징           | 지 표 (괄호안의 ×는 부수적 고려사항임을 의미함) |         |          |         |        |          |        |             |         |               |
|------------|-------|--------------------|-----------------|------------------------------|---------|----------|---------|--------|----------|--------|-------------|---------|---------------|
|            |       |                    |                 | 배출량                          | 일인당 배출량 | GDP당 배출량 | 일인당 GDP | 누적 배출량 | 수출 배출 비중 | 인구 성장률 | 수출 화석연료 의존도 | 면적당 배출량 | 기타            |
| 프랑스        | 96.12 | 평등주의               | 배출량에 누진적 수렴     |                              | ×       |          |         |        |          |        |             |         |               |
| 스위스        | 96.12 | 평등주의               | 누진적, 수렴,        |                              | ×       |          |         |        | (×)      |        |             |         |               |
| EU         | 97.3  | 평등주의               | 수렴, 2 지표중 선택    |                              | ×       | ×        |         |        |          |        |             |         |               |
| 브라질        | 97.5  | 오염자 부담             | 누적 배출량에 비례하여 부담 |                              |         |          |         | ×      |          |        |             |         |               |
| 브라질 - RIVM | 98.11 | 오염자 부담             | 누적 배출량에 비례하여 부담 |                              |         |          |         | ×      |          |        |             |         |               |
| 노르웨이       | 96.11 | 평등주의, 지불능력         | 다기준 공식          |                              | ×       | ×        | ×       |        |          |        |             |         |               |
| 아이슬란드      | 97.1  | 평등주의, 지불능력         | 다기준 공식          |                              | ×       | ×        | ×       |        |          |        |             |         | 신 재생에너지 비중    |
| 호주         | 97.1  | 복합적                | 5개 지표           |                              |         | ×        | × (추정)  |        | ×        | × (추정) | ×           |         |               |
| 이란         | 97.3  | 복합적                | 8개 지표           |                              |         |          |         | ×      |          |        | ×           |         | 다수            |
| 일본 I       | 96.12 | 주권, 평등주의           | 2개 지표중 선택가능     | ×                            | ×       |          |         |        |          |        |             |         |               |
| 일본 II      | 97.10 | 주권, 평등주의           | 4개 지표중 선택가능     | ×                            | ×       | ×        |         |        |          | ×      |             |         |               |
| Triptique  | 97    | 수평적, 지불능력          | 부문별로 별도 원칙 활용   |                              |         |          |         |        |          |        |             |         |               |
| 폴란드        | 97.3  | 오염자 부담, 지불능력, 평등주의 | 4개 지표           | ×                            | ×       | ×        | ×       |        |          |        |             |         |               |
| 에스토니아      | 96.3  | 지불능력, 오염자 부담       | 2개 지표           |                              |         |          | ×       | (×)    |          |        |             |         |               |
| 폴란드, 러시아   | 95.8  | 복합적                | 7개 지표           |                              | ×       |          | ×       |        |          |        |             | ×       | 다수            |
| 한국         | 97.2  | 지불능력, 오염자 부담       | 3개 지표           |                              |         | ×        | ×       | ×      |          |        |             |         | GDP intensity |
| 뉴질랜드       | 96.11 | 수평적                | 최소 비용           |                              |         |          |         |        |          |        |             |         | 한계저감비용        |

자료원: Torvanger and Godal(1999) 수정, 보완

하고, 각각에 대하여 별도의 원칙을 적용하고 있다. 전력부문은 일반적으로 GDP의 증가와 밀접한 정의 상관관계를 갖고 있다는 가정 하에, 유럽연합 전체의 전력생산증가를 연간 1.5%로 가정(Cohesion Fund 국가는 1.9%/yr, 기타 0.9%/yr)하고,

&lt;표 III-3&gt; Triptych 방법론의 주요 가정

| 목표 연도                 | Phylipsen 외(1998)                                    | Groenenberg 외(2000)                                                                                      |
|-----------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                       | 2010                                                 | 2015                                                                                                     |
| <b>중공업</b>            |                                                      |                                                                                                          |
| 연간 생산증가율              | 모든 EU국가 1.2 %                                        | EU 1.1% <sup>1</sup><br>OECD 1.0% <sup>1</sup><br>동부유럽/전 USSR 0.5% <sup>1</sup><br>개도국 3.9% <sup>1</sup> |
| 효율 향상율                | 특정에너지소비감소(GJ/t)관련<br>-1.29% <sup>2</sup>             | 특정CO <sub>2</sub> 배출감소(MtCO <sub>2</sub> /t) 관련<br>-1.5%(탄소효율향상을 포함)                                     |
| 탈탄소율                  | -0.175                                               |                                                                                                          |
| <b>발전</b>             |                                                      |                                                                                                          |
| 성장율                   | Cohesion Fund 국가: 1.9% <sup>3</sup><br>다른 국가: 0.9%   | EU 1.9%, 북미 2%, 동구권 0.9%, OECD<br>(태평양) 1.5%, 남아시아 3.6%, 기타 아시아 4.4%, 남미 3.0%, 러시아 0.7% 등                |
| 고체 화석연료감소             | - UK와 덴마크: 65%<br>- 독일: 50%<br>- 이외: 30%             | 모든 국가: 30%                                                                                               |
| 원자력                   | Conventional Wisdom scenario<br>(Capros et al. 1995) | 1990 부담과 동일                                                                                              |
| 재생 에너지                | 1990년 규모 + 2010년 발전량의 6.56%                          | 1990년 규모 + 2015년 발전량의 8%                                                                                 |
| <b>국내 부문</b>          |                                                      |                                                                                                          |
| convergence level     | 2030년에 2.96 t/c까지                                    | 2040년 3.44 t/c까지                                                                                         |
| degree day correction | yes                                                  | no                                                                                                       |

주 1) 전체 지역에 대한 6개의 다른 부문에서의 1990년 배출에 근거한 평균

2) 1990-1995년: -0.66%, 1995-2010년: -1.5%

3) 그리스, 아일랜드, 포르투갈, 스페인

자료원: Groenenberg 외(2000)

다음의 기준들을 적용하여 감축량을 산정하고 있다.<sup>6)</sup>

- ① 2010년의 신재생에너지 발전비중은 1990년의 비 신재생에너지 발전량 대비 8%로 설정
- ② 석탄발전량은 1990년 대비 70% 이하로 설정<sup>7)</sup>
- ③ 석유발전량도 1990년 대비 70%로 제한함.
- ④ 원자력발전은 각국의 재량에 맡김.<sup>8)</sup>
- ⑤ CHP의 발전량 비중은 2010년에 15%로 가정함.

6) Phylipsen 외(1998)

7) 이는 석탄발전소의 노후화와 가스발전의 경쟁력을 감안할 때 가능성이 큰 시나리오로 평가되었는데, 이미 석탄발전을 크게 줄인 국가들의 경우는 보다 엄격한 제한을 가함. (덴마크 65%, 독일 50%, 영국 65% 등)

8) 프랑스의 경우 1990년 대비 22%의 증가가 예상되며, 스웨덴의 경우는 완전폐기를 추진중임. EU 전체적으로 1990년 대비 약 5%의 증가가 예상됨. 1990년의 경우 원자력발전량은 720TWh로서 EU전체 전력생산의 약 35%를 점함.

## ⑥ 이외의 발전은 가스가 담당함.

에너지집약산업에 있어서는 Cohesion Fund country의 성장률 2.1%/yr, 이외는 1.1%/yr 가정하고, Decarbonization of fuel = 0.17%/yr, energy efficiency improvement = 1.5%/yr를 가정하였으며, 국내부문은 모든 국가가 대해 일인당 CO<sub>2</sub> 배출이 2030년까지 1990년도 전체 평균 대비 30%감소된 수준으로 수렴토록 하였다. 2010년의 배출량은 중간값을 취함(linear interpolation)으로서 산정하고 이렇게 구한 일인당 배출량에 국가별 degree day를 곱하고(climate correction), 이에 예측 인구수를 곱한 다음 reverse climate correction을 적용하고 있다.

Triptych 방법론이 비록 부문별 저감목표를 별도로 도출하고 있지만 이는 국가 단위의 저감목표 도출을 위한 과정일 뿐 저감목표 자체가 분야별로 설정되어야 한다는 것은 아니다. 오히려 국가 단위에서는 저감노력의 효율적 이행을 위해 분야별 목표를 강제하지 않아야 한다고 주장하고 있다.<sup>9)</sup>

Groenenberg 외(2000)의 연구에서는 EU내에서 적용했던 Triptych 방법론을 전세계로 확장하고 목표연도를 2015년으로 설정하여 분석한 결과를 제시하고 있다. 이에 따르면 미국은 1990년 대비 -24%, 영국 -25%, 러시아 -47%, 일본 -15% 등의 감축목표가 도출되고 있다. 우리나라는 경우는 2015년의 이산화탄소 배출목표가 1990년 대비 41% 증가한 335 백만CO<sub>2</sub>톤으로 나타나고 있다. 산업자원부·에너지경제연구원(2000)의 전망에 따르면 2015년의 에너지부문 이산화탄소 배출량이 693 백만CO<sub>2</sub>톤에 이를 것으로 예상하고 있는데, 이를 기준으로 할 때 Triptych 방법론에 따른 저감필요량은 전체의 51.6%에 상당하는 수준이다. 이와 같은 저감목표는 지나치게 엄격해 현실성이 없다고 판단되지만 우리나라의 배출삭감에 대한 국제적 압력이 심각한 수준으로 높아질 수 있음을 시사하는 것이다.

한편 Triptych 방법에 따른 저감목표의 도출은 부문별 저감가능성 혹은 감축압력의 차이를 볼 수 있는 틀을 제공한다는 점에서 중요한 의미가 있다. Groenenberg 외(2000)의 연구결과에 따르면 중공업 부문(heavy industry)<sup>10)</sup>의 배출목표는 1990년 대비 90% 증가한 119 백만CO<sub>2</sub>톤, 전력부문은 19% 증가한 45 백만CO<sub>2</sub>톤, 기타 내수부문은 25% 증가한 171 백만CO<sub>2</sub>톤으로 제시하고 있다. 특히 전력부문의 경우 산업자원부·에너지경제연구원(2000)의 온실가스 배출전망이 2000~2010년 기간에도 연평균 6%의 높은 성장률을 예상하고 있다는 점을 고려할

9) 이에 대한 설명은 Groenenberg 외(2000)의 6쪽을 참조하시오.

10) Triptych 방법론에서는 철강, 화학, 제지, 비금속광물, 비철금속, 전력을 제외한 에너지전환 부문(원유정제, 고체연료 생산, 석탄/석유/가스 채굴 등)을 중공업 부문(에너지 집약산업)에 포함시키고 있다.

<표 III-4> Triptych방법론에 따른 주요국가의 배출저감목표(백만CO<sub>2</sub>톤)

| 국가명            | 중공업  |      |      | 발전부문 |      |       | 국내부문 |       |      |      | 전체    |       |      |
|----------------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|------|-------|-------|------|
|                | 1990 | 2015 | 절감률  | 1990 | 2015 | 절감률   | 1990 | 2015  | 절감률  | 일인당  | 1990  | 2015  | 절감률  |
| Argentina      | 13   | 20   | 53%  | 15   | 15   | 2%    | 69   | 128   | 86%  | 39%  | 97    | 164   | 68%  |
| Australia      | 46   | 41   | -12% | 125  | 87   | -30%  | 96   | 94    | -2%  | -25% | 267   | 222   | -17% |
| Austria        | 12   | 10   | -11% | 10   | 9    | -6%   | 37   | 34    | -11% | -18% | 59    | 53    | -10% |
| Belgium        | 29   | 26   | -11% | 20   | 13   | -34%  | 59   | 45    | -23% | -26% | 107   | 84    | -22% |
| Brazile        | 66   | 119  | 81%  | 6    | 45   | 658%  | 147  | 503   | 243% | 154% | 218   | 667   | 205% |
| Bulgaria       | 9    | 8    | -18% | 28   | 12   | -56%  | 22   | 24    | 8%   | 21%  | 59    | 44    | -26% |
| Canada         | 87   | 80   | -8%  | 96   | 83   | -14%  | 249  | 188   | -24% | -39% | 432   | 352   | -19% |
| China          | 837  | 1565 | 87%  | 596  | 666  | 12%   | 940  | 3457  | 268% | 201% | 2373  | 5688  | 140% |
| Chinses Taipei | 46   | 86   | 86%  | 36   | 52   | 47%   | 33   | 69    | 108% | 71%  | 115   | 207   | 80%  |
| Czech Republic | 28   | 24   | -12% | 45   | 31   | -32%  | 77   | 49    | -36% | -34% | 150   | 104   | -30% |
| Denmark        | 4    | 4    | -8%  | 23   | 17   | -24%  | 26   | 22    | -18% | -21% | 53    | 43    | -20% |
| Estonia        | 1    | 1    | -10% | 17   | 8    | -51%  | 9    | 6     | -35% | -22% | 26    | 15    | -44% |
| EU             | 568  | 523  | -8%  | 875  | 630  | -28%  | 1761 | 1445  | -18% | -19% | 3204  | 2598  | -19% |
| Finland        | 14   | 13   | -8%  | 15   | 9    | -36%  | 27   | 22    | -18% | -22% | 55    | 44    | -20% |
| France         | 75   | 68   | -8%  | 22   | 14   | -38%  | 279  | 240   | -14% | -19% | 376   | 322   | -14% |
| Germany        | 154  | 142  | -7%  | 311  | 203  | -35%  | 517  | 377   | -27% | -30% | 982   | 722   | -26% |
| Greece         | 9    | 8    | -11% | 34   | 24   | -29%  | 29   | -33   | 15%  | 13%  | 73    | 66    | -9%  |
| Hungary        | 11   | 10   | -10% | 16   | 7    | -54%  | 39   | 32    | -17% | -5%  | 66    | 49    | -25% |
| Iceland        | 0    | 0    | -17% | 0    | 0    | 4659% | 2    | 2     | -18% | -34% | 2     | 2     | -10% |
| Iran           | 13   | 21   | 62%  | 31   | 35   | 10%   | 154  | 342   | 122% | 20%  | 198   | 398   | 101% |
| Ireland        | 3    | 3    | -7%  | 11   | 8    | -24%  | 19   | 16    | -19% | -24% | 34    | 27    | -20% |
| Italy          | 84   | 78   | -7%  | 108  | 94   | -13%  | 218  | 196   | -10% | -6%  | 409   | 368   | -10% |
| Japan          | 225  | 202  | -10% | 291  | 224  | -23%  | 541  | 477   | -12% | -13% | 1057  | 903   | -15% |
| Kazakhstan     | 8    | 6    | -28% | 115  | 49   | -57%  | 127  | 97    | -23% | -32% | 251   | 153   | -39% |
| Latvia         | 0    | 0    | -24% | 0    | 0    | 23%   | 15   | 10    | -36% | -23% | 16    | 10    | -35% |
| Lithuania      | 1    | 1    | -11% | 5    | 1    | -75%  | 15   | 13    | -12% | -8%  | 21    | 16    | -26% |
| Malaysia       | 11   | 17   | 59%  | 15   | 20   | 33%   | 34   | 80    | 135% | 50%  | 60    | 117   | 96%  |
| Mexico         | 86   | 149  | 72%  | 64   | 67   | 5%    | 152  | 337   | 122% | 55%  | 303   | 554   | 83%  |
| Netherlands    | 41   | 40   | -4%  | 37   | 31   | -15%  | 81   | 68    | -17% | -23% | 159   | 138   | -13% |
| Norway         | 6    | 5    | -10% | 0    | 5    | 6658% | 18   | 17    | -4%  | -11% | 23    | 27    | 14%  |
| New Zealand    | 9    | 8    | -13% | 4    | 2    | -31%  | 20   | 19    | -3%  | -26% | 32    | 30    | -9%  |
| Poland         | 39   | 31   | -20% | 141  | 84   | -40%  | 172  | 152   | -11% | -15% | 351   | 268   | -24% |
| Portugal       | 8    | 8    | -6%  | 14   | 12   | -15%  | 19   | 28    | 46%  | 50%  | 41    | 47    | 15%  |
| Romania        | 44   | 35   | -19% | 51   | 21   | -59%  | 59   | 68    | 14%  | 22%  | 154   | 124   | -20% |
| Russia         | 149  | 121  | -19% | 850  | 249  | -71%  | 860  | 621   | -28% | -22% | 1859  | 991   | -47% |
| Saudiarabi     | 49   | 75   | 53%  | 37   | 43   | 17%   | 83   | 137   | 64%  | -21% | 169   | 255   | 51%  |
| Singapore      | 9    | 14   | 50%  | 13   | 17   | 25%   | 11   | 14    | 26%  | -5%  | 34    | 45    | 33%  |
| Slovakia       | 4    | 4    | -12% | 8    | 5    | -39%  | 42   | 28    | -33% | -35% | 54    | 37    | -32% |
| Slovenia       | 1    | 1    | -18% | 4    | 2    | -47%  | 7    | 6     | -9%  | -5%  | 13    | 10    | -23% |
| South Africa   | 57   | 106  | 85%  | 136  | 127  | -7%   | 106  | 199   | 88%  | 13%  | 299   | 432   | 44%  |
| South Korea    | 63   | 119  | 90%  | 38   | 45   | 19%   | 137  | 171   | 25%  | 5%   | 238   | 335   | 41%  |
| Spain          | 48   | 43   | -9%  | 62   | 47   | -25%  | 105  | 123   | 17%  | 17%  | 215   | 213   | -1%  |
| Sweden         | 10   | 9    | -10% | 4    | 2    | -32%  | 39   | 36    | -9%  | -15% | 52    | 47    | -10% |
| Switzerland    | 4    | 4    | -6%  | 1    | 1    | 17%   | 40   | 33    | -17% | -26% | 44    | 37    | -16% |
| Thailand       | 10   | 18   | 74%  | 32   | 42   | 32%   | 52   | 166   | 219% | 167% | 94    | 226   | 139% |
| Turkey         | 19   | 34   | 77%  | 27   | 21   | -21%  | 91   | 216   | 138% | 70%  | 137   | 272   | 98%  |
| Ukraine        | 73   | 53   | -28% | 146  | 76   | -48%  | 391  | 287   | -27% | -28% | 610   | 416   | -32% |
| UK             | 78   | 71   | -9%  | 205  | 160  | -22%  | 305  | 210   | -31% | -26% | 588   | 441   | -25% |
| United Sates   | 874  | 834  | -5%  | 1887 | 1444 | -23%  | 2844 | 1972  | -31% | -43% | 5605  | 4250  | -24% |
| Total          | 3659 | 4673 | 28%  | 5998 | 4483 | -25%  | 9735 | 14776 | 52%  | 23%  | 19392 | 23932 | 23%  |

자료원: Groenenberg 외(2000)

때 Triptych 방법론은 지나치게 강한 목표를 제시하는 위험을 안고 있다.

특징적인 것은 중공업부문의 배출목표가 타 부문에 비해 매우 높게 나타나고 있는데, 이는 Triptych 방법론에서 중공업부문이 국제무역과 밀접히 연계되어 있고 재화의 생산국과 소비국이 상이한 경우가 많기 때문에 생산국에 대한 감축의무가 완화되어야 한다는 논리를 채택하고 있기 때문이다. 이러한 점은 수출의존도와 중공업 비중이 높은 우리나라의 특수상황을 대변할 수 있는 논리로서 향후 협상과정에서 충분히 활용되어야 할 것이다.

구체적으로, Groenenberg 외(2000)는 2020년까지 우리나라의 중공업 부문 연평균 실물생산증가율을 철강 4.0%, 화학 4.1%, 원유정제 3.0%, 제지 5.5%, 시멘트 4.0% 등으로 가정하고 있다. (WEC(1995)의 BAU 시나리오에서 개도국에 대한 전망을 가정) 한편 산업자원부·에너지경제연구원(2000)에 따르면 2000~2020년간 중공업 부문의 주요 업종별 연평균 에너지 수요 증가율이 석유화학의 경우 0.8%, 비금속광물 1.2%, 1차금속 1.4%, 조립금속 6.0% 등으로 예측하고 있으며, 제조업 전체의 증가율도 1.9%로 전망하고 있다. 이는 우리나라의 중공업 부문에 대한 성장전망에 있어서 우리의 예측과 국제적 기대가 큰 괴리를 나타내는 것이며 보다 신중한 접근이 필요한 것으로 판단된다. 우리나라의 감축목표가 BAU 전망에 기초하여 결정될 경우 상대적으로 낮은 성장률을 가정하는 우리의 전망치는 자칫 무리한 감축의무 부담을 초래할 수도 있을 것이다.

<표 III-5> 부문별 온실가스 배출량 전망 (단위: 백만TC, %),

| 부문      | 1999             | 2005             | 2010             | 2015             | 2020             | 연평균증가율(%) |           |           |
|---------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------|-----------|-----------|
|         |                  |                  |                  |                  |                  | 2000-2010 | 2011-2020 | 2000-2020 |
| 산업부문    | 40.3<br>(36.0)   | 46.4<br>(31.6)   | 51.0<br>(29.8)   | 55.0<br>(29.0)   | 58.5<br>(28.4)   | 2.2       | 1.4       | 1.8       |
| 수송부문    | 23.3<br>(20.8)   | 33.2<br>(22.6)   | 38.7<br>(22.6)   | 44.0<br>(23.2)   | 48.0<br>(23.3)   | 4.7       | 2.2       | 3.5       |
| 가정부문    | 11.8<br>(10.6)   | 14.4<br>(9.8)    | 16.6<br>(9.7)    | 18.2<br>(9.6)    | 19.3<br>(9.4)    | 3.2       | 1.5       | 2.4       |
| 상업·공공기타 | 7.7<br>(6.9)     | 9.5<br>(6.4)     | 10.6<br>(6.2)    | 11.4<br>(6.0)    | 12.2<br>(5.9)    | 3.0       | 1.4       | 2.2       |
| 전환부문    | 28.8<br>(25.7)   | 43.6<br>(29.6)   | 54.4<br>(31.7)   | 61.1<br>(32.2)   | 68.2<br>(33.1)   | 6.0       | 2.3       | 4.2       |
| 합 계     | 111.9<br>(100.0) | 147.1<br>(100.0) | 171.4<br>(100.0) | 189.7<br>(100.0) | 206.2<br>(100.0) | 4.0       | 1.9       | 3.0       |

자료원: 산업자원부·에너지경제연구원(2000)

## 2.4 아르헨티나의 삭감목표설정방식<sup>11)</sup>

아르헨티나는 목표설정을 위해 다음과 같은 네 개의 프로젝트를 수행하였다.

- ① 1990-1994년 동안 배출통계 수정 및 1997년 통계 작성
- ② 2012년까지의 BAU 배출시나리오 작성: 이를 위해 거시 예측과 부문별 배출량 예측을 수행함. 거시예측은 에너지, 산업 및 폐기물 관련 배출이 GDP와 밀접히 연관되어 있다는 점에서 시급한 작업이었으며, 네 개의 유명한 컨설팅 회사로부터 각각 3개(low, medium, and high growth)의 시나리오를 제안 받음. 부문별 배출량 예측은 GDP-dependent sectors 뿐만 아니라 해외 가격 등 국제시장조건과 밀접히 관련된 crops, husbandry 등에 대해서도 high/medium/low 시나리오가 계산됨.
- ③ 가능한 저감대안의 분석, 저감량 및 비용 계산
- ④ 절대량 혹은 비율 삭감, GDP 연동방식 등 다양한 목표방식 검토

배출량 재산정 결과 1997년 GHG 배출이 1990년 대비 21% 증가(76.8 → 63.3 MMTC)하였고 GDP당 배출은 0.35에서 0.28로 20% 감소하였다. GDP-dependent sectors의 배출비중이 52%에서 59%로 증가하였으나 농업부문의 배출이 여전히 높은 비중을 차지하고 있었다. 2008-2012의 배출량은 시나리오에 따라 1997년 대비 24~59% 증가할 것으로 예측되며, GDP당 배출량은 3-22% 감소하여 2008-2012년 평균 0.22-0.27이 될 것으로 예측되었다.

풍력에너지 도입, 탈루성 가스배출 억제, 매립지 메탄가스 회수, 직파율 제고 등 10여개의 저감대안이 검토되었으며, 이를 토대로 지속가능개발을 유지하고 hot air의 발생을 방지할 수 있는 목표의 수준과 유형에 대하여 분석하였다. 결과적으로 GDP의 제공근에 대한 배출량의 비율로서 목표를 계산기로 하였는데, 이는 GDP와 밀접하지 않은 농업부문 등의 배출량의 비중이 높기 때문이 단순히 GDP당 배출량의 지표를 사용할 경우 경제상황에 따라 지나친 제약이나 hot air의 발생이라는 바람직하지 않은 결과를 초래할 가능성이 크기 때문이다.

11) Grand(2000)

2.5 축소수렴방식(Contraction and Convergence)<sup>12)</sup>

축소수렴방식(Contraction and Convergence)은 GCI(Global Commons Institute)에 의해 제안된 것으로 1990년 제2차 세계기후회의에서 소개되었다. 지구기후변화를 방지하기 위해서는 새롭고 엄격한 형평성 원칙이 필요하다는 인식하에 2100년까지 대기중 이산화탄소 농도를 안정화하기 위한 일인당 이산화탄소 배출량의 수렴경로를 제시하고 있다. 이름에서 나타난 바와 같이 이 방식에서는 지구생태학적으로 수용가능한 대기중 이산화탄소 농도를 유지하기 위한 배출량의 감축(Contraction) 시나리오와 함께, 정치적으로 이를 달성하기 위한 국가별 배출량의 배분에 있어서 일인당 배출량 기준에 따른 수렴(Convergence)이라는 형평성 원칙을 함께 제시하고 있다.

이산화탄소의 대기중 농도 안정화를 위한 전체배출량의 감축시나리오에 있어서 GCI는 IPCC(1996)에서 제시하고 있는 배출량 시나리오를 채택하고 있으며, 국가별 배출량의 배분은 2045년까지 일인당 배출량이 동일하게 되도록 점진적으로 증감시키는 방식을 제안하고 있다. 또한 이 방식하에서 개별 국가가 인구증가정책을 통해 배출허용량을 증가시키려는 유인을 갖는다는 단점을 예방하기 위해 부속서 I 국가의 경우 2000년 이후, 비부속서 I 국가의 경우 2045년 이후의 인구증가율(배출량 할당 과정에서 고려되는)을 고정시킬 것을 함께 제안하고 있다. 이 방식의 기본 가정은 다음과 같다.

## ① 생존(Survival)과 IPCC 시나리오

FCCC와 IPCC 및 이외 보고서의 과학적 증명에 따라 1990-2100년 110년의 기간동안의 인위적 CO<sub>2</sub> 총배출은 IPCC의 작업그룹의 배출시나리오 'S350'<sup>13)</sup>이나 'S450'에 설정된 값과 일치한다고 가정하였다. 또한 S350을 세계 경제, 생활 수준, 자연 생태계에 미치는 부정적 영향을 피할 수 있는 농도로 간주하였으며, S450은 상한선으로 고려하였다. S550 이상의 시나리오에 대하여는 생태계와 인간 사회에 심각한 부정적 영향을 줄 수 있다는 측면에서 무시하고 있다.

## ② 축소(Contraction)

①의 가정을 실행하기 위하여 CO<sub>2</sub> 배출을 안정화시키는 목표값(target value)과 목표 년도를 제안하였다. 목표 년도는 2100년 이전의 해로 설정하고 있는데, S350 시나리오의 목표 년도는 2050년으로 S450시나리오의 목표 년도는 2100년으로 가

12) Global Commons Institute(2000)

13) 'S350'은 목표 년도까지 대기 중 CO<sub>2</sub> 농도를 350ppmv로 제한하겠다는 시나리오임.

정하였다. 2100년 이후에 안정화를 나타내는 시나리오에 대하여는 2100년의 전지구적 배출감소율을 사용하여 나타내고 있다. 22세기에 대하여는 전지구적 배출이 IPCC의 안정화 목표에 점차적으로 접근하도록 더 단순한 형태를 갖도록 설계하고 있다.

### ③ 수렴(Convergence)

국제 협상이 성공적으로 이루어지기 위해서는 위의 배출 목표가 공정하고 달성 가능한 방법으로 각국에 할당되어야 한다. 이를 위하여 협상을 통해 결정된 수렴년도(convergence year)에 동일한 일인당 배출량이 할당될 것을 제안하였다. 수렴년도(Convergence year)가 축소 년도(Contraction year)와 같을 필요는 없다.

### ④ Rio/Kyoto Commitment와의 호환성

1992 FCCC에 정의된 ‘부속서 I’국가들은 2000년까지 1990년 수준으로 배출을 감소시키고 교토 목표치도 달성한다고 가정한다.

### ⑤ 연산방식(Algorithms)

이 시나리오에서는 1990-2200년의 기간을 3-4기간으로 분류하였다.

#### i. 초기단계(1990-2000)

부속서 I 국가의 경우는 1990-1995년간의 배출만큼 1995-2000동안 감소함으로 2000년 배출을 1990년 배출수준과 동일하게 가정하고, 비부속서 I 국가의 경우는 최근의 배출증가 경향을 반영하여 추정한다.

#### ii. 주요 Contraction 단계(2000-2100)

다음의 4차 함수에 따라 배출이 일어난다고 가정한다.

$$z = k + ly + my^2 + ny^3 + py^4$$

z: 전지구의 산업CO<sub>2</sub> 총배출량

y: 년도

k, l, m, n, p: 다음에 따라 결정된다.

i) 시작 년도 2000에 대한 식

ii) 가정②에 설정된 target year에 대하여 target value에 대한 식

iii) dz/dy target에 대한 전체 배출감소율

iv) 2000년의 dz/dy =1.5%(조정가능 변수)

v) 적분에 의해 계산되는 곡선 아래의 영역은 110년간의 총 배출량임

### iii. 2100-2200

단지 추세를 보여주기 위한 것이므로 정확할 필요는 없다. 이 기간동안[1]의 제한값에 대하여 지수 convergence을 설정함으로 축소(Contraction)를 연장시킨다.

### iv. Convergency 단계

전세계 국가에 배출 %을 할당하는 단계이다. 2000년의 실제 비중(share)으로 시작하여, 수렴 연도(convergency year)에는 지구 인구의 실제 비율에 따라 배출을 할당한다. 각 해에 할당되는 수렴(convergence) 정도는 당해와 이전해의 인구를 근거로 하고, 미래 예상 인구는 근거자료로 사용할 수 없다. 다음 식에 따라 배출 할당량을 추정할 수 있다.

$$\text{식 } S_{y+1} = S_y - (S_y - P_{y+1})e^{-a(1-t)}$$

$S_y$  = y해의 국가에 대한 배출할당

$P_y$  = y해의 세계인구의 할당

$t$  = 2000년과 목표 연도사이의 시간(2000년  $t=0$ , 목표연도  $t=1$ )

$a$  = convergency율을 결정하는 변수( $a=4$ )

### v. CO<sub>2</sub> 농도

다음 식으로 인위적인 CO<sub>2</sub>농도를 추정한다.

$$\text{식 } C_y = C_{y-1} + A_0 + A_1Y + A_2E_y + A_3(C_{y-25})^2$$

$C_y$ : y해의 농도

$E_y$ : y해의 세계배출

$A_i$ :  $i=0,1,2,3$ 일때의 회귀분석에 의한 상수

### ⑥ 할당(Allocation)

실제 산업 CO<sub>2</sub> 배출 할당은 축소(Contraction)절차에 따른 전체 배출량에 수렴(Convergence) 절차에 의해 정하여진 각 국가 비중을 곱하여 구한다.

### ⑦ 인구 가정

국가별 인구증가를 예상하는데 UN median figure 사용하였다. 배출권 할당 절차에 대하여 인구증가를 한계(cap)를 사용하였다. 한 해에 대한 목표치를 설정하는

데 있어서 인구 cutoff 연도이후의 연도에 대하여는 인구를 고정시킨다. 인구 cutoff 연도 이후에 대하여는 인구 증가에 따른 추가적인 배출을 할당받지 못한다.

## 2.6 CICERO의 부문별 수렴 방식

CICERO는 공동 의무부담에 대하여 공정성의 주요 일반 원리에 대하여 제시하고 분석하였다. 부담 분배의 공정성 원리는 인간의 기본 필요에 따른 필요(need), 부담을 감당할 수 있는 능력(capacity), 기여도(contribution), 역사적 배출에 따른 책임(guilt) 등 4가지 원리로 분류된다. 이러한 원칙에 따라 CICERO는 부문별 수렴방식(multi-sector convergence approach: MSC)을 제안하였다.<sup>14)</sup> 이 방식은 국가 경제를 부문별로 분류하고, 일인당 배출량이 모든 국가에 대하여 동일하도록 설정한다. 이 방식은 필요한 자료의 측정과 수집이 비교적 용이하고, 배출 할당을 결정하는데 있어서 거시경제 모델이 불필요하다는 장점이 있다. 또한 부문 기준간의 직접 연계가 가능하고 부문의 특정한 요구를 만족시킬 수 있으며 설정에 있어서 융통성이 있다.

첫 번째 단계로서 경제를 발전부문, 가정부문, 수송부문, 산업부문, 서비스부문, 농업부문, 폐기물부문으로 분류한다. 다음으로 전세계의(global) 부문별 배출기준을 설정한다. 각 부문에 대하여 기준 년도, 수렴(convergence) 년도, 중간 목표 년도에 대하여 부문별로 배출기준을 설정하기 위하여, 주요 하위부문 또는 최종 소비자와 주요 부문관련 온실가스 배출, 하위부문, 국가간 부문 배출수준의 변화를 설명할 수 있는 주요 계수, 부문 수준에서의 배출에 대한 주요 유도 작용, 부문별 자본 회수기간, 주요 할당 계수 등 여러 측면을 고려한다. 기준 년도에 대하여, 이러한 기준들은 당해 부문의 세계 평균 일인당 온실가스 배출과 동일하도록 설정한다. 부문별 연간 감소나 제한은 수렴 년도(2100)와 중간 목표 년도나, 목표 년도 이후의 부문 배출 기준을 만족할 수 있도록 설정한다. <표 III-7>는 연간 부문별 배출 완화 표준을 나타낸다. 이러한 표준들은 전 지구의 일인당 부문 배출에 대하여 연간 기준%를 나타낸다. 이러한 표준은 미래 발전에 대하여 다음의 가정에 기초한다. 일인당 발전 소비는 연간 1.5% 증가할 것이며, 생산되는 전력 kW당 온실가스 배출량은 연간 0.8%감소할 것이라 가정한다. 또한 국제 기후변화 협상과 그 결과로서의 정책 및 조치들은 연간 1.3%의 배출감소를 유도할 것이라 가정한다.

14) Jansen 외(2000)

<표 III-6> 부문별 수렴 방식(CICERO)의 부문 분류

| 부 문    | 범 위                                                                                     |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 발전 부문  | 발전과 관련된 GHG <sup>15)</sup> 배출, 산업부문의 사용 전력은 제외                                          |
| 가정 부문  | 전기 사용 관련 배출을 제외한 가정 내 모든 에너지 관련 GHG 배출                                                  |
| 수송부문   | 전기 사용 관련 배출을 제외한 수송으로 인한 모든 에너지 관련 GHG 배출                                               |
| 산업부문   | 산업 전기 사용으로 인한 GHG 배출<br>이외 에너지 관련 GHG 배출<br>산업 공정 내 높은 GWP 가스의 비에너지 관련 GHG배출(특히 시멘트 공업) |
| 서비스 부문 | 전기 사용 관련 배출을 제외한 농업과 서비스로 인한 모든 에너지 관련 GHG 배출                                           |
| 농업 부문  | 농작물 생산으로부터의 비에너지 관련 GHG 배출<br>축산업으로부터의 비에너지 관련 GHG 배출                                   |
| 폐기물 부문 | 폐기물 처리로부터의 비에너지 관련 GHG 배출                                                               |

자료원: Jansen 외(2000)

전세계의 부문별 연간배출 완화표준에 근거한 수렴 년도(2100)의 부문별 배출 기준(global sector emission standard: GSES<sub>s</sub>)은 <표 III-7>와 같이 계산된다.

<표 III-7> 부문별 세계 GHG 배출에 대한 가정(단위: 연간 변화율%)

|        | 인구활동 당 미래 | 미래 baseline<br>탈탄소 가정 | 추가 감소를 포함하는<br>기후변화 협약 가정 | 총 감소 또는<br>제안을 |
|--------|-----------|-----------------------|---------------------------|----------------|
| 발전 부문  | 1.5       | 0.8                   | 1.3                       | -0.6           |
| 산업 부문  | 1.0       | 0.4                   | 1.3                       | -0.7           |
| 수송 부문  | 1.5       | 0.2                   | 1.3                       | 0.0            |
| 가정 부문  | 0.8       | 0.4                   | 1.3                       | -0.9           |
| 서비스 부문 | 1.0       | 0.4                   | 1.3                       | -0.7           |
| 농업 부문  | 0.2       | 0.1                   | 0.1                       | 0.0            |
| 폐기물 부문 | 1.0       | 0.8                   | 1.3                       | -1.1           |

자료원: Jansen 외(2000)

GSESs는 다음 요소들에 따라 결정된다.

- o 기준 년도(Base Year: BY): 2010년을 기준 년도로 설정한다.
- o 기준 년도의 일인당 부문별 배출기준(GSES<sub>by</sub>): 이러한 기준들은 2010년의 부문/국가 수준에서 계획된 세계 평균 GHG배출과 동일하도록 설정한다.
- o 수렴 년도(CY): 이것은 수렴 국가배출기준(convergence national emission

15) CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O만 고려

standard) 이상으로 배출하는 국가가 이 기준까지 배출을 저감해야 하는 년도

<표 III-8> 수렴 년도의 배출 기준 유도<sup>a</sup>

| 부문        | 기준연도(BY)    | GHG/cap2010<br>(kgCO <sub>2eq</sub> )<br>GSES <sub>by</sub> | 완화 표준<br>(연간%)<br>GSEMN | 수렴 연도<br>(CY) | GHG/capCY<br>(kgCO <sub>2eq</sub> )<br>GSES <sub>cy</sub> |
|-----------|-------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------|
| 발전 부문     | 2010        | 1036                                                        | -0.6%                   | 2100          | 591                                                       |
| 산업 부문     | 2010        | 2081                                                        | -0.9%                   | 2100          | 915                                                       |
| 수송 부문     | 2010        | 772                                                         | 0.0%                    | 2100          | 758                                                       |
| 가정 부문     | 2010        | 354                                                         | -0.7%                   | 2100          | 186                                                       |
| 서비스 부문    | 2010        | 337                                                         | -0.7%                   | 2100          | 177                                                       |
| 농업 부문     | 2010        | 895                                                         | 0.0%                    | 2100          | 895                                                       |
| 폐기물 부문    | 2010        | 224                                                         | -1.1%                   | 2100          | 82                                                        |
| <b>전체</b> | <b>2010</b> | <b>5700</b>                                                 |                         | <b>2100</b>   | <b>3606</b>                                               |

a) 토지 이용변화에 따른 배출을 제외한 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O

자료원: Jansen 외(2000)

이다. <표 III-8>에서는 2100년으로 설정하고 있다.

- o 일인당 세계 부문별 배출 완화 표준(GSEMN): 기준 년도 이후 년도에 있어서 배출기준에 대한 연간 완화율과 관련이 있다.

최종적으로 각 부문의 일인당 배출량을 전체의 일인당 배출량으로 더한다. 특정 기준 연도에서 세계 일인당 배출 기준이상의 배출을 보유한 국가는 고배출 국가로, 기준이하로 배출하는 국가는 저배출 국가로 설계한다.

세 번째 단계로 국가 배출 목표(target)를 설정한다. 2015년이나 2050년과 같은 특정 목표연도의 각 국가에 대한 배출 목표를 설정해야 한다. 우선 기준 년도의 일인당 배출의 부문별 실적을 출발점으로 하고, 수렴 년도의 일인당 배출량을 목표로 하여 각 해의 배출 목표를 설정한다. 다음으로 고려 년도와 국가에 대하여 각 부문의 일인당 배출량을 합한 다음 당해 인구를 곱하여 그 국가의 그 해 배출 목표치를 할당한다.

<표 Ⅲ-9> 부문별 수렴 방식(CICERO)에 따른 국가별 배출 제한 목표치(%)

|                | 각 이행기간당 저감율 <sup>1)</sup> |              |              | 누적 저감율 <sup>2)</sup> |           |
|----------------|---------------------------|--------------|--------------|----------------------|-----------|
|                | 첫번째(2008-12)              | 두번째(2013-17) | 세번째(2018-22) | 2010-2050            | 2010-2100 |
| Australia      | 8.0                       | -5.2         | -5.3         | -41.5                | -76.1     |
| Austria        | -13.0                     | -5.8         | -6.0         | -41.4                | -65.5     |
| Belarus        | -19.0                     | -7.4         | -7.7         | -47.8                | -75.1     |
| Belgium        | -7.5                      | -7.8         | -7.7         | -50.6                | -78.5     |
| Bulgaria       | -8.0                      | -11.0        | -10.8        | -58.4                | -82.7     |
| Canada         | -6.0                      | -5.3         | -5.4         | -41.7                | -74.9     |
| Czech Republic | -8.0                      | -11.5        | -11.7        | -62.9                | -85.5     |
| Denmark        | -21.0                     | -6.4         | -6.2         | -44.9                | -74.7     |
| Estonia        | -8.0                      | -15.9        | -16.0        | -72.7                | -91.2     |
| Finland        | 0.0                       | -7.6         | -7.6         | -51.6                | -80.3     |
| France         | 0.0                       | -5.2         | -5.3         | -40.9                | -70.2     |
| Germany        | -21.0                     | -7.6         | -7.8         | -50.3                | -77.5     |
| Greece         | 25.0                      | -8.5         | -8.7         | -52.1                | -79.4     |
| Hungary        | -6.0                      | -8.7         | -8.6         | -49.1                | -71.9     |
| Iceland        | 10.0                      | -4.3         | -3.9         | -40.6                | -67.0     |
| Ireland        | 13.0                      | -7.8         | -8.4         | -55.1                | -84.2     |
| Italy          | -6.5                      | -7.6         | -7.9         | -46.8                | -72.3     |
| Japan          | -6.0                      | -7.1         | -7.6         | -33.8                | -51.5     |
| Latvia         | -8.0                      | -9.7         | -10.0        | -56.6                | -83.0     |
| Lithuania      | -8.0                      | -8.8         | -8.9         | -53.9                | -80.2     |
| Luxembourg     | 28.0                      | -13.8        | -13.9        | -71.6                | -92.7     |
| Netherland     | -6.0                      | -7.2         | -7.2         | -49.1                | -77.8     |
| New Zealand    | 0.0                       | -5.1         | -4.9         | -38.9                | -70.1     |
| Norway         | 1.0                       | -6.4         | -6.3         | -47.2                | -73.4     |
| Poland         | -6.0                      | -6.6         | -6.9         | -47.7                | -75.0     |
| Portugal       | 23.9                      | -7.0         | -6.9         | -44.4                | -70.3     |
| Romania        | -8.0                      | -7.7         | -8.0         | -48.5                | -73.4     |
| Russia         | 0.0                       | -12.7        | -13.0        | -65.5                | -88.4     |
| Slovakia       | -8.0                      | -7.3         | -7.6         | -50.3                | -77.9     |
| Spain          | 15.0                      | -6.4         | -6.8         | -43.9                | -71.5     |
| Sweden         | 4.0                       | -3.5         | -3.3         | -34.8                | -64.4     |
| Switzerland    | -8.0                      | -5.4         | -5.3         | -38.2                | -58.9     |
| Turkey         | 54.0                      | 3.3          | 2.8          | 20.9                 | 24.8      |
| Ukraine        | 0.0                       | -11.8        | -12.0        | -62.7                | -86.8     |
| Ukraine        | -12.5                     | -6.2         | -6.1         | -45.3                | -74.7     |
| US             | -7.0                      | -5.6         | -5.8         | -43.7                | -76.7     |

< 표 계 속 >

&lt; 표 계 속 &gt;

|              |             |            |            |             |             |
|--------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|
| Bangladesh   | 153.8       | 4.8        | 3.5        | 34.6        | 143.9       |
| Bolivia      | 221.8       | 4.8        | 4.0        | 13.4        | 4.9         |
| Brazil       | 221.8       | -1.1       | -1.7       | -16.4       | -39.8       |
| China        | 153.8       | -1.3       | -1.6       | -20.9       | -44.8       |
| Egypt        | 221.8       | 3.9        | 3.8        | 36.2        | 59.5        |
| India        | 153.8       | 4.4        | 4.3        | 30.9        | 55.3        |
| Indonesia    | 153.8       | 4.7        | 4.3        | 34.6        | 57.0        |
| Kazakhstan   | -19.4       | -4.4       | -4.9       | -31.6       | -54.8       |
| Kuwait       | 221.8       | -10.0      | -10.7      | -64.1       | -89.6       |
| Mexico       | 221.8       | -2.0       | -2.6       | -23.6       | -57.3       |
| Iran         | 221.8       | 3.8        | 2.3        | -0.4        | -23.3       |
| Nigeria      | 221.8       | 17.3       | 16.4       | 171.9       | 490.6       |
| Saudi Arabia | 221.8       | 1.2        | 0.3        | -27.6       | -66.4       |
| South Africa | 221.8       | -2.2       | -3.0       | -26.1       | -60.7       |
| South Korea  | 153.8       | -8.7       | -8.4       | -50.4       | -81.1       |
| Tanzania     | 221.8       | 13.9       | 13.2       | 128.7       | 495.3       |
| Yemen        | 221.8       | 19.4       | 18.7       | 151.6       | 341.2       |
| Total        | 47.9        | -3.2       | -3.2       | -24.3       | -40.1       |
| EU-15        | -7.7        | -6.8       | -6.9       | -46.7       | -74.5       |
| Annex1       | -5.1        | -7.8       | -7.9       | -49.2       | -77.1       |
| Non-Annex1   | 152.6       | 5.9        | 5.4        | 35.0        | 42.2        |
| <b>World</b> | <b>47.9</b> | <b>0.1</b> | <b>0.2</b> | <b>-0.8</b> | <b>-8.6</b> |

주 1) 1차 공약기간의 저감율은 1990년도 대비 저감율이며, 2차 및 3차 공약기간의 저감율은 직전기 대비 저감율임.

자료원: Jansen 외(2000)

마지막으로 다음의 할당 계수를 할당량에 조정하여 준다. 할당계수는 부문 배출에 변화를 줄 수 있는 국가별 특수상황으로 정의될 수 있다. 할당계수는 기후, 인구밀집도, 농업, 전화경제국에 대한 배려, 자연자원 등이 있다.

- o 기후: 국가간 다른 기후 조건으로 인해 일인당 GHG배출이 달라질 수 있다. 국가의 더위와 추위를 다르게 하는 기후 계수로 인하여 국가간 배출 수준에 심각한 변동이 있는 경우 난방(heating)이나 냉방(cooling)이 필요한 날수(degree-days)에 따라 배출 할당량을 추가할 수 있다. 다음식에 따라 추가 할당량을 계산한다.

$$AA-HDD_n(\text{in Mt}) = (HDD_n/HDD_{av} - 1) * AA_{pc} * POP_n$$

특정 기준연도의 배출 수준 %로 유사하게 나타낼 수 있다.

$$AA-HDD_n(\text{in } \%) = (HDD_n/HDD_{av} - 1) * (AA_{pc} * POP_n) / E_{nby}$$

if  $HDD_n/HDD_{av} < 0$ ,  $AA-HDD_n = 0$

AA-HDD<sub>n</sub>: n국가의 heating degree-days에 따른 추가 할당량

HDD<sub>n</sub>: n국가의 heating degree-days의 수  
HDD<sub>av</sub>: 관련 모든 국가의 heating degree-days 수  
AA<sub>pc</sub>: 일인당 할당되는 특정 추가량  
POP<sub>n</sub>: n국가의 인구  
E<sub>nby</sub>: 기준연도의 n국가의 총 GHG 배출

위의 규칙을 적용하는 데 있어서 가장 큰 문제점은 다수의 국가에 있어서 heating(cooling) degree-days 수에 대한 자료가 부족한 점이다. 이러한 문제점은 GHG 배출 감축목표 의무를 공식화하는 국가에 대하여만 관련 할당 계수를 고려함으로 해결할 수 있다. 또 다른 문제는 급변하는 기후 국가들에게 있어서 평균 heating degree-days나 평균 cooling degree-days의 개념이 의미가 없다는 것이다.

- 인구 밀집도: 전세계 평균보다 낮은 인구 밀집도를 지닌 국가는 발전부문의 높은 효율 손실, 더 높은 수송수요, 가정 부문의 더 높은 에너지 필요에 의해서 일인당 GHG 배출량이 더 높아진다. 그러므로 추가적인 배출량이 부여되어야 한다. 다음식에 따라 추가 배출량을 결정한다.

$$AA-PD_n(\text{in Mt}) = (1 - PD_n/PD_{av}) * AA_{pc} * POP_n$$

또는

$$AA-PD_n(\text{in}\%) = (1-PD_n/PD_{av}) * (AA_{pc} * POP_n)/E_{nby}$$

AA-PD<sub>n</sub>: 인구 밀집도에 대하여 n국가에 부여되는 추가 할당량  
PD<sub>n</sub>: n 국가의 인구 밀집도  
PD<sub>av</sub>: 모든 국가의 평균 인구 밀집도  
AA<sub>pc</sub>: 일인당 할당 배출량(할당 계수)  
POP<sub>n</sub>: n국가의 인구  
E<sub>nby</sub>: 기준 연도의 n국가의 총 GHG 배출

- 농업: 인구의 주식으로 쌀 농업 의존도가 높은 나라들이 있다. 쌀농업은 중요한 GHG 배출원이므로 관계되는 논 용적에 따라서 쌀농업에 대하여 할당을 조정한다. 축산업을 주식으로 하는 나라들도 있다. 농업부문의 특정 생산품은 기본 필요 식품이고 또한 비에너지 GHG를 배출하므로 이 부문에 대한 고려가 필요하다.

- 전환 경제국: 몇몇 국가의 경우 현 경제가 전환기에 있기에 특별한 문제가 있

을 수 있다. 예를 들면 계획 경제에서 자본주의 경제로, 급속하게 개도국에서 좀 더 선진화된 경제로의 전환이 있다. 이러한 상황은 일시적인 것으로 이러한 전환기간에 대하여 추가 배출량을 줄 수 있다. 화석 연료 수출국의 경우도 동일하게 적용할 수 있다. 그러나 이러한 고려는 산유국이 배출제한 의무를 받아들였을 때 가능하다. 전환 경제국에 대한 추가 할당량은 일반적인 식으로 나타내기가 어렵다.

- o 자연 자원: 몇몇 국가의 경우는 재생 가능 에너지원(수력 발전, 풍력 발전, 태양력 발전)이 부족하다. 이러한 재생 가능 에너지 자원의 차이는 부족한 국가에게 배출량을 더하고 풍부한 국가에게서 배출량을 제하여 조정할 수 있다.

## 2.7 WRI의 온실가스 집약도 방법

WRI는 개도국에 대한 사례 분석을 통하여 부속서 I 국가 스타일의 총 배출량 제한이 적절한지 다른 대안이 적절한지에 대하여 조사하였다.<sup>16)</sup> 여러 사례를 분석함으로써, 총 배출량 수준은 국가 배출목표의 표준으로는 적당하지 않고, 불안정한 경제 성장으로 인하여 개도국의 온실가스 배출을 예상하기가 힘들다는 사실을 발견하였다. 대부분의 국가들의 탄소 배출량이 경제 성장과 밀접하게 연관되어 있으므로 절대 배출량 수준이 항상 좋은 지표가 되는 것은 아니다. 다시 말하면 급속한 온실가스 배출증가가 책임불이행을 의미하는 것은 아니다. 중국의 경우 1980-1997년동안 온실가스 배출량이 500백만톤 증가하였으나, 에너지 효율 정책으로 인하여 기간동안 432MtC를 저감시켰다. 우크라이나의 경우 1990-1995년동안 탄소 배출량이 40%이상 감소하였다. 그러나 이러한 감소는 에너지 효율 향상, 연료 절약 등의 기후-에너지 관련 정책에 의한 것이 아니라 경제 침체에 의한 것이다. 이기간 동안 우크라이나의 탄소 집약도는 악화되었다. 그러므로 경제의 변화를 잘 나타낼 수 있는 GDP단위당 배출량이 이행성과를 잘 나타낼 수 있다.

경제가 불안정한 개도국의 경우에는 그들 경제의 온실가스 집약도(GHG intensity)를 감소시키는 방법이 더 효과적이며 실현 가능한 방법이다. 이는 생산단위당 배출량을 제한하는 방법으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{온실가스 집약도 지표} = \frac{\text{온실가스배출}}{\text{국내총생산(GDP)}}$$

국가 지표를 결정하는 주요 요인으로는 경제 구조, 지리, 연료 혼합, 생산 공정

16) Baumert 외(1999)

의 에너지 효율이 있다. 예를 들면, 아르헨티나, 브라질의 경우에는 수력 발전의 사용으로 탄소 집약도가 낮다. 반면 중국, 인도의 경우는 국내 석탄 생산으로 인해 탄소 집약도가 높다.

$$\text{탄소 집약도 지표} = \frac{\text{탄소배출톤}}{\text{GDP(PPP)백만\$}}$$

개도국에 있어서 더 중요한 변화 요인은 국가의 경제 구조, 에너지 효율, 연료 선택에 영향을 주는 정책과 조치이다. 중국의 경우 에너지 가격 개혁으로 경제 성장과 탄소 배출 완화에 성공하였다.

구속력 있는 의무부담을 갖는 국가들은 국제 배출권 거래제도에 참여하기를 원할 것이다. 이 같은 경우 국제 배출권 거래에는 절대 배출량으로 거래해야 하므로, 다음과 같이 온실가스 집약도 지표를 절대 배출량으로 환산할 필요가 있다.

$$\text{거래 가능 GHG 배출} = (\text{GDP}) * (\text{GHG배출/GDP})$$

각국의 GDP는 환율이나 PPP보다는 자국 통화로 측정한다. 이러한 값은 당시의 환율에 따라 환산 가능하다.

## 2.8 브라질 제안<sup>17)</sup>

기후변화협약(Framework Convention on Climate Change)의 주요 정책 과제 중 하나로 개도국의 참여 문제가 있다. 현재의 개도국 배출량이 전체 배출량 중에 적은 부분만을 차지하고 있을지라도 현재의 배출 증가 속도가 계속된다면 몇십년 이후에는 선진국의 수준과 같아질 것으로 예상된다. 이에 선진국들은 개도국 또한 배출 감소에 대한 공동 부담에 참여해야 한다고 주장하는 반면 개도국은 선진국의 역사적 배출이 기후 변화에 우선적인 요인임을 지적하며 선진국에게 먼저 배출을 감소할 것을 주장하고 있다. 이러한 배경 가운데 교토 의정서 협상 과정에서 브라질은 ‘오염자 부담 원칙’에 근거한 감축목표 설정방법을 제안하였다. 이 방법은 기후 온난화에 대한 책임(contribution)과 배출저감(control)에 대한 책임(contribution)을 연계시킨 것으로 역사적 배출(historical emission)을 배출저감 의무 부담에 반영하고 있다. 또한 이 제안에는 선진국들이 약속 혹은 공약(commitment)을 지키지 못할 경우 벌금을 부과하고 이렇게 지불된 자금을 청정개발기금(Clean Development Fund)으로 사용하는 개념을 포함하고 있다. 이 제안은 협상과정에서 채택되지는 않았으나, 역사적 배출(historical emission)개념을 공동 부담에 포함시

17) 본 소절의 설명은 Elzen 외(RIVM, 1999)와 IPCC(1997)를 정리한 것이다.

키프로 개도국의 지지를 얻었다. 또한 현재 의정서에 포함된 청정개발체제(CDM)에 대한 조항이 브라질 제안의 청정개발기금에서 유래된 것으로 평가되고 있다.

당초 브라질 제안은 주로 지구 평균 온도 증가에 대한 Annex I 지역과 국가들의 기여도(contribution) 계산에 중점을 두고 있다. 이러한 계산에 있어서 IPCC 2차 평가보고서에서 사용된 단순기후모형(Simple Climate Models: SCMs)을 사용하였다. 1950-1973년까지의 배출 자료는 UN, US-DOE, US Geological Survey를 사용하였고, 1950년 이전에 대하여는 1950-1973년 자료를 근거로 추정하였다.

우리가 보통 ‘평균 날씨’라고 정의하는 기후는 인간의 생활에 막대한 영향을 미친다. 그러므로 기후를 예측하는 것은 모든 인간 활동을 함에 있어서 중요하다. 기후를 예측하는 데 있어서 기후에 영향을 주는 요소들과 그 요소들의 변동에 따른 기후의 변화를 아는 것이 중요하다. 이러한 기후변화 요소(factor)들을 고려하여 기후의 변화를 예측하는 시스템을 모형(model)이라고 한다. 이러한 모형에는 모든 고려 요소들을 단순화시킨 단순모형이 있고, 더 많은 변동 사항들을 고려한 복합모형(complex model)이 있다. 두 모형 모두 기후를 예측하는 데 있어서 중요한 역할을 담당하고 있다. 복합모형은 지역 수준에서 기후 평균과 변화를 측정하는 데 적합하고, 단순모형은 지구(global) 수준에서 기후 평균과 변화를 측정하는 데 적합하다.

SCMs에서  $N_2O$ 와 할로겐화 탄소의 경우 대기 중에서 소멸되는 비율(rate)은 대기 중 가스 농도와 일차적으로 비례한다. 다시 말하면 특정 시작 년도에서 대기 중에 존재하는 가스의 일정부분이 해마다 감소한다는 것이다. 위의 가스는 상대적으로 장기간동안 대기에 잔존하므로 대기에 일정한 농도로 존재한다. 결과적으로 대기를 하나의 잘 혼합된 상자(box)로 가정할 수 있다. 이것이 모형의 중요한 요소 중 하나인 가스의 대기 평균수명(lifespan)  $\tau$ 이다.  $CH_4$ 의 경우 대기에서 소멸되는 비율이 농도에 대하여 기하급수적이므로  $\tau$ 의 결정이 복잡하다. 그러나 모형에서 계산하는 동안  $CH_4$ 의 대기수명을 갱신한다면 대기를 하나의 잘 혼합된 상자(box)로 간주하는 데 무리가 없을 것이다. 또한 SCMs에서는 온실가스의 지구 대기 평균 농도에 따라 지구 복사력(radiative force)은 일차적으로 변하고, 지구 복사력의 변화에 따라 지구 기후 평균 또한 비례하여 변한다고 가정된다. SCMs에서는  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$  등 주요 온실가스의 모든 배출원을 고려하여야 한다. 그러나 원 브라질 제안에서는 단지 화석 연료 연소와 시멘트 제조업에서 배출되는  $CO_2$ 에 대하여만 계산하였다. 또한  $CO_2$  농도에 대한 지역/국가의 상대적인 책임에 대한 계산이 부정확하다. 이러한 약점을 보완하기 위해 제안을 수정하였는데, 수정된 제안은 ‘수정 제안’으로 표시하도록 한다.

대기 중 농도는 온실가스의 배출과 이후 대기중에서의 소멸과정에 의해 결정된다. 온실가스의 대기수명은 가스가 대기중으로 배출된 이후 소멸되기까지의 기간이다. 세 가지 주요 온실가스 중 단지  $N_2O$ 만이 일정한 대기수명을 지니고 있다.  $CH_4$ 의 경우 앞에서 언급한 것과 같이 복잡한 대기 수명을 나타낸다.  $CH_4$ 의 경우 그 자체 농도에 따른 대기 수명과 화학적 반응에 따른 제거 비율도 함께 고려되어야 한다.  $NO_x$ ,  $CO$ ,  $VOCs$ 와 같은 다른 가스들에 의해 영향을 받으므로  $CH_4$ 의 경우 대기 농도는 기하급수적 특성을 나타내며, 시간과 시나리오에 의존한다.  $CO_2$ 는 화학적으로 활성적이지 않고 일정한 농도를 나타낸다. 자연적 탄소 주기(cycle)는 대기, 해양, 육지 생물권의 세 개의 주요 저장소간의  $CO_2$ , 탄산염, 유기탄소의 교환에 의해 이루어진다. 화석 연료의 연소와 토지 이용변화에 의한 인위적  $CO_2$  배출은 자연적 탄소 주기 교환에 비하면 적은 양이지만, 이 인위적  $CO_2$ 에 의하여 자연 탄소 주기에 불균형이 일어난다.

원래의 브라질 제안에서 세가지 온실가스의 농도  $g$ 는 각 온실가스의 배출량의 함수이다. 이것은 일정한 대기 수명에 따라 지수적으로 소멸되는 과정을 표현하는 함수를 사용하여 계산된다.

$$p_g(t) = C_g \int_{-\infty}^t \epsilon_g(t') e^{-(t-t')/\tau_g} dt'$$

$p_g(t)$ : 시간 $t$ 에서의 대기 농도(ppmv:  $CO_2$ , ppbv:  $N_2O$ ,  $CH_4$ )

$C_g$ : 전환 상수(ppmv/GtC, ppbv/Tg $CH_4$ , ppbv/TgN)

$\epsilon_g(t')$ : 인위적 배출의 연간 rate

$\tau_g$ : 대기수명기간(yr)

수정 브라질 제안에서는  $CH_4$ 와  $N_2O$ 에 대하여는 원 제안의 방법과 동일하게 계산하였고,  $CO_2$ 에 대하여서는 다양한 흡수원(sink)의 시간 규모에 따른 추가 농도의 부분에 대해 지수적으로 소멸하는 함수를 합하여 계산하였다.

$$p_{CO_2}(t) = C_{CO_2} \int_{-\infty}^t \epsilon_{CO_2}(t') \left[ \sum_{s=1}^4 f_{CO_2,s} e^{-(t-t')/\tau_{CO_2,s}} \right] dt$$

$\tau_{CO_2,s}$ : 추가  $CO_2$ 농도의  $s$ 번째 fraction  $f_{CO_2,s}$ 의 대기 수명(yr)

대기 중 온실가스의 증가는 복사 균형에 변화를 가져온다. 가장 뚜렷한 변화는 대기에서 열복사가 덜 통과한다. 다시 말하자면, 더 많은 열이 대기중에 잔존하게 된다. 복사 균형 변화를 나타내는 데 좋은 지표는 복사력(radiative forcing)이다. 복사력은 지표 온도 변화를 결정하는 주요 원리이다. 잘 혼합된 가스들은 대기 중

에 일정한 농도로 존재한다. 각 가스들은 ‘흡수 대역(absorption bands)’이라 불리는 특정 간격으로 복사열을 흡수한다. 만약 온실가스의 농도가 낮다면 대류권에서 복사가 잘 일어날 것이고, 온실가스 농도가 증가한다면 복사력(radiative forcing)도 일차적으로 증가한다. 몇몇 온실가스의 경우 흡수 대역이 겹치는 “중복 효과”를 나타내는 경우가 있다. CH<sub>4</sub>와 N<sub>2</sub>O의 경우가 그러하다. CH<sub>4</sub>농도가 증가할수록 N<sub>2</sub>O 흡수 효율은 감소한다. 원 브라질 제안에서는 각 온실가스에 대한 복사력(radiative forcing) 계산에 대하여 다음과 같은 일차 농도 함수를 사용하였다.

$$\Delta Q_g(t) = k_g \cdot p_g(t), \quad k_g: \text{상수}$$

수정 브라질 제안에서는 농도 변화에 대한 복사력(radiative forcing)의 일차 함수를 사용하였다.

$$\Delta Q_g(t) = \alpha_g \cdot \Delta p_g(t), \quad \alpha_g: \text{IPPC(1995)에서 참조}$$

이러한 상수들은 1990년 농도와 비교하여 온실가스 농도 증가에 대한 복사력 증가를 나타낸다.

지구 온도 변화증가에 대한 국가별 역사적 책임(contribution)은 기후시스템의 온실가스에 대한 역동적 반응에 의존한다. 거대한 열용량을 지닌 해양은 이러한 시간 의존적인 기후시스템에 있어서 중요한 역할을 한다. 해양내에서 열은 혼합층에서 더 깊은 층으로 급속도로 전달된다. 그러므로 해양 표면과 지표면 위의 대기 온도는 천천히 증가한다.

원 브라질 제안에서 온도 증가는 누적 CO<sub>2</sub> 농도나 복사력에 일차적으로 비례하여 계산된다.

$$\Delta T(t) = \alpha \int_0^t \Delta Q(t') dt' \quad \text{or} \quad \Delta T(t) = \beta \int_0^t p(t') dt'$$

$\alpha, \beta$ : IS92a 배출시나리오 사용 30년(1990-2020)에 대한 MAGICC 결과에서 얻음.

수정 브라질 제안에서는 평균 복사력(radiative forcing)과 결과 온도 증가간의 시간에 따른 관계는 다음과 같다.

$$\Delta T(t) = (1/C) \int_{-\infty}^t \Delta Q(t) \left[ \sum_{s=1}^2 l_s (1/\tau_s) e^{-(t-t')/\tau_s} \right] dt'$$

C: 기후 system의 열용량(heat capacity)

$l_s$ : 시간 상수  $\tau_s$ 에 지수적인 facing에 도달하는 1st 혹은 2nd fraction

$$\sum_{s=1}^2 l_s = 1$$

위에서 제시된 단계에 의해 계산된 각국의 배출에 의한 온도 증가 책임(contribution)에 따라 공동 부담을 분배한다.

Elzen 외(1999)에서는 원 브라질 제안과 수정 브라질 제안 모두 Annex I 국가의 배출에 대하여는 과대 평가하였고, 비 Annex I 국가의 배출에 대하여는 과소 평가한 것으로 분석하고 있다. 원 브라질 제안의 경우 1950년 이전의 연료 연소와 시멘트 제조의 국가 CO<sub>2</sub> 배출만을 고려함으로 전체 과거 배출을 과소 평가하였고, 이에 토지 이용이나 다른 온실가스에 의한 온도 증가에 대한 개도국의 역할이 감소함으로 CO<sub>2</sub> 농도와 온도 증가에 대하여 Annex I 국가의 역할이 과대 평가된 경향이 있다. 또한 CO<sub>2</sub> 농도에 대한 지역/국가 상대적인 책임에 대한 계산이 부정확하다. 수정 브라질 제안의 경우 원 제안보다는 많은 향상이 있었으나, 여전히 약점이 존재한다. 탄소 순환에 있어서 육지 부분을 고려하지 않았고, 급속히 배출이 증가하는 국가가 온도 증가에 대해 미치는 영향을 과소 평가하는 느린 탄소 순환에 초점을 두었다. 또한 온실가스 농도 증가에 따른 복사력을 모형화하는 데 있어서 다른 기후 모형의 경우 기하급수적(non-linear) 방법을 사용한 반면 일차적(linear) 접근 방법을 사용하였다. 이 점 또한 온도 증가에 대한 Annex I 국가 책임을 과대 평가하였다. 모형화에 있어서 연료 연소의 CO<sub>2</sub> 배출, 인위적인 CO<sub>2</sub> 배출, 다른 온실가스 배출을 고려할수록 비Annex I 국가의 배출에 대한 기여도가 증가한다.

브라질 제안은 전형적인 “오염자 부담원칙“에 근거한 부담 분배 방법이다. 브라질 제안의 경우 전체 반응의 주요 부분은 몇 십년이나 한 세기가 지난 후에야 명백해지므로 특정 시기에서의 실제 온도 증가는 기후변화 문제에 대한 국가 각각의 책임을 나타내는 것에 대한 좋은 지표가 아니다. 만약 미래에 대한 과거나 현재 배출의 영향을 고려하고자 한다면 더 좋은 분석 tool이 개발되어야 한다. 다음과 같은 몇몇 방법론적 선택이 온도 증가에 대한 책임을 분석한 결과에 대단한 영향을 미칠 수도 있다.

- i. 연료 연소로부터의 CO<sub>2</sub> 배출만을 고려하는 것이 아니라 토지 이용과 같은 모든 인위적 CO<sub>2</sub> 배출을 고려함.
- ii. 단지 주요 CO<sub>2</sub> 배출만을 고려하든지 혹은 주요한 다른 CO<sub>2</sub> 배출을 고려함
- iii. 농도 증가에 대한 복사 촉진(radiative forcing)의 반응에 대하여 일차적으로 접근할 것인지 기하급수적으로 접근할 것인지를 고려함

온도 증가에 대한 각 국가의 책임을 고려하는 데 있어서 연료 CO<sub>2</sub> 배출이외 온실가스의 다른 배출원과 종류를 포함하는 것은 일반적으로 현재와 미래 온도 증가에 대한 Non-Annex I 국가의 책임을 증가시킨다. 그러므로 연료 CO<sub>2</sub> 배출만을 고려하는 것은 온도 증가에 대한 다른 지역이나 국가의 책임을 계산하는데 적절한 지표가 될 수 없다. 또한 시간에 따라, 과거 배출이 대기에서 사라져가고 미래 배출이 증가하기 때문에 과거 자료에서 차이의 영향은 급속히 감소하므로 온도 증가에 대한 미래 책임은 baseline 배출에 따라 제한된다.

이러한 점을 보완하기 위해 RIVM에서는 FAIR(Framework to Assess International Regime for burden sharing) model을 개발하였다. 이 모델은 배출권을 분배하는 데 있어서 사용 가능한 여러 가지 기준(criteria)들을 평가한다. 현재 이 model은 국제 공동 부담을 설정하는데 공동 부담에 참여하는 참여국가의 수가 참여 규칙에 따라 점차적으로 증가하는 참여 증가(increasing participation), 공동 부담의 모든 참여국가들이 배출권을 부여받고 시간에 따라 같아지도록 수렴하는 수렴(convergence), 부문마다 다른 규칙을 근거로 공동 부담을 분배하는 Triptych 접근방법의 3가지 mode를 포함하고 있다.

참여 증가 mode의 경우 참여 규칙을 만족하는 참여국과 baseline emission scenario를 따르는 비참여국으로 나뉜다. 공동 부담량은 전체 배출 허가량에서 비참여국의 배출을 제한 값과 같다. 만약 브라질 제안을 참여 증가원칙에 도입한다면 브라질 제안의 Annex I 국가 대신에 전세계를 적용하였을 경우, 2012년 이후에는 모든 지역/국가들이 공동 부담에 참여할 것이다. 이것은 2012년 이후에는 개도국들에게 배출 증가가 허용되지 않음을 뜻하므로 개도국이 수용하기가 어려울 것이다. 그러나 경제 발전 수준 차이에 대한 고려가 이루어진다면, 참가에 대한 기준으로 사용될 수 있다. 만약 1990 Annex I 국가의 평균 일인당 수입의 30%를 참여하는 기준으로 정하였을 때 주요 개도국의 참여시기를 늦추는 결과를 가져온다. 그러므로 참여 기준이 더 낮아져야 한다. 참가 기준으로 국가 수입을 고려하는 경우 1990년 Annex I 국가의 일인당 수입의 10% 보다 낮은 수준이거나 선진국의 배출 감소율이 비실제적이지 않도록 해야 한다. 일인당 배출을 참여 기준으로 정할 수도 있다. 참가 기준으로 일인당 배출을 사용하는 경우 약 일인당 1tC이어야 한다. 세계평균일인당 배출을 참여 기준으로 설정할 경우 개도국에게 세계평균 수준 이전에는 세계 평균까지는 배출 증가를 허용하고, 참여국에게 세계평균 수준으로 배출감소를 강제한다. 이 경우 참가국뿐 아니라 비참가국들도 참가를 지연시키기 위하여 배출을 감소하고자 하는 incentive를 부여받는다. 이 경우 시간이 경과함에 따라 지역/국가에서의 일인당 배출량이 같아져야 한다. 온도 증가에 대한 절대적 책임(contribution)에 근거하여 참가 조건을 도입하는 것은 거대 지역/국가들에게

불리하므로 일인당 접근 방법을 사용하는 것이 더 형평성이 있다.

앞에서도 설명된 바 있는 Triptych 접근법은 상향식 접근법으로서 국내(domestic) 부문, 산업(industrial) 부문, 발전 부문 세 부문으로 분류되어 있다. 국내(domestic)부문은 주거부문, 상업부문, 수송부문, 경공업, 농업부문으로 배출권은 인구 크기에 따른다고 가정하고, 시간에 따라 일인당 배출량이 같아지도록 설계한다. 이 경우 지역간에 격심한 차이가 존재한다. 예로 1990년 일인당 CO<sub>2</sub>의 경우 북미는 2.3tC/cap인 반면 인도는 0.1tC/cap이다. 이러한 차이는 2080년에 같아진다고 가정한다. 산업(industrial)부문은 중공업으로 기존(baseline)보다 높은 효율 향상을 가정한다. 발전부문에서의 전력 소비는 GDP와 밀접하게 연관되어 있다. 이 방법의 경우 산업부문과 발전부문의 지속적인 에너지 효율과 탈탄소 노력, 국내 부문에서의 일인당 배출을 동일하게 하고자하는 노력에도 불구하고, CO<sub>2</sub> 관련 지구에너지사용은 Non-Annex I 국가에서의 급격한 사용증가 때문에 증가한다. 특히 산업 부문에서 그러하다. 만약 개도국에 대한 효율적인 분배와 에너지 효율 기술의 전수를 함께 고려한다면, 산업 지역에서의 지속적인 부문 에너지 효율 향상은 지구 배출 감소에 주요한 역할을 할 수 있다. 차별된 부문별 기준(target) 설정을 근거로 한 국제 부담 분배는 자연 자원 분배와 선택에 따른 하향식(top down) 접근 방법에 대한 진지한 대안이 될 수 있다.

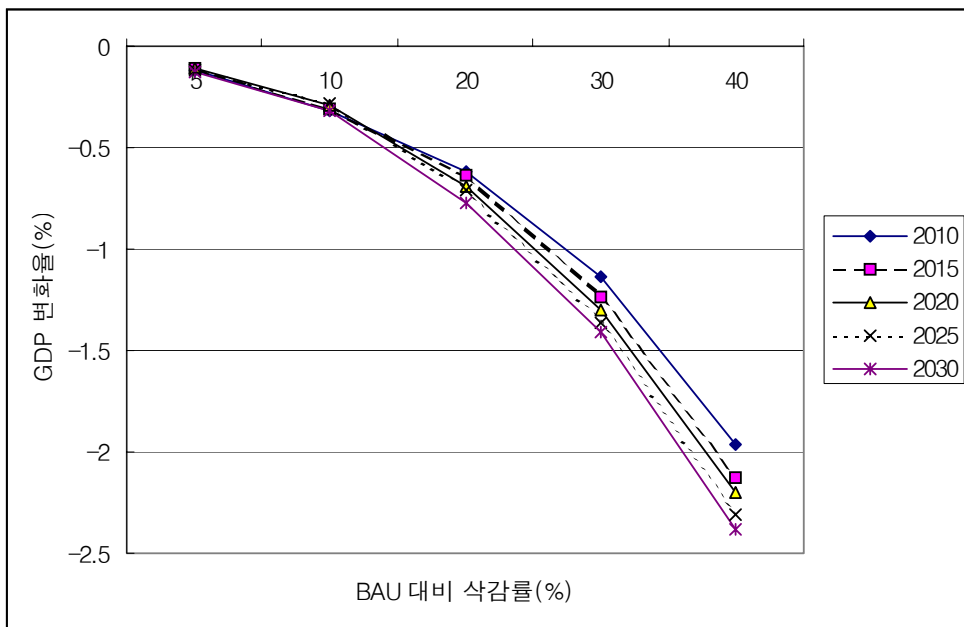
개도국의 경우 과거 배출이나 일인당 개념을 근거로 한 부담 분배를 선호하는 반면에, 선진국의 경우 모든 온실가스화 토지 사용에 따른 CO<sub>2</sub> 배출을 포함하는 부담 분배를 선호한다. 개도국은 또한 배출 대신에 실제 온도 증가에 대한 책임과 같은 원인-결과 관계에 있어서 결과의 지표를 사용하는 것을 선호하나 이러한 차이는 모든 온실가스화 토지 사용에 따른 배출을 포함하는 것보다는 국가 책임에 대해 덜 영향을 준다.

### 3. 목표설정 방법별 평가

#### 3.1 저감수준에 따른 경제적 효과에 대한 연구결과

저감목표의 설정시 가장 중요한 고려사항의 하나는 저감에 따른 경제적 비용이다. 최근 수행된 한국환경정책·평가연구원/에너지경제연구원(2000)의 연구결과에 따르면 BAU 대비 10% 감축시 2010년 기준 톤당 저감비용이 \$24.5가 되고 이에

따른 GDP 손실은 약 2.5조원에 이를 것으로 분석되었다. 저감율이 커지면 저감비용은 기하급수적으로 증가하는 추세를 보이는데, 이 연구결과에서도 이를 잘 보여 준다. 예를 들어 BAU 대비 20% 삭감 시나리오하에서는 톤당 저감비용이 \$63.5로 상승할 것으로 추정되었는데 이는 10% 감축시에 비해 두배를 초과하는 수준이다. 한편 동일한 저감 시나리오하에서도 시간이 지날수록 톤당 저감비용이 감소하는 것으로 나타나는데 이는 경제의 적응도가 높아짐에 따라 저감에 따른 부담이 작아짐을 나타내는 것이다. 이러한 점은 저감목표의 설정시 저감율의 증가에 따른 가중적인 부담과 조기저감에 따른 부담의 경감 가능성을 나타내는 것으로서, 경제의 부담을 줄이기 위해서는 보다 낮은 저감율에서 시작하여 점차 목표를 강화해 나갈 필요가 있음을 보여주는 것이다.



[그림 III-1] 목표연도별 이산화탄소 배출저감에 따른 GDP 변화

자료원: 한국환경정책·평가연구원/에너지경제연구원(2000)

<표 Ⅲ-10> 시나리오별 저감비용 및 GDP 손실

| 구분<br>시나리오          |      | 저감량  | 톤당 저감비용 |       | 직접비용(GDP 손실) |            |
|---------------------|------|------|---------|-------|--------------|------------|
|                     |      | 백만TC | 천원      | \$    | 조원           | GDP 감소율(%) |
| BAU<br>대비 5%<br>감축  | 2010 | 9.4  | 8.2     | 9.2   | 0.7          | -0.12      |
|                     | 2015 | 11.0 | 7.8     | 8.8   | 1.0          | -0.11      |
|                     | 2020 | 12.4 | 7.4     | 8.3   | 1.3          | -0.11      |
|                     | 2025 | 13.9 | 7.1     | 8.0   | 1.7          | -0.12      |
|                     | 2030 | 15.3 | 6.8     | 7.6   | 2.0          | -0.13      |
| BAU<br>대비 10%<br>감축 | 2010 | 18.8 | 21.8    | 24.5  | 2.5          | -0.32      |
|                     | 2015 | 21.9 | 21.2    | 23.8  | 3.0          | -0.31      |
|                     | 2020 | 24.7 | 20.8    | 23.4  | 3.4          | -0.29      |
|                     | 2025 | 27.8 | 20.3    | 22.8  | 4.0          | -0.28      |
|                     | 2030 | 30.6 | 20.0    | 22.5  | 5.5          | -0.32      |
| BAU<br>대비 20%<br>감축 | 2010 | 37.7 | 56.6    | 63.5  | 4.8          | -0.62      |
|                     | 2015 | 43.8 | 55.2    | 62.0  | 6.2          | -0.64      |
|                     | 2020 | 49.4 | 54.6    | 61.3  | 8.2          | -0.69      |
|                     | 2025 | 55.6 | 53.6    | 60.2  | 10.2         | -0.71      |
|                     | 2030 | 61.2 | 53.0    | 59.6  | 13.2         | -0.77      |
| BAU<br>대비 30%<br>감축 | 2010 | 56.5 | 110.3   | 123.8 | 8.9          | -1.14      |
|                     | 2015 | 65.7 | 108.2   | 121.4 | 12.1         | -1.24      |
|                     | 2020 | 74   | 107.3   | 120.4 | 15.4         | -1.3       |
|                     | 2025 | 83.5 | 106.0   | 119.0 | 19.6         | -1.36      |
|                     | 2030 | 91.8 | 105.2   | 118.1 | 24.1         | -1.41      |

자료원: 한국환경정책·평가연구원/에너지경제연구원(2000)

적정한 저감율에 대한 논의를 위해서 의정서상의 부속서B국가들과의 단위저감 비용 차이를 비교해보는 것은 많은 참고가 될 것이다. OECD(1998)에 따르면 전 세계적 범위의 배출권 거래제를 가정할 때 다양한 모델분석에 따른 단위저감비용의 추정치(배출권의 균형시장가격)가 \$13~80까지 보고되고 있다.<sup>18)</sup>

우리나라의 감축목표 부담 및 배출권 거래제 참여가 국제시장에 미치는 영향이 무시할만하다는 가정하에서<sup>19)</sup>, 우리나라의 저감비용과 국제 배출권 균형가격과의 비교를 통해 우리나라의 배출권 매매가능성을 해석할 수 있다. 예를 들어 BAU 대

18) 전세계적 거래에 대한 가정은 CDM의 거래비용이 크지 않다는 가정하에서 현재 의정서상의 배출권 거래제와 CDM의 동시실시상황을 비교적 유사하게 나타내는 것이다.

19) 한국환경정책·평가연구원/에너지경제연구원(2000)에 따르면 우리나라의 감축목표가 0~30%까지 변화함에 따른 국제배출권 시장가격의 변화는 \$82~87로 나타나고 있다.

비 10% 감축 시나리오의 경우 우리나라의 단위당 저감비용은 2010년에 \$24.5로 추정되는데, 이는 전 세계 배출권 시장의 균형가격 추정치 \$13~80의 범위안에서 약간 낮은 수준이며, 전 세계 배출권 시장가격을 추정치의 평균인 \$47로 가정할 경우 배출권의 순매출국이 될 가능성이 큰 것으로 예측할 수 있다. 반면에 BAU 대비 20% 감축을 가정할 경우 우리나라의 단위당 저감비용은 톤당 \$63.5 수준으로 높아져 전 세계 배출권 시장가격 추정치의 평균보다 높아 우리나라가 배출권의 순매입국이 될 가능성이 큰 것으로 예측할 수 있다. 배출권의 매입이 아니더라도 감축목표 부담이 경제에 미치는 영향이 부정적인 상황에서 배출권의 매입비용까지 지불하는 것은 우리 경제에 상당한 어려움을 초래할 것으로 판단된다.

배출저감목표의 부담시점과 관련하여 우리나라는 2018년부터 시작되는 제3차 공약기간부터 구속적 감축의무의 부담을 고려해 볼 수 있다는 입장을 밝힌 것으로 알려지고 있다. 이는 아마도 예상되는 국제적인 압력을 감안할 때 더 이상 후퇴하기 어려운 안이라는 판단으로 해석된다. 한편 가장 빠른 공약기간인 제1차 공약기간부터 구속적 감축의무를 부담하는 시나리오에 IMF 관리체제에서 탈출하고 있는 우리 경제의 여건상 받아들이기 어려운 선택일 것이다. 제3차 당사국총회(1997년) 이전부터 준비한 선진국들과 비교할 때 형평성의 관점에서도 합리적이지 못할 것이다. 본 연구에서는 제2차 및 제3차 공약기간에 대하여 BAU 대비 5, 10, 15 및 20% 감축을 목표로 하는 시나리오에 한하여 추가적인 논의를 진행하기로 한다.

### 3.2 온실가스 배출전망에 따른 저감목표의 해석 및 시사점

1998년 기준 우리나라의 경제규모(GDP)는 세계 15위에 해당하며, 화석연료 연소에 따른 이산화탄소 배출량은 세계 11위에 달한다. 배출증가율('90-'98)은 59.4%로 OECD 국가중 1위를 차지하고 있는데 이는 최근의 배출증가가 특히 높았다는 것으로 1950~1995년간 누적 배출량은 25위에 불과하다는 점과도 밀접한 관련이 있다. GDP당 배출량에 있어서도 전세계는 물론 OECD내에서도 상당히 높은 수준에 있다. 이러한 점들은 여러 가지 기준에서 우리나라에 대한 감축부담의 요구가 높아질 수 있음을 시사하는 것이다.

<표 Ⅲ-11> 이산화탄소 관련 주요지표에 대한 국제비교(1998년)

| 구분        | 총 CO <sub>2</sub><br>배출 | 누적 배출량<br>(‘50-’95) | GDP(PPP)<br>(십억90US\$) | 일인당<br>배출량 | GDP(PPP)<br>당 배출량 | 일인당<br>GDP | CO <sub>2</sub> 변화율<br>(‘90-’98) |
|-----------|-------------------------|---------------------|------------------------|------------|-------------------|------------|----------------------------------|
| 한국        | 370                     | 4,548               | 539                    | 7.97       | 0.69              | 11.61      | 59.4%                            |
| 전 세계      | 22,726                  | 662,240             | 33,654                 | 3.87       | 0.68              | 5.74       | 6.7%                             |
| 부속서1국가    | 13,383                  | 490,886             | -                      | 11.00      | -                 | -          | -                                |
| 부속서2국가    | 10,792                  | 364,058             | 18,035                 | 12.00      | 0.60              | 20.05      | 19.6%                            |
| OECD      | 12,017                  | 401,327             | 19,753                 | 8.76       | 0.61              | 17.95      | 20.5%                            |
| 비중        |                         |                     |                        | 평균대비 비율    |                   |            |                                  |
| 한국/전세계    | 1.63%                   | 0.69%               | 1.60%                  | 205.69%    | 102.18%           | 202.33%    |                                  |
| 한국/부속서1국가 | 2.77%                   | 0.93%               |                        | 72.42%     |                   |            |                                  |
| 한국/부속서2국가 | 3.43%                   | 1.25%               | 2.99%                  | 66.42%     | 115.31%           | 57.90%     |                                  |
| 한국/OECD국가 | 3.08%                   | 1.13%               | 2.73%                  | 90.95%     | 113.43%           | 64.68%     |                                  |
| 순위        |                         |                     |                        |            |                   |            |                                  |
| 한국/전세계    | 11/138                  | 25/175              | 15/138                 | 33/138     | 47/138            | 35/138     | 30/138                           |
| 한국/부속서1국가 | 9/40                    | 16/40               | 10/40                  | 18/40      | 15/40             | 23/40      | 1/40                             |
| 한국/부속서2국가 | 8/24                    | 12/24               | 9/24                   | 14/24      | 5/24              | 23/24      | 1/24                             |
| 한국/OECD   | 8/30                    | 15/30               | 10/30                  | 18/30      | 9/30              | 23/30      | 1/30                             |

주) 이산화탄소 배출량은 화석연료 연소에 따른 배출량만이 고려됨. 단위는 총 배출량 및 누적 배출량은 백만 이산화탄소톤, 일인당 배출량은 이산화탄소톤, GDP당 배출량은 탄소 -kg/US\$1990, 일인당 GDP는 천US\$1990임.

자료원: IEA(2000) 및 Claussen 외(1998)

<표 Ⅲ-12> 온실가스 배출관련 주요 지표 추이

| 지표                            | 1990    | 1995    | 1997    | 1998    | 1999    | ‘90-’99<br>증가율(%) |
|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-------------------|
| 온실가스(A)<br>(천TC)              | 82,529  | 119,947 | 137,958 | 115,553 | 125,855 | 4.8               |
| 인 구(B)<br>(천명)                | 42,869  | 45,093  | 45,991  | 46,430  | 46,858  | 1.0               |
| GDP(C)<br>(10억,95기준)          | 263,430 | 377,350 | 423,007 | 394,710 | 436,799 | 5.8               |
| 인당 온실가스(A/B)<br>(TC/인)        | 1.93    | 2.66    | 3.00    | 2.49    | 2.69    | 3.8               |
| 온실가스/GDP(A/C)<br>(TC/백만원, 95) | 0.313   | 0.318   | 0.326   | 0.293   | 0.288   | -0.9              |

자료원: 산업자원부·에너지경제연구원(2000)

산업자원부·에너지경제연구원(2000)에 따르면 우리나라의 온실가스 배출량은 1990년 82.5 백만TC에서 1999년에는 125.9 백만TC로 연평균 4.8%의 증가세를 나타내고 있으며, 일인당 배출량도 1.93 TC에서 2.69 TC로 연평균 3.8%의 증가를 기록하였다. 온실가스 원단위(GDP당 배출량)는 0.313TC/백만원에서 0.288TC/백만원으로 소폭(연평균 0.9%) 하락하였다.

향후 전망치에 있어서도 총 온실가스 배출량(탈루성 온실가스 제외)이 2010년에 171.4 백만TC, 2020년에는 206.2 백만TC로 급속한 증가세를 나타낼 것으로 예상되었으며, 이에 따라 일인당 배출량도 2010년에 3.39, 2020년에는 3.94 TC에 달할 것으로 예상되었다. 온실가스 원단위는 2010년에 0.22TC/백만원, 2020년에 0.17TC/백만원으로 크게 감소될 전망이다, 이는 미래 산업구조의 변화 및 과거의 에너지원단위 감소추세가 지속될 것이라는 전제하에서 전망된 것이며, 특히 철강, 석유화학, 시멘트 등의 에너지다소비 산업의 생산증가가 거의 없다는 전제하에서 전망된 것이어서 과소평가되었을 가능성이 있다고 판단된다.

<표 III-13> 에너지부문 온실가스 관련 주요지표 전망

| 지표                          | 1999  | 2005  | 2010  | 2015  | 2020  | 연평균 증가율(%) |           |      |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|-----------|------|
|                             |       |       |       |       |       | 2000-2010  | 2011-2020 | 2020 |
| 온실가스배출(백만TC)                | 111.9 | 147.1 | 171.4 | 189.7 | 206.2 | 4.0        | 1.9       | 3.0  |
| 인당온실가스배출(TC)                | 2.39  | 2.99  | 3.39  | 3.66  | 3.94  | 3.2        | 1.5       | 2.4  |
| 온실가스/GDP<br>(TC/'95년불변,백만원) | 0.26  | 0.24  | 0.22  | 0.19  | 0.17  | -1.6       | -2.2      | -1.9 |
| 온실가스/에너지<br>(TC/TOE)        | 0.62  | 0.62  | 0.62  | 0.61  | 0.61  | 0.1        | -0.1      | 0.0  |
| 온실가스·GDP탄성치                 | -     | -     | -     | -     | -     | 0.71       | 0.45      | 0.60 |

주: 연료의 생산 및 처리과정에서 발생하는 탈루성 온실가스 제외

자료원: 산업자원부·에너지경제연구원(2000)

동일한 감축목표량이라 하더라도 이를 해석하는 방법은 여러 가지가 있을 수 있다. 즉, 계산근거로서의 산정기준으로서 여러 가지 방식을 취할 수 있는 것이다. 예를 들어 BAU 대비 10% 감축이라는 하나의 저감목표에 대해서 이를 일인당 배출량으로 표현할 수도 있고 GDP당 배출량으로 표현할 수도 있다. 이처럼 다양한 기준에 따른 해석은 형평성 측면에서 합리적 근거를 모색하기 위한 첫 단계라 할 수 있다. 제2차 공약기간(대표년도 2015년) 및 제3차 공약기간(대표년도 2020년)에 대하여 BAU 대비 5%, 10%, 15% 및 20% 감축목표 시나리오에 대하여 배출량,

<표 Ⅲ-14> 시나리오별 온실가스 관련 주요지표 산정결과

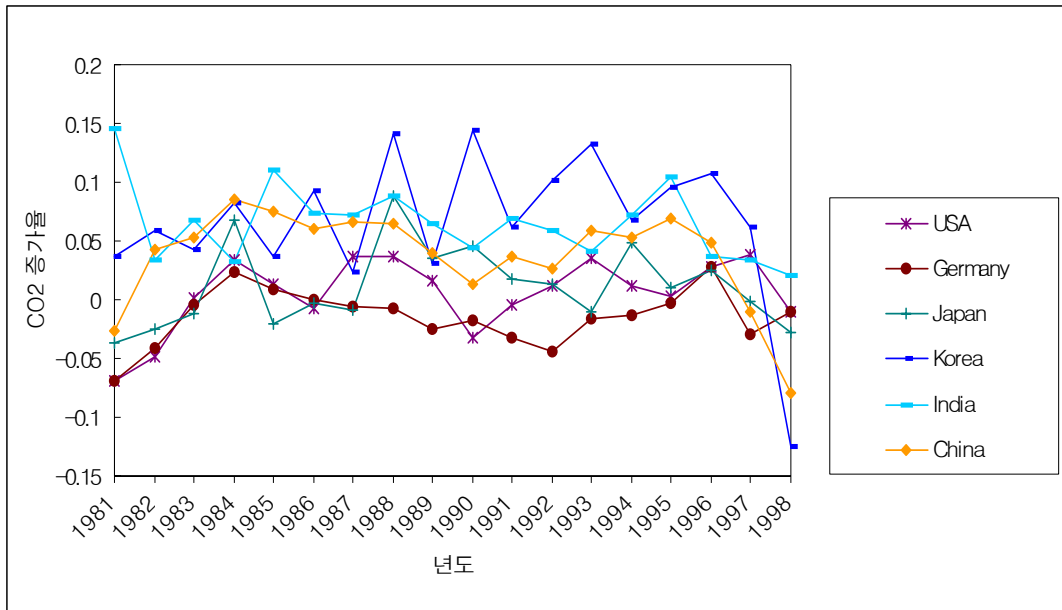
| 시나리오            | BAU   |       | 5% 삭감 |       | 10% 삭감 |       | 15% 삭감 |       | 20% 삭감 |       |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
|                 | 2015  | 2020  | 2015  | 2020  | 2015   | 2020  | 2015   | 2020  | 2015   | 2020  |
| GDP(조원)         | 985   | 1,198 | 984   | 1,197 | 982    | 1,195 | 980    | 1,193 | 979    | 1,190 |
| GDP 감소율(%)      |       |       | -0.11 | -0.11 | -0.31  | -0.29 | -0.48  | -0.49 | -0.64  | -0.69 |
| 배출량(백만TC)       | 190   | 206   | 180   | 196   | 171    | 186   | 161    | 175   | 152    | 165   |
| 90년 대비 증가       | 181%  | 205%  | 167%  | 190%  | 153%   | 175%  | 139%   | 159%  | 125%   | 144%  |
| 97년 대비 증가       | 58%   | 72%   | 50%   | 63%   | 42%    | 55%   | 34%    | 46%   | 26%    | 37%   |
| 일인당<br>배출량(TC)  | 3.66  | 3.94  | 3.48  | 3.74  | 3.29   | 3.55  | 3.11   | 3.35  | 2.93   | 3.15  |
| 97년 대비          | 122%  | 131%  | 116%  | 125%  | 110%   | 118%  | 104%   | 112%  | 98%    | 105%  |
| 원단위(TC/백만<br>원) | 0.190 | 0.170 | 0.183 | 0.164 | 0.174  | 0.155 | 0.164  | 0.147 | 0.155  | 0.139 |
| 97년 대비          | 58%   | 52%   | 56%   | 50%   | 53%    | 48%   | 50%    | 45%   | 48%    | 43%   |

주: BAU 전망은 산업자원부·에너지경제연구원(2000), GDP 감소율 자료는 환경부(2000)에서 인용함. GDP 감소율 중 15% 삭감시 감소율은 10% 및 20% 삭감시 감소율의 평균임. 배출량은 탈루성 배출을 제외한 에너지부문의 온실가스 배출총량임.

일인당 배출량 및 GDP당 배출량의 세가지 기준에 따른 기준 년도(1990년 및 1997년) 대비 변화율을 살펴보면 <표 Ⅲ-14>과 같다. 기준 년도 대비 총량변화에 있어서 기준시나리오(BAU)는 2015년의 경우 90년 대비 181% 증가한 양이며, 2020년은 205% 증가에 해당한다. BAU 대비 20% 삭감을 가정하더라도 2015년의 경우 90년 대비 125%, 2020년에는 144% 증가라는 높은 증가세를 나타낸다. 이는 현재 교토의정서상의 감축의무가 -8%~10%라는 점을 감안할 때 수치상 비교의 의미가 거의 없으며, 교토의정서 4조에 따른 EU내의 배출목표 조정결과 최대 증가율을 허용받은 포르투갈의 경우 할당받은 목표가 “1990년 대비 27% 증가”라는 점을 고려하더라도 현격한 차이가 나는 것이다. 이는 우리나라의 배출량 증가추세를 고려할 때 과거의 기준 년도 대비 총 배출량으로서 목표를 설정하는 것은 매우 불안정하다는 것을 뜻한다.

이처럼 총량변화의 불안정성은 [그림Ⅲ-2]에서도 잘 나타난다. 총량 증가율에 있어서 우리나라는 미국, 일본, 독일 등 선진국에 비해 매우 큰 변화를 보이고 있다. 이는 경제의 불안정성이 크고 미래에 대한 예측도 그만큼 어렵다는 것으로 해석할 수 있다. 이와 같은 총량증가율의 불안정성은 중국이나 인도와 같은 개도국에 비해서도 크게 나타나고 있는데, <표Ⅲ-15>에 나타난 바와 같이 경제규모가 클수록 총량증가율의 변폭(표준편차)가 작은 경향이 있다. 우리나라의 경제규모가 중국이

나 인도에 비해 작은 수준이란 점을 고려하면 총량증가율의 불안정성이 이들 국가에 비해 더 크고 따라서 목표설정의 곤란성이 더 크다는 점을 이해할 수 있다. Lutter(2000)의 연구결과도 이를 뒷받침하고 있는데, 경제규모가 10배 커짐에 따라 탄소배출량의 변동폭이 약 7% 작아지는 것으로 분석하고 있다.

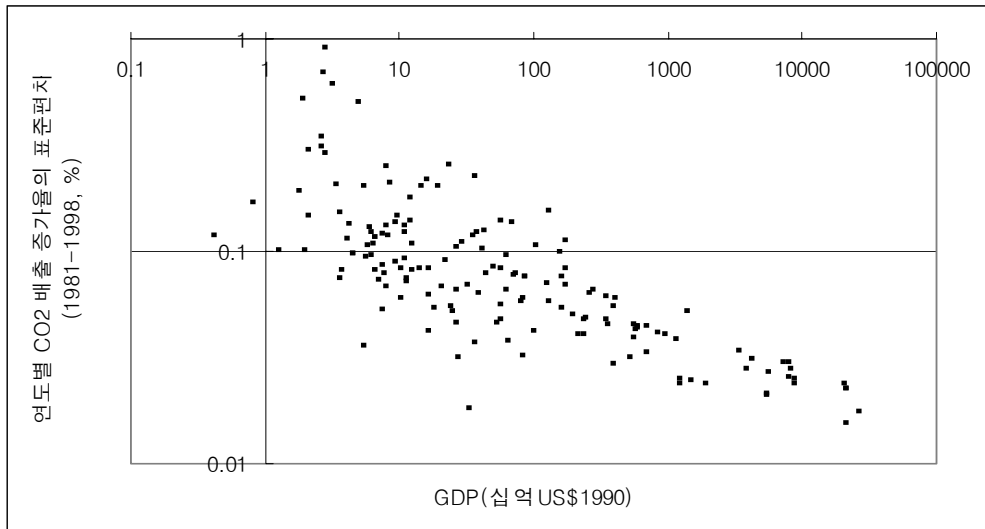


[그림 III-2] 주요 국가의 CO<sub>2</sub> 증가율 추이 자료원: IEA(2000)

<표 Ⅲ-15> 국가별 이산화탄소 관련지표 증가율 비교

| 대상 지역              | 대상기간  | CO <sub>2</sub> 배출 증가율 |        | GDP(환율기준)<br>당 CO <sub>2</sub> 증가율 |        | GDP(PPP)당<br>CO <sub>2</sub> 증가율 |        | 일인당<br>CO <sub>2</sub> 증가율 |        |
|--------------------|-------|------------------------|--------|------------------------------------|--------|----------------------------------|--------|----------------------------|--------|
|                    |       | 평균                     | 표준편차   | 평균                                 | 표준편차   | 평균                               | 표준편차   | 평균                         | 표준편차   |
| World              | 81-98 | 1.06%                  | 1.76%  | -1.54%                             | 1.36%  | -2.07%                           | 1.43%  | -0.61%                     | 1.95%  |
| Annex1Parties*     | 93-98 | -0.18%                 | 1.57%  | -2.41%                             | 1.25%  | n.a.                             | n.a.   | -0.56%                     | 1.60%  |
| Non-Annex1Parties* | 93-98 | 2.81%                  | 2.70%  | -1.57%                             | 1.57%  | n.a.                             | n.a.   | 1.11%                      | 2.64%  |
| OECDTotal          | 81-98 | 0.44%                  | 2.26%  | -2.11%                             | 1.90%  | -2.15%                           | 1.87%  | -0.37%                     | 2.43%  |
| EU                 | 81-98 | -0.46%                 | 2.57%  | -2.55%                             | 2.37%  | -2.57%                           | 2.36%  | -0.77%                     | 2.64%  |
| Austria            | 81-98 | 0.21%                  | 5.03%  | -2.10%                             | 4.83%  | -2.10%                           | 4.83%  | -0.17%                     | 4.97%  |
| Belgium            | 81-98 | -0.31%                 | 4.77%  | -2.31%                             | 4.68%  | -2.31%                           | 4.69%  | -0.51%                     | 4.73%  |
| Denmark            | 81-98 | 0.04%                  | 11.35% | -2.26%                             | 10.50% | -2.26%                           | 10.52% | -0.16%                     | 11.28% |
| Finland            | 81-98 | 0.83%                  | 10.00% | -1.67%                             | 10.70% | -1.67%                           | 10.71% | 0.40%                      | 9.97%  |
| France             | 81-98 | -1.36%                 | 5.24%  | -3.26%                             | 5.13%  | -3.26%                           | 5.13%  | -1.86%                     | 5.29%  |
| Germany            | 81-98 | -1.42%                 | 2.38%  | -3.25%                             | 2.52%  | -3.39%                           | 2.45%  | -1.68%                     | 2.58%  |
| Greece             | 81-98 | 3.36%                  | 4.23%  | 1.47%                              | 3.90%  | 1.47%                            | 3.92%  | 2.82%                      | 4.35%  |
| Ireland            | 81-98 | 1.90%                  | 3.27%  | -3.38%                             | 4.21%  | -3.38%                           | 4.14%  | 1.37%                      | 3.56%  |
| Italy              | 81-98 | 0.78%                  | 2.53%  | -1.15%                             | 2.26%  | -1.15%                           | 2.26%  | 0.71%                      | 2.52%  |
| Luxembourg         | 81-98 | -2.79%                 | 8.35%  | -7.44%                             | 7.36%  | -7.39%                           | 7.21%  | -3.74%                     | 8.35%  |
| Netherland         | 81-98 | 0.43%                  | 4.58%  | -2.00%                             | 3.98%  | -2.00%                           | 3.98%  | -0.19%                     | 4.63%  |
| Portugal           | 81-98 | 5.16%                  | 7.66%  | 1.96%                              | 6.75%  | 1.97%                            | 6.73%  | 4.98%                      | 7.70%  |
| Spain              | 81-98 | 2.04%                  | 4.44%  | -0.60%                             | 3.99%  | -0.60%                           | 3.99%  | 1.71%                      | 4.34%  |
| Sweden             | 81-98 | -2.33%                 | 6.36%  | -3.92%                             | 6.44%  | -3.92%                           | 6.45%  | -2.69%                     | 6.32%  |
| UK                 | 81-98 | -0.77%                 | 3.85%  | -2.88%                             | 3.46%  | -2.88%                           | 3.46%  | -1.06%                     | 3.81%  |
| Iceland            | 81-98 | 0.85%                  | 7.92%  | -1.94%                             | 7.96%  | -1.85%                           | 8.34%  | -0.32%                     | 5.12%  |
| Norway             | 81-98 | 1.11%                  | 7.61%  | -2.06%                             | 7.55%  | -2.06%                           | 7.53%  | 0.65%                      | 7.59%  |
| Switzerland        | 81-98 | 0.29%                  | 4.94%  | -1.27%                             | 5.10%  | -1.27%                           | 5.09%  | -0.32%                     | 5.12%  |
| CzechRepublic      | 81-98 | -1.87%                 | 3.17%  | -2.51%                             | 3.14%  | -2.50%                           | 3.15%  | -1.87%                     | 3.13%  |
| Hungary            | 81-98 | -1.83%                 | 3.73%  | -2.49%                             | 4.68%  | -2.50%                           | 4.67%  | -1.52%                     | 3.76%  |
| Porland            | 81-98 | -1.40%                 | 5.84%  | -2.93%                             | 5.53%  | -2.93%                           | 5.53%  | -1.90%                     | 5.81%  |
| Romania            | 81-98 | -3.07%                 | 6.98%  | -2.18%                             | 5.03%  | -2.18%                           | 5.03%  | -3.19%                     | 6.75%  |
| Russia*            | 93-98 | -5.41%                 | 4.81%  | 0.03%                              | 2.49%  | 0.03%                            | 2.49%  | -5.21%                     | 4.88%  |
| Ukraine*           | 93-98 | -7.86%                 | 6.36%  | 3.48%                              | 7.02%  | 3.47%                            | 7.01%  | -7.29%                     | 6.58%  |
| Australia          | 81-98 | 2.39%                  | 2.99%  | -0.93%                             | 3.18%  | -0.92%                           | 3.18%  | 0.94%                      | 2.90%  |
| Canada             | 81-98 | 0.66%                  | 3.34%  | -1.79%                             | 3.05%  | -1.79%                           | 3.04%  | -0.57%                     | 3.41%  |
| Japan              | 81-98 | 1.16%                  | 3.45%  | -1.75%                             | 3.31%  | -1.75%                           | 3.31%  | 0.67%                      | 3.55%  |
| NewZealand         | 81-98 | 3.30%                  | 4.62%  | 1.25%                              | 5.34%  | 1.26%                            | 5.41%  | 2.23%                      | 4.68%  |
| US                 | 81-98 | 0.53%                  | 3.05%  | -2.18%                             | 2.19%  | -2.18%                           | 2.19%  | -0.45%                     | 3.23%  |
| China              | 81-98 | 3.76%                  | 4.10%  | -5.30%                             | 3.80%  | -5.72%                           | 3.69%  | 2.36%                      | 4.08%  |
| India              | 81-98 | 6.51%                  | 3.21%  | 0.35%                              | 2.63%  | 0.35%                            | 2.63%  | 4.29%                      | 2.77%  |
| Mexico             | 81-98 | 3.10%                  | 6.19%  | 0.14%                              | 2.35%  | 0.14%                            | 2.34%  | 0.86%                      | 5.40%  |
| Argentina          | 81-98 | 1.83%                  | 4.09%  | -0.26%                             | 4.46%  | -0.26%                           | 4.46%  | 0.34%                      | 4.20%  |
| Brazil             | 81-98 | 2.57%                  | 4.43%  | 0.00%                              | 4.09%  | 0.00%                            | 4.09%  | 0.72%                      | 4.86%  |
| Korea              | 81-98 | 6.62%                  | 6.08%  | -0.67%                             | 4.19%  | -0.68%                           | 4.20%  | 5.37%                      | 6.12%  |
| SouthAfrica        | 81-98 | 3.32%                  | 5.81%  | 1.41%                              | 4.82%  | 1.41%                            | 4.81%  | 0.86%                      | 5.21%  |
| Indonesia          | 81-98 | 6.75%                  | 6.98%  | 0.70%                              | 7.29%  | 0.70%                            | 7.29%  | 4.76%                      | 6.67%  |
| Malaysia           | 81-98 | 7.71%                  | 7.87%  | 1.00%                              | 6.13%  | 1.00%                            | 6.12%  | 4.76%                      | 7.66%  |

주: \*의 경우 CO<sub>2</sub> 배출증가율이외의 대상기간은 92-98년임. 자료원: IEA(2000)



[그림 III-3] 국가별 이산화탄소 배출증가율 표준편차와 경제규모의 상관관계  
자료원: IEA(2000)

[그림 III-3]을 보면 국가별 배출증가율의 표준편차와 경제규모(GDP)간에 밀접한 상관관계가 있음을 나타내는데, 특히 양 변수에 로그를 취할 경우 선형의 관계가 뚜렷하게 관찰된다. 이에 대한 회귀분석결과는 다음과 같다.

$$\text{배출증가율의 표준편차} = 0.203 \cdot \text{GDP}^{-0.242}$$

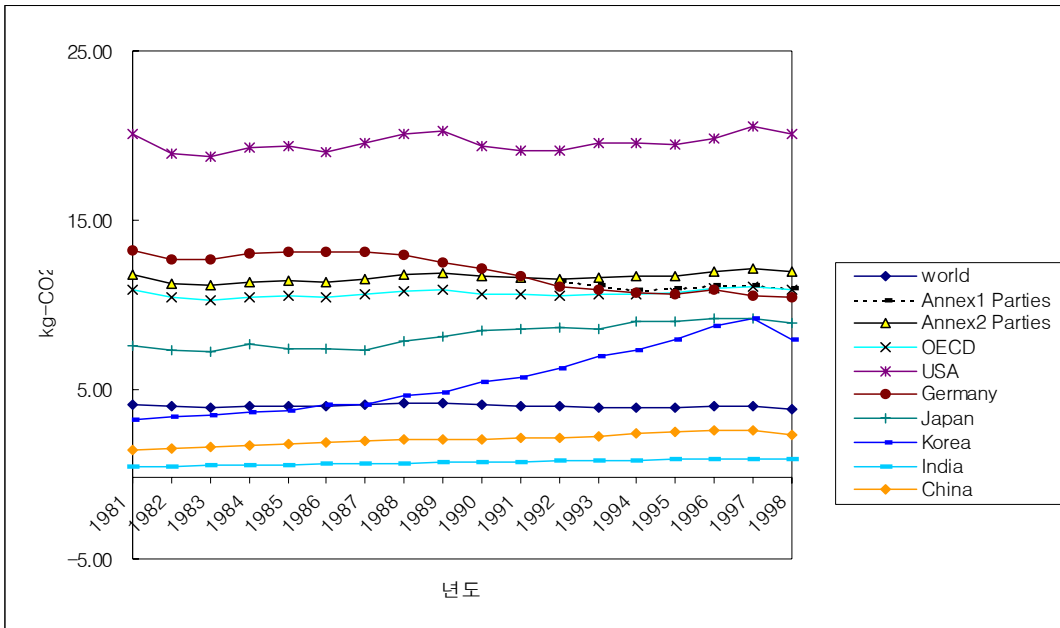
상관계수( $R^2$ )는 0.569로 비교적 높게 나타났으며, t값은 상수(로그값)의 경우 -20, 지수의 경우 -14로 유의하게 나타났다.

배출량의 불안정성 뿐만 아니라 예측의 불확실성도 목표설정을 어렵게 하는 주요 요인중의 하나이다. 과거의 배출전망과 실제 배출량의 차이를 통해서도 잘 나타나는데, 1995년의 에너지 부문 이산화탄소 배출량에 대하여 한국에너지기술연구소(1991)는 81.5 백만tC로 추정하였는데, 에너지경제연구원(1998)의 산정결과는 107.8백만tC로 나타났다. 또한 2010년에 에너지부문 이산화탄소 배출전망의 경우 한국에너지기술연구소(1991)는 121.8백만tC로 예측했는데, 동력자원부(1992)에서는 139.4백만tC, 에너지경제연구원(1998)에서는 173.1백만tC, 에너지경제연구원(2000)에서는 170.6백만tC로 예측하는 등 10년간에 걸쳐 전망치 자체가 40%나 증가하였다. 이처럼 배출전망(혹은 에너지 소비전망)이 과소추정되는 경향은 미국의 경우에서도 발견되는데, Lutter(2000)에 따르면 미국 EIA(Energy Information Agency)의

과거 전망의 87%가 과소추정되었던 것으로 조사되었다.

또한 IPCC(1996)에 따르면 에너지부문의 이산화탄소 배출량 산정에 있어서 배출 계수의 불확실성이 7%, 활동자료의 불확실성이 7%로 총 불확실성이 10%에 이르는 것으로 추정하고 있으며, 메탄가스의 경우는 불확실성이 100%, 아산화질소는 수십배의 오차가 날 수 있음을 밝히고 있다. 이처럼 배출량의 불안정성과 예측의 불확실성, 그리고 배출량 산정 자체의 불확실성이 복합적으로 영향을 미칠 경우 배출량의 불확실성은 매우 커질 수 있다.

일인당 배출량에 있어서 우리나라는 비록 차이가 크지는 않지만 아직까지는 부속서 I 및 II 국가 평균치보다 낮은 것으로 평가된다. IEA(2000)에 따르면 1998년 기준 연료연소에 따른 일인당 이산화탄소 배출량이 우리나라의 경우 7.97 CO<sub>2</sub>톤(1997년에는 9.2톤)인 반면 부속서 I국가는 11톤, 부속서 II국가는 12톤이다. 비록 전 세계 평균이 3.87톤이라는 점을 고려하면 우리나라의 일인당 배출수준이 매우 높지만 온실가스 저감의무의 부담이 아직까지는 선진국에 국한되고 있다는 점을 고려할 때 부속서 I 혹은 II국가 평균과 비교하는 것이 합리적이라 판단된다. 하지만 우리나라의 일인당 배출량은 지속적으로 증가하여 조만간 부속서 I/II 국가평균을 넘어설 것으로 예상된다. 부속서 I/II 국가의 평균 수준으로 일인당 배출량을 유지하는 목표를 상정할 경우 2010년의 경우 BAU 대비 10% 이상 감축해야 하며, 2020년에는 20% 이상 감축해야 할 것으로 예측된다.

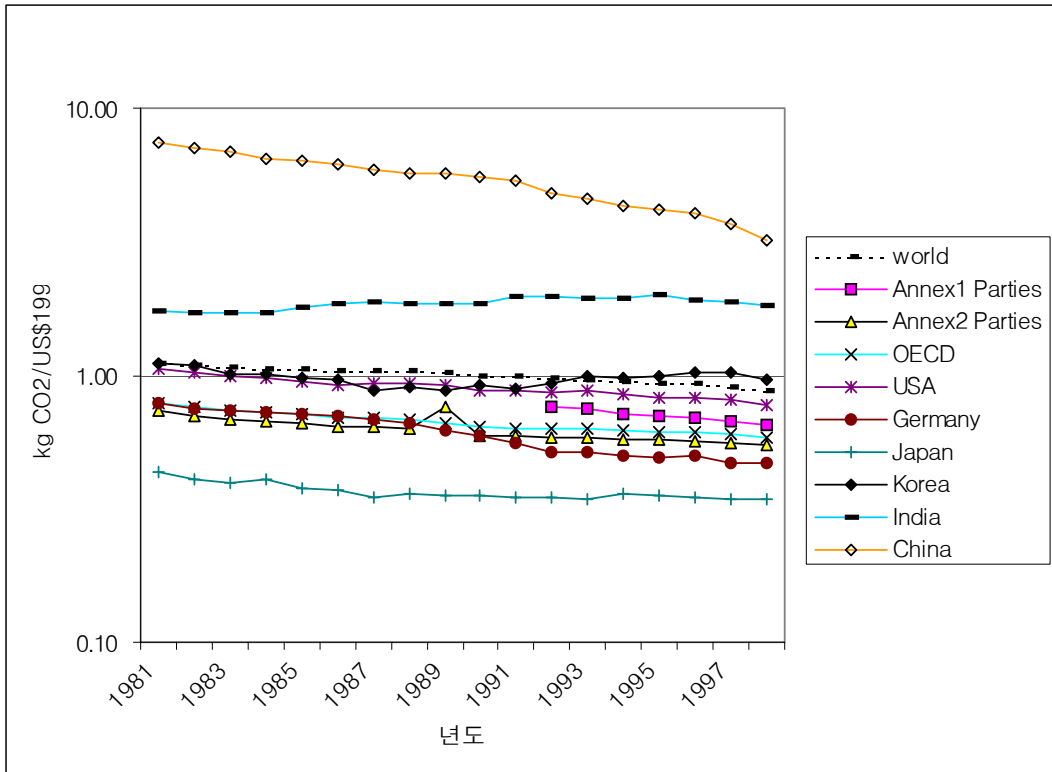


[그림 III-4] 주요 국가의 일인당 이산화탄소 배출량 추이

자료원: IEA(2000)

[그림 III-4]에서도 알 수 있듯이 우리나라의 일인당 배출량은 급속한 증가세를 보이고 있어 조만간 선진국 수준에 도달할 것으로 예상되지만 지금까지의 누적 배출량에 있어서는 아직도 큰 차이를 보이고 있다. 1950년~1995년 동안의 누적배출량을 1995년 인구로 나눈 수치에 있어서 우리나라는 약 100톤 수준이나 미국은 675톤, 영국 459톤, 독일 512톤, 프랑스 283톤, 일본 238톤 등으로 선진국이 우리나라보다 2~6배나 높은 수준이다. 이러한 격차는 앞으로 줄어들 것으로 예상되지만 가까운 장래에 우리나라의 일인당 누적 배출량이 선진국을 추월하기는 어려운 것으로 예상된다. 하지만 개도국에 비해서는 상대적으로 매우 높은 수준이어서 이미 전 세계 평균치를 넘어선 것으로 평가된다.

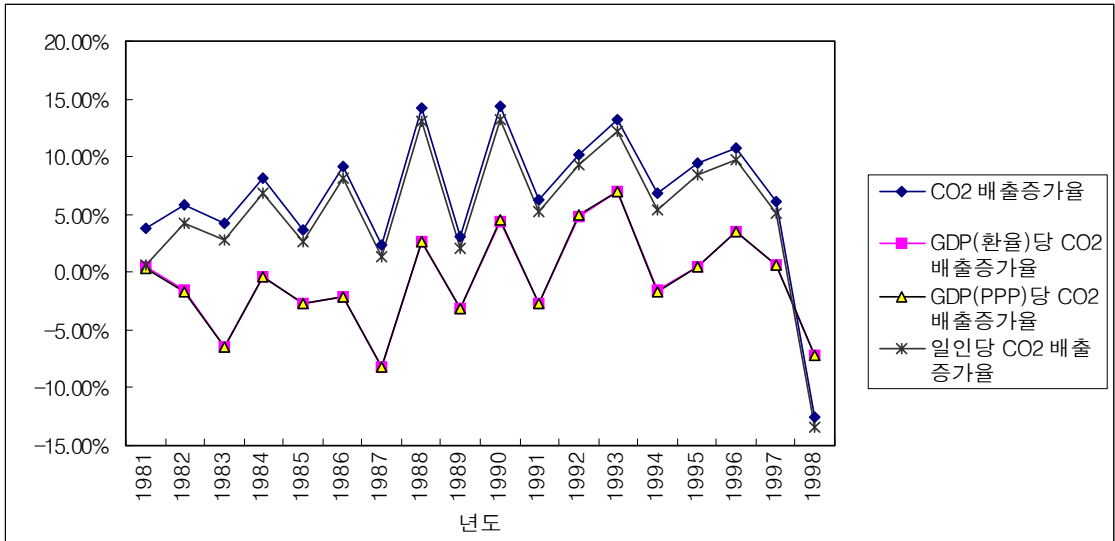
GDP당 배출량은 일인당 국민소득이 증가함에 따라 감소하는 경향이 있다. 그 이유로는 경제발전예 따라 저탄소형 서비스산업의 비중 증가, 청정연료 이용 증가, 에너지 이용효율 증가 등 여러 가지를 추론해 볼 수 있다. IEA(2000)에 따르면 1998년 기준 US\$(1990)당 kg-CO<sub>2</sub>에 있어서 우리 나라는 0.96으로 부속서 I국가평균 0.65 및 부속서 II국가평균 0.55보다 매우 높은 수준이다.



[그림 III-5] 주요 국가의 GDP당 이산화탄소 배출량 추이

자료원: IEA, CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion, 2000

이러한 격차는 우리나라의 저감 잠재력이 높다는 근거로 간혹 거론되고 있는데, 산업자원부·에너지경제연구원(2000)의 BAU 시나리오 하에서도 앞으로 GDP당 배출량이 크게 낮아지는 것으로 전망하고 있어 이러한 논리를 뒷받침한다. 이러한 현상이 반드시 우리나라가 높은 저감목표를 설정해야 한다는 근거로서만 해석되어서는 안될 것이다. 오히려 경제발전과정상 아직 선진화된 경제구조에 이르지 못하였으며 아직도 추가적인 기간이 필요하다는 근거로서 제시될 수 있을 것이다. 뿐만 아니라 BAU 하에서도 큰 폭의 감소가 가능한 GDP당 배출량지수를 통해 적극적인 감축노력을 홍보할 수 있을 것이다. 산업자원부·에너지경제연구원(2000)에 따르면 우리나라의 GDP당 배출량은 BAU 하에서도 2015년의 경우 1997년 대비 42%, 2020년에는 48%의 감소가 예상되며, 10% 감축 시나리오를 가정하면 2015년의 경우 1997년 대비 47%, 2020년에는 52%나 감소하게 된다.

[그림 III-6] 우리나라의 CO<sub>2</sub> 관련 주요 지표의 증가율 추이자료원: IEA, CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion, 2000.

GDP 연동방식은 배출총량이나 일인당 배출량 등의 지표에 비해 불확실성이 작다는 장점도 갖는다. [그림 III-6]에 나타난 바와 같이 배출총량 혹은 일인당 배출량의 변화보다 GDP당 배출량의 변화폭이 작다. 앞의 <표 III-15>에 따르면 연도별 GDP당 배출량 증가율의 변동(표준편차)은 환율 기준 GDP의 경우 4.19%, 구매력등가지수(Purchasing Power Parity: PPP) 기준의 경우 4.20%인 반면, 배출총량 증가율(표준편차 6.08%)이나 일인당 배출 증가율(표준편차 6.12)에 비해 상대적으로 작음을 알 수 있다. GDP를 국제환율에 따라 평가할 경우와 PPP에 따라 평가하는 경우는 서로간에 큰 차이가 없는 것으로 평가된다.

또한 이와 같은 GDP 연동방식에 따를 경우 배출목표량이 사후적으로 결정되므로 경제변수에 대한 예측오차에 따른 위험을 상당부분 해소할 수 있다는 점이 추가적인 장점으로 고려될 수 있을 것이다. 참고로 아르헨티나가 제5차 당사국총회에서 발표하였던 2010년 기준 저감목표가 GDP당 배출량 기준으로 1997년 대비 3~22% 감축 수준이라는 점을 고려할 때 우리나라는 GDP당 배출량의 감축이라는 방식을 통해 보다 적극적인 저감의지를 홍보할 수 있을 것이다.

하지만 GDP당 배출량을 통한 배출저감목표 설정시 유념하여야 할 점은 우리나라의 BAU 전망에 있어서 GDP당 배출량이 지나치게 큰 폭으로 낮아지는 것으로 추정되었다는 점이다. [그림 III-5]에서도 볼 수 있듯이 지금까지의 우리나라 GDP

당 배출량 추이는 70년대 이래 약간의 변동이 있지만 거의 일정수준을 유지하고 있으며, 외환위기 이전인 1997년까지는 오히려 약간 상승하는 경향을 나타내고 있다. 하지만 산업자원부·에너지경제연구원(2000)의 BAU 전망은 2020년까지 GDP당 배출량이 48%까지 감소하는 것으로 추정하고 있어 에너지 다소비형 산업구조로부터의 획기적인 탈피를 가정하지 않고는 현실화되기 어려울 수 있다. 이처럼 BAU하의 GDP당 배출량이 급속히 낮아질 것이라는 가정하에서 추가적인 저감목표를 설정하였을 때 만일 향후 산업구조 변화가 예상과 달리 나타날 경우 목표달성에 큰 어려움을 겪을 것으로 예상할 수 있다. 따라서 BAU 전망에 대한 보다 심도있는 분석이 선행되지 않고는 GDP당 배출량을 목표설정을 위한 지표로서 활용하는 방안에 역시 신중을 기해야 할 것이다.

## IV. 온실가스 배출권 거래제도 논의동향<sup>20)</sup>

### 1. 배출권 거래제도의 개념 및 특징

#### 1.1 배출권 거래제도의 개념

배출권 거래제도는 환경 혹은 자원과 관련된 허가(권리)를 비교가능한 정량적 개념으로 정의하고, 이의 거래를 허용하는 제도라 할 수 있다. 이를테면, 한 단위의 배출권은 일정량의 오염물질 배출에 대한 허가를 의미하며, 배출업소는 배출권 보유량 이하로 배출량을 줄이거나 다른 업체로부터 부족한 양에 해당하는 배출권을 구입할 수 있고, 배출량을 초과하는 양의 배출권을 보유하는 업체는 잉여배출권을 판매할 수 있는 것이다.<sup>21)</sup>

배출권 거래제도는 오염문제의 근본적 원인이 환경에 대한 재산권의 부재 혹은 불완전성에 있다는 인식하에, 환경(오염행위)에 대한 재산적 권리를 설계하고 경제주체간에 배분하여 거래도록 함으로써 효율적인 의사결정을 촉진하고자 하는 제도이다. 배출권 거래제도하에서 오염물질의 배출저감비용이 작은 업체는 배출량을 더 삭감하는 대신 상대적으로 비용이 큰 업체에게 배출권을 판매함으로써 이익을 얻을 수 있다. 또한 저감비용이 큰 업체는 무리한 저감노력을 하는 대신에 배출권을 매입함으로써 저감의무를 대신할 수 있다. 물론 이 때 지불하는 매입비용은 저감비용이 상대적으로 낮은 기업이 보다 많은 저감을 위해 노력하는데 쓰여질 것이다. 배출권의 거래가격은 판매자의 추가적 배출삭감비용보다는 크고 구매자가 절약하게 되는 삭감비용보다는 작은 수준에서 결정(합의)될 것이며, 결과적으로 총 배출량이 증가하지 않으면서 거래참여업체 모두가 이익을 얻을 수 있게 된다. 배출권 시장이 효율적으로 운영되어 이와 같은 호혜적 거래가 모두 성사된다면 비용

20) 김용건(1999b)의 내용을 수정, 보완한 것임.

21) 배출권의 법적 개념과 관련하여 이는 재산권적 권리로서 인식되어서는 안되며 단지 정부의 정책적 필요에 따른 행정상의 허가권적 개념이어야 한다는 주장도 있다. 하지만 비록 허가권이라 하더라도 재산권적 권리가 없거나 혹은 침해되어도 된다고는 볼 수 없다. 배출권 거래제도를 도입함에 있어서 많은 경우에 정부의 정책적 필요에 따라 배출권의 발행규모나 사용조건을 변경할 수 있다는 조항을 삽입하고 있는데, 이는 권리의 대상이 환경과 관련되었을 경우에만 한정되는 것은 아니며 다른 재산권의 경우에도 자주 발견되는 것이다. 결국 허가권으로 표현할 것인지 재산권으로 표현할 것인지는 표현상의 문제일 뿐 실질적 내용에 대해 본질적인 차이를 나타내는 것은 아니라고 판단된다. 본 연구에서는 '배출권'이란 표현을 사용하기로 한다.

상으로 사회적 최선의 자원배분이 달성될 수 있다.<sup>22)</sup>

## 1.2 배출권 거래제도의 유형

배출권 거래제도는 허가(배출권)의 개념에 따라 “협회의 배출권 거래제”와 “오염권 거래제”로 나눌 수 있다. “협회의 배출권(emission permit)” 거래제는 특정 오염물질을 일정기간동안 일정량 배출할 수 있는 허가권을 거래하는 제도로서 온실가스, 오존층 파괴물질 등과 같이 균등혼합성<sup>23)</sup> 오염물질에 적합하다. 오염물질별로 단일유형의 배출권이 발행된다.

“오염권(pollution permit 혹은 ambient permit) 거래제”란 특정 지역에 있어서의 특정 오염물질 오염도를 일정기간동안 일정수준 증감시킬 수 있는 허가를 거래하는 것이다. 미국의 Emission Trading 프로그램이 이에 해당하는데 배출권의 거래를 위해 오염도에 대한 영향평가가 선행되어야 한다. 먼지, 아황산가스 등 불균등 혼합성 오염물질에 적합하며, 오염물질은 물론 오염영향권별로도 차별화된 배출권이 발행되어야 한다.

대부분의 환경문제는 오염원의 위치가 지역별 오염도에 영향을 미치는 불균등 혼합성 오염물질이다. 예를 들면 오염도가 이미 높은 지역에서 배출되는 오염물질이 그렇지 않은 지역에서 배출되는 오염물질보다 심각한 영향을 미칠 수 있다. 이러한 환경문제는 오염물질 배출이 동등한 조건으로 교환될 경우 특정 지역의 오염을 가속화시킬 수 있기 때문에 원칙적으로 오염권 거래제의 방식을 적용하는 것이 바람직하다. 하지만 오염권의 발행과 거래 및 관리가 복잡해지기 때문에 제한적인 형태의 (협회의) 배출권 거래제를 활용하는 것이 보편화되어 있다. 물론 지구온난화나 오존층 파괴 등의 경우와 같이 오염물질의 배출지점이 어느 곳인가가 중요하지 않을 때에는 협회의 배출권 거래제도 적용이 바람직하다.

한편, 캘리포니아의 저공해 자동차 프로그램에서와 같이 기업의 산출물에 대하여 일정비율의 배출허용량을 정하고 이를 초과 혹은 미달하는 양에 대하여 거래를 허용할 수도 있다. 이는 비율개념의 배출권거래(ratio-based permit system)라 부르기도 하는데, 배출권을 미리 할당하지 않고 산출물 실적에 따라 사후적으로 인

22) 배출권 거래제도의 경제적 효율성(비용효과성: cost-effectiveness)에 대한 이론적 증명은 Montgomery(1972)를 참조하시오.

23) 균등혼합성 오염물질이란 오염원의 위치가 오염문제 자체에 영향을 끼치지 않는 오염물질을 뜻한다.

정하게 되는데 경제환경이 급변할 때 배출업소의 적응능력을 향상시킬 수 있다. 앞에서 살펴본 바 있는 GDP-연동방식에 따라 배출권을 배분할 경우 개념적으로 비율 개념 배출권에 해당한다.

“배출권”의 인정방식에 따라 배출허용권 거래와 삭감인증권 거래로 나누어 볼 수 있다. 배출허용권 거래(allowance-based system)란 1회에 한해 소비될 수 있는 배출권(일정량의 배출권리로 표시)이 거래되는 형태로 배출총량에 대한 사전적 결정에 따르는 소위 “Cap-and-trade” 방식으로서 배출총량에 대한 직접관리를 위한 전형적인 배출권 거래제도이다. 삭감인증권 거래(credit-based system; baseline-and-credit)란 엄격한 심사에 의해 정해진 기준(Baseline) 대비 추가삭감량을 공증하고 이를 거래하도록 하는 것으로 흔히 영구적인 배출허가의 형태로 설계된다. 인증과정의 복잡성으로 높은 거래비용을 초래하기 때문에 기존의 규제수단에 보조적으로 사용되는 경우가 많으며, 본격적인 배출권 거래제 도입 전에 경험축적을 위한 과도기적 단계로서 유용하다는 평가를 받고 있다.

### 1.3 배출권 거래제도의 특징

#### 1.3.1 배출권 거래제도의 장단점

배출권 거래제도의 가장 중요한 장점은 효율성 혹은 비용효과성(cost-effectiveness)이다. 거래비용이 없을 경우 배출권의 초기배분에 상관없이 정해진 환경의 질을 최소비용으로 달성할 수 있다는 점이다. 배출권 거래제도하에서 오염물질 단위당 저감비용이 상대적으로 낮은 오염원은 가능한 한 배출량을 많이 줄여 이를 타 오염원에 판매함으로써 배출권의 판매수입을 올리려고 하고, 저감비용이 높은 오염원은 배출권의 매입을 통해 저감목표를 달성하고자 하기 때문에 전체적으로 오염물질 감축에 따른 저감비용을 감소시키는 거래가 발생하게 된다. 단, 거래비용, 정보의 비대칭성, 가격조작 등의 요인이 효율성을 저하시킬 수 있다.

이러한 비용효과성은 배출부과금에 의해서도 달성될 수 있는데, 거래비용이 없는 완전경쟁상태에서 초기배분을 경매에 의존하는 배출권 거래제도는 이론적으로 배출부과금제도와 동일한 자원배분을 가져올 수 있는 것으로 알려져 있다.

배출권 거래제도를 배출부과금과 구별되게 하면서 후자에 비해 우수한 점으로 평가받는 점은 불확실성 하에서 배출총량의 직접관리를 통한 ‘환경의 질’ 개선효과를 보다 안정적으로 보장한다는 점이다. 명확한 목표관리를 통해 정책의 효과성

확보가 가능하고 정책시행의 사후평가가 용이하다.

“형평성과 효율성의 조화(혹은 분리) 가능성(separation of efficiency and equity)”도 배출권 거래제도의 장점으로 평가받는다. 즉, 경제적 효율성을 깨뜨리지 않으면서 초기배분의 자유로운 조정을 통해 경제주체간의 이익배분을 조절할 수 있다. 배출권의 초기배분시 유·무상 분배방식의 적절한 혼합을 통해 배출업소의 경제적 부담을 적정수준으로 유지할 수 있도록 함으로써, 거래주체, 거래규칙의 설계를 통해 관련 당사자의 이해관계 조정이 용이하다. 이외에도 기술개발을 촉진하고<sup>24)</sup> 효율적인 자원배분을 촉진하는 가격기구로서의 역할을 할 수 있으며<sup>25)</sup>, 경제주체의 자율성에 기초한 상호견제와 협력을 촉진할 수 있다는 장점을 갖고 있다.<sup>26)</sup>

배출권 거래제도의 단점은 감시 및 행정비용과 거래비용이 클 수 있다는 것이다.<sup>27)</sup> 직접규제수단에 비해 정교한 배출측정방식이 필요하며, 거래자의 탐색, 거래승인 등에 따른 거래비용이 발생한다. 또한 시장의 불확실성에 따른 위험비용이 발생할 수 있다. 독과점, 불완전 정보 등에 따른 배출권 가격의 불안정성, 정산에 따른 시장의 불안정성 등 경제주체가 당면하는 불확실성과 불안정성이 증가될 수 있다. 목표 오염총량의 결정과정이 없다는 점도 지적될 수 있다. 환경목표의 설정과 이에 상응하는 목표 오염총량의 결정을 위한 방법론이 결여되어 있음에 따라 환경적 피해에 대한 정보수집이 필요하다.

### 1.3.2 배출권 거래제와 배출부과금 제도의 비교

배출부과금과 배출권 거래제도의 차이는 전자가 배출행위에 대한 가격(배출량에 비례하는 재정적 부담)을 통해 간접적으로 총량을 관리하는 반면, 후자는 관리목표로 결정된 배출총량을 배분하고 이를 초과하지 않도록 강제함으로써 배출총량을 직접 관리한다는 점에 있다. 배출권 거래제도 하에서는 배출행위에 대한 가격이

24) 배출권 판매업체 및 매입업체 모두에 있어서 직접규제시 보다 기술개발의 유인이 높다.

25) 주어진 환경목표 하에서 환경자원에 대한 올바른 가격을 생산하여 자원배분의 효율성을 극대화할 수 있는 의사결정을 유도할 수 있다.

26) 오염총량이 정해진 상황에서 업체상호간 배출량에 대한 상호감시를 유도하고, 배출저감 기술투자에 대한 상호협력을 증진시킬 수 있다.

27) 감시 및 행정비용에 있어서 배출권 거래제도가 보다 정확한 배출량 측정을 필요로 하므로 배출부과금정책에 비해 더 높은 비용을 유발한다는 주장도 있으나, 배출부과금정책이라 하여 배출량 산정의 정확성이 더 떨어져도 된다는 주장은 받아들이기 어렵다. 오히려 배출권 거래제도의 경우 배출업소간 견제의 효과(배출권 거래제도하에서는 특정 업소의 배출량 허위(감소)보고가 배출권의 가격을 하락시켜 다른 업소에 재산권적 피해를 초래함)로 배출량의 허위보고가 효과적으로 예방될 수 있으므로 오히려 감시 및 행정비용을 낮출 수 있다.

배출권의 시장거래를 통해 형성되는 반면, 배출부과금 제도 하에서는 규제당국에 의해 결정되는 배출부과금 요율이 배출행위의 가격을 결정한다. 따라서 배출권 거래제의 시행은 정해진 배출총량과 불확실한 배출권 가격을 초래하며, 배출부과금은 확정된 가격과 불확실한 배출량을 초래한다.<sup>28)</sup>

거래비용이나 불확실성, 정보의 불완전성, 독과점적 시장구조 등이 배제된 단순한 가정하에서는 두가지 제도가 효율성 측면에서 동일한 효과를 가져올 수 있으며, 형평성(경제주체간 이익의 분포) 측면에서도 배출부과금하에서의 세수 배분이나 배출권거래제하에서의 초기배분방식의 조정에 따라 동일한 결과를 가져오도록 설계될 수 있다.

Weitzman(1974)에 따르면 양적 규제나 가격규제나에 대한 규제당국의 선택은 한계비용곡선과 한계이익곡선의 기울기의 상대적 크기에 따라 결정되어야 한다. 한계비용곡선의 기울기가 더 급할 경우에는 가격규제정책이 선호되며, 반대의 경우에는 양적규제가 선호된다. Montero(1999)는 배출업소가 불성실한 보고를 통해 규칙을 위반할 가능성이 있을 경우, 배출권 거래제와 배출부과금은 모두 최적상태의 달성을 보장하지 않음을 보여주고 있다. 비용 및 편익(피해)곡선이 알려져 있다면, 두 가지 정책 모두 불완전 강제를 고려하는 차선책(second-best design)을 설계할 수 있다. 하지만 비용 및 이익함수에 대한 정보가 불확실할 때는 양적 규제가 가격규제보다 우월하다. 특히 한계비용함수와 한계이익함수의 기울기가 같을 경우에는 양적 규제가 우월함을 보이고 있다.

Pizer(1999)는 화석연료 연소에 따른 탄소배출량 관리를 위해서는 가격 규제(탄소세)가 양적 규제(배출권 거래제도)보다 바람직하다고 주장하고 있다. “Best-guess scenario”하에서 배출권 거래제도는 8.5GtC의 총량을, 탄소세는 \$80/tC의 세율을 부과한다고 가정하고, 미래상황의 불확실성을 고려한 1천개의 시나리오<sup>29)</sup>를 통해 비용·편익을 분석한 결과, 탄소세가 배출권 거래제보다 5배나 높은 순편익을 가져오는 것으로 나타났다. 배출권 거래제도는 비통제 배출량(uncontrolled emission: BAU 배출량)이 높을 경우 탄소세보다 높은 비용을 유발하고, 반대의 경우에는 더 낮은 비용(zero)을 초래함으로써 변화의 폭(불확실성)이 매우 크다는 것이다.<sup>30)</sup> 이러한 이유로서 기후변화문제의 경우 아직 급격한 위험을 초래하는 임계수준(threshold)이 단기간에 도달될 가능성이 희박하므로, 적어도 단

28) 이러한 불확실성은 기후변화문제의 경우 저감비용정보의 불완전성, 기술개발의 불확실성, 경제예측의 불확실성, 예상되는 피해의 과학적 불확실성 등에 크게 의존한다.

29) 총량에 있어서 7~18GtC의 범위를 갖고 있다. 참고로 IPCC에서 제시하는 6개의 시나리오는 9~13GtC에 걸쳐 있다.

30) 탄소세의 경우 저감비용이 GDP의 0.2~0.6%인 반면, 배출권제도의 경우 0~2.2%임.

기적으로는 (비용측면에서) 보다 유연한 저감정책을 택하는 것이 유리하다는 점을 들고 있다. 하지만 탄소세는 산업계로부터는 재정적 부담을 이유로, 환경론자로부터는 배출량 목표달성의 불확실성 때문에, 각각 정치적 반대에 부딪히고 있다. 이를 극복하기 위해서는 탄소세와 배출권 거래제의 복합적 형태인 혼합식 규제(hybrid 혹은 safety-valve)를 고려할 수 있다고 제안하고 있다.

배출업소의 한계저감비용함수가 경제학에서 흔히 가정하는 볼록성(convexity) 조건을 만족하지 않을 경우 배출권 거래제도와 배출부과금 제도는 보다 명확한 차이점을 나타낸다.<sup>31)</sup> 이 점을 설명하기 위해 다음과 같은 가상적 상황을 가정하자. 즉, 아황산 가스를 연간 100톤씩 배출하는 10개의 동일한 배출업소가 있다. 환경규제당국은 전체 배출량 1,000톤을 80% 수준인 800톤으로 줄이기 위해 바람직한 정책수단을 검토하고 있다. 또한 개별 배출업소는 동일한 기술적 특성을 나타내고 있고, 활용가능한 저감기술은 50%의 배출저감효과가 있는 배연탈황시설의 설치라는 하나의 대안만이 존재하며 이를 위해서는 100만원의 투자비용(평균 2만원/톤)이 소요된다. 이러한 가정하에서 정부가 20% 삭감목표를 달성하기 위해서는 전체 10개의 배출업소 중 4개 업체가 배연탈황시설을 설치하여야 함을 알 수 있다. 정부가 직접규제, 배출부과금, 배출권 거래제도의 3가지 정책대안을 검토한다고 가정하자. 먼저 직접규제하에서는 정부가 10개의 업체에게 동일하게 20%씩 삭감하도록 강제할 경우 모든 업체가 배연탈황시설을 설치하여야 하며, 총 1천만원의 비용이 소요되고 50%에 달하는 과도한 삭감이 발생하게 된다. 이러한 비용부담과 과도한 삭감노력을 방지하기 위해 10개 업체중 4개 업체를 선택하여 배연탈황시설 설치를 강요할 수 있으나, 동일한 업체중 특정 업체를 골라 과도한 부담을 안겨주는 것은 현실적으로 용이하지 않을 것이다.

배출부과금의 경우 어느 수준의 배출부과금을 부과하는 것이 바람직한가를 보면, 부과요율이 톤당 2만원 이하일 때는 모든 업체가 배연탈황시설을 설치하는 대신에 배출부과금을 납부하는 편이 유리하다는 것을 알 수 있다. 반면 톤당 2만원 이상의 부과요율하에서는 모든 업체가 배연탈황시설을 설치하려고 할 것이다. 이처럼 불연속적인 비용함수하에서는 배출부과금을 통해 적정 환경목표를 달성한다는 것이 불가능할 수 있는 것이다.

한편, 배출권 거래제도하에서는 각 업체에게 기준 배출량에서 20% 삭감된 80톤

31) 경제학에서는 흔히 한계저감비용을 저감량에 대해 증가하는 연속이고 볼록한 형태로 가정한다. 이러한 볼록성 가정은 현실에서 종종 만족되지 못한다. 예를 들면 어떤 기업에 있어서 일정 수준까지의 오염물질 저감은 A연료로의 전환으로, 그 이상은 B연료로의 전환으로 달성할 수 있을 경우에, 한계저감비용은 단계함수(step function)의 모양을 취하는데 이는 볼록성과 연속성을 만족하지 않는다.

씩에 해당하는 배출권을 배분하고 이를 거래하도록 허용할 수 있다. 개별 업체는 20톤에 해당하는 배출권을 추가 구입하든지, 배연탈황시설을 설치하든지 선택하여야 한다. 이러한 상황하에서 예상할 수 있는 상황은 10개 중 4개의 업체가 배연탈황시설을 설치하고 나머지 6개의 업체는 배연탈황시설을 설치한 업체로부터 배출권을 구입하는 것이다. 배연탈황시설을 설치하는 업체는 50%에 해당하는 50톤의 삭감이 가능하므로 30톤에 해당하는 배출권을 판매할 수 있게 되어 4개 업체가 총 120톤의 배출권을 공급할 수 있고, 배연탈황시설을 설치하지 않은 6개의 업체는 20톤씩 총 120톤의 배출권을 매입하고자 할 것이다. 배출권의 가격은 톤당 0~2만원사이에서 결정될 것이며, 배연탈황시설을 설치한 업체는 배출권의 판매로 설치비용의 일부를 회수할 것이며, 배연탈황시설을 설치하지 않는 업체는 배연탈황시설을 설치한 업체로부터 배출권을 구입함으로써 배연탈황시설 설치비용을 회피할 수 있고 시설설치업체에게 배출권 구입비용의 형태로 설치비용을 지원하게 된다. 이러한 사례는 배출권 거래제도하에서의 배출업소간 상호조정가능성이 초래하는 배출부과금과의 차이를 극명하게 보여준다.

배출업소간 상호조정가능성은 본 사례에서처럼 상호협력의 형태로 나타나기만 하는 것은 아니다. 배출권 거래제도하에서 개별 업체는 자신이 보유하는 배출권의 경제적 가치를 보호하기 위해 다른 기업의 위반행위를 보다 적극적으로 감시하려는 유인을 갖는다. 가령 어떤 업체가 배출권 보유량을 초과하는 양의 오염물질을 배출할 경우, 이는 정책적으로 결정된 배출총량보다 많은 양의 배출을 초래할 것이고 이는 배출권의 가격을 하락시키게 된다. 배출권의 가격이 하락하면 보유하고 있는 배출권의 경제적 가치가 떨어지므로 배출권 보유업체의 이익에 직접적인 악영향을 끼친다. 물론 배출권을 매입하는 업체의 경우 매입비용이 줄어드는 효과가 있으므로 순효과의 방향을 정확히 알수는 없지만 배출권의 매입폭이 작은 기업은 물론, 특히 배출권의 판매업체는 경제적 손실이 크게 발생할 수 있다. 이러한 이유로 배출권 거래제도하에서 배출업체들은 배출부과금 하에서보다 상호감시노력을 더 강화할 것이라고 예상된다. 위반행위에 대한 정보를 규제당국보다는 경쟁기업이 더 많이 갖고 있다면 배출권 거래제도의 장점은 규제의 강제(Enforcement)라는 점에서도 높은 효율을 보일 수 있다는 추론이 가능하다.

## 2. 배출권 거래제도 적용사례 및 시사점

### 2.1 미국의 대기오염물질 배출권 거래제도 적용사례

미국에서는 대기 및 수질오염 방지를 위해서 뿐 아니라 효율적인 국토관리를 위한 토지개발권이나 관광지의 난로사용권, 늪지대보호를 위한 개발유보의무, 신문인쇄지 재생용지 사용의무 등 다양한 환경문제에 배출권 거래제도를 적용하고 있다. 미국은 사실상 배출권 거래제도에 대한 경험이 축적된 유일한 나라이다. 영국, 노르웨이, 스위스 등 여러 국가에서도 배출권 거래제도의 도입을 위한 노력이 있어 왔지만 성공적으로 이행되고 있는 사례를 발견하기는 어렵다. 수리권이나 어획량쿼터 등 수자원이나 수산자원과 같은 자원보전의 문제에 대해서는 뉴질랜드와 같이 진보적인 형태의 거래제도를 성공적으로 시행하고 있지만 환경문제에 대한 배출권 거래제도의 적용사례로 보기는 어려울 것이다. 아래에서는 미국의 배출권 거래제도, 그 중에서도 가장 활발한 적용이 이루어지고 있는 대기오염물질 거래제도의 현황을 살펴보고 시사점을 분석하도록 한다.

#### 2.1.1 미국의 대기오염물질 배출권 거래제도 현황

배출권 거래제도의 효시는 1975년 신규시설에 대한 Offset 프로그램을 시작으로 Bubble, Banking, Netting 등의 제한적 거래제도를 시행했던 Clean Air Act Title I의 Emissions Trading 프로그램이다. 이에 따라 신규시설은 추가적으로 야기하는 오염물질 배출량보다 많은 배출량을 기존의 시설로부터 삭감해야 하는데, 대상시설기준(10-100 tpy) 및 Offset Ratio (1.1-1.5)가 대기질 기준 위반정도(marginal에서 extreme까지 5단계)에 따라 차별화되어 있다. 거래단위는 ERC(ton/year)이며 대상물질은 VOCs, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, CO 등 주요 대기오염물질을 망라하고 있다. ERC를 인증받기 위해서는 배출삭감행위가 자발적이고(Voluntary), 영구적이며(permanent), 계량가능하고(quantifiable), 이행가능하다(enforceable)는 것이 입증되어야 한다. 또한 일정규모 이상의 거래에 대해서는 모델링을 통한 오염도 영향 분석이 요구되는데, 배출행위의 이동에 따라 특정지역의 오염도가 높아질 경우 거래를 할 수 없다. ERC는 시설규모 축소 및 폐쇄, 조업단축, 효율향상, 저감시설설치, 공정변경 등 다양한 방법으로 취득할 수 있으므로 산업체는 가장 효율적인 저감방법을 선택할 수 있다. ERC 시장은 지역별, 오염물질별로 세분화되어 있어 지역별 오염수준에 따라 ERC의 가격이 다르다. 예를 들어 커넥티컷주의 Serious region의

&lt;표 IV-1&gt; 미국 배출권 거래제도하의 유형별 상쇄율

| 위반상태     | 대기질 달성기간 | 대상시설기준 | Offset Ratio |
|----------|----------|--------|--------------|
| Marginal | 3년       | 100톤/년 | 1.1 : 1      |
| Moderate | 6년       | 100톤/년 | 1.15 : 1     |
| Serious  | 9년       | 50톤/년  | 1.2 : 1      |
| Severe   | 15-17년   | 25톤/년  | 1.3 : 1      |
| Extreme  | 20년      | 10톤/년  | 1.5 : 1      |

NO<sub>x</sub> ERC 가격은 최근 \$6,500/tpy 수준이고, 뉴저지주의 Severe region의 VOC, ERC 가격은 \$300/tpy 수준이다.

가장 대표적인 사례로 인용되고 있는 산성비 프로그램(Acid Rain Program)은 발전부문의 SO<sub>x</sub> 배출량을 연간 895만톤 이하로 낮춘다는 목표하에, 1995년부터 110개 대형 발전소에 대해 백만 Btu당 SO<sub>2</sub>발생량을 2.5파운드 이하로, 2000년부터는 25Mw 이상의 기존발전소와 모든 신규발전소에 대해 1.2파운드 이하로 제한하기로 하고, 이를 효율적으로 달성하기 위해 배출권 거래제도를 도입하였다.

산성비 프로그램의 SO<sub>x</sub> 배출권 거래허용에 따른 비용절감효과는 1995년 기준으로 US\$225-375백만으로 전체 비용의 25-34%에 달하는 것으로 평가되고 있다.(OECD, 1999) 배출권의 톤당 시장가격은 당초 예상(3백-8백불)을 뒤엎고 1백불 내외에서 형성되었으나, 최근에는 200불수준으로 상승하였다.<sup>32)</sup> 실적기준 무상분배, 저황석탄의 수송비 하락, 탈황설비 효율향상 등이 가격하락을 가져온 것으로 평가되고 있다.<sup>33)</sup>

산성비 프로그램은 1995-1999년간 I단계 프로그램이 성공적으로 완료되고 2000년부터 II단계 프로그램이 시작하였다. I단계 시행의 결과는 위반업소 전무, SO<sub>2</sub> 농도 20% 하락, 연간 건강피해 46조원 감소, 배출권 가격 하락/안정화 등 매우 성공적인 것으로 평가되고 있다. 1990년까지 9백만톤 수준이던 배출량이 1995년이래 절반수준으로 하락하였는데, 이는 할당량보다도 30-40% 낮은 수준이다. 최근까지 1만회에 걸쳐 93백만톤이 거래된 것으로 조사되고 있다.

1998년부터는 동북부 12개주의 NO<sub>x</sub> 배출량을 1990년 대비 55-65% 감축하도록

32) 우리나라의 배출부과금 기본요율은 SO<sub>2</sub>의 경우 500원/kg이며, 실질요율은 1998년의 경우 약 28.5원으로 추정된다. (한국환경정책·평가연구원, 2000) 미국의 배출권 가격은 우리나라의 배출부과금 기본요율보다는 낮고 실질요율보다는 높은 중간 수준으로 이해할 수 있다.

33) 산성비 프로그램에 대한 보다 세부적인 평가는 Schmalensee 외(1998)를 참조하시오.

하는 OTC NOx Budget 프로그램이 시행되고 있다. 이 제도의 특징은 예약량이 일정수준을 넘을 경우 전체 예약량을 할인하는 “Banking with Progressive Flow Control Restrictions” 규정을 적용하고 있다는 점이다. 이는 과도한 예약으로 미래 일정시기에 오염이 집중되는 현상을 예방하기 위한 것이다. 시행초기 23개월동안 1,651회에 걸쳐 26만9천톤이 거래되었으며, 가격은 초기에 톤당 \$7,000을 상회하기도 하였으나 현재는 \$800 수준에서 안정화되고 있다. 이 제도는 관련 주(State)간의 자발적 프로그램인데, 연방 EPA는 동북부 22개주에 대하여 NOx 배출량을 85% 감축하는 연방 프로그램(NOx SIP Call)을 2003년부터 시행할 예정이다.

최근에는 미국 대기관리의 핵심수단인 RACT(Reasonably Available Control Technology) 이행의 유연성을 높이기 위해 도입된 개방형 시장거래제도(Open Market Trading)의 적용이 활발하다. 개방형 시장거래제도는 자발적 참여에 기초한 것으로서 합의된 Baseline 대비 추가적인 삭감분을 Credit으로 인정받을 수 있고 이의 거래를 통해 RACT에 따른 의무를 대신할 수 있는 제도이다. 뉴저지, 매사추세츠, 커네티컷, 뉴햄프셔, 미시간, 텍사스 등에서 VOC와 NOx에 대해 실시하고 있으며, 시카고시에서도 시정부 차원의 VOC에 대한 Emission reduction credit banking and trading program을 운영중이다.<sup>34)</sup> 하지만 이 제도는 남용의 소지가 크다는 이유로 연방 EPA, NGO 등에서 반대하는 목소리가 높는데<sup>35)</sup>, 현재 EPA에서 이에 대한 지침(Economic Incentive Program Guidance)을 준비중이다.

개방형 거래제도의 단점을 피하기 위해 일리노이 등 일부 주정부에서는 VOC에 대한 Cap-and-trade 제도를 운영하고 있는데, Cap-and-trade 제도의 경우 배출총량이 사전에 고정되므로 Baseline의 결정에 따른 moral hazard의 문제가 없다는 점에서 EPA 및 환경단체에 의해 지지를 받고 있다. 이에 따라 Cap-and-trade의 경우 shut-down credit의 인정, 배출권 할당기준(historical emissions 혹은 activity-based) 자율성 등 산업체나 지방정부의 선호가 잘 반영되도록 연방정부가 지원하는 경향이 있다.<sup>36)</sup>

1982~87년에는 휘발유 납성분의 제거를 목적으로 시행된 정유사간 납 거래제도가 시행된 바 있으며, 오존오염이 심한 캘리포니아 지역에서는 1994년부터 SO<sub>2</sub>와

34) 시카고시의 Open market trading은 credit의 인증 및 거래가 시정부의 책임하에 (city credit bank를 통해) 이루어지므로 moral hazard의 문제가 줄어들 수 있다고 EPA는 판단하고 있다.

35) Open market trading의 개념은 클린턴의 재임 선거당시 부시의 공화당이 도입했던 산성비 프로그램(Cap-and-trade)보다 우수한 정책수단을 개발한다는 취지로 민주당 행정부에 의해 주장되었던 것이나 정치적 목적으로 급조된 비합리적인 대안이라는 인식이 있다.

36) 우리나라의 경우 VOC에 대한 총량관리는 측정 및 감시에 대한 우려로 적극적인 활용이 이루어지지 않고 있으나, 미국의 경우 배출원별, 배출형태별 배출계수의 이용이 활발하다.

&lt;표 IV-2&gt; 산성비프로그램과 RECALIM 비교

|                                                                                                                    | 산성비 프로그램                                                                    | RECLAIM                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>정책목표 및 배경</b>                                                                                                   |                                                                             |                                                                                             |
| 정책목표                                                                                                               | 산성화; 산성물질의 50%감소                                                            | 대기질기준 달성; 오존 전구물질의 70%감소                                                                    |
| 정치-경제적 배경                                                                                                          | 고비용, 불확실한 이익<br>지역간 갈등                                                      | 고비용, 대기질 기준 초과<br>성장과 환경의 갈등                                                                |
| 기존 규제와의 중복                                                                                                         | 대기질 기준(NAAQS)<br>신규 시설 규제(NSR)<br>공공 시설 규제                                  | NAAQS<br>PM10과 오존에 대한 주정부 규제<br>NSR                                                         |
| <b>대상 범위</b>                                                                                                       |                                                                             |                                                                                             |
| 지리적 범위                                                                                                             | 국가 전체                                                                       | 지역적(캘리포니아 주)                                                                                |
| 대상 오염물                                                                                                             | 아황산 가스 (균등혼합물질)                                                             | 질소 산화물과 황산화물 (비균등혼합물질)                                                                      |
| 대상 배출원                                                                                                             | 대형 고정 배출원                                                                   | 고정 배출원, 일부 이동 배출원                                                                           |
| 시장 구조<br>대상 산업<br>경쟁특성(시장집중도)                                                                                      | 단일산업(발전)<br>HHI : 0.058                                                     | 복수업종<br>HHI : 0.028                                                                         |
| <b>운영방식</b>                                                                                                        |                                                                             |                                                                                             |
| 초기 할당                                                                                                              | grandfathering<br>다양한 보너스 비축                                                | grandfathering<br>보너스 RTCs(단일조항)                                                            |
| 신규 참가자 조항                                                                                                          | 고정 가격 비축                                                                    | 고고용저배출(HI/LO)업체 지원용 비축                                                                      |
| Baseline                                                                                                           | 역사 기준기간의 평균 배출                                                              | 역사 기준기간의 최대 배출                                                                              |
| 거래 규칙<br>기간간 거래                                                                                                    | 무제한 예치(banking)<br>borrowing 안됨<br>제한없음                                     | 예치 안됨<br>borrowing 안됨<br>두 개의 거래 구역                                                         |
| 지역간 거래                                                                                                             |                                                                             |                                                                                             |
| Monitoring과 보고<br>배출 monitoring<br><br>배출 보고<br>배출원 ->기관<br>inventory 공개<br>배출권 거래 보고<br>배출관리<br>inventory와 배출권 회계 | 모든 배출원의 연속배출측정<br>(CEMS) 의무<br><br>분기마다<br>연간<br>필수사항이 아님<br>관리 체제<br>규제 기관 | 배출원 2/3에 대한 CEMS 의무<br>이외는 덜 엄격한 방법<br><br>일별,월별 또는 분기마다<br>연간<br>필수사항이 아님<br>관리체제<br>규제 기관 |
| 이행강제(enforcement)<br>사후조정 기간(reconciliation)<br>벌금<br>양<br>validity<br>초과배출에 대한 의무적 offset<br>측정누락시 배출량 산정         | 연간 유예기간 30일<br>있음<br>톤당 \$2,000<br>자동적으로<br>있음(1:1)<br>double progressive   | 연간 유예기간 2달<br>있음<br>위반 당 \$500까지<br>자동적이지 않음<br>있음(1:1)<br>double progressive               |
| 초기 시장형성<br>경매<br>발생지<br>계획기간<br>양<br>종류<br>참여                                                                      | 있음<br>법적으로 의무<br>연간<br>연간 2.8%<br>차별적<br>누구나                                | 있음<br>자발적이고 개별적<br>semi-annual<br>개인 제공자에 따라<br>비 차별적<br>누구나                                |
| 자발 프로그램 참가                                                                                                         | opt-in                                                                      | opt-in                                                                                      |
| <b>집행 형태</b>                                                                                                       |                                                                             |                                                                                             |
| 대중 참여                                                                                                              | 매우 활성화                                                                      | 매우 활성화                                                                                      |
| 행정 필요조건<br>기관 필요 직원<br>행정 비용                                                                                       | 100명<br>낮음                                                                  | 30-100명<br>낮음                                                                               |
| 이행 일정                                                                                                              | 점진적 2단계 접근                                                                  | 즉각적인 전체 프로그램 시행                                                                             |

자료원: Schwarze and Zapfel(1999)

NO<sub>x</sub>에 대한 거래제도인 RECLAIM이 시행되고 있다. RECLAIM에서는 이동/면 오염원을 통한 저감분의 거래가 허용된다. 또한 1988년부터는 몬트리올 의정서 준수를 위해 오존층 파괴물질에 대한 거래제도를 시행하고 있는데, 배출권의 무상할당에 따른 과다이익(windfall profit)을 환수하기 위해 부과금제도를 병행하고 있다. 이는 정책목표에 따라 배출권 거래제도와 배출부과금제도가 보완적으로 활용되고 있는 사례로 평가된다.

대기오염물질 이외에도 BOD, 인, 질소 등 수질오염물질에 대한 거래, 재활용 쿼터, 개발권, 수리권, 어획량 쿼터 등 다양한 환경자원에 대한 거래제도가 활발히 시행되고 있다. 수질오염물질에 대한 거래제도는 아직 연방정부의 의지가 강하지 않은데, 연방 수질정화법에도 아무런 근거규정이 없을 뿐만 아니라 아무런 지침도 제시되지 않고 있다. 주정부 차원에서 (강보다는) 호소를 중심으로 다수의 적용사례가 있으나 아직 활발한 거래는 이루어지지 않고 있다. 하지만 확산모델링 기법 등을 통한 오염현상의 예측가능성 측면에서는 수질이 대기보다 높다는 인식을 바탕으로 총량관리의 적용잠재력이 대기분야에 뒤지지 않는다는 평가도 있다.

2000년 7월에는 Lazio 의원에 의해 “Clean Power Act”라는 법안이 하원에 제출되었는데, 전력산업을 대상으로 기존의 산성비 프로그램에 따른 아황산가스 거래제도의 보완과 함께, NO<sub>x</sub>와 이산화탄소에 대한 거래제도 도입, 수은<sup>37)</sup>에 대한 총량관리 도입 등 4개 주요 대기오염물질을 통합·관리하는 내용을 골자로 하고 있다. 이는 배출권 거래제도 및 총량관리의 유용성이 광범위하게 인식되면서 기존의 대기오염 규제수단을 일부 보완하고 온실가스 규제를 추가하여 통합적인 규제틀을 정립함으로써 개별 규제의 난립을 방지하고 규제의 중복문제를 해결하려는 노력으로 평가받고 있다. 이 법안은 전력산업계와 민주/공화 양당의 지지를 받고 있어 조만간 시행될 것이라는 예측이 지배적이다.

### 2.1.2 미국 사례로부터의 시사점

미국의 배출권 거래제도 적용사례에서 얻을 수 있는 가장 중요한 시사점은 예상치를 초과하는 비용절감효과라 할 수 있다. 에디슨 전력연구소(1989)는 거래를 허용하지 않는다는 가정하에서 산성비 프로그램의 이행에 필요한 비용이 \$70억을 상회할 것으로 예측하였는데, EPA(1990)는 거래를 허용할 경우 총 비용이 약 \$45억 수준으로 낮아질 것으로 예측했다. 이와 같은 비용절감효과는 시간이 지남에 따라

37) 미국에서는 발전소에서 나오는 수은에 대한 환경보호론자의 우려가 매우 높아 이에 대한 규제방안이 초미의 관심사로 대두되고 있다.

더 큰 것으로 예측되고 있는데, GAO(1994)에서는 총비용을 \$20억 이하로 추정하고 있으며, RFF(1998)에서는 \$10억불 이하로 낮아질 것으로 분석하고 있다. RFF의 분석은 배출권의 거래를 통한 비용절감효과가 90%에 달함을 의미하는 것이다.<sup>38)</sup>

배출권 거래제도의 비용절감효과는 배출권의 가격하락을 통해서도 파악할 수 있다. 2000년 3월 기준으로 OTC NO<sub>x</sub> 시장의 거래가격은 \$875/톤으로, SO<sub>2</sub> 배출권(산성비 프로그램)의 CBOT 경매가격은 평균 \$130.69/톤인 것으로 보고되고 있는데, 이는 NO<sub>x</sub>의 경우 1999년 2월의 \$7,500/톤 수준에서, 그리고 SO<sub>2</sub> 배출권의 경우 1999년 1월의 \$216/톤 수준에서 큰 폭으로 하락한 것이다.

<표 IV-3> RECLAIM RTC 가격의 예상추이(1993년 10월) (단위: US\$)

| 년도              | 1994 | 1995  | 1996  | 1997  | 1998  | 1999   |
|-----------------|------|-------|-------|-------|-------|--------|
| NO <sub>x</sub> | 577  | 577   | 9,434 | 9,151 | 8,877 | 11,257 |
| SO <sub>x</sub> | 577  | 1,531 | 6,246 | 3,062 | 2,970 | 2,882  |

자료원: Volume III of RECLAIM Staff Report: Socioeconomic and Environmental Assessments (1993. 10)

또한 RECLAIM의 경우 시행 전에는 배출권 가격이 매우 높을 것으로 예측되었다. NO<sub>x</sub>의 경우 1996년에 \$9,434/톤에서 1999년에는 \$11,257/톤 수준까지, 그리고 SO<sub>x</sub>의 경우에도 1996년에 \$6,246/톤까지 상승할 것으로 예측되었다. 또한 규제기관에서는 최고가격이 \$15,000/톤에 이를 경우 제도에 대한 재검토를 수행할 것으로 규정하고 있는데, 이는 SO<sub>x</sub>와 NO<sub>x</sub>에 대한 저감비용이 \$15,000/톤 이하인 한 규제가 지속되어야 한다는 의미로서 오염에 따른 사회적 비용을 최고 \$15,000/톤 수준으로 가정하는 것으로 이해할 수 있다. 하지만 제도가 정착함에 따라 배출권의 가격은 1/10까지 떨어진 것으로 나타나고 있다.

이러한 사실들은 배출권 거래제도의 시행에 따른 비용절감효과가 크다는 점과 함께, 비용절감효과의 크기가 시행전에 예측할 수 있는 수준을 크게 상회한다는 점을 나타내는 것이다. 이러한 비용절감효과를 초래하게 된 가장 큰 동력은 기업의 자율성과 창의성에 기초한 기술개발노력과 합리적인 의사결정일 것이다. 기존의 직접규제하에서는 기업이 규제기준만을 만족하면 될 뿐 그 이상의 기술개발 노력을 게을리 할 수 있지만, 배출권 거래제도 하에서는 끊임없는 기술개발을 통해

38) Brian McLean( 2000)

&lt;표 IV-4&gt; RECLAIM 거래실적 (1994-1997)

|     |      | 거래횟수 | 거래량(톤)  | 거래금액<br>(\$백만) | 톤당가격<br>(\$/톤) |
|-----|------|------|---------|----------------|----------------|
| NOx | 유상거래 | 352  | 28,662  | 23.6           | 823.390        |
|     | 무상거래 | 680  | 152,932 |                |                |
| SOx | 유상거래 | 51   | 13,505  | 18.0           | 1,332.840      |
|     | 무상거래 | 112  | 49,123  |                |                |

자료원: South Coast Air Quality Management District (1998).

(배출권 판매를 통해) 이익을 창출할 수 있다. 즉, “환경보전이 돈이 된다”는 논리가 성립하며 이윤극대화를 추구하는 기업에게 적극적인 환경관리노력을 위한 인센티브가 효과적으로 제공된다.

비용절감효과와 더불어 미국의 배출권 거래제도 도입시 가장 중요하게 거론되는 효과는 규제당국과 피규제 기업간의 소모적인 규제개정협상에 소요되는 시간과 비용을 절약할 수 있다는 점이다. 배출권 거래제도 하에서 규제당국은 오염물질의 총량적 관리목표만을 설정하면 되므로 시설별 저감가능성과 같은 기술적인 사항에 대하여 일일이 피규제자와 협의할 필요가 없으며, 개별적 사정을 무시하는 획일적인 규제기준에 따른 부작용도 해소될 수 있다. 또한 이러한 과정이 배출량에 대한 투명한 정보공개절차를 통해 이루어지며 정책시행결과에 대한 객관적/계량적 평가가 가능하고, 정부정책의 안정성과 신뢰성을 제고할 수 있다. 이러한 장점들은 규제당국과 피규제기업 모두에게 유리한 것으로서 배출권 거래제도의 도입을 가능케 하였으며 지금도 다양한 분야에서 도입을 위한 노력이 촉발하고 있다.

또한 미국의 사례로부터 놓칠 수 없는 교훈의 하나는 정부와 기업, 그리고 민간단체의 협력이다. 정부는 과학적인 환경관리를 위한 정책적 의지를 갖고 있을 뿐만 아니라 투명하고 참여적인 의사결정과정을 통해 지자체, 산업계, 민간단체, 학계 등의 이해조정을 위하여 적극적인 노력을 기울이고 있다. 이를 통해 기존 규제방식의 개선과 총량적 관리방식의 필요성에 대한 공감대가 형성될 수 있으며, 지역간, 계층간 환경적 영향의 불균형이 해소(environmental equity)될 수 있다. 산성비 프로그램은 정계의 주도하와 민간환경단체의 적극적 동조가 뒷받침되지 않았다면 탄생되지 못했을 것으로 평가된다. 기존 배출업소에 대한 추가적 부담을 완화하기 위해 실적기준 무상분배방식을 적극 활용하고 있는 점도 주목할 만 하다. 납 거래제도의 성공적 이행은 측정 및 감시의 용이성과 규제 목표치에 대한 합의가 제도 적용의 효과를 극대화함을 보여주는 좋은 사례로 평가되고 있다. 또한 기존의 환

정규제수단에 보조적인 역할로서의 제한적인 거래허용(Credit-based system)에서 기존 환경규제의 대체수단으로서의 자유로운 거래방식(allowance-based system)으로 점진적 이행을 통해 제도적인 장애가 극복될 수 있음을 볼 수 있다.

<표 IV-5> 미국 대기분야의 배출권 거래제도 적용사례

| 프로그램명             | 유형<br>(예탁허용)                 | 할당방식                       | 거래단위                          | 적용기간<br>및 범위                    | 개요                                                                                            |
|-------------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Emission Trading  | Credit<br>(예탁허용)<br>[하류식]    | 실 제 배출 량<br>기준 무상분<br>배    | ERC (HC, NOx,<br>PM, SOx, CO) | 1975 -<br>대기질 관<br>리구역          | Offset, Bubble, Netting,<br>Banking* 허용, 거래할인<br>(20%)                                        |
| Lead Trading      | Allowance<br>(예탁허용)<br>[상류식] | 생산량 비례<br>사후분배             | 납 첨가물 그램<br>(Stock)           | 1982-1987<br>정유사                | 휘발유 납성분의 제거를 목<br>표로 시행, 성공적 완료                                                               |
| 오존층<br>파괴물질<br>거래 | Allowance<br>(예탁금지)<br>[상류식] | 생산량 실적<br>기준 무상분<br>배      | ODP가중평균CF<br>Cs (Stock)       | 1988 -<br>CFC 생 산<br>및 수입업<br>체 | 몬트리올의정서 준수가 목적.<br>무상배분에 따른 이익회수<br>위해 소비세병행부과, 국가간<br>거래가능                                   |
| 산성비<br>프로그램       | Allowance<br>(예탁허용)<br>[하류식] | 생산량 실적<br>기준 무상분<br>배 및 경매 | SO2 톤(Stock)                  | 1993 -<br>발전소                   | 총 배출권의 2.24%와 자발<br>적 입찰분에 대해 경매<br>(double auction) 실시, SO2<br>\$1500/톤 직접판매, 벌금<br>\$2000/톤 |
| RECLAIM           | Allowance<br>(예탁금지)<br>[하류식] | 배출 실적 기<br>준 무상분배          | NOx, SOx 파운<br>드(Stock)       | 1994 -<br>캘 리 포 니<br>아 주        | 2천년까지 매년 SOx 4.1%,<br>NOx 7.1%씩 감축 (2천년<br>이후에는 각각 9.2%, 8.7%)                                |
| 이동오염원             | Credit<br>(예탁허용)<br>[상류식]    | 생산량 비례<br>사후분배             | HC+NOx,Family<br>Engine Limit | 1993 -<br>캘 리 포 니<br>아 주        | Averaging, Trading,<br>Banking (25% 할인),<br>Borrowing(1년 이내) 허용<br>(캘리포니아의 저공해자동차<br>프로그램)    |
| OTC NOx<br>Budget | Allowance<br>(예탁허용)<br>[하류식] | 실적기준 무<br>상분배              | NOx 톤(Stock)                  | 1998 -<br>12개주                  | 각 주의 규제 및 연방규제에<br>추가적으로 운영됨.                                                                 |

\* Offset: 환경기준 초과지역에서 신규사업 혹은 설비확장시에 기존 배출업체로부터 추가적 오염량의 120%를 삭감하여야 함.

Bubble: 여러 배출시설의 배출허용량을 총량기준으로 관리할 수 있도록 함. 단, 이 조항의 적용을 받을 경우 총량의 20%를 추가삭감하여야 함.

Netting: 시설확장시 추가정 배출량 이상을 다른 배출시설로부터 삭감할 경우 엄격한 허가절차를 면제함.

자료원: 김용건(1999b)

<표 IV-5>에서 알 수 있듯이 배출권 거래제도의 적용방식은 문제의 특성에 따라 다양한 형태로 나타나고 있다. “Emissions Trading Program”에서와 같이 삭감 인증권 거래방식을 취하는 경우도 있으나 “Cap-and-Trade”방식의 배출허용권 거래제가 점차 확대되고 있다. 배출권 거래제도를 적용하는 대상업체에 있어서 “Emissions Trading Program”, 산성비 프로그램, RECLAIM, OTC NOx Budget 프로그램 등에서는 최종 배출원을 규제하는 하류식 접근을 취하고 있지만, 몬트리올 의정서 이행을 위한 오존층 파괴물질 거래나 휘발류에 들어 있는 납성분의 거래와 같이 공급자에 대한 상류식 접근을 취하기도 한다.

<표 IV-6> 배출권 거래제도 적용사례 (대기오염물질 제외)

| 국가/지역                                                | 적용대상     | 기간    | 거래단위              | 초기할당기준 | 예탁 | 효과          |
|------------------------------------------------------|----------|-------|-------------------|--------|----|-------------|
| 수자원 관리                                               |          |       |                   |        |    |             |
| 미국 및 호주                                              | 취수권 거래   | 19세기  | M <sup>3</sup> /y | 무상(실적) | 금지 | 이용 안정화      |
| 독일 함부르크                                              | 지하수 취수세  | 1989- | 퇴장수리권             |        |    | 수리권 거래      |
| 수질 보전                                                |          |       |                   |        |    |             |
| 미국 위스콘신                                              | 폭스강      | 1980- | BOD               | 배출원 분배 | 금지 | 수질보전        |
| 미국 콜로라도                                              | 딜런 저수지   | 1984- | 인                 | 무상(실적) | 금지 | 부영양화방지      |
| 미국 북캐롤라이나                                            | 타르팜리코강   | 1989- | 인/질소              | 무상(실적) | 금지 | 영양물질감소      |
| 호주                                                   | 주간 염분거래  | 1992- | 염분저감권             | 무상(실적) | 허용 | 염분감소        |
| 호주<br>뉴사우스웨일즈                                        | 헌터강 염분거래 | 1992- | 석탄광염분             | 무상(실적) | 허용 | 염분감소        |
| 토지이용 관리: 개발권 거래(Transferable Development Right: TDR) |          |       |                   |        |    |             |
| 미국 파인랜즈                                              | 대수층/삼림보전 | 1980- | TDR               | 구역평가   | 허용 | 토지전용제한      |
| 미국<br>몽고메리카운티                                        | 농지보호     | 1980- | TDR               | 주택밀도제한 | 허용 | 토지전용제한      |
| 미국 타호 호수                                             | 수계보전/여가  | 1987- | TDR               | 밀도제한   | 허용 | 개발제한        |
| 프랑스 알프스                                              | 경관 보전    | 1977- | TDR               | 주택밀도제한 | 허용 | 도시화 제한      |
| 뉴질랜드 도시                                              | 구역계획변경   | 1987- | TDR               | 밀도제한   | 허용 | 유적지 보호      |
| 어업: 어획량쿼터제도(Individual Transferable Quota: ITC)      |          |       |                   |        |    |             |
| 호주                                                   | 4종       | -     | ITC               | 무상(실적) | 금지 | 보전,<br>효율제고 |
| 캐나다                                                  | 14종      | -     | ITC               | 무상(실적) | 금지 |             |
| 아이스랜드                                                | 16종      | -     | ITC               | 무상(실적) | 허용 |             |
| 네델란드                                                 | 4종       | -     | ITC               | 무상(실적) | 금지 |             |
| 뉴질랜드                                                 | 33종      | -     | ITC               | 무상(실적) | 금지 |             |
| 미국                                                   | 4종       | -     | ITC               | 무상(실적) | 금지 |             |

자료원: OECD(1999)

또한 현물거래와 같은 즉시거래(Immediate settlement) 뿐 아니라, 선도(Forward), 옵션(Call, Put, American, European), Contract liability clauses, 스왑

거래(Inter-pollutant and inter-commodity swaps), Bundling 등 다양한 형태의 거래가 일어나고 있으며, 배출업소의 위험관리를 위해 Collar(zero-cost), Strangles(buy both a call option and put option), Streams 등 다양한 형태의 상품들이 등장하고 있다. 이러한 거래를 위해 Cantor Fitzgerald, Emission Exchange Corporation, Fieldston, Natsource 등 다수의 중개회사가 활동중이다.

끝으로 대기오염이나 수질악화 방지차원을 넘어서 토지개발권리, 늪지대 보호권, 신문용지 재활용의무 등 환경과 관련된 광범위한 문제영역에 적용되고 있다는 점은 배출권 거래제도가 광범위한 환경·자원문제에 적용될 수 있음을 시사한다.

## 2.2 유럽의 배출권 거래제도 적용사례

### 2.2.1 EU의 오존층파괴물질 거래<sup>39)</sup>

1987년 CFCs, 할론 등 오존층 파괴물질의 생산 및 소비를 1986년 수준으로 감축하기 위한 몬트리올 의정서가 채택되었다. 1990년 이 의정서는 2000년까지 CFCs의 생산 및 이용을 완전금지하는 것으로 개정되었다. 몬트리올 의정서는 경제의 효율을 위한 산업합리화를 위해, 혹은 공장 폐쇄에 따른 공급감소의 결과로서, 다음과 같은 당사국간 생산쿼터의 거래를 허용하고 있다.

- 당사국의 생산량 합계는 합의된 총 생산량 한도를 넘을 수 없다.
- 개별 당사국의 생산수준은 1986년 대비 10%(1992년부터) 및 15%(1998년부터)를 초과할 수 없다.
- 거래시점 이전에 거래사실(거래조건 및 대상기간 포함)을 사무국에 보고하여야 한다.

이러한 내용은 1992년 개정에 따라 모든 오염물질로 확대되었고, 10-15% 거래제한 규정도 철폐되었다.

1991년 3월 EC는 몬트리올 의정서를 이행하기 위해 별도의 규제(Council regulation No. 594/91)를 도입하였다. 이는 오존층 파괴물질의 생산중단을 가속화하고 새로운 물질을 포함시키기 위해 1992년과 1994년 각각 개정되었다. 이 규제는 오존층 파괴물질의 수입을 제한하고 개별 생산업체(화학공장)간에 생산 및 소비(판매)쿼터를 할당하고 거래하도록 규정하는 것이다. 생산 및 소비쿼터는 물질에

39) 보다 상세한 설명은 Klaassen(1999)을 참조하시오.

&lt;표 IV-7&gt; EU 소속 기업의 CFCs 거래실적

| 연도      | 생산량쿼터(톤) | 거래량(톤)  | 거래건수 | EU기업<br>간 거래 | 비EU기업<br>과의 거래 | 기업<br>내부거래 | 기업간<br>거래 |
|---------|----------|---------|------|--------------|----------------|------------|-----------|
| 1991/92 | 644,069  | 27,100  | 4    | 4            | 0              | 4          | 0         |
| 1993    | 214,690  | 53,645  | 7    | 7            | 0              | 6          | 1         |
| 1994    | 64,407   | 42,715  | 8    | 5            | 3              | 7          | 1         |
| 합계      | 923,166  | 123,460 | 19   | 16           | 3              | 17         | 2         |

자료원: Klaassen(1999)

따라 1986년 혹은 1989년의 생산량을 기준으로 배분되었다.

1991년에서 1994년까지 총 19건의 거래가 발생했으며 총 할당량의 13%인 123,460톤이 거래되었다. 대부분이 EU내에서 거래되었으며, 기업간 거래보다는 기업 내부거래가 주를 이루었다. 1993-94년 사이에 거래가 급증하였는데 이는 쿼터가 줄고 1995년부터는 완전 금지가 예정되었기 때문인 것으로 분석된다.

거래의 주요 동기는 CFCs의 생산기술이 규모의 경제를 갖고 있기 때문에 공장 통폐합으로 생산비용을 절감하기 위한 것이었다. 참여기업의 수가 크지 않았고 거래허가과정이 간단했기 때문에 거래비용은 낮은 수준이었던 것으로 보인다.

몬트리올 의정서의 거래허용규정은 의정서의 환경적 목표달성에 매우 긍정적인 효과를 끼친 것으로 평가된다. CFCs의 생산이 “규모의 경제”라는 특성을 나타냄에 따라 CFCs의 생산중단을 유도하기 위해서는 과도기적인 생산시설의 통폐합이 매우 중요한 의미를 갖고 있었다. CFCs 생산쿼터의 거래는 이러한 통폐합을 공평하고 효율적인 방향으로 자율적으로 진행되도록 유도할 수 있었다.

#### 2.2.2 영국의 황쿼터교환제도 도입 실패사례의 시사점<sup>40)</sup>

영국에서의 아황산가스에 대한 배출권 거래제도는 1992년 환경부(Department of the Environment)에 의해 황쿼터교환제도(sulphur quota switching)라는 이름으로 처음 제안되었다.

영국은 유럽연합의 대형연소시설 규제지침(Large Combustion Plant Directive: LCPD)에 따라 결정된 국가 배출할당량을 지키기 위해 대형 연소시설의 아황산가스 배출을 규제하는 국가계획을 추진하고 있었다. 이 국가계획에서는 전력, 정유,

40) 보다 상세한 설명은 Sorrel(1999)을 참조하십시오.

기타 등 3개 부문에 대해 업체별로 배출량 쿼터를 할당하고 있는데, 이 할당공식이 급변하는 에너지시장 환경에 부적합하게 되었다. 일부 업체에는 지나치게 많은 쿼터가 부여되었고 일부지역에는 쿼터가 부족하게 되는 현상이 나타나게 되었다. 쿼터교환제도는 이러한 문제를 해결하고 규제완화와 경제적 유인제도의 도입이라는 영국정부의 방향에 부응하는 유망한 제도로서 검토되었다.

1994년 3월부터 환경부는 황쿼터교환제도에 대한 의견수렴을 진행하였다. 쿼터의 할당방법, 거래규칙 등에 대한 논의를 진행하는 동안 쿼터할당과 관련된 형평성 논쟁과 배출권 거래에 대한 부정적 시각이 대두되었다. 이 와중에 유럽연합에서는 2차 UNECE 황의정서에 대한 협상이 진행되고 있었는데, 1994년 6월에 끝난 이 협상에서 영국은 LCPD에서보다 훨씬 더 강화된 황 배출쿼터를 부여받았다. 또한 이 시기에 HMIP(Her Majestys Inspectorate of Pollution)는 전력산업의 국가계획 이행체제의 강화와 관련된 Upgrading Programme에 대하여 산업계와의 협상을 진행하고 있었다. 이 협상은 약 2년간에 걸쳐 진행되었고 황쿼터교환제도에 대한 논의나 환경부와는 독립적으로 이루어졌다.

1994년 5월에 환경부가 제시한 황쿼터교환제도는 국가계획의 적용을 받는 모든 사업체를 대상으로 실시하고, 기존의 쿼터할당방식을 유지하며, 모든 업체간의 자유로운 거래를 보장하고, 2003년까지 배분된 쿼터의 인정 및 BATNEEC(Best Available Technology Not Entailing Excessive Costs) 기준을 별도의 상한으로 적용한다는 것과 예탁(Banking)을 금지하는 내용들로 이루어져 있다.

이러한 제안은 다음과 같은 이유로 실행하기 곤란한 것으로 나타났다. 첫째, 2차 황의정서에서 2005년 기준으로 할당하고 있는 양이 기존의 국가계획에서 2003년까지 배분한 쿼터의 총량보다 훨씬 강화된 것이어서 이에 대한 조정이 필요하다. 둘째, 기존의 업체별 쿼터에 대한 재할당 필요성이 제기되었다. 셋째, 국가계획과 BATNEEC upgrading 프로그램의 관계설정이 명확해져야 했다.

환경부는 이러한 문제를 해결하기 위한 대안으로 부문간 거래는 허용하지 않되 부문내에서의 거래는 허용하고, 기타부문내의 업체간 쿼터를 연료사용량을 기준으로 재할당하는 방안을 제시하였다. 그리고 이러한 제도를 2003년까지 운영하되, 3년 후 확대여부를 재검토하기로 하였다. 하지만 이러한 방안 역시 규제정책의 불확실성에 따른 제도의 불안정성, 일부지역 및 산업의 과잉쿼터, BATNEEC에 따른 거래제한, 재할당기준의 형평성 등의 문제점을 안고 있었다. 특히 HMIP에서는 새로운 쿼터시스템보다는 기존의 BATNEEC 규제와 이의 Upgrading Programme을 선호하고 있었다. 환경부는 원래의 제안에서 후퇴하여 3년동안만 한시적으로 기타 부문에 대해서만 거래제를 적용할 것을 제안하였다. 비록 제한적이지만 거래제도

를 시작함으로써 중요한 경험을 축적할 수 있고, 보다 광범위한 거래제도의 개발과 적용을 위한 시간을 얻을 수 있을 것으로 전망되었다. 더욱 중요한 것은 환경부가 이미 쿼터교환제도의 도입을 공식화했다는 점이다. 하지만 BATNEEC 규제하의 배출허용량이 사용연료에 따라 정해짐에 따라 사용연료를 기준으로 할당할 쿼터는 더 이상 거래가 불가능하게 되는 결과를 초래하였다. BATNEEC 규제를 유지하면서 거래를 활성화하기 위해 HMIP는 연료종류에 관계없이 연료사용량에 비례하는 배분방법을 제안하였다. 이는 저황유 사용업체와 고향유 사용업체간의 거래를 촉발시킬 수 있기 때문이다. 하지만 이 제안은 기존의 쿼터할당방식을 근본적으로 뒤집는 것으로써 산업계의 반발을 초래하였고, 여전히 실행가능성은 불투명하였으며 환경부는 명확한 입장을 밝히지 못하였다.

이러는 동안 HMIP는 1995년 5월 1995-98년간 기타산업부문의 배출쿼터에 대한 완화된 조정안(20%의 비축쿼터를 배분)을 발표하였다. 또한 쿼터부족으로 어려움을 겪던 북아일랜드 발전회사에 대하여 국립전력회사가 잉여쿼터를 무상으로 제공함으로써 지역간 쿼터배분 문제가 어느 정도 해결되었다. 1996년 3월에는 발전소의 Upgrading Programme에 대한 협상결과가 발표되었는데, 천연가스사용의 대폭확대를 포함하는 한층 강화된 것이었다. 국립전력과 PowerGen의 경우 23개의 석탄 및 석유 발전소에서 발생하는 아황산가스를 2001년까지 1991년 수준의 79%, 2005년까지는 85%를 삭감하는데 동의하였다. 이러한 계획하에서는 황의정서의 목표달성을 위한 추가적 노력이 필요없게 되었으며, 쿼터거래제도의 필요성이 설득력을 잃게 되었다. 결국 천연가스의 이용확대라는 에너지시장의 변화가 황쿼터제도의 도입노력을 수포로 돌아가게 만든 것이다.

영국의 황쿼터제도 도입노력이 실패하게 된 가장 직접적인 요인이 천연가스의 이용확대라는 에너지시장의 변화라는 점은 분명하지만, 도입논의과정에서 에너지시장의 변화 이외에도 기존의 규제시스템과의 관계 때문에 파생되는 여러 가지 문제점이 사실상 에너지시장의 변화가 없었더라도 비용최소화를 위한 거래제도의 도입을 막기에 충분한 요인을 제공하고 있었다. 이는 미국과 다른 규제시스템을 갖고 있는 국가들, 특히 EU에서 앞으로 배출권 거래제도를 도입하려고 할 때 신중히 검토되어야 하는 문제이다. 이러한 문제는 규제원리와 규제문화의 갈등, 쿼터배분의 문제, 규제환경의 불확실성, 정치적 수용성 등 다양한 요소를 포함한다.

영국 환경규제의 근간을 이루고 있는 통합오염관리(Integrated Pollution Control: IPC)시스템은 배출권 거래제도와 기본 원칙과 특징이 너무 다른 것이었다. 배출권 거래제는 적정한 환경의 질에 대한 목표와 이에 따른 배출총량 관리목표를 기초로 배출업소별 기여량에 대한 평가와 거래를 주된 내용으로 하는 반면, IPC는 총량에

대한 개념 없이 개별 업소별 기술(공정)특성, 환경성과, 특히 BATNEEC을 주요 내용으로 하는 것이다. 특히 BATNEEC에 따른 배출규제를 유지하면서 배출량을 거래하도록 한다는 것 자체가 모순이었다. 거래할 수 있는 잉여배출량이 발생한다는 자체가 BATNEEC의 정의에 위배되는 결과를 초래하게 된다. 더욱이 배출권 거래제도를 위한 배출총량은 사전에 고정되어야 하지만 BATNEEC에 따른 배출제한은 기술변화에 따라 변화하는 개념이므로 사전에 중장기적인 목표를 고정시킨다는 것이 불가능하다.

규제문화의 차이도 매우 중요하다. 미국의 배출권 거래제도는 1970년대의 경직된 법적 규제체계에 유연성을 부여하기 위해 도입된 것으로 자율성의 점진적 확대라는 방향성하에서 시행되었다. 특히 단순한 배출허용기준(Uniform Standards)에 기초한 미국의 명령 및 통제방식(Command-and-Control)에 있어서 자율성을 확대하는 시장메카니즘의 상대적 비용효과는 매우 우수한 것으로 평가되기 쉽다. 하지만 EU, 특히 영국에서와 같이 비공식적이고 전문성에 기초한 협의에 의존하는 일대일 관리체계에 있어서 자율성의 확대가 가져올 수 있는 효과는 상대적으로 작을 수밖에 없다.

### 3. 국제 온실가스 배출권 거래제도 협상동향

#### 3.1 국제 온실가스 배출권 거래제도 도입 배경

1994년 3월 기후변화협약이 공식적으로 발효된 이후 지구온난화 현상의 해결을 위한 각국의 온실가스 감축의무 설정과 이의 이행방안에 관한 범 지구적 협상이 가속화되고 있다. 개별 국가의 온실가스 감축의무 설정과 이의 이행방안은 서로 불가분의 관계를 갖고 있다. 전자는 “지구온난화 문제를 해결하기 위해 어느 국가가 얼마만큼의 의무를 부담하여야 하는가”하는 형평성의 문제와 연관되어 있는 반면, 후자는 “각국의 의무이행을 위한 노력이 얼마나 효과적으로 추진될 수 있는가”라는 효율성의 문제와 관련되어 있다. 특히 후자의 효율성 문제와 관련하여 1997년 제3차 당사국총회에서 합의된 교토의정서상의 유연성 조치(Flexibility Measure)<sup>41)</sup> 혹은 교토메커니즘(Kyoto Mechanism)<sup>42)</sup>은 현재 기후변화협약과 관련

41) 유연성 조치라는 용어는 감축의무의 대상, 시기 및 지역에 대한 유연성 개념을 총칭하는 것으로 인식되기도 한다. 감축의무 대상과 관련하여서는 여섯가지 온실가스에 대한 포괄적(comprehensive approach) 삭감가능성과 토지이용 및 삼림과 관련된 흡수원의 인정이 유연성 조치로 인식될 수 있다. 감축의무의 시기와 관련하여서는 장기(5년)간의 이행기간

된 가장 뜨거운 논쟁거리 중의 하나로 부각되고 있다.

유연성 조치는 보다 다양하고 자율적인 방법을 통해 각국에 할당된 감축의무를 효율적으로 달성하기 위해 도입된 것으로 국제배출권거래제도(International Emission Trading: IET)를 비롯하여 공동이행(Joint Implementation: JI), 공동실시(Joint Fulfillment: Bubble) 그리고 청정개발체제(Clean Development Mechanism: CDM)가 포함되어 있다.<sup>43)</sup> 이 중 IET는 “기후변화와 관련된 수단들은 가능한 최저비용으로 지구의 이익을 보장하기 위해 비용효율적(cost-effective)이어야 한다”는 1992년 리우회의의 정신에 근거하여, 교토의정서(Kyoto Protocol) 제17조에 규정된 것으로 온실가스 감축의무가 있는 국가에 배출쿼터를 부여한 후, 동 국가간 배출쿼터의 거래를 허용하는 제도이다.<sup>44)</sup>

현재 가장 논란이 되고 있는 거래의 한계설정 및 자연발생 잉여배출권(Hot Air) 거래허용문제는 배출권 매매량의 한도설정과 관련된 것이다. 거래의 한계설정은 당사국의 매입 가능량을 제한하는 것으로 배출권 시장의 수요측면의 제약이며, Hot Air의 거래허용여부는 의정서상 부담의무를 아무런 노력 없이도 초과 달성할 경우 이러한 부분의 판매를 허용할 것인가 하는 것으로 배출권의 공급측면과 관련되어 있다. 이와 관련하여 미국, 일본을 대표로 하는 Umbrella그룹과 EU/동구권그

---

(Multi-year commitment period; Budget period) 설정과 배출허용량의 예탁(Banking) 허용이 유연성 조치의 일부로 이해된다. 그리고 지역과 관련된 유연성 조치로는 공동실시, 국제배출권거래, 공동이행, 청정개발체제 등의 허용이 결정되었는데, 가장 적극적이고 광범위한 자율성을 보장하는 유연성 조치로 평가받는다.

- 42) 교토메카니즘이란 국제배출권거래, 공동이행, 청정개발체제의 세가지를 지칭하는 개념인데, 과거에는 이 세가지를 (협의의) 유연성 조치로 부르기도 하였는데, 일부 개도국에서 유연성이란 용어의 남용에 대한 문제제기를 한 이후 교토의정서상의 메카니즘이란 의미의 교토메카니즘으로 불리고 있다. 개도국에서는 교토메카니즘이 단지 선진국과 관련된 유연성 조치일 뿐이라고 평가절하하는 경향이 있다.
- 43) 교토의정서에서는 IET, JI, CDM 등 세가지 메카니즘을 명확히 구분하고 있으며 별도의 조항에서 다루고 있다. 하지만 이 세가지가 모두 당사국의 배출권리 혹은 삭감의무에 대한 양적 이동에 대한 것으로 원칙상으로는 실행상에서 분리하여 다루기 어려운 측면이 있다. 본장의 1절에서 논의한 배출권 거래의 유형분류의 관점에서도 IET는 Cap-and-Trade 방식의 배출허용권 거래로, JI와 CDM은 Baseline-and-Credit 방식의 삭감인증권 거래로서 이 모두가 배출권 거래제도의 특별한 형태라 볼 수 있다. 이러한 이유로 세가지 모두를 배출권 거래라는 개념하에 포괄적으로 논의하는 경향이 있다. (이 경우 의정서 4조상의 공동실시도 포함될 수 있다) 본 연구에서는 IET에 대하여 논의를 집중하되 이들간의 연계성을 고려하여 타 메카니즘에 대해서도 필요한 경우 함께 논의하도록 한다.
- 44) 교토의정서에는 부속서 B국가가 배출권을 거래할 수 있다는 규정이 있을 뿐 당사국이 아닌 법인이나 개인의 거래에 대한 표현은 없다. 하지만 국가간 배출권 거래제도의 논의과정에서 개별국가의 국내 배출권 거래제도와 연계성이 부각되면서 당사국은 물론 당사국이 인정하는 법인 등에 대해서도 배출권 거래를 허용해야 한다는 의견이 지배적이다. 따라서 국제배출권거래(IET)라 하여 국가(당사국)간의 거래만을 다루는 개념으로 이해되어서는 안된다.

룹의 입장이 첨예하게 대립하고 있으며, 중국/G77, 소도서국연합(AOSIS) 등의 입장도 점차 구체화되고 있다.<sup>45)</sup>

Umbrella그룹은 가능한 한 국제배출권거래제도를 활성화시켜 이를 통해 자국의 감축의무비용을 최소화하려 하고 있으며, EC/동구권그룹은 국제배출권거래제를 활성화하되 그 이용한도를 ‘국내조치에 보조적인 수준’으로 한정하자고 주장하고 있다. 따라서 Umbrella그룹은 거래의 한계설정에 반대하고 있으며 EC/동구권그룹은 거래규모에 구체적인 한계(전체의 5%)를 설정하고 Hot Air의 거래를 금지하자고 주장한다. G77/중국은 메카니즘의 불확실성, 복잡성 등을 이유로 논의자체를 지연시키고 있는데, 배출권의 성격, 기본원칙 등에 대한 논의가 선행되어야 함을 주장하고 있다. 2001년 11월에 개최된 제6차 당사국회의에서까지도 이러한 견해차이는 해소되지 않고 있어 향후 협상이 주목된다.

### 3.2 교토의정서하의 배출권 거래에 따른 비용감소 효과

대부분의 연구결과는 배출권 거래제도의 도입이 개별적인 저감노력에 비해 큰 폭의 비용절감효과를 가져올 것으로 예측하고 있다. 미국의 경우 부속서I국가간 배출권 거래가 허용될 경우 저감량의 61%를 배출권 구입으로 해결하고, 이는 270억 불(총 저감비용의 50%)에 달하는 비용절감효과를 초래할 것으로 예측되기도 한다. (Yellen, 1998).

배출권 거래에 따른 비용절감과 거래량은 참여국이 증가할수록 증가하며, 이에 따라 배출권의 시장가격도 크게 하락할 것으로 예측된다. 부속서I국가간 거래시 배출권의 매출은 대부분 구소련이 점유할 것으로 예상되며, 전세계적 거래시에는 중국이 전체 매출의 57%(GREEN)를 점유할 것으로 예측된다. 소련 및 동구권이 보유하고 있는 Hot Air의 거래허용여부, CDM/JI 인증조건, 흡수원 등이 배출권 시장의 가격 및 거래량에 큰 영향을 미칠 것으로 추정되며, 이를 둘러싼 국가간 이견대립이 첨예할 것으로 예상된다.

45) EU 및 일부 동구권에는 EU 가입국, 불가리아, 크로아티아, 체코, 헝가리, 라트비아, 폴란드, 슬로베니아가 포함되어 있으며, Umbrella는 호주, 캐나다, 아이슬란드, 일본, 뉴질랜드, 노르웨이, 러시아, 우크라이나, 미국 등을 지칭함.

&lt;표 IV-8&gt; 온실가스 감축비용과 배출권 거래제도의 효과

| 모형        | 배출권 거래 부재시 한계감축비용 |         |     | 부속서I국가내<br>거래시 균형가격 | 전세계 거래시<br>균형가격 |
|-----------|-------------------|---------|-----|---------------------|-----------------|
|           | 미국                | 유럽      | 일본  |                     |                 |
| SGM       | 163               |         |     | 105                 | 21              |
| MERGE     | 274               |         |     | 114                 | 80              |
| G-Cubed   | 63                | 167     | 252 | 37                  | 13              |
| POLES     | 82                | 130-140 | 240 | 112                 | 33              |
| GTEM      | 375               | 773     | 751 | 123                 |                 |
| WorldScan | 38                | 78      | 87  | 20                  |                 |
| GREEN     | 149               | 196     | 77  | 67                  | 25              |
| AIM       | 166               | 214     | 253 | 65                  | 43              |

주) 단위는 탄소 1톤당 US\$(1995)

자료원: OECD (1998)

특히, 보조성에 근거한 배출권 매입제한은 수요를 감소시키고, 배출권 거래량과 배출권 가격을 낮추어 판매국의 이익이 감소시킬 수 있다. 구매국에 대해서는 두 가지 상반된 효과가 발생하는데, 매입제한에 당면하지 않는 국가는 가격하락으로 이익을 볼 수 있지만, 매입제한에 걸리는 국가는 가격하락으로 인한 이익과 함께 배출권 가격보다 높은 한계비용을 갖는 국내 저감조치를 이행하는 데 따른 부담을 함께 받는다. Ellerman 외(1998)는 감축량 대비 75%의 매입 제한시 전지구적 비용은 6.5% 증가하고, 거래량은 2% 감소하며, 가격은 4.1% 하락(\$23)할 것으로 분석하고 있다. 또한 50% 및 25% 제한시 가격은 \$13 및 \$3으로 급격히 하락할 것으

&lt;표 IV-9&gt;온실가스 배출권 거래규모(구매량) 추정결과

| 모형        | 부속서I국가 거래시 |     |     |      | 전세계 거래시 |     |    |      |
|-----------|------------|-----|-----|------|---------|-----|----|------|
|           | 미국         | 유럽  | 일본  | 구소련  | 미국      | 유럽  | 일본 | 구소련  |
| SGM       | 209        |     |     |      | 316     |     |    |      |
| MERGE     | 46%        |     |     |      | 63%     |     |    |      |
| G-Cubed   | 206        | 300 | 80  | -578 | 415     | 362 | 92 | -490 |
| GTEM      | 62%        | 75% | 75% |      |         |     |    |      |
| WorldScan | 45%        | 78% | 60% |      |         |     |    |      |
| GREEN     | 152        | 143 | 50  | -410 | 264     | 200 | 70 | -265 |

주) 단위는 백만 탄소톤임. %단위는 저감목표에 대한 비율임.

자료원: OECD (1998)

로 전망하고 있다. 이는 구소련 등 배출권 다량 배출국의 판매수입을 크게 감소시킬 것이다. 매입제한이 강화됨에 따라 비용효율적 거래를 방해하므로 지구 전체의 비용은 증가하지만 거래이익의 배분구조를 변화시킴으로써 국가별 이해득실은 차이를 보일 수 있다.

CDM사업에서 발생하는 저감인증권(CER)에 대해 부과되는 부담금(Share of Proceeds)은 효율이 증가함에 따라 CER의 가격을 상승시키고 이는 배출권의 시장가격을 높이는 효과를 초래한다. 배출권 시장가격의 상승은 구소련과 같은 배출국의 이익을 증가시킬 것이다.

배출권 시장의 조작가능성에 대하여 Ellerman 외(1998)는 비부속서B국가의 담합시(CDM Cartel) 배출권 가격은 \$23.8에서 \$62.7로 오르고, 구소련까지 담합에 참여할 경우 \$108.2까지 상승할 수 있다고 경고하고 있다. 이에 따라 CDM Cartel시 매입국은 추가적 저감비용(\$90억)과 매입비용의 증가(\$230억)로 \$320억의 손실을 입게 될 것으로 전망하고 있다.

한편, Burniaux(1999)에 따르면 OECD GREEN 모형으로부터의 CO<sub>2</sub> 저감비용정보를 바탕으로 CIS(러시아 및 우크라이나)의 독점적 행태를 분석해본 결과, 2010년까지 배출권 가격이 경쟁적 시장가격보다 20%가량 높아지고 OECD 국가의 잠재적 이익을 2010년 기준 약 20% 소멸시킬 것으로 전망하고 있다. 담합에 따른 이익은 매입제한이 있을 경우 수요의 탄력성이 떨어짐에 따라 더 커지게 된다.

한편 배출권 거래는 교토의무 이행에 따른 에너지가격 상승폭을 크게 둔화시킬 것으로 전망된다. Ellerman 외(1998)는 특히 부속서B국가에서 석유나 가스이용을 억제하는 고비용 저감수단이 비부속서B국가의 석탄이용감축이라는 저비용수단으로 대체됨으로써 석유와 가스의 가격하락을 크게 완화시킬 것으로 예측하고 있다.

<표 IV-10>교토의정서에 따른 삭감의무 이행이 에너지 가격에 미치는 효과(2010년)

| 구 분             | BAU  | No Trading | 부속서 B 거래 | 전세계 거래 |
|-----------------|------|------------|----------|--------|
| 탄소 가격(1989\$/톤) | 0    | 116-584    | 127      | 23     |
| 석유 가격지수         | 1.00 | 0.90       | 0.95     | 0.99   |
| 천연가스 가격지수       | 1.00 | 0.83       | 0.86     | 0.96   |

자료원: Ellerman 외(1998)

### 3.3 주요 쟁점에 대한 각국의 입장

당초 2000년 11월의 제6차 당사국총회(COP6)에서 합의할 계획이었던 배출권 거래제도에 대한 세부운영방안은 COP6(전반부)의 결렬에 따라 대부분의 쟁점사안이 미결상태로 남아 있다. COP6(전반부)을 통해 결정문 시안(Draft decision)에 많은 수정이 이루어졌으나, 일부 쟁점에 대해 option의 수나 브래킷의 수가 줄었을 뿐(option의 수가 늘어난 경우도 많음) 아직도 기본적인 입장차이가 해소되지 못하고 수많은 브래킷과 option들이 남아 있다. 부속기구회의에서 논의된 결과는 문서 FCCC/SB/2000/CRP.21에 담겨 있으며, COP6 의장이 11월 당사국총회의 폐회시 상기 문서를 바탕으로 향후 당사국총회에서 논의할 문서 FCCC/CP/2000/CRP.3를 제시한 상태인데 두 문서의 내용은 사실상 동일하다.

상기 문서와 함께 COP6 의장(네덜란드 환경장관 프롱크)이 주요 쟁점을 4개의 그룹으로 나누어 진행된 고위급 협상결과를 바탕으로 제시한 중재안(Note by the President of COP6, 23-11-00 7:04 PM: 이하 프롱크 안)에도 교토메카니즘에 대한 협상중재안이 'Box B'에 포함되어 있다. 프롱크안은 상기 문서와 직접 관련되어 있기보다는 주요 협상그룹(특히 EU와 미국)을 중심으로 실질적인 협상쟁점에 대한 잠정조정결과를 나타내는 것이다. 프롱크안이 향후 협상에서 중요한 시발점이 될 것으로 예상되며, 동 중재안에서 다루고 있는 핵심쟁점의 조정이 이루어진 다음에 구체적인 결정문 초안에 대한 논의가 뒤따를 것으로 예상된다.

다음에서는 앞에서 언급한 2종의 문서(CRP.3 및 프롱크안)에 이르기까지의 협상과정에서 제기되었던 주장들은 주제별로 정리, 분석하고 우리나라의 입장에서 대응전략을 논의하도록 한다.

#### 3.3.1 원칙(Principles)

비용최소화와 이를 위한 자유로운 거래를 주장하는 Umbrella 그룹과 환경적 효과성과 보조성을 강조하는 EU 및 일부동구권의 주장이 대립되고 있다. G77/중국은 환경적 효과성과 보조성을 강조하는 EU의 주장을 지지하면서, 특히 배출권 거래가 재산권 혹은 권리의 거래가 되어서는 안되며, "you cannot sell what you do not own"이라는 대전제를 강조하고 있다. 이와 함께 배출권 거래의 구체적인 운영 방식에 대한 논의는 시기상조이며, 먼저 기본원칙과 성격에 대한 논의가 선행되어야 함을 강조하고 있다.

원칙과 관련하여 개도국은 Equity에 관한 원칙(선진국 및 개도국의 일인당 배출

량 수준을 동일하게 수렴하도록 함)을 추가할 것을 제안하여 현재 의장안에 포함되어 있다. 이 주장은 일인당 배출량이 높은 선진국에게 심각한 부담을 줄 수 있는 것으로 선진국의 반대로 제외될 가능성이 크다. 또한 제13차 부속기구에서 인도 등 개도국은 배출할당량(Assigned Amount: AA)이 거래를 통해 변화될 수 없다는 주장을 제기하였다. CDM Credit, JI ERU, 배출권 등의 거래는 단지 감축의 무의 이행을 위해서 활용될 뿐 할당량(AA) 자체는 변할 수 없다는 논리이다.

이처럼 개도국에서 형평성의 원칙을 강조하는 것은 배출권거래에 대한 논의가 거래방식 자체에만 그치는 것이 아니라 2차 공약기간 이후의 선진국 감축의무 및 개도국의 미래 감축의무 협상시 배출권 할당문제와도 연계되어 있다는 인식에 따른 것으로 해석된다.

프롱크 안은 개도국의 명분과 선진국의 실리를 조화시키는 중재안을 제시하고 있는데, 개도국의 일인당 배출량이 아직 낮고 개도국의 개발을 위해 개도국의 배출비중이 증가할 것이라는 점을 인정하면서 배출권이 권리나 특권이 아니라는 점, 그리고 부속서 B에 따른 할당량 자체는 수정될 수 없다는 점을 지적하고 있으며(개도국 주장 반영 부분), 배출권 거래나 공동이행이 할당량을 변화(증감)시킬 수 있으며 CDM에 따른 CER은 할당량을 증가시킬 수 있다고 명시(선진국 주장 반영 부분)하고 있다. 프롱크안은 교토메카니즘에 따른 거래가 부속서 I/B 국가의 추가 감축의무에 영향을 미쳐서는 안되며, 추가 감축의무(subsequent commitments)는 형평성, 공통의 차별화된 책임 및 능력에 기초하여 결정되어야 함을 지적함으로써 미래의 추가적인 감축의무 협상에 대한 개도국의 우려를 해소하면서 선진국이 주장하는 거래의 유연성을 허용하고 있다. 배출권의 거래가 향후(2차 공약기간 이후) 감축의무 결정에 영향을 미칠 것이라는 데 대한 개도국의 우려는 결국 배출권 거래와 관련된 규정에 후속 감축의무 결정과 관련된 내용을 포함시켰으며, 비록 잠정적이지만 형평성과 공통의 차별화된 책임원칙, 능력의 고려 등의 원칙이 프로그안에 언급되게 되었다.

우리나라는 개도국임에도 불구하고 일인당 배출량이 일본 수준에 달하는 등 현재의 **Equity** 원칙의 포함이 유리하지 않을 것으로 판단된다. 형평성원칙을 반대하는 선진국 그룹의 주장에 무임승차하는 것이 별도의 주장을 통해 개도국과 대립하는 것 보다 유리할 수 있을 것이다. 한편 일인당 배출량에 대한 **Equity** 원칙을 포함시킬 경우 누적배출량(cumulative emissions)을 고려하도록 하는 것이 형평성 원칙에도 보다 부합하고 우리나라의 입장에서 유리할 것으로 판단된다.

### 3.3.2 당사국의 거래참가 자격조건 (Eligibility Requirements)

당사국의 거래참가 자격조건과 관련하여 아직까지 당사국간 의견이 대립하는 쟁점은 발견되지 않으며, 국가별로 주장하는 요건의 범위가 다소 다를 뿐이다. 배출량 산정 및 보고와 관련된 의정서 5조 및 7조의 이행과 배출권 거래와 관련된 국내 등록시스템의 구축이 전제되어야 한다는 데 대해서는 공감대가 이루어지고 있으며, 추가적으로 의정서 18조하의 이행준수체제(compliance regime)에 대한 비준 등 추가적인 요건이 일부 주장되고 있다.

### 3.3.3 거래의 한계설정 문제(Supplementality: 보조성)

G77/중국, 인도, EU, 도서국가연합, 사우디아라비아 등은 보조성을 위해 거래가능량에 대한 한도를 설정할 것을 주장하는 반면 Umbrella 그룹은 이에 반대하고 있다. EU가 보조성의 구현을 위해 거래의 한계에 대한 구체적 안을 제출함에 따라 이에 대한 논의가 구체화되고 있다. 보조성에 대한 EU의 제안(FCCC/SB/1999/MISC.3/Add.3)은 다음과 같다.

- 부속서 B국가가 3가지 교토메카니즘을 통해 취득할 수 있는 총 순매입량(net acquisition)은 다음의 두가지 기준 중 최고치를 초과할 수 없다.
  - ① ('의정서 3조5항에 따른 기준 년도 배출량 × 5' + '5년간의 공약기간에 대한 할당량') / 2 의 5%
  - ② '1994-2002 기간중 임의의 년도의 배출량 × 5'와 '5년간의 공약기간에 대한 할당량'과의 차이의 50%
- 부속서 B국가가 3가지 교토메카니즘을 통해 이전할 수 있는 총 순 이전량(net transfer)은 앞의 ①을 초과할 수 없다.<sup>46)</sup>
- 단, 부속서 B국가가 공약기간 중 상기 한도(relevant ceiling) 이상을 1993년 이후에 취해진 국내조치에 의해 저감하고, 이를 의정서 8조하의 전문가 검토절차에 따라 입증할 경우에는 상기한 순매입 및 순이전의 한도가 증가할 수 있다.

국제에너지기구(IEA)의 분석에 따르면, 거래제한에 대한 EU제안은 부속서I국가의 배출권 매입가능량을 2010년 예상되는 배출권 수요(BAU 배출량 수준과 교토

46) 개념적으로 보조성이란 배출권의 매입과 관련된 것으로서 뒤에서 논의한 Hot air가 매출과 관련되어 있다는 점에서 상호 구분된다. 하지만 EU의 제안에서도 볼 수 있듯이 운영지침에 대한 논의에서 양자를 명확히 구분하지 않고 논의하는 경향이 있다. 그러나 두가지 개념이 서로 다른 논리적 근거에 기초하고 있다는 점에서 해석에 주의를 기울여야 할 것으로 판단된다.

타겟의 차이) 약 30억CO<sub>2</sub>톤의 36%인 11억톤으로 제한하는 효과를 초래할 것으로 예상된다. 또한 EIT(Economies in Transition)국가의 공급량도 공급가능량의 1/3수준으로 제한될 것으로 예측하고 있다. 이는 에너지분야의 이산화탄소만을 기준으로 분석된 결과지만 당사국의 배출권 거래를 상당수준 제한할 것이라는 점은 분명하다.

거래제한(capping)을 주장하는 논거로는 다음을 들 수 있다.

- Hot Air의 거래가 단기적으로 배출량을 증가시킬 수 있다. 물론 예탁(Banking)으로 인해 장기적으로는 영향이 없을 수 있다.
- 측정 및 이행의 실수를 감안해야 한다.
- 부속서 I국가의 높은 저감비용이 기술개발을 촉진한다.
- 개도국이 일인당 배출량이 선진국 수준이 되기까지는 의무부담에 반대하고 있으므로, 선진국이 자발적 감축을 통해 일인당 배출량을 낮추어야 한다.

하지만 거래제한이 설정될 경우 일부 국가가 탈퇴할 가능성도 있으므로 거래제한 설정의 장점만을 주장할 수는 없다. 특히 거래제한은 의무부담국가간 한계비용을 상이하게 만들고 결국 효율성을 떨어뜨리는 단점이 있다. 또한 구매국가의 경우 거래제한에 걸리지 않게 되는 국가는 거래제한 자체가 초래하는 시장가격하락에 따라 반사적 이익을 얻는 반면, 거래제한으로 영향을 받는 국가(구매량이 많아서 거래제한에 걸리는 국가)는 거래제한으로 인해 보다 높은 한계저감비용을 지불하고 국내적 조치를 이행해야 되므로 형평성의 문제를 야기할 수 있다.

미국은 제12차 부속기구회의(2000년 6월)에서 거래제한을 둘 경우 의정서 4조상의 공동실시(EU bubble)에 대해서도 동일한 제한을 둘 것을 주장하였다. 미국은 CDM과 JI에 대해서도 이러한 주장을 한 바 있는데 이는 EU가 배출권 거래규모를 제한(보조성 관련 거래한도 주장)하자고 주장하는 데 대한 대응전략의 하나로 평가된다.

EU는 의정서 4조에 따라 EU 국가간 배출할당량 재조정에 합의하였는데, 이는 시장을 통한 거래는 아니지만 EU국가간에 배출권을 거래하는 것과 사실상 동일한 의미를 갖는 것으로 해석될 수 있다. 미국은 EU가 EU내에서는 의정서 4조를 통해 자유롭게 배출할당량을 조정하면서 배출권 거래제도에 대해서는 제한을 두고자 하는데 대해 반발하고 있다. 따라서 의정서 4조에 따른 국가간 배출량 조정에 대해서도 거래한도규정을 적용하자고 주장함으로써 EU로 하여금 거래한도 주장 자체를 포기하도록 유도하고자 하는 의도에서 이러한 주장을 하는 것으로 평가된다. 의정서 4조에 따른 EU국가간 배출할당량 조정에 대해 EU의 거래한도 규정을 적용할 경우 기존의 합의가 무

효화될 수밖에 없으며, 이에 대한 재조정도 상당히 어려움을 겪게 될 것이다. 이 경우 EU의 교토의정서상 감축목표의 이행이 국가간 형평성문제로 인해 심각한 문제에 봉착할 것으로 예측된다.

프롱크안은 거래한도에 대한 수량적 기준은 두지 않지만 보조성의 문제를 의무 이행(compliance)의 주제로 다룰 것을 제안하고 있는데, EU는 수량적 기준이 반드시 필요하다는 점에서, Umbrella는 의무이행의 주제로 다룰 필요가 없다는 점에서 모두 반대하고 있다.

비용효율성을 제고하기 위해 도입된 배출권 거래에 대해 보조성을 이유로 양적 제한을 하는 것은 불합리한 측면이 있으며, EU에서도 주요 산업계에서 이를 강하게 반대하는 경향이 있다. EU 협상대표도 자국의 의무이행이 국내적 조치만으로 어렵게 될 가능성을 인식하면서 점차 보조성 주장을 후퇴시키고 있는 것으로 알려지고 있다. 보조성을 통해 거래를 제한하는 것은 전체 배출량에 영향을 미치지도 못하면서 특정국가의 저감비용 감소기회를 박탈하기만 하는 부정적 측면이 있다는 점은 분명하다. 우리나라는 환경협력그룹(EIG)에서의 합의에 기초하여 양적 한도 설정에 반대한다는 입장을 견지하고 있다.

### 3.3.4 자연발생 잉여배출권(Hot Air)

자연발생 잉여배출권(Hot Air)이란 추가적인 노력이 없을 경우(Business-as-usual: BAU)에 발생하게 되는 온실가스 배출량보다도 배출할당(목표)량이 많을 경우 그 차이를 의미하는 개념이다. 미국, 러시아 등 Umbrella 그룹은 Hot Air의 개념이 기술적으로 정량화하기 어렵고 비용효율성을 저해할 것이라며 이에 대한 규제를 반대하고 있다. 이에 반해 EU, G77/중국 등은 아무런 노력없이 배출권을 판매하는 것은 범세계적인 온실가스 감축노력을 저해할 것이라며 Hot Air의 거래금지를 주장한다.

지금까지 Hot Air문제의 해결을 위해 러시아 및 우크라이나의 목표량 재협상, 거래한도설정, 실질적 저감량에 대한 입증후 거래허용, 러시아 및 우크라이나의 배출권 거래 참여금지 등 다양한 주장이 제기되고 있으나 실현가능성이 희박하다. 최근 스위스 등은 Hot Air문제를 해결하기 위해 공약기간 이전에 JI사업을 허용(Early JI)하고 이를 통한 ERU만큼에 대하여 거래를 허용하자는 타협안을 제시하고 있다. 이는 Hot Air에 대해서는 공약기간 이전의 추가적 노력으로 인정받는 삭감분만큼 거래를 허용하자는 것이다. 이와 함께 저감량이 정량화되지는 않지만 중장기적인 저감효율을 높일 수 있는 능력형성(Capacity Building)과 관련된 프로젝

트에 대하여 Hot Air를 배분하자는 주장도 제기되고 있다.<sup>47)</sup>

우리나라는 첫 번째 공약기간에는 거래한도설정을 통해 Hot Air의 부정적 효과를 줄이고, 2차 공약기간 이후에는 이러한 문제가 발생하지 않도록 합리적인 기준을 설정하자는 입장을 취하고 있다.

최근 협상중인 의장초안에는 Hot air에 대한 명시적인 표현이 없는 가운데 거래제한이라는 형태로 다루어지고 있다. 한편 스위스가 제시했던 Early JI 문제는 동구권의 반대로 현재 철회된 상태인데, 제13차 부속기구회의의 부대행사로 개최된 워크샵에서 일본의 지구환경전략연구소(Institute for Global Environmental Strategy: IGES)의 Matsuo가 Early JI의 필요성을 제기하는 등 일부의 주장이 계속됨에 따라 향후 재론 여부가 주목된다. Early JI를 통해 공약기간 이전이라도 동구권 국가의 추가적인 온실가스 저감효과를 거둘 수 있다면 환경적 측면에서 바람직하지만 동구권 국가에 대한 인센티브도 추가적으로 부여하기 위해서는 Early JI에 따른 크레딧으로서 Hot air를 대체하기만 하기보다는 동구권 국가에 대한 일정량의 추가적 크레딧 제공이 필요할 것이다. 예를 들면 Early JI에 따른 크레딧 중 80%는 Hot air를 상쇄하는 데 이용하되 나머지 20%는 추가적인 크레딧으로 보유할 수 있도록 할 수 있을 것이다. 또한 CDM 시장의 잠식을 우려하는 개도국에 대해서도 Early JI에 따른 수익의 일정부분(share of proceeds)을 개도국 보상기금으로 활용함으로써 동의를 유도할 수 있을 것이다. 향후 협상추이에 따라서는 선진국, 동구권, 개도국 모두의 이익을 증대시키는 협상안으로서 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

### 3.3.5 법인의 참여(Participation by legal entities)

선진국은 당사국이 인정하는 법인의 국제 배출권 거래제 참여를 허용하자는 입장이나 G77/중국은 이에 반대하고 있다. 법인의 참여를 허용할 경우 당사국별로 국내 기업등에 대한 배출권의 재할당이 이루어질 수 있는데, 이는 산업정책 및 국제무역에 큰 영향을 미칠 수 있다. 따라서 당사국별 재할당과 관련하여 교역과 관련된 국내외 기업간 차별적 조치의 폐해에 대한 우려가 제기되고 있다.

현재 의장초안에는 배출권 거래주체로서의 legal entity에 대한 개별 당사국의 인정/허가 문제, 당사국내에서의 legal entity간 배출권 할당에 대한 지침 문제 등이 언급되어 있는데, 이와 관련하여 우리나라의 입장에서는 선진국내에 진출해 있는 우리 기업이 선진국 내에서 실시되는 배출권 거래제도하에서 거래의 참여나 배출권 할당 등

47) Koch 외 (1999)

의 문제에 있어서 불이익을 당할 가능성 등을 고려하여 불공평한 차별이 배제될 수 있도록 적절한 지침을 개발·주장할 필요가 있을 것으로 판단된다. 예를 들면, 미국이 자국내에서 탄소배출권 제도를 시행하면서 현지에 있는 우리 법인에 대해서는 배출권을 할당해주지 않는다는지, 할당하더라도 불공평하게 작은 양만을 할당한다든지 하는 사건이 발생할 수 있을 것이다. 이 경우 미국 내의 타 경쟁기업으로부터 배출권을 구입해야 하며 이 경우 추가비용발생으로 경쟁력이 저하될 수 있다. 또한 미국의 경쟁기업이 배출권을 판매하지 않을 경우 생산 혹은 수출활동 자체가 불가능하거나 매우 높은 가격으로 배출권을 조달해야 하는 상황이 발생할 수 있을 것이다.

### 3.3.6 거래방식 및 정보공개

거래방식에 대해서는 기존의 시장메카니즘을 활용하는 것으로 충분하다는 Umbrella의 주장과 거래의 투명성과 정보접근의 형평성을 위해 거래의사의 사전공개 및 공개경매방식이 활용되어야 한다는 EU의 주장이 대립하고 있다. 스위스는 의무준수를 촉진하고 과대판매를 예방하기 위해 실질적 삭감이 인증된 잉여량에 대해서만 판매를 허용하는 입증후 거래방식(post-verification trading model)을 주장하고 있다. 우리나라에서는 공개경매의 활용 등 EU의 주장에 동조하고 있으며, 특히 가격 등 거래정보의 투명한 공개를 강조하고 있다.

최근 시장조작의 예방 및 거래정보 공개여부가 거래규칙의 설정에 있어서 중요한 변수로 논의되고 있다. 온실가스 국제 배출권 시장에서의 독점적 행태로 인한 폐해에 관해서는 학계에서도 다양한 의견이 제시되고 있는데, 러시아 등의 공급독점으로 배출권의 시장가격이 20%까지 상승하고 거래의 효율성을 20%가량 저하시킬 것이라는 주장도 있으며, 수요자의 전략적 대응과 CDM CER의 공급확대가 독점적 행태를 무력화시킬 것이라는 주장도 있다.

CDM을 통한 CER의 창출은, 비록 얼마만큼일지는 불확실하지만, 배출권의 공급 역할을 함으로써 CIS의 공급독점력을 약화시킬 수 있다. 단, 중국 등에서 대규모의 CER을 공급할 경우 독점력이 이들 국가에 집중됨으로써 또 다른 문제를 야기할 수는 있다. Baron(1999)에 따르면, OECD GREEN 모형은 CIS가 판매하는 배출권의 2/3가 BAU대비 추가적 삭감량이라는 결과를 나타내는데, 실제로 CIS의 추가 삭감량이 이보다 작을 수 있고, 다른 국가의 배출권 공급도 증가할 수 있으므로 CIS의 독점력이 약화될 가능성이 크다고 주장한다. 게다가 CIS에서 러시아와 우크라이나가 강력한 카르텔을 형성하지 못하고 서로 경쟁관계에 있을 수 있는데, 이

경우 독점력은 크게 약화될 것이다. 또한 배출권 가격이 높을 경우 일부국가가 교토의정서상의 감축의무를 포기하고 협약에서 탈퇴할 가능성이 있는데 이는 독점국가의 가격인상유인을 약화시킬 수 있다.

잠재적 구매국 또한 독점력(monopsony power)을 행사할 가능성이 있다. Bohm(1998)은 미국이 단일 구매국으로서 구매독점력을 행사할 경우를 분석하였는데, 이중경매(Double Auction)<sup>48)</sup>에 의한 거래시스템 하에서, 미국이 가격을 낮추기 위해 낮은 가격으로 거래의사를 제시할 경우, 다른 당사국들로 하여금 이러한 낮은 가격으로 구매하고자 하는 유인을 갖게 만들어 구매독점력을 무력화시킬 것이라는 결과를 보여주고 있다. 현재로서는 CIS와 같은 공급국가에 의한 독점력(monopoly power) 행사 가능성이 구매국의 시장지배력보다 상대적으로 우세한 것으로 예측된다.

시장지배력의 문제점과 함께, 양자협상에 의한 정치적 거래가 시장의 효율성을 저하시킬 수 있다는 문제점을 예방하기 위해 거래의사의 사전공개와 결부된 무기명식 교환거래(Anonymous Exchange Trading: 일종의 이중경매)가 주장되기도 하지만 실현가능성에 의문이 제기되고 있다.<sup>49)</sup> Hizen and Saijo(1999)는 양자거래(bilateral trading)의 잠재적 비효율과 계약정보 공개의 효율제고효과를 검증하기 위한 실험적 연구를 수행하였다. 양자거래에 대한 실험결과 거래가격의 공개여부는 효율성에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 또한 이중경매와 양자거래를 비교하는 실험결과는 효율성에 있어서 차이가 없는 것으로 나타났다. 단, 이중경매의 경우에 거래를 제안하는 수가 양자거래시보다 적은 것으로 나타났는데, 이는 거래비용을 고려할 경우 이중경매시스템이 보다 효율적일 수 있음을 시사하는 것이다.

거래방식과 관련하여 현재 협상중인 초안(CRP.3)에는 세 개의 option을 제시(Annex 7항)하고 있는데, 첫 번째는 bilateral and multilateral arrangement 및 market exchange를 통해 거래할 수 있다는 것이고, 두 번째는 당사국별 연간 거래량이 x 백만톤을 초과할 경우 open and transparent exchange를 통해 거래하여야 한다는 것이며, 세 번째는 bilateral arrangement를 통해 거래하되 거래의사를

48) Double Auction이란 거래참여자가 살것인지 팔것인지에 관한 의사(가격 등)를 제시하고, 선착순으로 제시된 가격에 따라 거래가 성사되는 주식시장과 유사한 거래시스템을 뜻함.

49) 무기명 교환거래시스템이란 판매 혹은 구매하고자 하는 수량과 가격을 (가칭)중앙통제소에 제출하고, 중앙통제소는 이를 종합하여 서로 거래상대방을 알지 못하는 상황하에서 서로 조건이 맞는 거래를 성사시키는 방식이다. 중앙통제소 자체가 전산거래를 통해 자동적으로 거래를 성사시켜줄 수 있다. 이러한 시스템하에서는 개별 거래자(혹은 국가)가 단지 중앙통제소와 무기명으로 연락할 뿐이므로, 특정 국가와 양자 협상을 통해 정치적 타협을 할 여지가 현저히 줄어들게 된다.

사전에 공표하도록 하자는 것이다. 우리나라의 거래참여가능성을 열어 놓기 위해서는 부속서 I 혹은 B국가로 거래자격을 제한하는 것에는 반대할 필요가 있으며, 거래의 일정부분(X% 이상)은 강제적으로 공개된 경매방식으로 거래토록 함으로써 거래(혹은 배출권 시장)에의 공평한 접근을 보장할 필요가 있다. 또한 거래의 형평성과 투명성 제고를 위해 prior notification 조항을 유지할 것을 주장하는 것이 바람직하다고 판단된다.

### 3.3.7 메커니즘의 호환성(fungibility among mechanisms)

메커니즘간 호환성(fungibility)이란 의정서 17조에 따른 배출권(AAU/PAA), 12조에 따른 CDM credit(CER), 6조하의 JI credit(ERU) 등 상호간에 자유로운 교환이 가능한가의 문제이다. 하지만 호환성을 인정하지 않는다는 것이 논리적으로 가능한가와 함께, 호환성의 정의 자체에 대해서도 아직 불명확한 점이 있다. 따라서 PAA/CER/ERU간 호환성 자체가 문제이기보다는 이들의 성격 및 가치가 상이함으로써 거래비용을 조정하는 것이 중요하다는 주장도 제기되고 있다. 즉, CER은 공인된 저감량이므로 완전한 권리를 의미하지만 PAA는 판매국의 의무준수여부에 따라 구매자 책임원칙의 적용을 받을 수 있으므로 불완전한 권리일 수 있다(프랑스). 이 경우 PAA와 CER의 거래시 PAA에 대한 할인이 필요하게 된다(AOSIS). Umbrella 국가들은 호환성을 인정하자는 주장인 반면, 중국은 이에 절대 반대하고 있다. PAA, CER, ERU는 온실가스 배출의 권리라는 측면에서 기본적인 성격이 같지만, 발행 당사국의 준수문제와 결부된 무효화 가능성 등의 위험요인에 의해 시장에서 서로 다른 가치로 평가받을 수 있을 것이다.

이러한 호환성 논의 뒤에는 한가지 중요하고도 미묘한 문제가 숨어 있다. 즉, 배출권과 CDM CER의 상호거래를 허용할 경우 CER을 거래할 수 있는 당사국 혹은 법인에 대하여 배출권의 거래를 막을 필요가 없다는 것이다. 이는 특히 우리나라가 적극적으로 제기하고 있는 개도국 단독(Unilateral; Host-generated) 혹은 개도국이 투자하는 CDM 사업의 필요성과도 밀접하게 관련되어 있다.<sup>50)</sup> 부속서 I국가의 투자 없이 개도국이 단독으로 CDM을 시행할 경우, 혹은 개도국이 타 개도국에 투자하는 CDM 사업의 경우 CER은 자연스럽게 개도국이 보유하게 되며, 이러한 CER이 가치를 갖기 위해서는 개도국의 CER 판매가 허용되어야 한다. 호환성이

50) Unilateral CDM의 필요성에 대한 우리나라의 주장은 COP6 고위급회의에서 발표된 우리나라의 수석대표 연설에 잘 나타나 있다. 주요 논거는 Unilateral CDM의 불허가 개도국의 자발적 저감노력을 저해하고 부속서 I국가와 비부속서 I국가간의 국제경쟁력을 왜곡할 수 있다는 것이다.

인정될 경우 개도국은 CER과 배출권을 교환할 수 있으며 결국 배출권 거래제에도 참여할 수 있게 된다. 이 문제는 아직 협상과정에서 명시적으로 거론되지 않고 있지만 반드시 정리되어야 할 문제중의 하나이다.

### 3.3.8 의무준수(Compliance) 및 책임(Liability)

의무준수(혹은 이행강제)란 기본적으로 의정서 3조의 양적 감축의무(QELRC)의 준수에 대한 것이다. 배출권 거래제의 관점에서 의무준수는 QELRC의 달성을 위해 배출권 거래제를 활용함에 있어서 정해진 규칙을 준수하는가의 문제이며, 구체적인 내용은 배출권 거래제도의 세부 실행안이 합의된 후에 논의될 성격이다. 현재 논의중인 주제는 QELRC의 준수가 어렵거나, 불가능하거나, 혹은 이미 위반한 국가에 대하여 배출권 거래(특히 구입보다는 판매)를 어떻게 제한할 것인가와, 배출권을 판매한 국가가 결과적으로 QELRC를 달성하지 못했을 경우에 이 판매된 배출권을 매입한 국가가 판매국의 위반에 대해 일정부분의 책임을 공동부담(shared liability)해야 하는가 등이다.

과다판매(over-selling)를 해결하기 위한 수단으로서 공약기간 종료시점 이전에 시행되는 '예방적 조치'와 공약기간 종료후에 위반국에 대한 '벌칙'으로 구분할 수 있다. 예방적 조치로는 이행기간중 사전 준수평가, 판매국에 대한 감시 및 강제의 강화, 규정위반국에 대하여 차기 이행기간에 경계국가(buyer beware) 지정, 판매국의 보험가입 의무화 등 다양한 방식의 판매자 책임강화가 논의되고 있으며, 규정위반의 불확실성을 고려한 거래할인 및 부분예치 등도 논의되고 있다. 위반국가에 대한 사후적 벌칙으로는 위반국가가 판매한 배출권의 무효화, 벌금, 무역제재 등이 거론되고 있다. 현실적으로는 고의적 위반의 경우보다는 준수역량의 부족에 따른 불가피한 위반가능성이 높기 때문에 위반시 벌칙의 부여보다는 재정지원과 같이 준수상태로의 복귀를 촉진하는 지원수단이 보다 강조되고 있다. 국제환경법연구소(Center for International Environmental Law)에서 주장하고 있는 청정개발기금(Clean Development Fund)과 같이 위반에 따른 책임을 기금의 제공을 통해 대신하고 이를 재원으로 CDM과 같은 온실가스 저감사업을 추진함으로써 위반에 따른 온실가스 증가분을 상쇄하도록 할 수도 있다.

유럽연합은 의무규정을 위반(배출권 보유량보다 많이 배출하는 행위)한 당사국이 이전한 배출권에 대해 부분 혹은 전부에 대해 무효화(invalidation)하도록 규정함으로써 다른 당사국이 규정위반 예상국가로부터 배출권을 구매하는 것을 예방하여야 한다고 주장하고 있다. 또한 무효화된 배출권에 대한 책임은 판매국과 구매

국이 함께 부담하되 판매국에 더 큰 책임을 물어야 한다고 주장한다.

부정거래에 대한 책임은 구매자의 책임부담이 클수록 부정거래의 예방효과가 커지지만 구매자의 정보수집비용 등 거래비용을 증가시키고 결과적으로 비용효율적인 거래를 저해한다는 역효과를 가져오므로 이들간의 상충관계를 잘 고려하여야 한다. 구매자 책임의 경우에 위반국가가 배출한 배출권 중 위반의 정도에 따라 일부분을 선택하여 무효화하거나 벌금을 부과하여야 하는데, 일부분을 선택하는 기준도 신중히 고려되어야 한다. 수확 모형(Vintage Model)이란 가장 최근에 배출된 배출권부터 무효화한다는 원칙을 뜻하는 것으로 위반의 가능성이 높아짐에 따라 구매자로 하여금 보다 주의하도록 유인한다는 측면에서 장점이 있다.

유럽연합은 또한 스위스와 함께 준수예치제(compliance reserve)를 제안하고 있다. 준수예치제란 배출권 거래시 일정량을 예치해 놓았다가 공약기간말에 준수상태로 평가될 경우 반환받으며, 만일 위반상태로 평가받으면 이를 무효화하는 방법이다. 이는 위반상태가 발생할 경우 책임(liability)의 분담에 따라 거래된 배출권의 일부를 무효화하는 방식(우리나라도 제안함) 하에서 배출권의 무효화에 따라 연쇄적인 위반상태가 발생할 수 있는 단점을 예방할 수 있다는 점에서 바람직한 대안이라 판단된다.

스위스는 5년 단위의 공약기간에 대해 할당받은 배출권을, 합의된 절차에 따라 각 연도별로 재할당 한 후 당해 연도에서 초과삭감량(연도별 할당량보다 배출량이 낮을 경우) 만큼을 다음 연도 이후에 판매할 수 있도록 하는 입증후 거래방식(Post-verification Trading Model)을 제안하고 있다. 이는 거래의 남용 및 과다판매를 통한 고의적/우연적 위반가능성을 사전에 예방할 수 있다는 점에서 바람직하다. 시장지배력이 낮은 우리나라로서는 이러한 사전 예방적 접근이 유리할 수 있을 것이다.

미국은 의무규정 위반국가에 대하여 일정기간(예: 3개월)의 유예기간(grace period)을 두고 배출권의 추가구입 등을 통해 준수할 수 있는 기회를 보장하자는 주장을 하고 있으며, 위반 당사국에 대해 배출권의 추가 이전을 제한하자고 주장하고 있다. 위반국가라 할지라도 배출권 구입을 제한할 필요는 없다. 오히려 준수상태로 복귀할 수 있도록 배출권의 매입을 지원해야 할 것이다.

의무준수체계는 또한 메카니즘간 호환성의 문제와도 관련되어 있다. PAA, CER, ERU는 온실가스 배출의 권리라는 측면에서 기본적인 성격이 같지만, 발행 당사국의 준수문제와 결부된 무효화 가능성 등의 위험요인에 의해 시장에서 서로 다른 가치로 평가받을 수 있을 것이며, 이에 따라 준수체계의 측면에서도 서로 다른 접근이

필요하다. 예를 들면, 판매자-구매자 공동책임원칙의 경우 국제기구에 의해 공인받은 CER이나 ERU 보다는 PAA에 대하여 우선적으로 구매자의 공동책임을 적용할 수 있을 것이다.

의무부담국의 의정서(혹은 협약) 탈퇴시 책임 문제도 준수체계와 관련하여 논의되고 있다. 의정서 27조는 당사국별로 의정서가 발효(entry into force)한지 3년이 지난후에는 탈퇴(withdrawal)를 신청할 수 있으며, 신청한 지 1년이 경과하면 탈퇴할 수 있도록 규정하고 있다. 배출권의 과다판매 등 불성실한 거래행위를 행한 당사국이 탈퇴를 신청할 경우 어떤 제재를 가할 것인가의 문제가 쟁점이다.

의무준수체계는 의무의 성격과도 연계되어 있다. 예를 들면 미국의 미래자원연구소(RFF)에 의해 제안된 배출권 거래제도에서는 배출권 보유량이 배출량에 미달할 때 다른 제재를 취하기보다는 정부가 정해진 가격으로 배출권을 추가 구매할 수 있도록 하고 있다. 국제적 관점에서도 어느 국가가 배출권의 매입이 곤란하거나 시장가격이 너무 높아 경제적 부담이 클 경우, 국제관리기구가 정해진 가격으로 배출권을 추가 발행할 수 있도록 하는 것도 하나의 대안이 될 수 있다. 또한 현재로서는 양적 감축의무가 교토의정서상의 총량적 형태로만 정의되고 있지만, 최근에 논의되고 있는 원단위형태의 감축의무가 허용되고, 법적 강제력에 있어서도 자발적 노력의 유도형식이 허용될 경우, 당사국이 자발적으로 약속한 원단위를 초과달성할 경우 차이분은 배출권 시장에서 판매할 수 있도록 하고, 미달성시라도 제재를 취하지는 않는 것도 광범위한 참여를 유인하고 범지구적 저감노력의 효율성을 증대한다는 관점에서 의무이행체계의 한 구성요소로서 검토될 수 있을 것이다.

제13차 부속기구회의(2000. 9월)에서는 8개의 대안이 수록되어 있었다. 이 중 발행국 책임(Originating Party liability), 구매국 책임(Acquiring Party liability), 공동책임(Shared liability), 거래중지(Trigger) 등 4개의 대안은 위반(non-compliance) 여부의 결정 이후의 벌칙적 성격이며, 준수예치제(Compliance reserve), 공약기간예치제(Commitment period reserve), 입증후 거래방식(Post-verification trading 혹은 Units in surplus to plan 혹은 Swiss proposal), 잉여량 거래방식(Surplus units) 등 4개의 대안은 과다판매(overselling)에 따른 위반을 사전에 예방하는 성격이다.

발행국 책임방식은 단순하다는 장점이 있으나 위반시에 대한 강력한 벌칙이 동반되지 않을 경우 위반상태를 예방하기 어렵다는 단점이 있다. 구매국 책임방식에서는 한 국가가 위반상태로 될 경우 그 국가가 판매한 배출권이 무효화되므로 이를 구매한 구매국 또한 위반상태가 될 수 있다. 이처럼 연쇄적으로 위반상태가

발생(chain-reaction)하는 상황을 해결할 수 있는 방안이 마련되어야 한다. 또한 구매국 판매국의 준수상태 및 이에 따른 거래위험을 평가하여야 하며, 이러한 위험 프리미엄이 배출권 가격에 반영되며, 결국 국가별 배출권의 가격이 차별화되는 등 시장이 매우 복잡해질 수 있다. 공동책임 및 거래중지방식도 구매국 책임방식과 마찬가지로 위반국이 판매한 배출권을 얼마나, 그리고 어떤 순서로 무효화할 것인가를 결정해야 하며, 구매국 책임방식의 문제점을 그대로 안고 있다. 준수예치제는 거래량의 몇%를 예치할 것인가가 결정되어야 하며, 공약기간예치제는 공약기간동안의 배출량 예측방식이 결정되어야 한다. 잉여량 거래방식은 공약기간 이후에 잉여보유량에 한하여 거래를 허용하는 방식으로 overselling을 완벽하게 예방할 수 있다는 장점이 있지만 공약기간이 끝나고 배출량 결정이 모두 완결된 이후에나 거래가 시작될 수 있다는 단점이 있다. 벌칙적 성격의 4가지 대안과 예방적 성격의 4가지 대안이 복합적으로 선택될 수 있으며, 발행자 책임방식과 공약기간예치방식의 혼합형태가 바람직한 대안으로 검토될 수 있을 것이다.

제13차 부속기구회의에서는 발행국 책임방식을 주장하는 미국, 캐나다, 호주 등과 구매국 책임방식을 주장하는 EU가 첨예하게 대립하였으며, 인도는 잉여량 거래방식을 주장하였다.

EU 의장국인 프랑스는 수정된 구매국 책임방식을 제시하였으며 의장초안의 구매국 책임방식 및 공동책임방식을 통합하고 수정된 구매국 책임방식으로 이를 대체할 것으로 제안하였다. 이 수정된 제안의 명칭은 혼합책임방식(Mixed liability)으로서 위반국가가 판매한 배출권이 위반국가가 준수상태로 복귀할 때까지 일시적으로 무효화되는 방식이다. 구매국이 일시적으로 위반국가가 판매한 배출권을 공약이행에 사용할 수 없다는 점 외에는 위반에 따른 모든 책임을 판매국이 부담한다. 또한 위반에 따른 무효화(invalidation)는 위반상태에서 준수상태로 복귀하는데 필요한 만큼에 적용되어야 하며, 무효화 순서는 거래순서에 역순(reverse chronological order)으로 적용한다. 벌칙으로서의 혼합책임방식과 함께 예방책으로서 입증후 거래방식을 지지하며, 공약기간예치제에도 관심이 있음을 밝히고 있다. 단, 공약기간예치제의 경우 예치분(reserve)의 결정에 당사국의 국내 정책 및 조치(policies and measures)가 반영되어야 하며, 예치분이라 하더라도 구매국 책임원칙하에 거래를 허용할 수도 있음을 언급하였다.

영국은 미국 등이 주장하는 발행국 책임방식이 overselling을 예방할 수 있는 대책이 없다고 비판하고 있고, 독일은 상기 방식이 엄청난 거래위험을 초래할 것이라는 미국, 호주 등의 지적에 대해 이는 추가적인 위험이 아니며 단지 잘못된 예측에 따른 폐해를 예방하기 위한 것이라 설명하였다.

호주, 뉴질랜드, 미국, 캐나다 등은 발행국 책임방식이 유일한 대안임을 주장하였다. 호주는 단순한 방식이 효과적이며, (구매국 책임방식을 통해) 국가별 배출권을 차별화하는 것은 배출권 시장을 너무 복잡하게 만드는 비효율적인 방식이라 주장하고 있다. 뉴질랜드는 배출권 거래의 목적이 비용최소화에 있다는 점을 상기시키고, 비용최소화의 주체인 법인들에 대해 유용한 가격시그널을 줄 수 있는 방식이 필요함을 주장하였다. 또한 판매국의 위반가능성과 이에 따른 위험을 구매국이 평가해야 하는 구매국 책임방식은 막대한 거래비용을 초래하게 되며, 준수예치제 또한 국내 배출권 거래제도와 조화되기 어렵다는 점을 설명하면서 발행국 책임방식이 유일한 대안임을 강조하고 있다.

미국은 악의적인 *oveselling*이라는 이례적인 상황을 우려하여 구매국 책임방식을 적용할 경우 대부분의 정상적인 거래에 대해 불편과 거래비용(transaction cost)을 크게 증가시키는 부작용을 초래한다는 점을 지적하였다. 또한 입증후 거래방식의 경우 거래시점을 지연시켜 선물거래의 위험을 증가시키므로 구매국 책임방식과 마찬가지로 문제가 있고, 공약기간예치제의 경우 공약기간동안의 배출량 예측방식에 합의하는 것은 매우 어려운 협상문제가 될 것임을 지적하고 있다. 캐나다는 민간 부문에 적절한 배출저감유인을 제공하기 위해 *early price signal*이 시급함을 지적하면서 구매국 책임방식은 거래를 방해하기 위한 것이라 평가절하하고, 단순하고 신뢰성 있는 판매국 책임방식(발행국 책임방식)이 바람직하다고 주장하였다.

인도는 환경적 안정성(environmental integrity)를 100% 보장하기 위해서는 공약기간이 끝난 다음에 배출량을 초과하는 잉여배출권을 보유하는 것으로 판명된 경우에만 거래를 허용하는 잉여량 거래방식을 지지하고 있다. 필리핀은 기후변화협약이 환경협약임을 상기시키며, 비용최소화의 원칙은 당사국간이 아닌 당사국 내에서의 문제이며 국제간 거래에서 비용최소화가 지나치게 강조되는 것에 반대하였다.

스위스는 자국이 제안한 입증후 거래방식을 재차 주장하였으며 발행국 책임방식과 입증후 거래방식을 함께 활용할 것을 제안하였다. 폴란드는 공약기간예치제와 준수예치제 및 구매국 책임방식의 혼합 적용을 주장하였다.

이상의 논의를 종합해 보면, 발행국 책임원칙(혹은 판매국 책임원칙)을 주장하는 미국, 캐나다, 호주, 뉴질랜드 등과 혼합책임방식을 주장하는 EU 사이의 이견이 해소되지 못하고 양측간의 논쟁이 계속되었고 있음을 알 수 있다. 인도, 필리핀 등 개도국이 잉여량 거래방식을 주장하였는데, 배출권 거래 자체에 거부감을 표현하던 과거의 태도를 고려할 때 크게 진전된 입장을 보여주는 것이다. 스위스는 과거의 입장대로 자국이 제안한 입증후 거래방식을 고수하였는데, 이 방식은 미국 등

에서 주장하는 발행국 책임방식의 단점과 EU에서 주장하는 혼합책임방식의 문제점을 보완하는 절충안으로서 합리적이라 판단되며, 우리나라도 과거의 공동책임방식을 포기하고 스위스의 입장에 동조하는 것이 바람직할 수 있을 것이라 판단된다.

거래책임(liability)에 대한 논의는 거래방식의 기본적 형태에 대한 논의에 속하는 것으로 경매나 양자거래 등 거래형태 자체에 대한 논의와 밀접한 관계가 있다. 이러한 관점에서 미국 등 Umbrella와 EU간 거래형태에 대한 상반된 입장과 연장선 상에서 분석할 필요가 있다. 즉, Umbrella는 거래방식에 있어서 기존의 시장기구를 최대한 허용하자는 입장이며 EU는 무기명 교환거래의 강제적 실시를 주장한 바 있다. 이는 거래책임에 대한 양측의 상반된 입장만큼이나 큰 견해차이를 나타내는 것이다. 이 부분에서 EU의 주장은 내생적인 문제점을 안고 있다. 즉, EU가 주장하는 혼합책임방식하에서는 국가별 배출권이 서로 다른 상품으로서 거래되어야 하는데, 무기명 교환거래(일종의 경매 방식)를 강요할 경우 발행국가별로 별도의 경매 시스템이 운영되어야 한다. 이 경우 개별 경매시장의 규모가 매우 작고, 전체 시장의 복잡성이 매우 증가하는 문제점과 함께, 선물, 옵션 등 파생상품 시장의 형성이 저해되는 문제점이 있다. 이에 대한 해결방안의 제시 여부가 향후 관건으로 대두될 수 있을 것으로 예상된다. 이러한 측면과 관련하여서도 앞에서 언급했던 스위스식 제안이 합리적인 절충안으로 검토될 수 있을 것으로 판단된다. 특히 제13차 부속기구회의에서 공식 출범한 스위스, 멕시코와의 연대(환경안전그룹; Environmental Integrity Group: EIG)에 힘입어, Umbrella와 EU사이의 갈등을 조정하면서 협상력을 증대할 수 있는 가능성이 있다.

현재 협상초안(CRP.3)에는 Originating Party liability(발행국 책임), Originating Party liability plus(발행국 책임 + 60% 예치), 공약기간 예치제, Units in surplus to plan(기존의 스위스 제안), Mixed liability(EU 제안) 등 5개의 제안이 포함되어 있는데 여전히 모호한 점이 많아 향후 협상에서 큰 변화를 초래될 수 있다.

프롱크안은 거래책임에 대해 획기적이라 평가받고 있는 타협안을 제시하였다. 프롱크안의 골자는 교토의정서 부속서 B에 따른 초기할당량의 70%에 대한 우선 예치 및 연차적 조정, 그리고 목표미달성시 차기(2차) 공약기간으로부터의 차입(borrowing)을 허용하는 것이다. 차입분에 대해서는 1.5배를 차기 할당량에서 차감할 것을 제안하고 있다.<sup>51)</sup> 70%의 예치율에 대해서는 EU를 중심으로 98%까지 높

51) 이처럼 차기할당량에서의 공제율을 “미이행 보상율(restoration rate)”이라고도 하는데, 2001년 3월에 개최된 OECD 부속서 I국가 기후변화 전문가회의에서 캐나다의 Chris McDermott는 “미이행 보상율(restoration rate)”의 결정이 할인율과 탄소가격변화 등 경제적 요인과 저감활동의 지연에 따른 기후변화영향이라는 환경적 요인을 고려하여 이루어져야

이자는 제안이 나옴에 따라 양자간의 선택이 중요한 쟁점으로 부각되고 있다.

프롱크안에서는 보고, 검토, 강력한 이행강제(strong and enforceable compliance)만으로는 과대판매(overselling)를 예방하기에 충분하지 않다고 지적함으로써 발행국 책임원칙의 충분성을 부정하는 듯 하지만, 예치요구량을 70%를 만족하는 한 별도의 책임원칙을 제시하지 않음으로써 Umbrella의 입장에 지나치게 치우쳐 있다는 평가를 받고 있다. 특히 차입의 허용은 교토의정서 협상과정에서 미국이 주장했으나 EU 및 개도국의 반대로 무산되었던 내용인데 프롱크 의장이 이를 다시 거론함으로써 강한 비판을 받고 있다.<sup>52)</sup> 이후 협상에서 예치수준의 대폭적인 상향조정, 차입에 대한 벌칙의 강화 등이 논의되고 있다.

#### 4. 각국의 온실가스 거래제도 도입 추진동향

##### 4.1 미국

미국은 배출권 거래제도에 대한 경험이 축적된 거의 유일한 국가로서 온실가스 규제를 위한 배출권 거래제도 도입에 가장 적극적인 입장을 표명하고 있다. 학계 및 연구기관에서 온실가스 저감목표의 효율적 달성을 위해 국내 온실가스 배출권 거래제도의 필요성 및 구체적 적용방향에 대한 연구를 진행해 오고 있다. 특히 에너지부(DOE)와 환경청(EPA)을 중심으로 국제 및 국내 배출권 거래제도 도입안을 검토중인데, EPA에서는 이미 온실가스 배출권 거래를 위한 전자식 거래등록 및 회계시스템을 개발하여 국제적인 홍보를 강화하고 있다.

---

함을 주장하였다. 할인율과 탄소가격변화율에 대한 다양한 시나리오 하에서 고의적인 위반을 예방할 수 있는 적정 보상율을 산정한 결과를 소개하였는데, 예를 들어 할인율이 연간 3%이고 탄소가격변화율이 연간 0%일 경우 적정 보상율은 1.2가 됨을 설명. 적정 보상율이 1.2라는 것은 감축의무 미달성분에 대하여 차기 이행기간의 할당량을 미달성분의 1.2배 이상을 차감할 경우 고의적인 위반유인이 없게 됨을 의미한다. 이는 현재 프롱크 협상초안의 보상율 1.5를 보다 낮추려는 Umbrella 그룹의 주장을 대변하는 것으로 이해된다. 이에 대해 영국은 동 연구가 탄소가격 변화 등이 매우 불확실하므로 사전적으로 시나리오를 설정하기가 어렵다는 점을 설명하고 보수적인 보상율의 고려가 바람직함을 주장하였으며, 프랑스는 상기 논문이 이론에 치우쳐 있으며 현실적으로 실현가능성이 적다고 비판한 반면, 미국은 과학적인 논리의 적용을 높이 평가하였다. 이러한 국가별 의견은 보상율을 높이려는 EU와 이를 낮추려는 Umbrella간의 첨예한 의견대립이 표출된 것으로 해석된다.

52) 교토의정서 채택 이후에도 차입(borrowing)의 부활가능성에 대한 논의는 특히 준수 및 책임 문제의 틀에서 꾸준히 제기되어 왔다. (Matsuo(1998) 참조)

## 4.1.1 배출권 거래제도 관련 입법 추진동향

1999년 3월 상원의원 John Chafee에 의해 “자발적 삭감 인증에 관한 법(Credit for Voluntary Reductions Act: 상원법안 S.547 (Chafee/Lieberman/Mack))이 제안되었으며, 5월 수정안이 제출되었다. 현재 산업계를 비롯한 주요 이해당사자의 의견을 수렴하고 있는데, 제안의 개요는 다음과 같다.

- 1999-2007년간 온실가스 배출저감활동에 대한 credit 제공
- 1605(b) 규정 및 USIJI 사업을 포함하여 국내 및 국제활동 인정
- 1996-1998년간 배출 및 성장에 대한 static baseline
- 1605(b) 규정과 관련한 1990-1998년간 credit 소급인정(retroactive crediting)
- 소규모 혹은 산발적인 배출원 및 흡수원 제외
- credit의 거래 및 합산(trading and pooling) 허용
- 공약기간 전의 자발적 노력에 대한 보상, 중소기업에 대한 배려, 원자력 및 흡수원의 포함여부 등이 주요 쟁점이며, 배출권 거래제도의 사전단계로 인식됨.

미국의회에는 Chafee가 제안한 법안 이외에도 다음과 같은 온실가스 관련 법안이 상정되어 있다. 대부분 규제가 도입되기 전의 조기저감분이 향후 엄격한 기준에 의해 피해받지 않도록 하는 “baseline protection”이 주요 골자이다.

## ① 하원법안 H.R. 2520 (Lazio/Dooley)

- Baseline은 입법년도까지의 3년간 평균으로 설정, 1990년 이후에 한해 조기 기준년도 채택 가능
- 기준년도 대비 경제상황(생산액 등), GDP 등의 변화와 수요관리요인등을 감안하여 baseline 조정(dynamic baseline)
- 최종 이용효율향상에 노력하는 제조업자에 대한 demand-side credit 제공
- 흡수활동은 총량의 20%내로 제한
- 제삼자 입증 요구(3rd party verification)

## ② 상원법안 S. 882 (Murkowski/Hagel/Byrd)

- credit과는 별도로 온실가스 저감을 실행하는 업체를 파악
- 매년 2억불씩 10년간 20억불을 RD&D에 지원
- 재생에너지, 에너지효율향상, 청정탄, 원자력 및 흡수에 의한 저감활동 포함

- 에너지부(DOE)에 지구기후변화국(Office of Global Climate Change) 신설
- 구체화되지 않았으나 온실가스 거래제 도입의 여지를 둠.

③ 하원법안 H.R. 2221 (Mcintosh)

- 상원의 층고 전에 연방재정이 교토의정서 관련주제에 사용되어서는 안됨.
- 연방정부내 어떤 부서도 이산화탄소 배출을 규제하는 권리를 갖고 있지 않음.
- Lazio 법안의 도입에 사전 반대함.

④ 하원법안 H.R. 4861 (Lazio)

- CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, 수은에 대한 총량관리 및 배출권 거래제도 시행
- 총량관리 목표: 2005년부터 연간 NO<sub>x</sub> 275만톤, CO<sub>2</sub> 19억톤, 납 5톤, SO<sub>2</sub> 는 Acid Rain Program 대비 1/4로 감축
- NO<sub>x</sub> 배출권은 오존기간 중 50% 할인
- 배출권은 전기 및 열 생산량에 비례하여 무상배분
- 위반(초과)배출량에 대해 \$6,000(NO<sub>x</sub>) 및 \$100(CO<sub>2</sub>) 벌금 부과 및 차기년도 할당분에서 차감.
- Renewable Energy Credit Trading: 2005년부터 총전력판매량의 3%, 2010년부터 6%이상을 태양, 풍력, 지열 및 바이오메스에서 생산된 전력으로 대체

특히 ④번 법안은 2000년 7월 Lazio에 의해 “Clean Power Act”라는 이름으로 제안된 것으로서 전력산업을 대상으로 기존의 산성비 프로그램에 따른 아황산가스 거래제도의 보완과 함께, NO<sub>x</sub>와 이산화탄소에 대한 거래제도 도입, 수은에 대한 총량관리 도입 등 4개 주요 대기오염물질을 통합관리하는 내용을 골자로 하고 있다. 이는 배출권 거래제도 및 총량관리의 유용성이 광범위하게 인식되면서 기존의 대기오염 규제수단을 일부 보완하고 온실가스 규제를 추가하여 통합적인 규제틀을 정립함으로써 개별 규제의 난립을 방지하고 규제의 중복문제를 해결하려는 노력으로 보인다. 또한 미국에서는 발전소에서 나오는 수은에 대한 환경보호론자의 우려가 매우 높아 이에 대한 규제방안이 초미의 관심사임을 반영하는 것이다. 이 법안은 전력산업계와 민주당/공화 양당의 지지를 받고 있어 조만간 의회를 통과할 것으로 예측되었으나, 최근에 부시 대통령이 선거과정에서의 지지를 번복하고 이산화

탄소에 대한 규제의 불필요성을 언급함에 따라 향후 전망을 불투명한 상태이다.

#### 4.1.2 미래자원연구소의 제안<sup>53)</sup>

미국의 민간연구소인 미래자원연구소(RFF)는 공약기간 전의 저감노력을 촉진하기 위해 다양한 조기저감프로그램(early credit program)이 제기되고 있으나, 사업별 평가의 복잡성에 따른 credit 산정의 어려움, 미래 규제정책의 불확실성에 따른 credit 가치의 불안정성 등으로 충분한 효과를 거두기 어렵다는 인식하에 강제적 배출권 거래제도의 조기도입을 주장하였다. RFF에 따르면 2002년까지는 정교한 배출권 거래제가 설계될 수 있으며, 이는 배출저감 인센티브와 기술개발 유인을 효과적으로 제공하고 합리적인 수준의 비용을 형평성있게 부담할 수 있을 것으로 전망하고 있다.

RFF는 관리가능한 배출량 규모를 극대화하고, 감시 및 관리비용을 최소화하며, 모든 배출원에 대해 동등한 저감유인을 제공할 수 있도록, 국내 에너지 생산자 및 수입업자(약 2천여개)를 대상으로 하는 이산화탄소에 대한 상류식(Upstream) 접근을 제안하고 있다. 또한 2004년 혹은 가능한 한 빠른 시일내에 타 온실가스로의 확대가 바람직하다고 주장하고 있다.

이 제안에서는 배출권 시장가격의 불확실성을 줄이고 준수비용부담을 완화하기 위해 가격상한(price ceiling) 혹은 안전장치(safety valve)를 통해 일정 수준의 가격 이상으로는 정부가 제한없이 추가 배출권을 판매하도록 하고 있다. 가격상한은 경제가 부담하고자 하는 톤당 저감비용의 최대치로서 처음(2002년)에는 \$25/tC에서 시작하며, 2007년까지 매년 인플레이션율에 추가적으로 7%씩 증가시킬 것을 제안한다.(인플레이션을 무시할 경우 2010년경 \$43에 도달) 이는 휘발유가격 6센트 상승(작년 하락폭의 1/3수준), 전력가격의 0.5센트/kw 수준이다. RFF는 이처럼 낮은 수준의 가격상한에서 시작하여 점차 증가시킴으로써 점진적인 이행을 촉진할 수 있을 것으로 평가하고 있다.

또한 자유로운 거래를 허용하되, 2년후에는 무효화하고, 가격상한으로 구입한 배출권은 1년이 지나면 무효화할 것을 제안하고 있다. 이는 자유로운 예탁(banking)의 허용이 배출권의 누적으로 미래 배출량을 증가시킬 위험을 예방하기 위한 것이다. 배출업소는 미래의 위험에 대비하기 위해서 선물계약을 활용할 수 있을 것이다.

---

53) Kopp 외 (1999)

한편, 이러한 제도가 에너지 가격을 상승시키고 가계의 부담을 증가시킬 것이므로, 초기 배분은 경매에 의하고 수익을 가정에 보상할 것을 제안하고 있다. 분기별로 75%의 배출권을 경매하고, 주정부 및 산업계의 어려움을 완화하기 위해 25%는 저소득층의 에너지사용이 많은 주정부 및 취약 산업체에 배분하도록 한다. 이러한 어려움은 점차 해소될 것이므로 매년 2.5%씩 주정부에 분배하는 배출권 비중을 줄여갈 것을 주장하고 있다. 현재 Karen McCarthy 하원의원이 RFF의 보고서에 기초하여 에너지 생산자에 대한 배출권 거래제도 법안을 만들고 있는 것으로 전해지고 있다.

## 4.2 캐나다

1998년 4월 연방 및 주정부의 에너지 및 환경장관을 주축으로 정부 및 주요 관련집단의 참여하에 협의절차(consultative process)를 조직하고, 부문별, 이슈별로 16개의 작업그룹을 발족하였다. 이중 하나로 배출권 거래제 작업그룹(Tradeable Permits Working Group)이 설립되었으며, 광범위한 온실가스 배출원을 포괄하는 국내 배출권 거래제도를 개발, 분석하는 작업을 진행중이다.<sup>54)</sup>

거래제 설계의 주요쟁점은 대상 배출원의 범위와 초기할당방법이다. 대상배출원의 범위와 관련하여 발전소, 가스 및 석유 생산업체, 대형 수송회사 등 대형 최종 배출원을 포함하는 안(총 배출량의 40-50% 점유, 배출원수 700-900개)과 에너지수입업자, 중간단계, 비연소부문 온실가스 배출원 등을 포함하는 안(총 배출량의 80% 이상 점유, 배출원수 800-1,050개)이 검토되고 있다. 초기할당방법으로는 과거 배출실적에 기초한 실적기준 무상분배(Grandfathering), 산업평균배출률, BACT 등에 기초한 성과기준 무상분배(Performance standards), 경매(Auction plus revenue recycling) 등이 검토되고 있다.<sup>55)</sup>

한편 온타리오 대기오염물질 배출권 거래 작업그룹에서는 경험축적 차원에서 1994년부터 PERT(Pilot Emissions Reduction Trading)라는 시범사업을 추진하여

54) 작업그룹은 연방정부 4인, 주정부 6인, 산업계 2인(정유, 알루미늄), 환경단체 2인, 전력회사 1인, 학계 1인, 국가기후변화사무국 1인으로 구성됨.

55) 실적기준 무상분배는 배출권 거래제도 도입에 따른 충격을 최소화할 수 있다는 장점이 있으나 장기적인 적용은 공평하지 못하다는 단점이 있다. 성과기준 무상분배는 신규 및 퇴출사업자 및 성장산업에 대한 불공정성 해결, 누출효과(leakage effect) 완화 등의 장점이 있는 반면, 합리적인 성과기준의 결정이 어렵다는 단점이 있다. 경매는 경매수익을 기존의 비효율적 세제를 개선하는데 활용할 수 있고, 흡수원 증진이나 기후변화 적응사업 등을 위한 투자재원을 확보할 수 있다는 장점이 있으나 배출원의 경제적 부담이 커지는 단점이 있다.

왔다.<sup>56)</sup> 1998년 6월에는 연방 및 주정부, 산업계, 환경단체 등의 자발적 노력으로 PERT의 경험을 참조하여 GERT(Greenhouse Gas Emission Reduction Trading Pilot)라는 온실가스 배출권거래 시범사업이 발족되었다. GERT에 따라 일정 기준을 만족하는 배출삭감량은 장래 삭감의무를 대신할 수 있으며, 소요경비(약 US\$ 30-40만)는 자발적 거래참가자들의 수수료로 충당되고 있다. 1999년 초 현재 3건의 거래와 4건의 삭감프로젝트(판매제안) 신청이 제출되었다.

#### 4.3 영국

영국에서는 에너지 효율향상과 온실가스 저감을 위한 정책수단으로서 배출부과금과 배출권 거래제도간의 선택이 중요한 쟁점으로 논의되고 있다. 영국정부는 Colin Marshall의 주도로 감시, 확인, 할당, 공약기간 이전의 삭감노력의 예탁 등 다양한 주제를 포함하여 배출부과금과 배출권 거래제도의 역할에 관한 연구를 진행 중이다.

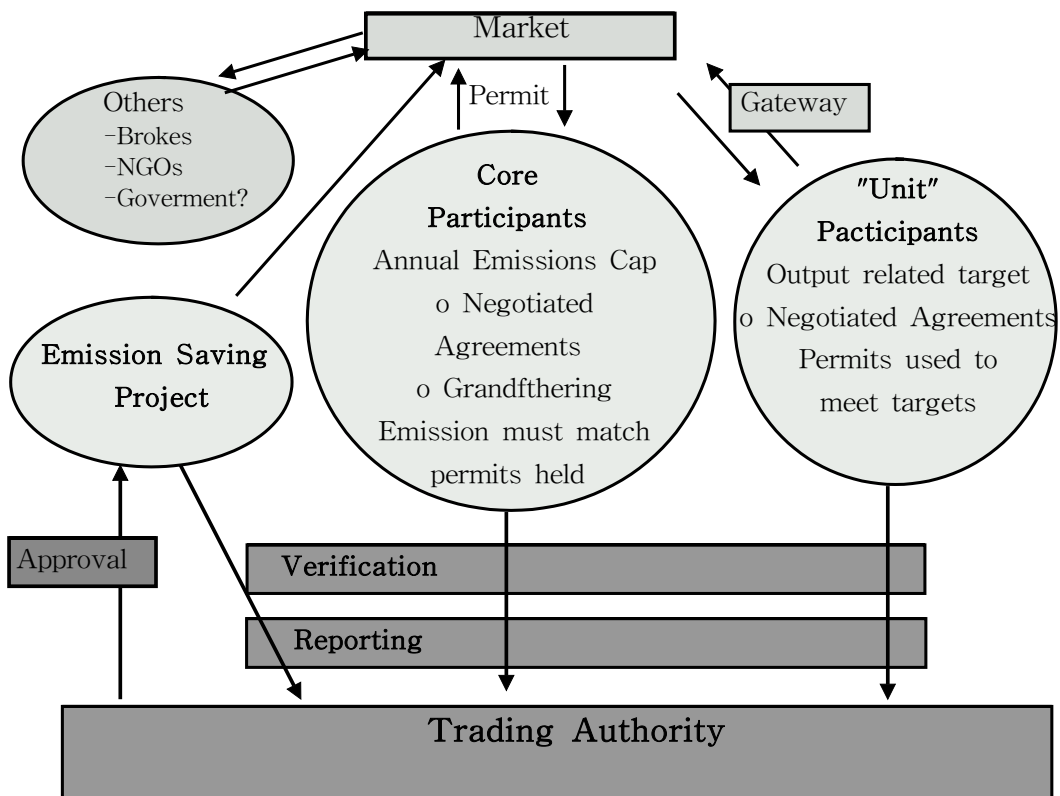
1999년 3월에 제출된 영국정부의 예산안에서는 기후변화세(Climate Change Levy)라는 에너지세의 2001년 도입이 포함되어 있다. 기후변화세는 산업계의 소비업자에 부과하는 하향식 세제로서 구체적인 형태는 현재 논의중인데, 자발적 에너지소비 삭감목표를 수락하는 업체에 대해서는 현저하게 낮은 세율을 적용하는 방안을 검토 중이다. 현재 안 대로라면 석탄, 천연가스, 전기 등의 이용업체가 주된 대상이 될 것이며, 첫 번째 시행연도에 US\$28.4억의 세수가 예상된다.<sup>57)</sup>

최근 영국의 30대 대기업은 모임을 갖고 지구온난화방지를 위한 에너지세의 도입 대신에 배출권 거래제도를 활용할 것을 주장하고, 구체적인 시범사업방안 개발을 위한 프로젝트를 시작하였다. 이 시범사업에는 BP Amoco, British Airways, British Steel, Ford Motor, Dupont, Shell UK Ltd, 시멘트회사인 Blue Circle Industries 등이 참여하고 있다. 1999년 6월에는 영국산업연합회(CBI)와 기업환경자문위원회(ACBE)에 의해 영국의 배출권 거래제도 설계를 위한 UK Emissions Trading Group(ETG)가 설립되어 이후 배출권 거래제도에 대한 논의를 이끌고 있다.

56) PERT는 총량적 규제목표나 경제적 인센티브 없이 수행된 시범사업으로서 거래실적은 미미하다.

57) 참고로 영국은 교토의정서에 따른 EU의 저감목표 8% 및 EU내 국가간 재조정 결과인 12.5%삭감을 훨씬 상회하는 20% 삭감목표를 설정하여 추진 중이다.

ETG는 처음에는 25개의 영국내 주요기업과 정부가 후원하였으며, 지금은 100개 이상의 주요 기업과 통상협회, 학계, 환경단체 등이 적극적인 활동을 하고 있다. 1999년 10월 ETG는 국내 배출권 거래제에 대한 제안서를 정부에 제출하였으며, 뒤이어 이를 보완하는 일련의 보고서가 2000년 3월까지 제출되었다. 정부는 이러한 성과를 환영하면서 영국내에서의 거래제도 시행을 지원하기 위한 재정적 인센티브로 3천만프랑을 할애하기로 결정하였다. 이 재원은 2003~2004년동안 기업이 구속적이고 도전적인 배출삭감목표를 설정하도록 유도하는데 활용될 계획이다. 현재 이러한 재원의 활용과 삭감목표의 설정과 관련된 구체적 메카니즘설계를 위한 프로젝트가 진행중에 있으며 2001년 3월에 발표될 예정이다. 빠르면 2001년 4월부터 거래가 시작될 수 있을 것으로 예상되고 있다.



[그림 IV-1] 영국의 배출권 거래제도 개념도(UK ETG)

자료원: 영국 배출권거래그룹(ETG, 2000)

배출권 거래제도에 관해 석유, 전력부문 등에서는 매우 민감한 반응을 보이고 있으며, 시범실시를 위해서도 이들 업체의 참여를 위해 차등적 세율의 적용이 중요한 관건으로 인식되고 있다. 특히 전력부문은 하향식 세제의 적용시 어떻게 취급되어야 하는지가 쟁점으로 떠오르고 있다.

한편 국제원유거래소(International Petroleum Exchange: IPE)에서는 영국정부의 요청에 따라 EU내에서의 이산화탄소 배출권 거래시장 설립에 관한 제안서를 작성하여 1998년 5월 영국정부 및 EC에 제출한 바 있다. 이 제안서는 IPE 주도로 영국내 배출권 거래제도를 추진하고 향후 유럽전체로 확대하는 방안을 제시하고 있으며, 거래시장에서 IPE의 거래촉진 및 관리 역할을 강조하고 있다.

#### 4.4 호주

호주 하원에서는 1998년 8월 국가 배출권 거래에 관한 검토사업의 중간보고서를 발표하였다. 이는 여러번의 공청회를 통해 정부, 산업계, 환경단체 등으로부터 74건의 제안을 종합함으로써 호주의 배출권 거래제 논의에 시발점이 되었으며, 배출권이 “재산권(property right)”이 아닌 “배출허가권(license to emit)”으로 정의되어야 함을 강조하고 있다.

1998년 4월에는 온실가스 사무국(Australian Greenhouse Office: AGO)이 설립되었으며, 정부로부터 국가 온실가스 배출권 거래제도의 타당성 검토를 의뢰받아 1999년 중 4가지 관련주제에 대한 보고서를 발표하였다. AGO는 1998년 8월 “Experts Group on Emissions Trading”을 구성하였으며, 온실가스 배출권 거래제의 적용범위 및 잠재적 효과에 관하여 “Establishing the boundaries”라는 보고서와 배출권의 발행 및 배분절차에 대한 “Issuing the Permits”, 그리고 흡수원을 포함하는 탄소크레딧의 허용을 포함하는 “Crediting the Carbon”을 발표하였으며, 최근 배출권 설계, 배출량 측정 및 감시, 보고, 준수와 벌칙 등에 관한 “Designing the Market”을 추가 발표하였다.

호주연구소(Australian Institute)에서 최근 발표한 보고서 “Business Tax and the Environment: Emissions trading as a tax reform option”에 따르면, 경매를 통한 국내 배출권거래제도의 조기도입과 경매수입(연간 US\$45억으로 추정됨)을 기업의 다른 세부담을 경감시키는데 사용할 것을 주장하고 있다. 이 보고서는 조기 삭감노력에 대한 인증과 토지이용변화로부터의 배출을 중요하게 다루고 있으며, 상류식 접근(upstream approach)에 의해 적용대상을 160여개로 한정할 것을

제안하고 있다. 특히 배출권 거래제도의 도입이 기업에 대한 추가적인 부담이 아니라는 점과, 경매를 통한 배출권 거래제도(혹은 이에 상응하는 탄소세)가 아닌 다른 정책수단을 도입하는 것은 온실가스를 배출하지 않는 기업이 저감비용의 부담을 감당하도록 만드는 것이라는 점을 강조하고 있다.

#### 4.5 대만<sup>58)</sup>

교토의정서 비준 후에는 많은 선진국들이 온실가스를 저감하는 책임을 가지게 되고, 동시에 규제대상이 아닌 개도국에 대하여도 압력이 증가하게 될 것이라는 예측하에 대만 정부는 1998년 5월에 에너지 회의를 개최하여, 이 문제에 대한 대만의 입장에 대하여 정부 기관들, 경제 부문들, 학계 및 대중들간의 여론을 도출하려고 노력하였다. 대만의 경우 경제 성장이 에너지 소비에 많이 의존하고 있기 때문에 경제에 심각한 부정적 영향을 초래하지 않는 범위에서 온실가스 증가를 억제할 수 있는 효과적인 정책 및 조치의 필요성이 크게 부각되었다.<sup>59)</sup> 1998년 에너지회의 이후 대만 정부는 기후변화 문제에 대비하는 일반적인 전략을 제시하여 왔으며, 대만 환경청(EPA)은 2015-2025년 10년 동안 2000년 수준으로 고정시키는 임시적인 국가 목표를 설정하고 배출권 거래제도를 포함하여 여러가지 저감정책을 논의하고 있다.

Taiwan Research Institute(1999)에서는 시장메카니즘, 공정성, 실행가능성, 국제적 호환성의 4가지 기본 원칙을 바탕으로 이산화탄소에 대한 배출권 거래제도를 제안하고 있다. 이 제안에서는 건전한 배출권 제도의 시행을 위해 이산화탄소 배출을 관리하고 거래에 대한 방법을 정확하게 규정하는 형식을 갖춘 법 제정의 필요성을 강조하고 있다. 법은 거래의 감독, 재산권 정의, 배출감시 및 통계체제 구축, 등에 대한 책임기관을 설정하는 것을 포함하여야 한다. 법적 장치의 대안으로 대기오염관리법(Air Pollution Control Act)의 개정이나 새로운 법(가칭 온실가스

58) 상세한 논의는 "Carbon Dioxide Emission Trading in Taiwan: an Analysis of Feasibility", Taiwan Research Institute(1999)을 참조하십시오.

59) 1998년 대만에서 화석연료(석탄, 석유, 천연가스)는 에너지 공급의 87%를 차지하고 있다. 동년 대만의 생산액은 대략 2,670억 US dollar GDP이었고, 이중 산업부문이 차지하는 비중은 대략 GDP의 35%이고, 제철, 시멘트, 석유화학, 제지, 화학섬유의 다섯개 업종이 산업부문의 30%를 차지하고 있다. 1998년 산업부문은 대만 총 에너지 소비량의 48%에 달하는 3,900만TOE를 소비하였는데 5개 주요업종에서 65%를 차지하고 있다. 1997년 대만의 CO<sub>2</sub>배출은 1,920억톤으로 전세계량의 0.8%에 해당하는데, 이는 세계에서 24번째로 많은 수준이다.

<표 IV-11> 대만의 CO<sub>2</sub> 배출권 거래 제도에 대한 제안

| 구분             | 제안                                                                  |
|----------------|---------------------------------------------------------------------|
| 계획 원칙          | 시장 mechanism; 공정성; 실행가능성; 국제적 호환성                                   |
| 입법             | 형식을 갖춘 특정 입법: 예) “온실가스 관리법”                                         |
| 이행 시기          | 다른 국가에 연동(또는 2001년)                                                 |
| 배출권 발행         |                                                                     |
| 허가권(permit) 기간 | 단기-, 중기-, 장기 감소 목표에 제한된 기간                                          |
| 할당 원칙          | 혼합식: 소량의 경매를 포함한 grandfathering 및 benchmarking(efficiency standard) |
| 할당 방법          | 초기에는 무상 분배와 경매 혼합, 장기에는 경매                                          |
| 목표             | 탄소 배출                                                               |
| 적용 대상          | 주요 배출업소의 생산공정                                                       |
| 예치(banking)    | 예치는 허가되나 차입(borrowing)은 불허                                          |
| 배출권 거래 행정 제도   |                                                                     |
| 행정 기관          | 분배기준과 통계: 중앙정부기관 (예: EPA)<br>분배와 거래: 배출권거래관리소 (예: 증권-선물위원회)         |
| 시장 크기          | 소규모로 제한                                                             |
| 시장 종류          | 초기에는 Arm-length, 장기적으로는 trading exchange<br>현물 및 선물거래               |
| 보고, 감시 및 강제    | ATM과 CEMs                                                           |
| 배출 및 흡수 통계     | IPCC와 국내 규제에 제시된 표준 절차                                              |

자료원: Taiwan Research Institute(1999)

관리법(Greehthouse Gas Control Act))의 제정을 제시하고 있다. 특히 대만의 대기 오염관리법은 최근 개정(1999)에서 대기오염물질에 대한 배출권 거래제도의 허용을 삽입하였는데, 규제 오염물질 목록에 CO<sub>2</sub>를 포함함으로써 온실가스 배출권 거래제도의 법적 기초로 활용될 수 있음을 밝히고 있다.

온실가스 배출권 거래제도는 배출업소의 조기행동을 유도함으로써 보다 낮은 비용으로 저감노력을 추진할 수 있도록 하기 위한 준비기간을 제공한다. 또한 이와 같은 조기행동의 실시는 온실가스 저감에 대한 의지를 국제사회에 알림으로써 긍정적인 홍보효과를 거둘 수 있다. 이러한 점을 고려하여 대만은 호주, 일본, 한국 등의 이행시기와 보조를 맞출 준비를 하고 있다.

#### 4.6 노르웨이

노르웨이는 이미 1991년부터 전체 CO<sub>2</sub> 배출의 65%를 점유하는 배출원에 대하여 최고 50USD까지의 CO<sub>2</sub>세를 부과하고 있다.(공정산업 및 일부 중공업 제외) 1999년의 세수는 약 10억USD로 예측되며, 1999년 1월부터 매립지의 메탄방출을 감축하기 위해 폐기물 최종폐기에 대한 세금이 도입되었다.

1998년 10월 노르웨이 정부는 자국내 온실가스 배출권 거래제도의 설계를 위해 학계, 법률가, NGO 및 정부부처의 전문가로 구성된 위원회를 구성하였다. 이 위원회의 임무는 적어도 CO<sub>2</sub>세의 부과대상에서 제외되어 있는 공정산업을 참여시키는 거래제의 형태를 1999년말까지 도출하는 것이다.

현재 노르웨이에는 ECON 연구소와 노동당에 의해 두 개의 배출권 거래제도가 제안되어 있다. ECON의 제안은 노르웨이 기업 및 산업 연합(Confederation of Norwegian Business and Industry), Norsk Hydro, Statoil의 도움으로 ECON연구소가 개발하고 있다. 교토 의정서에 정의된 온실가스의 대부분을 포함(GWP 환산)하고 있으며, 이산화탄소세를 포함하여 온실가스 배출감축을 위한 다른 모든 규제수단들을 대체하기 위한 것이다. 노동당의 제안(Labor Party proposal)은 기존의 이산화탄소세에 포함되지 않는 산업 활동만을 다루고 있다. 그래서 CO<sub>2</sub> 세를 보충하려는 의도로, 정부가 동 산업들에 세금을 확장하려는 제안에 대한 대안으로 개발되었다. 모든 배출권은 무료로 할당되어야 하지만 그 수는 제한된다. 감축목표치를 달성하지 못하는 경우, 해외에서 배출권을 획득할 수 있도록 하고 있다.

#### 4.7 덴마크

1998년초 덴마크 정부는 전력산업에 대한 이산화탄소 배출권 거래제도를 실시하기로 결정하였다. 2000년 3월 덴마크 에너지환경부는 EU국가중 처음으로 2001년 1월1부터 CO<sub>2</sub> Certificates의 거래를 시작하기로 했다고 발표하였다. 이는 전력 및 가스산업 자유화에 관한 EU지침을 이행하기 위해 진행되고 있는 에너지산업 규제개혁조치의 하나로서 전체 온실가스의 45%를 차지하고 있는 에너지산업(전력)부문을 대상으로 한다. 이 제도는 기존의 대규모 발전소에 대하여 과거 배출실적에 따라 배출쿼터를 무상배분할 예정인데, 이러한 실적기준무상분배(Grandfathering)가 신규 업체의 진입을 저해하는 등 공정경쟁을 침해할 소지가 있다는 유럽연합의

문제제기에 따라 신규 기업이 진입할 경우 배출권을 재배분하는 조항을 담고 있다. 이는 온실가스 배출권거래와 국제무역과의 충돌가능성에 대한 우려가 가시화되고 있는 것으로 해석된다.

배출한도를 위반하는 기업은 DKK 40(\$6)/ton-CO<sub>2</sub>의 벌금이 부과될 예정이다. 1997년 발전부문의 배출량은 28.9 백만CO<sub>2</sub>톤이며, 배출총량은 2001년 23백만CO<sub>2</sub>톤을 시작으로 2003년까지 매년 1백만톤씩 줄어들 예정이다. 현재 덴마크는 북해연안국을 중심으로 다른 지역과 양자 및 지역 차원의 거래협정을 추진하고 있다. 참고로 EU는 2005년까지 지역차원의 배출권 거래제도 구축에 관심을 표명하고 있다.

## V. 우리나라의 온실가스 배출권 거래제도 도입 타당성 검토

온실가스의 감축을 위한 노력은 지구온난화 문제의 해결뿐만 아니라 대기오염문제의 완화, 에너지 절약 및 효율향상을 통한 경제적 이익 등 여러 가지 환경적, 경제적 이득을 가져다 준다. 또한 이미 자동차, 반도체 등 여러 산업분야에서 선진국으로부터 받고 있는 온실가스 감축에 대한 압력은 물론 조만간 부담하게 될 가능성이 있는 우리나라의 의무감축에 대한 사전대응을 위해서도 온실가스의 효율적 삭감을 위한 정책적 노력은 필요하다. 온실가스 저감노력에 대한 인센티브 없이 산업계의 자발적인 기술개발 및 저감능력형성을 기대하기란 매우 어려울 것이다.

배출권 거래제도는 국내적인 저감노력의 효율적 추진과 함께, 국제적인 온실가스 배출권 시장에서의 적응능력을 제고할 수 있는 일거양득의 정책수단으로 평가된다. 본 장에서는 먼저 국제협약을 통한 구속적 감축의무 부담 이전에 온실가스 관리정책의 조기실시 필요성과 함께, 그 대안으로서 배출권 거래제도의 타당성을 검토하도록 한다. 그 다음에 배출권 거래제도의 바람직한 적용형태를 도출하기 위하여 다양한 설계변수에 대한 대안별 분석을 수행하도록 한다.

### 1. 온실가스 관리정책 조기실시의 필요성

우리나라는 아직 기후변화협약이나 교토의정서상에 양적 감축의무를 부과 받지 않고 있다. 따라서 현 시점에서 온실가스의 감축을 위한 정책의 시행이 필요한지와 관련하여 분명한 해답을 얻기란 용이하지 않다. 본 절에서는 온실가스 관리정책의 조기실시가 왜 필요한지에 대하여 논의할 것이다. 이는 다음에 검토될 배출권 거래제도 도입타당성 분석의 전제가 된다.

온실가스 관리정책을 조기에 실시하여야 하는 필요성은 크게 환경적 측면과 경제적 측면, 그리고 정치적 측면에서 파악할 수 있다. 먼저 환경적 측면에서는 기후변화현상 자체를 완화하기 위해서 온실가스의 저감노력이 빠르면 빠를수록 바람직하다는 점과 함께, 온실가스 저감노력이 지역적 오염물질(특히 아황산가스, 질소산화물 등 대기오염물질)을 감소시킴으로서 지역환경문제의 완화라는 부수적 편익을 가져다 준다는 점을 들 수 있다. 경제적 측면에서는 기술개발을 촉진하고 투자자의 사결정을 합리화함으로써 미래의 저감비용을 낮출 수 있고, 정책적 시행착오를 통

&lt;표 V-1&gt; 산업 및 발전용 연료별 열량당 대기오염물질 배출계수 및 환경피해비용

| 용도                        |        | 산업용         |             |             |             | 발전용         |             |             |
|---------------------------|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 연료                        |        | B-C유        | 천연가스        | 경유          | 유연탄         | B-C유        | 천연가스        | 유연탄         |
| 배출계수(kg/TOE)              |        |             |             |             |             |             |             |             |
| 먼지                        |        | 0.939       | 0.095       | 0.463       | 7.576       | 0.564       | 0.048       | 1.515       |
| SO <sub>2</sub>           |        | 9.596       | 0.010       | 1.033       | 14.394      | 5.758       | 0.010       | 8.636       |
| NO <sub>x</sub>           |        | 6.667       | 2.133       | 2.609       | 16.439      | 3.939       | 2.339       | 6.061       |
| CO <sub>2</sub>           |        | 875         | 637         | 837         | 1,059       | 875         | 637         | 1,059       |
| 오염물질 합계                   |        | 892.96      | 639.86      | 841.79      | 1,097.92    | 885.99      | 640.03      | 1,075.73    |
| 환경피해비용 (천원/TOE): 저비용 시나리오 |        |             |             |             |             |             |             |             |
| 상대적 비교                    |        | <b>1.00</b> | <b>0.56</b> | <b>0.76</b> | <b>1.95</b> | <b>1.00</b> | <b>0.65</b> | <b>1.34</b> |
| 오염물질 합계                   |        | 29.52       | 16.48       | 22.30       | 57.51       | 25.42       | 16.60       | 34.00       |
| 먼지                        | 2.004  | 1.88        | 0.19        | 0.93        | 15.18       | 1.13        | 0.10        | 3.04        |
| SO <sub>2</sub>           | 0.156  | 1.50        | 0.00        | 0.16        | 2.25        | 0.90        | 0.00        | 1.35        |
| NO <sub>x</sub>           | 1.008  | 6.72        | 2.15        | 2.63        | 16.57       | 3.97        | 2.36        | 6.11        |
| CO <sub>2</sub>           | 0.0222 | 19.43       | 14.14       | 18.58       | 23.51       | 19.43       | 14.14       | 23.51       |
| 환경피해비용 (천원/TOE): 중비용 시나리오 |        |             |             |             |             |             |             |             |
| 상대적 비교                    |        | <b>1.00</b> | <b>0.30</b> | <b>0.47</b> | <b>2.36</b> | <b>1.00</b> | <b>0.43</b> | <b>1.50</b> |
| 오염물질 합계                   |        | 116.32      | 35.17       | 54.27       | 274.18      | 83.13       | 35.41       | 124.41      |
| 먼지                        | 13.302 | 12.50       | 1.27        | 6.16        | 100.77      | 7.50        | 0.63        | 20.15       |
| SO <sub>2</sub>           | 4.3099 | 41.36       | 0.04        | 4.45        | 62.04       | 24.81       | 0.04        | 37.22       |
| NO <sub>x</sub>           | 4.2715 | 28.48       | 9.11        | 11.14       | 70.22       | 16.83       | 9.99        | 25.89       |
| CO <sub>2</sub>           | 0.0389 | 33.99       | 24.75       | 32.52       | 41.14       | 33.99       | 24.75       | 41.14       |
| 환경피해비용 (천원/TOE): 고비용 시나리오 |        |             |             |             |             |             |             |             |
| 상대적 비교                    |        | <b>1.00</b> | <b>0.27</b> | <b>0.42</b> | <b>2.42</b> | <b>1.00</b> | <b>0.39</b> | <b>1.53</b> |
| 오염물질 합계                   |        | 203.13      | 53.85       | 86.24       | 490.84      | 140.84      | 54.23       | 214.81      |
| 먼지                        | 24.601 | 23.11       | 2.34        | 11.39       | 186.37      | 13.87       | 1.17        | 37.27       |
| SO <sub>2</sub>           | 8.4639 | 81.22       | 0.08        | 8.74        | 121.83      | 48.73       | 0.08        | 73.10       |
| NO <sub>x</sub>           | 7.5351 | 50.23       | 16.07       | 19.66       | 123.87      | 29.68       | 17.62       | 45.67       |
| CO <sub>2</sub>           | 0.0555 | 48.56       | 35.35       | 46.45       | 58.77       | 48.56       | 35.35       | 58.77       |

주) 배출계수는 환경부(1998) 및 IPCC(1997)를 인용했으며, NO<sub>x</sub>의 경우 '98. 3월 수정된 미국 EPA의 배출계수를 활용함. 상대적 비교는 B-C유를 1로 하였을 때의 상대적 크기를 나타냄. 저/중/고 비용 시나리오의 설정은 오염물질별 피해비용을 두 번째 열의 수치(원/g)로 가정한 것임. 예를 들면 중비용 시나리오의 경우 먼지의 피해비용은 13.3원/g, SO<sub>2</sub>는 4.3원/g 등으로 가정한 것임.

자료원: 한국환경·평가연구원(2000)

해 경험과 지식을 축적함으로써 대응역량을 극대화할 수 있다는 점에서 조기실시의 필요성을 주장할 수 있다. 마지막으로 정치적 측면에서도 기후변화대응을 위한 범지구적 노력에 동참함으로써 국제사회에서의 신뢰를 구축하고, 국제협상과정에서 능동적으로 대처함으로써 자국에 유리한 협상결과를 얻을 수 있다는 점에서 역시 필요성이 인정되고 있다.

환경적 측면에서의 필요성 중에서도 부수적 환경편익의 제고효과는 지구환경의 보전이라는 명분보다 더 직접적인 동기를 제공한다. 온실가스의 저감을 위한 대응책이 대부분의 경우 에너지의 소비를 줄임은 물론 대기오염물질의 배출을 억제함으로써 지역환경보전에 기여한다는 점은 지구환경보전이라는 대의적 명분을 떠나서도 온실가스 감축노력을 정당화할 수 있는 것으로 평가된다.

<표 V-1>에도 나타난 바와 같이 이산화탄소의 배출은 먼지, 아황산가스, 질소산화물 등 주요 대기오염물질의 배출과 밀접한 상관관계를 갖는다. 따라서 이산화탄소의 배출을 줄이면 대기오염물질의 배출도 함께 줄어들게 된다.

또한 <표 V-2>에 따르면 이산화탄소의 저감방법에 따라 부수적 환경편익의 발생이 큰 차이를 보이는데, 화석연료의 절감 혹은 신재생 에너지로의 대체 등 연료의 이용 자체를 줄임으로써 이산화탄소를 저감하는 방안의 경우, 유연탄과 같이 대기오염물질의 배출계수가 높은 연료의 경우에 보다 큰 환경편익을 가져온다. LNG와 같은 청정연료의 경우 연료의 절감이나 무탄소에너지로의 대체에 따른 대기오염 저감효과는 미미하다. 즉, 기존에 청정연료를 사용하는 경우보다는 그렇지 않은 경우에 연료절감을 통한 부수적 환경편익이 크다.

한편, 화석연료간 대체를 통해 이산화탄소를 저감하는 경우에는 대체하는 연료 상호간에 이산화탄소의 배출계수차이 보다는 대기오염물질 배출계수 차이가 큰 경우가 보다 큰 환경편익을 가져온다. 예를 들어 유연탄에서 LNG로 대체하는 경우와 B-C유를 경유로 대체하는 경우를 비교할 때, 전자의 경우가 대기오염물질의 저감효과에 있어서 훨씬 크지만 이산화탄소의 저감효과 또한 크기 때문에 대안의 이행으로 발생하는 이산화탄소 저감 단위당 환경적 편익은 후자의 경우가 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 부수적 환경편익 측면만을 고려할 경우 연료의 절감이나 무탄소에너지로의 대체보다는 연료간 대체가 보다 효과적임을 나타내는 것이다. 유연탄이나 B-C유를 경유로 대체할 경우 부수적 환경편익이 특히 높게 나타나고 있다.

경험과 지식의 축적을 통해 저감역량을 확충한다는 점은 경제적 측면에서 매우 중요한 의미를 갖는다. 온실가스 관리정책의 조기실시는 온실가스 저감기술의 개

발과 활용을 유도하여 미래의 저감비용을 낮출 수 있는 기술적 하부구조를 확충시킨다. 학습효과(Learning-by-Doing)를 통한 온실가스 저감역량 제고효과도 무시할 수 없다. 또한 정책수단의 시행착오 자체가 경험의 축적과 제도의 검증을 가능케 함으로서 미래에 보다 심각한 실수와 위험을 예방할 수 있다. 특히 국제 혹은 국내적 배출권 거래제도의 실시예에 대한 경험축적은 온실가스 관리를 위해 매우 시급한 과제의 하나라 판단된다. 또한 정책수단 자체에 대한 경험과 함께 시행과정에서 얻어지는 저감능력에 대한 정보(예: 업체의 저감비용)를 통해 보다 효과적이고 합리적인 대응방안을 개발할 수 있다.

<표 V-2> 이산화탄소 저감에 따른 부수적 환경편익(대기오염물질)

| 저감대안 구분                                                  |          | 연료절감 및<br>신재생에너지로의 대체 |       |      |      | 화석연료간 대체    |            |             |             |              |            |
|----------------------------------------------------------|----------|-----------------------|-------|------|------|-------------|------------|-------------|-------------|--------------|------------|
| 오염<br>물질                                                 | 손실<br>비용 | 유연탄                   | B-C유  | 경유   | LNG  | 유연탄<br>→B-C | 유연탄<br>→경유 | 유연탄<br>→LNG | B-C유<br>→경유 | B-C유<br>→LNG | 경유<br>→LNG |
| 이산화탄소 1톤 저감시 줄어드는 오염물질 배출량(kg)                           |          |                       |       |      |      |             |            |             |             |              |            |
| 먼지                                                       |          | 7.2                   | 1.1   | 0.6  | 0.1  | 36.1        | 32.0       | 17.7        | 12.5        | 3.5          | 1.8        |
| SO <sub>2</sub>                                          |          | 13.6                  | 11.0  | 1.2  | 0.0  | 26.1        | 60.2       | 34.1        | 225.4       | 40.3         | 5.1        |
| NO <sub>x</sub>                                          |          | 15.5                  | 7.6   | 3.1  | 3.3  | 53.1        | 62.3       | 33.9        | 106.8       | 19.0         | 2.4        |
| 합계                                                       |          | 36.3                  | 19.7  | 4.9  | 3.5  | 115.3       | 154.5      | 85.7        | 344.7       | 62.9         | 9.3        |
| 이산화탄소 1톤 저감시 줄어드는 오염물질 배출에 따른 부수적 환경편익<br>(저비용 시나리오)(천원) |          |                       |       |      |      |             |            |             |             |              |            |
| 먼지                                                       | 2.004    | 14.3                  | 2.2   | 1.1  | 0.3  | 72.3        | 64.2       | 35.5        | 25.1        | 7.1          | 3.7        |
| SO <sub>2</sub>                                          | 0.156    | 2.1                   | 1.7   | 0.2  | 0.0  | 4.1         | 9.4        | 5.3         | 35.2        | 6.3          | 0.8        |
| NO <sub>x</sub>                                          | 1.008    | 15.6                  | 7.7   | 3.1  | 3.4  | 53.5        | 62.8       | 34.2        | 107.6       | 19.2         | 2.4        |
| 합계                                                       |          | 32.1                  | 11.5  | 4.4  | 3.7  | 129.9       | 136.4      | 75.0        | 167.9       | 32.6         | 6.9        |
| 이산화탄소 1톤 저감시 줄어드는 오염물질 배출에 따른 부수적 환경편익<br>(중비용 시나리오)(천원) |          |                       |       |      |      |             |            |             |             |              |            |
| 먼지                                                       | 13.302   | 95.2                  | 14.3  | 7.4  | 2.0  | 479.8       | 426.2      | 235.8       | 166.8       | 47.2         | 24.5       |
| SO <sub>2</sub>                                          | 4.310    | 58.6                  | 47.3  | 5.3  | 0.1  | 112.4       | 259.4      | 146.9       | 971.3       | 173.6        | 22.0       |
| NO <sub>x</sub>                                          | 4.272    | 66.3                  | 32.5  | 13.3 | 14.3 | 226.9       | 266.1      | 144.8       | 456.2       | 81.4         | 10.2       |
| 합계                                                       |          | 220.1                 | 94.1  | 26.0 | 16.4 | 819.0       | 951.7      | 527.5       | 1,594.2     | 302.1        | 56.7       |
| 이산화탄소 1톤 저감시 줄어드는 오염물질 배출에 따른 부수적 환경편익<br>(고비용 시나리오)(천원) |          |                       |       |      |      |             |            |             |             |              |            |
| 먼지                                                       | 24.601   | 176.0                 | 26.4  | 13.6 | 3.7  | 887.3       | 788.2      | 436.1       | 308.4       | 87.3         | 45.2       |
| SO <sub>2</sub>                                          | 8.464    | 115.0                 | 92.8  | 10.4 | 0.1  | 220.7       | 509.4      | 288.5       | 1,907.3     | 340.9        | 43.3       |
| NO <sub>x</sub>                                          | 7.535    | 117.0                 | 57.4  | 23.5 | 25.2 | 400.2       | 469.4      | 255.4       | 804.7       | 143.5        | 17.9       |
| 합계                                                       |          | 408.0                 | 176.6 | 47.5 | 29.0 | 1,508.2     | 1,767.0    | 980.0       | 3,020.4     | 571.7        | 106.4      |

발전소 건설, 대용량 보일러의 설치 등 수명기간이 길고 파급효과가 장기적인 설비투자 의사결정은 10년 혹은 그 이후의 감축의무 부담위험에 이미 노출되어 있다. 정책수단의 조기실시를 통한 사전적 방향제시가 미흡할 경우 오히려 온실가스 저감노력에 대한 부정적 인센티브를 제공하는 결과를 초래할 수도 있다. 기준선 보호(Baseline Protection)를 통한 부정적 인센티브<sup>60)</sup>의 제거는 이미 감축의무를 부담하고 있는 선진국에서도 심각한 과제로 인식되고 있다.

한편 자동차, 반도체 분야에서는 우리나라는 이미 선진국수준의 감축압력에 직면하고 있으며, WTO와 OECD에서는 환경상계관세 등 감축의무 부담국과 비부담국간의 무역과 환경 연계에 대한 논의를 가속화하고 있다. 또한 LCA/Eco-labelling을 통해 수출품의 생산방식이 제한될 수도 있다. 자율적인 감축노력을 통해 국제협상에서의 입지를 강화하고 통상압력에도 효율적으로 대응할 수 있는 방안이 모색되어야 함을 시사하는 것이다.

마지막으로 외환시장 이상의 복잡성과 위험성을 갖는 전세계적 탄소시장의 출현에 대비하기 위한 적응능력의 배양도 간과할 수 없는 과제이다. CDM 등 교토메카니즘의 효과적 활용을 통해 국내적인 배출저감노력이 CER 창출(수출 및 Banking 등)을 통해 국제적으로 보상받을 수 있다면 일거양득의 효과를 거둘 수 있을 것이다.

## 2. 배출권 거래제도 도입의 필요성

온실가스 관리의 조기실시 필요성과 밀접히 연관되어 논의되어야 할 문제의 하나는 조기실시를 위한 정책수단을 어떤 방식으로 시행하여야 하는가이다. 조기실기를 위한 정책수단으로는 배출권 거래제도, 탄소세, 자발적 협약(VA) 등 다양한 방식들이 논의되거나 시행되고 있다. 이중에서도 배출권 거래제도는 가장 많은 관심을 받고 있는데, 이는 교토의정서가 국가간 배출권 거래제도의 도입을 채택함에 따라 국제 배출권 시장과 효율적으로 연계되기 위해서는 국내 정책수단으로서도 배출권 거래제도가 적합하다는 인식 때문이다.

배출권 거래제도는 투명성, 효과성, 효율성, 형평성 등 다양한 측면에서 우수한 정책수단으로 평가될 수 있다. 배출권 거래제도는 제도자체의 속성상 배출량에 대

60) 미래에 실적기준 무상분배방식이 채택될 것으로 예상될 경우 배출업소는 온실가스 배출량을 늘림으로써 향후 보다 많은 배출권을 할당받고자 하는 부정적 인센티브가 발생할 수 있다.

한 투명한 공개를 전제로 함으로써 정보정책(information policy)의 이점을 내포하고 있다. 이는 국민의 알권리를 크게 향상시킴으로서 정보접근의 형평성을 제고하고 시민운동을 내실화하는 계기로 활용될 수 있다. 또한 현재와 미래의 배출저감 비용에 대한 정보가 시장을 통해 공개됨으로써 추가적인 장점을 유발시킨다. 또한 객관적인 정책의 사후평가가 가능하다는 점도 정책의 효율적 집행과 점진적 발전을 가져올 수 있다는 점에서 바람직한 측면으로 평가된다.

효과성(목적 적합성) 측면에서도 배출총량에 대한 직접관리가 가능하다는 점에서 효과적인 정책수단으로 평가될 수 있다. 또한 경험과 지식의 축적, 부수적 환경편익 증대, 부정적 인센티브의 해소, 국제사회의 입지 강화, 탄소시장에의 적응 등 정책목적 전반에 걸친 효과성이 우수한 것으로 평가된다.

효율성 측면에서도 탄소세와 함께 비용 효율적인 시장메카니즘의 하나로 평가받는다. 배출권의 거래를 통해 정태적 효율성(한계저감비용 균등화)을 달성할 수 있고 동태적 효율성(기간간 저감노력의 적정 배분 및 기술개발 촉진)을 높일 수 있다. 정보 비대칭에 따른 비효율성 및 인센티브 왜곡(도덕적 해이(moral hazard), adverse selection 등)의 가능성을 최소화할 수 있다는 점도 높은 평가를 받을 만하다. 이는 특히 VA에 대한 비교우위가 큰 것으로 판단된다.

형평성 측면에서도 실적기준 무상분배를 통해 파레토 개선(Pareto-improvement)과 자발적 참여(voluntary participation)를 유도할 수 있다는 점도 특별한 장점으로 평가받는다. 특히 배출권의 분배방식과 관계없이 비용효율성을 달성할 수 있게 하는 분배와 효율성의 분리(separation of efficiency and equity)는 정책수단의 유연성과 정치적 수용가능성을 극대화할 수 있는 장점으로 평가된다.

이러한 장점으로 많은 국가에서 온실가스 배출권 거래제도의 조기도입을 시행하거나 검토하고 있으며, 특히 부속서 II국가의 경우는 대부분의 국가에서 적극적인 의지를 표명하고 있다.

덴마크에서는 이미 발전업체에 대한 거래제도를 시행중이며, 영국에서도 올해부터 거래를 시작하기 위해 구체적인 시행방안을 점검하고 있다. 미국에서도 다수의 법안이 상정중인데 덴마크의 경우처럼 발전부문을 주요 대상으로 검토하고 있다. 또한 캐나다, 일본, 호주, 뉴질랜드, 노르웨이 등 대부분의 선진국에서 배출권 거래제도 도입안을 구체화하고 있다.

<표 V-3> 온실가스 관리를 위한 조기실시방안 사례

| 지역                                    |                  | 내 용                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 미래자원연구소                               |                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 상류식 cap과 탄소권(carbon allownace) 거래</li> <li>- 초기에는 1996년 동량의 배출 cap 설정</li> <li>- 배출권에 대한 최고가격 한계 설정(초기: 단기 탄소 톤당 \$25, 이후: 매년 인플레이션 감안후 7% 추가 인상)</li> <li>- 가정(household)과 주(state)로 수익 재순환(경매 수익의 75%는 가정으로 재순환, 남은 25%는 주의 산업의 자발성과 저소득 가정 에너지 사용에 근거하여 주정부(state)로 분배)</li> <li>- 나머지 온실가스로 조속히 확장</li> </ul>                                                                                                                            |
| 뉴질랜드                                  |                  | <p>세가지 방법</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 하류식 cap과 배출권 거래제도</li> <li>- 2000년부터 배출권 거래제도 도입이전까지 저수준의 탄소세를 부과</li> <li>- 2000년에 배출권 거래제도 도입과 배출권 거래제도에 참가한지 않는 배출권에 대하여는 탄소세(탄소톤당 US\$ 10~20)를 부과</li> <li>- 초기의 참가는 자발적이나 빠르면 2005년에는 배출권 거래제도가 강제적으로 부과될 것임</li> </ul>                                                                                                                                                                                                   |
| 유럽<br>탄<br>소<br>세                     | 면제 없는 탄소세        | - 핀란드: 1990년 최초로 도입, 탄소 함유량에 의해서만 세율 결정                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                                       | 에너지집약 산업을 제외 탄소세 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 덴마크: 1993년에 도입, 세율이 에너지 집약도(intensity)에 따라 다름</li> <li>- 스웨덴: 1991년 도입</li> <li>- 노르웨이: 1991년에 도입, 가정과 국외 석유 산업에 대하여 탄소세 부여</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|                                       | 면제 없는 에너지세       | - 이탈리아: 1999년 도입                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                                       | 산업 부문 제외 에너지세    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 오스트리아: 1996년에 도입, 일반 에너지세 부과</li> <li>- 덴마크: 일반 에너지세 활용</li> <li>- 독일: 1999년에 도입</li> <li>- 현재 모든 산업부문과 농업부문은 일반 세율의 1/5만을 지불, 석탄은 면제</li> <li>- 네덜란드: 1996년 도입, 모든 산업부문 제외</li> <li>- 영국: 2001년 이후로 산업과 상업부문에 대하여 “기후변화세”를 도입하기로 결정</li> </ul>                                                                                                                                                                                              |
| 유럽<br>배<br>출<br>권<br>거<br>래<br>제<br>도 | 덴마크              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 전력 부문 거래 Hybrid</li> <li>- 2000년 1월 1일에 시작하여 2003년까지 이산화탄소 23Mt에서 20Mt으로 저감</li> <li>- 0.1 Mt 미만의 열병합 발전소는 제외</li> <li>- 배출권은 1994-1998년 기준으로 무료 분배(grandfathrtng)</li> <li>- 미사용 배출권은 예치 가능</li> <li>- CDM 사업으로 인한 creidt을 할당량에 추가할 수 있음</li> <li>- 거래 가격과 양을 Ministry of Environment and Enery에 제출</li> <li>- 초과 배출에 대하여는 탄소 톤당 \$21을 세금을 부과</li> <li>- 세금 수익금은 에너지 효율 project에 투자</li> <li>- 참가자수가 제한되어 있기 때문에 거래량이 높을 가능성은 없음</li> </ul> |
|                                       | UK               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- International Petroleum Exchange가 하류식 cap과 배출권 거래제도를 제안</li> <li>- UK 배출의 44%를 차지하는 3,500 점오염원을 포함</li> <li>- 2001년에 시작</li> <li>- 1996년에서 1999년 배출을 기준으로 무료 배분(grandfathring)</li> <li>- 2008년 이후의 배출권은 경매</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                       |
|                                       | 노르웨이             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1998년 노르웨이 정부는 산업부문으로 탄소세를 확대하려함</li> <li>- 이에 대하여 산업계는 탄소세 대신 배출권 거래제도를 제안</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

&lt;표 V-4&gt; 온실가스 조기저감인증제도 사례

|              | Chafee Bill                                                                                                    | Lazio Bill                                  | CEERP <sup>1)</sup>                                                    | CCAP <sup>2)</sup>                                                           | CAST <sup>3)</sup>                             |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 국가           | 미국                                                                                                             | 미국                                          | 캐나다                                                                    | 미국                                                                           | 미국                                             |
| credit 단위    | 한 배출권은 CO2 1톤 배출                                                                                               | 한 배출권은 CO2 1톤 배출                            |                                                                        |                                                                              |                                                |
| baseline     | -Flat baseline: 기준 기간의 평균배출과 동일<br>-기업이 기존 배출원을 취득하거나 판매하였을 경우나 신규 시설 설립에도 baseline 조정<br>-baseline protection | -baseline 엄격<br>-“시장 변화 요인”에 따라 baseline 조정 | -baseline이 줄어들음<br>- 상품 변동 누출에 대하여 baseline 조정<br>-baseline protection | -baseline이 줄어들음<br>-발전 부문의 performance baseline<br>-작업 정지에 대한 baseline 조정 없음 | -baseline 줄어들음<br>-performance baseline        |
| credit 누적 여부 | 누적                                                                                                             | 누적                                          |                                                                        |                                                                              |                                                |
| credit 시행기간  | 국내 배출 규제 이전까지                                                                                                  | 국내 배출 규제 이전까지                               |                                                                        |                                                                              |                                                |
| 지난 활동        | -Full credit                                                                                                   | Full credit                                 |                                                                        | 제한된 credit                                                                   | 1995년 이후 :Full credit<br>1995년과 이전 :제한된 credit |
| 기준기간 활동 이전   | 미국 자발 보고서등에 저감이 기록되어 있다면 1991년부터 기준기간이전의 활동도 인정<br>기준기간 이후에는 생략 안됨                                             |                                             | credit 허용 안됨                                                           |                                                                              |                                                |
| cap          | 없음                                                                                                             | 없음                                          | 있음                                                                     | 있음                                                                           | 없음                                             |
| 적용 범위        | 상류식 배출 포함부문에서 비포함 부문으로 배출의 이동에 대한 지침서 요구                                                                       |                                             | 상류식 배출                                                                 |                                                                              | 상류식 배출<br>재생가능 전력 구입에 대해 credit                |
| offset       | 가능                                                                                                             | 가능                                          | 가능                                                                     | 제한                                                                           |                                                |
| pooling      | 가능                                                                                                             | 가능                                          |                                                                        |                                                                              |                                                |
| 국제 활동 인정     | 인정                                                                                                             | 인정                                          | 인정                                                                     | 인정                                                                           |                                                |
| 탄소 저장 인정     | 인정                                                                                                             | 인정                                          |                                                                        | 인정                                                                           |                                                |

1) Canadian Early Emission Reduction Program(CEERP)

2) Center for Clean Air Policy

3) Coalition for the Advancement of Sustainable Technology

&lt;표 V-5&gt; 배출권 거래제도 도입제안 사례

| 국가  | 제안자                       | 적용대상                | 적용 시기              | 강제성 | 할당방법             | 할당원칙            | 별칙                      |
|-----|---------------------------|---------------------|--------------------|-----|------------------|-----------------|-------------------------|
| 미국  | 미래자원연구소(RFF)              | 에너지 생산 및 수입업자 (상류식) | 2002               | 강제적 | 경매               | 오염자 부담원칙        | \$25/TC                 |
|     | 하원의원 (Lazio)              | 발전업체                | 2005               | 강제적 | 무상분배             | 실적기준            | \$100/T-CO <sub>2</sub> |
| 영국  | 기업환경위원회(ACBE)             | 배출업소 (하류식)          | 2002               | 자발적 | 경매 (인센티브 지원)     | 저감목표에 대한 자발적 입찰 |                         |
| 덴마크 | 환경에너지부                    | 발전업체                | 2001               | 강제적 | 무상분배             | 실적기준            | \$22/TC                 |
| 대만  | Taiwan Research Institute | 주요 배출업소 (하류식)       | 타 국가에 연동 (혹은 2010) | 강제적 | [경매 + 무상분배] → 경매 | 실적기준 + 효율 기준    |                         |

### 3. 배출권 거래제도 설계변수와 적용 타당성 평가기준

배출권 거래제도의 적용을 위해서는 다양한 설계변수에 대한 선택이 필요하다. 가장 먼저 고려해야 하는 요소는 적용대상 온실가스의 선택이다. 교토의정서는 이산화탄소, 메탄, 아산화질소, HFC, PFC, SF<sub>6</sub> 등 6종의 가스를 규제대상물질로 규정하고 있다. 이산화탄소는 지구온난화지수(Global Warming Potential: GWP)에 있어서는 6개의 온실가스중 가장 작지만 배출량이 상대적으로 커서 지구온난화에 미치는 영향이 가장 심각한 물질로 평가받는다. 다음절에서 우리나라의 온실가스 배출통계를 통해 대상 온실가스의 선정문제를 상세히 검토하도록 한다.

적용대상 오염물질 다음으로 고려되어야 하는 설계변수는 적용분야 및 단계이다. 적용단계는 에너지의 경우 공급, 유통, 소비, 배출시설 제작업자 등 공급체인(Supply Chain)상에서 어떤 단계 혹은 주체를 대상으로 규제할 것인가의 문제이다. 에너지산업, 산업부문, 수송부문, 가정·상업부문, 공공·기타부문 중 적용대상부문의 선택과 함께, 에너지 수입 및 생산, 유통, 소비 및 배출시설 제작업자 등 적용대상 단계의 선택이 필요하다. 에너지 공급 및 유통 단계에 대한 적용은 모든 부문을 함께 관리할 수 있다는 장점이 있으며, 최종 소비단계에 대한 적용은 온실가스 배출을 직접 관리함으로써 저감인센티브를 가장 효과적으로 유도할 수 있다는 장점이 있다. 수송부문과 같이 감시의 어려움에 따라 최종소비단계에 대한 적용이 어려울 경우에는 자동차 등 배출시설 제작업체에 대한 규제를 고려해 볼 수

있다. 이에 대해서는 다음의 5절에서 보다 상세히 검토하기로 한다.

적용지역에 대한 선택은 전국적인 실시 혹은 지자체별 시행과 같은 지역별 차별화에 관한 문제이다. 이산화탄소 등 온실가스의 경우 국지적 오염문제를 직접적으로 야기시키지는 않으므로 지역별 차별적용은 바람직하지 않다. 하지만 온실가스가 에너지사용량과 밀접히 관련되어 있으므로 아황산가스, 질소산화물 등 대기오염물질에 대한 총량관리와 연계되어 실시할 경우 대기오염 우심지역에 대한 차별적 실시를 검토해 볼 수 있다. 또한 지자체 차원에서 환경친화적 조세구조 개편을 위해 배출권 판매(경매)수입으로 기존의 왜곡적 조세를 대체하기 위한 수단으로 거래제도를 도입할 수도 있을 것이다. 즉, 지자체 차원의 환경보전정책의 수단으로 온실가스 배출권 거래제도의 활용이 검토될 수 있다. 본 연구에서는 지자체별 차별적용이 온실가스 관리의 측면에서 타당성의 근거가 약하다는 판단하에 논의에서 제외키로 한다. 다만 경험축적을 위한 시범실시의 수단으로 일부 지역에 대한 제한적 실시가 검토될 수 있다는 점에서 향후 연구에서 검토될 필요성은 있다.

적용단계 및 대상지역과 함께 적용분야에 대한 선택이 고려되어야 한다. 연료연소에 따른 이산화탄소 배출이 발생하는 부문은 크게 전력 등 에너지산업, 산업부문, 수송부문, 가정 및 상업부문, 공공 및 기타 부분 등으로 나누어 볼 수 있다. 에너지산업과 산업부문은 배출원에 대한 관리가 비교적 용이한 분야이다. 수송부문이나 가정 및 상업부문은 다수의 배출원이 산재하여 있고 측정 및 감시가 용이하지 않아 배출원에 대해 직접 배출권 거래제도를 적용하기에는 적합하지 않다. 이러한 경우에는 자동차 혹은 보일러를 제작, 판매하는 설비제작 및 판매업자를 관리대상으로 하는 형태를 고려해 볼 수 있다.

배출권의 형태를 삭감인증권의 개념에 따를 것인가 배출허용권 개념에 따를 것인가 하는 문제도 중요한 설계변수이다. 앞에서 논의한 바와 같이 삭감인증권 거래방식은 배출허용권 거래방식에 비해 행정비용과 거래비용을 크게 증가시키므로 효율성이 떨어지는 단점이 있다. 하지만 본격적인 배출허용권 거래제도의 도입을 위한 과도기적 단계로서 경험축적을 위한 유용성이 강조될 수 있다. 배출허용권 개념에 따를 경우 총량개념 뿐만 아니라 일정 기간의 산출물에 따라 일정비율의 배출권을 사후적으로 인정하는 비율개념의 배출권에 대한 고려도 필요하다. 산업의 성장률이 높거나 불확실성이 매우 클 경우 경직된 총량의 할당은 자칫 경제의 혼란을 가중시킬 수 있으므로 이에 대한 대안으로서 경제성장 혹은 산출물 변동에 대한 조정이 가능한 비율개념의 배출권이 고려될 수 있다.

배출권 배분방법과 배분대상에 대한 결정은 소득분배와 직결되는 중요한 정치적 문제이다. 배출권 배분방법에는 무상분배, 경매, 배분권 거래 등 다양한 방식이 있

으며, 무상분배의 경우 실적기준, 성과기준 등 배분기준의 문제가, 경매의 경우 경매수익의 재분배방안이 중요한 변수로 떠오른다. 배분대상에 있어서도 단순히 배출권 보유의무가 있는 규제대상자 뿐만 아니라 일반소비자 등 소득의 재분배 효과를 동시에 달성하기 위한 방안들에 대한 검토가 필요하다. 이 외에도 탄소세, 보조금, 자발적 협약 등 타정책과의 복합적용 및 관계설정 등에 대한 문제가 현실적으로 중요한 고려사항이며, 예탁 및 차입의 허용 여부에 대한 선택도 동태적 효율성을 고려할 때 신중한 분석이 요구된다.

이상과 같은 다양한 설계방안에 대한 선택에 있어서 여러 가지 기준이 고려될 수 있다. 가장 먼저 고려되어야 할 기준은 효과성(effectiveness)으로 적용대상의 광범위성, 저감유인의 강도 및 적절성 등에 대한 평가이다. 즉, 적용대상 배출원으로부터의 배출량이 차지하는 비중이 얼마나 큰지, 원하는 저감행위를 유인할 수 있는지, 그리고 유인하는 행위가 이산화탄소의 저감과 직접적인 관계에 있는지의 여부 등은 배출권 거래제도의 효과에 지대한 영향을 미친다.

다음으로는 효율성(efficiency)의 기준이다. 효과성이 원하는 결과를 얻을 수 있는가와 관련되어 있다면 효율성은 원하는 결과를 얼마나 효율적으로 얻을 수 있는가와 관련되어 있다. 효율성 기준의 세부 평가요소와 고려사항으로는 경쟁대상 기술간의 차별적용에 따른 누출효과(carbon leakage effect)를 예방할 수 있는지, 독점적 행태에 따른 시장왜곡을 막기 위해 경매 혹은 무기명 교환거래방식을 활용할 필요가 있는지, 환경변화에 대한 조정·적응의 유연성을 제고하기 위해 비율개념의 배출권제도를 적용할 필요가 있는지, 자발적 참여조항(Opt-in provision), 공장 폐쇄에 따른 Shut-down credit의 허용여부 등이 진입 및 퇴출기업에 미치는 효과에 따라 동태적 효율성을 저해하지는 않는지, 예탁 및 차입을 허용함으로써 기간간 자원배분의 효율을 제고할 필요가 있는지 등이다.

또한 상/하류 단계별 산업간 부담, 지역별 분포, 중소기업에 대한 영향, 업종별 비용상승의 차별성, 관련 이해당사자의 합의가능성 등과 관련하여 비용부담의 형평성 및 정치적 수용가능성이 검토되어야 한다. 대상 업체/시설 수, 통계자료 수집 관행 등에 따라 측정 및 보고에 필요한 행정적 노력이 얼마나 필요한지, 그리고 규제정책의 단순성 및 투명성과 관련하여 감시 및 강제의 용이성도 중요한 고려사항이다.

#### 4. 온실가스 배출통계의 시사점

산업자원부·에너지경제연구원(2000)에 따르면 우리나라의 온실가스 배출량은 1990년 82.5 백만tC에서 1999년에는 125.9 백만tC로 연평균 4.8%의 증가세를 나타내고 있으며, 일인당 배출량도 1.93 tC에서 2.69 tC로 연평균 3.8%의 증가를 기록하였다. 온실가스 원단위(GDP당 배출량)는 0.313tC/백만원에서 0.288tC/백만원으로 소폭(연평균 0.9%) 하락하였다.

부문별로는 에너지 부문의 비중이 '99년 기준 89.8%로서 압도적으로 높은 수준이며, 그 비중도 '90년의 81.9%에서 계속 상승하고 있다. 온실가스별로는 이산화탄소의 배출량이 전체의 86.3%로 대부분을 차지하고 있으며, 그 비중도 '90년의 77.5%에서 상승추세에 있다. 메탄가스를 더할 경우 전체의 93.6%를 점유하고 있다. 본 연구에서는 전체 온실가스 배출량의 대부분을 점유하고 있는 연료연소에 따른 이산화탄소 배출에 논의를 한정하도록 한다.

<표 V-6> 온실가스 배출/흡수 부문별 추이 (단위: 천tC)

|         | 1990              | 1995               | 1997               | 1998               | 1999               | '90-'99<br>증가율(%) |
|---------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| 에너지     | 67,582<br>(81.9)  | 102,668<br>(85.6)  | 119,994<br>(87.0)  | 103,603<br>(89.7)  | 112,998<br>(89.8)  | 5.9               |
| 산업공정    | 5,160<br>(6.3)    | 12,035<br>(10.0)   | 15,379<br>(11.1)   | 12,349<br>(10.7)   | 14,410<br>(11.4)   | 12.1              |
| 농업/축산   | 4,326<br>(5.2)    | 4,244<br>(3.5)     | 4,296<br>(3.1)     | 3,882<br>(3.4)     | 3,786<br>(3.0)     | -1.5              |
| 토지이용/임업 | -6,476<br>(-7.8)  | -5,794<br>(-4.8)   | -8,428<br>(-6.1)   | -9,956<br>(-8.6)   | -11,217<br>(-8.9)  | 6.3               |
| 폐기물     | 11,937<br>(14.5)  | 6,793<br>(5.7)     | 6,717<br>(4.9)     | 5,676<br>(4.9)     | 5,879<br>(4.7)     | -7.6              |
| 계       | 82,529<br>(100.0) | 119,947<br>(100.0) | 137,958<br>(100.0) | 115,553<br>(100.0) | 125,855<br>(100.0) | 4.8               |

주) 인구 및 국내 총생산 1999는 추정치 기준임  
 자료원: 산업자원부/에너지경제연구원(2000)

&lt;표 V-7&gt; 온실가스별 배출 추이 (단위: 천tC)

|                  | 1990              | 1995               | 1997               | 1998               | 1999               | '90-'99<br>증가율(%) |
|------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| CO <sub>2</sub>  | 63,947<br>(77.5)  | 104,683<br>(87.3)  | 119,686<br>(86.8)  | 100,135<br>(86.7)  | 108,629<br>(86.3)  | 6.1               |
| CH <sub>4</sub>  | 17,115<br>(20.7)  | 10,689<br>(8.9)    | 10,611<br>(7.7)    | 9,159<br>(7.9)     | 9,195<br>(7.3)     | -6.7              |
| N <sub>2</sub> O | 1,466<br>(1.8)    | 2,185<br>(1.8)     | 2,430<br>(1.8)     | 2,697<br>(2.3)     | 2,922<br>(2.3)     | 8.0               |
| HFCs             | n.a.              | 675<br>(0.6)       | 1,036<br>(0.8)     | 785<br>(0.7)       | 1,180<br>(0.9)     | 6.7               |
| PFCs             | n.a.              | n.a.               | 862<br>(0.6)       | 947<br>(0.8)       | 779<br>(0.6)       | -4.9              |
| SF <sub>6</sub>  | n.a.              | 1,714<br>(1.4)     | 3,333<br>(2.4)     | 1,830<br>(1.6)     | 3,149<br>(2.5)     | -2.8              |
| 계                | 82,529<br>(100.0) | 119,947<br>(100.0) | 137,958<br>(100.0) | 115,553<br>(100.0) | 125,855<br>(100.0) | 4.8               |

주1 n.a : not available

2 HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub>는 '97-'99증가율임

자료원: 산업자원부/에너지경제연구원(2000)

<표 V-8> 부문별 CO<sub>2</sub> 배출 추이 (단위: 천tC)

|      | 1990             | 1995             | 1996             | 1997             | 1998             | 연평균<br>증가율(%) |
|------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------|
| 산업   | 23,780<br>(36.4) | 36,226<br>(35.8) | 38,768<br>(34.9) | 41,256<br>(34.9) | 38,426<br>(37.7) | 6.2           |
| 수송   | 11,508<br>(17.7) | 22,055<br>(21.8) | 24,196<br>(21.7) | 26,129<br>(22.1) | 21,223<br>(20.8) | 8.0           |
| 가정상업 | 17,635<br>(27.1) | 18,996<br>(18.8) | 19,874<br>(17.8) | 20,138<br>(17.0) | 15,459<br>(15.1) | -1.6          |
| 공공기타 | 1,905<br>(2.9)   | 1,263<br>(1.2)   | 1,367<br>(1.3)   | 1,308<br>(1.1)   | 1,104<br>(1.1)   | -6.6          |
| 전환   | 10,342<br>(15.9) | 22,649<br>(22.4) | 27,103<br>(24.3) | 29,496<br>(24.9) | 25,865<br>(25.3) | 12.1          |
| 계    | 65,170           | 101,189          | 111,308          | 118,327          | 102,077          | 5.8           |

자료원: 산업자원부/에너지경제연구원(1999)

한편 에너지부문의 이산화탄소 발생에 있어서는 산업부문이 전체의 37.7%로 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 전환부문이 25.3%를 차지하고 있다. 배출비중을 고려할 때 산업부문, 전환부문, 수송부문의 순으로 중요성이 큰 관리대상으로 평가된다.

## 5. 수급단계별 배출권 거래제도 적용가능성

배출권 거래제는 적용대상 배출원에 따라 다양한 형태가 가능한데, 공급부문을 중심으로 수입 및 생산업자 혹은 제품생산자, 공급망 사업자(유통업자) 등이 적용대상이 될 수 있으며, 소비부문을 중심으로는 대형 에너지 소비업체 및 기타 에너지 사용시설에 적용될 수 있다. 연료연소에 따른 이산화탄소 배출을 관리하기 위해서는 연료의 수입/생산 단계, 유통단계, 소비단계 등 다양한 수급단계 중 보다 효과적인 관리가 가능한 부분을 선정하여 이를 대상으로 배출권 거래제도를 적용하여야 할 것이다. 수급단계별 활동주체를 에너지원별로 살펴보면 다음과 같다.

수급단계(supply chain: 공급사슬)상에서 어느 단계를 대상으로 배출권 거래제도를 적용할 것인가를 판단할 때 중요하게 고려되어야 할 점 중의 하나는 연료대체, 효율향상 및 에너지 절약, 소비절약(DSM), 제품 대체, 공정변경 및 CO<sub>2</sub> 회수 등 경제주체가 이산화탄소를 저감하기 위해 활용할 수 있는 대안을 선택하는 데 얼마나 영향을 미치는가, 즉 저감인센티브의 강도와 적용범위 사이의 상충관계에 대한 조정문제이다. 에너지 수입·생산 단계 혹은 유통단계와 같은 상류(upstream)단계에 대한 적용은 연료연소와 관련된 거의 모든 배출원을 포괄할 수 있다는 적용범위상의 장점이 있지만 최종 배출원을 직접규제하는 대신에 연료공급자를 규제함으로써 인센티브 효과가 약화되거나 인센티브의 전달이 지체될 수 있다. 최종 배출원에 대한 하류식 접근방식(downstream approach)은 다양한 저감수단에 대한 정보와 선택권을 갖고 있는 배출원에 대해 직접 규제함으로써 저감인센티브가 직접적이고 즉시적이라는 장점이 있지만 규제대상의 수가 매우 많고 감시의 어려움이 크기 때문에 행정비용과 거래비용이 크고 넓은 범위를 대상으로 적용하기가 곤란하다는 단점이 있다. 특히 일반가정이나 자동차 등을 모두 관리한 다는 것은 사실상 불가능하다.

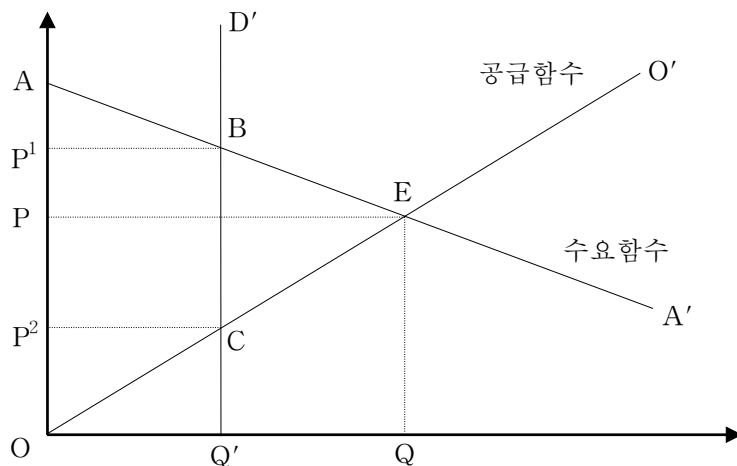
### 5.1 수급단계별 배출권 거래제 적용이 비용부담에 미치는 영향

원래 균형수요가  $Q$ 이고 균형가격이  $P$ 인 단일품목 에너지 시장에서 에너지사용량을  $Q'$ 으로 제한하는 양적규제를 고려하자. 이산화탄소의 경우 배출량이 연료사용량에 비례한다고 가정할 수 있으므로, 수평축은 에너지 사용량이나 이산화탄소 배출량을 동시에 나타내는 것으로 간주하도록 한다.

상류(공급)부문에 적용할 경우, 수요함수는 원래대로  $AA'$ 인 반면, 공급함수는  $OO'$ 에서  $OCD'$ 의 꺾은선 모양이 된다. 따라서 균형가격은  $P$ 보다 높은 수준인  $P^1$ 에서 결정되며, 소비자 잉여는  $\triangle AEP$ 에서  $\triangle ABP^1$ 으로 줄어든다. 배출권(또는 에너지 사용권터)의 균형가격은 ' $P^1-P^2$ '가 된다.

배출권을 무상분배할 경우 생산자 잉여는  $\triangle OEP$ 에서  $\triangle OCBP^1$ 으로 변화하는데, 증가하는지 감소하는지는 공급함수와 수요함수의 상대적 기울기와  $Q'$ 과  $Q$ 의 크기에 따라 결정될 것이다. 배출권을 단일청산가격(uniform clearing price) 경매에 의해 배분한다면 배출권의 청산가격은 배출권의 균형가격인 ' $P^1-P^2$ '가 될 것이고, 정부는  $\triangle P^1P^2BC$ 의 경매수익을 얻게 되며, 생산자 잉여는 정부의 수익을 제외한  $\triangle OCP^2$ 가 되어 규제전의  $\triangle OEP$ 보다 줄게 된다.<sup>61)</sup>

하류(소비)부문에 적용할 경우에는 공급함수가 원래대로  $OO'$ 인 반면, 수요함수가  $AA'$ 에서  $ABQ'$ 으로 꺾은선 모양이 된다. 균형가격은  $P$ 보다 낮은 수준인  $P^2$ 에



[그림 V-1] 배출권 거래제에 따른 시장균형의 변화

61) 이와 같이 경매에 의해 배출권을 배분하는 배출권 거래제는 경매의 균형청산가격(혹은 배출권의 균형 시장가격) ' $P^1-P^2$ '를 배출부과금으로 부과하는 세금정책과 비용부담이나 시장균형에 있어서 동일한 결과를 낳는다.

서 결정되며, 소비자 잉여는  $\triangle AEP$ 에서  $\triangle ABCP^2$ 로 변한다. 공급부문에 대한 적용시 생산자 잉여의 변화와 같이 공급 및 수요함수의 상대적 기울기에 따라 증가 혹은 감소할 수 있다. 수요함수의 기울기가 공급함수보다 상대적으로 급할수록 증가할 가능성이 크다.<sup>62)</sup>

생산자 잉여는  $\triangle OEP$ 에서  $\triangle OCP^2$ 로 줄어들며, 배출권의 균형가격은 공급부문에 적용할 때와 같이 ' $P^1-P^2$ '가 된다. 배출권 배분을 경매에 의존할 경우는 소비자 잉여가  $\triangle AEP$ 에서  $\triangle ABP^1$ 으로 줄어들며, 상류적용시와 같이 정부는  $\triangle P^1P^2BC$ 의 경매수익을 얻을 수 있다. 이상의 논의를 정리하면 다음의 <표 V-9>와 같다.

<표 V-9> 상하류 단계별 배출권 거래제 적용시 시장균형의 변화

| 구 분              | 상류(공급)부문 적용시                                       | 하류(소비)부문 적용시                                       |
|------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 배출량(에너지소비량) 변화   | $Q \Rightarrow Q'$                                 |                                                    |
| 에너지 가격 변화        | $P \Rightarrow P^1$ (상승)                           | $P \Rightarrow P^2$ (하락)                           |
| 배출권 시장가격         | $P^1 - P^2$                                        |                                                    |
| 생산자 잉여 변화 (무상배분) | $\triangle OEP \Rightarrow \triangle OCBP^1$ (+/-) | $\triangle OEP \Rightarrow \triangle OCP^2$ (감소)   |
| 소비자 잉여 변화 (무상배분) | $\triangle AEP \Rightarrow \triangle ABP^1$ (감소)   | $\triangle AEP \Rightarrow \triangle ABCP^2$ (+/-) |
| 생산자 잉여 변화 (경매)   | $\triangle OEP \Rightarrow \triangle OCP^2$ (감소)   | 무상배분 경우와 동일                                        |
| 소비자 잉여 변화 (경매)   | 무상배분 경우와 동일                                        | $\triangle AEP \Rightarrow \triangle ABP^1$ (감소)   |

## 5.2 상류부문에 대한 적용잠재력

상류부문을 대상으로 배출권 거래제도를 적용할 경우 수입 및 생산업체와 유통업체 등을 대상으로 고려할 수 있다. 수입 및 생산업자를 에너지원별로 살펴보면, 석유의 경우 현재 4개의 정유회사와 석유제품 수입업자가 적용대상이고, 석탄의 경우는 민영탄광과 포항제철, 한전 등 대형 수입업자와 종합상사 등 기타 직수입업자들이 대상이 될 수 있다. 천연가스의 경우는 현재 가스공사가 수입을 독점하고 있으므로 현재로서는 적용대상 업체수가 하나이나 가까운 미래에 천연가스 직도입이 허용될 전망이고 에너지산업 구조개편추세에 따라 다수의 경제주체가 출현할 가능성이 있다.

62) 수요 및 공급함수가 모두 직선일 경우,  $Q'$ 이  $Q/2$ 인 경우를 예로들면, 수요함수의 기울기가 공급함수보다 급할 경우 소비자 잉여는 증가한다.

유통단계의 관련주체로는 석유제품의 경우 대리점, 도매상, 주유소, 충전소, 부판점 등이 있으며, 석탄의 경우 종합상사, 연탄 소매업자 등이 있다. 천연가스의 경우는 30여개의 지역별 가스공급사가 적용대상이 될 수 있다. 유통단계에 적용할 경우에는 수입·생산업자에 적용할 경우에 비해 적용대상 주체의 수가 크게 늘어남으로써 배출권 시장의 경쟁성이 증가되어 독점에 따른 시장조작과 같은 폐해가 줄어들 수 있는 대신에 행정 및 거래비용이 증가하는 단점이 있다. 현재로서는 한국 전력, 포항제철, 가스공사 등 일부 에너지 업체가 높은 시장점유율을 보이고 있어 시장왜곡의 가능성이 있다.

### 5.3 설비제작업체에 대한 적용가능성

상류 혹은 하류부문에 대한 배출권 거래제도의 적용과 별도로, 자동차나 선박, 항공기, 보일러, 요로 등 주요 배출설비를 판매하는 수입 및 제작업체를 대상으로 하는 관리방안을 고려해 볼 수 있다. 특히 수송부문의 경우에는 자동차 등 개별 배출원별 감시가 어렵기 때문에 자동차 제작업체에 대한 배출권 거래제도의 적용이 적합하다.

자동차 제작자에 대하여 배출권 거래제도를 적용하는 방법은 미국의 연비규제제도인 CAFE와 같이 제작사별 평균 배출을 혹은 배출총량을 정하고 초과달성시 그만큼을 거래하도록 하는 것이다. 이 때 배출을 혹은 배출총량은 제작사에서 배출하는 양이 아니고 제작사에서 생산·판매하는 자동차에 대하여 종별 배출계수를 이용하여 계산된 가중평균 배출유발량을 뜻한다.

현재로서는 현대 등 일부 제작사의 독점력이 행사될 가능성이 매우 크기 때문에 자동차 제작사를 대상으로 배출권 거래제를 시행할 경우 시장왜곡에 따른 효율성 저하가 중요한 문제점으로 등장할 수 있다. 자동차뿐만 아니라 선박, 항공기, 보일러 등 주요 배출설비에 대한 제작업체를 함께 포함하는 포괄적인 관리방식을 도입할 경우 시장집중도는 낮아질 것으로 예측된다.

### 5.4 하류부문에 대한 적용잠재력

이산화탄소의 최종배출원에 대하여 배출권 거래제도를 적용할 경우(하류식 접근: downstream approach) 규제대상 배출원의 수가 매우 많아져서 행정 및 거래비용

이 커지게 된다. 하지만 저감방안에 대한 정보와 의사결정권을 갖고 있는 경제주체를 규제함으로써 저감 인센티브의 효과가 크다는 장점이 있다.

최종배출원에 대한 적용은 에너지산업, 산업부문, 수송부문, 가정·상업부문, 공공·기타부문 등 분야별 특성을 고려하여야 한다. 이중 에너지산업부문과 산업부문을 제외한 나머지 분야는 배출원의 수가 매우 클 뿐만 아니라 감시·관리비용이 지나치게 높아 하류식 접근방식이 적합하지 못한 것으로 평가된다. 적용가능성이 높은 에너지산업과 산업부문에 대해서는 동시에 적용할 수도 있으며, 단계별로 차별적으로 적용할 수도 있다. 산업부문은 이산화탄소 배출비중이 가장 큰 분야로서 배출권 거래제도의 적용에 따른 효과가 높을 것으로 기대된다. 하지만 배출원의 수가 매우 많아 모든 배출원을 단기간에 직접 규제하기는 곤란할 것으로 보인다. 오히려 규모가 큰 배출원부터 단계적으로 적용을 검토하는 것이 필요하다.

에너지산업부문의 이산화탄소 배출량 중 대부분을 점하고 있는 전력부문은 자체 내에서의 배출권 거래제도 적용이 검토되기도 한다. (이은명·이기훈(1999)) 발전부문은 현재 사실상 한국전력의 독점체제이므로 배출권 거래제도의 적용은 사내거래의 허용이라는 형식을 띄는 것이다. 현재 진행되고 있는 전력산업 구조개편의 결과에 따라 과점체제로 바뀌게 될 경우에는 전력산업내에서도 배출권 거래제도의 실시가 가능할 것으로 판단된다. 또한 다른 분야에 대한 배출권 거래제도가 고려될 때 전력부문도 배출량 비중의 크기로 볼 때 함께 적용되는 것이 누출효과를 예방하고 전체적인 효율성을 제고하기 위해 필요한 것으로 판단된다.

전력부문은 생산물 자체가 다른 산업부문의 투입물이 된다는 특성을 갖고 있다. 따라서 전력비용의 상승은 산업경쟁력에 미치는 효과가 다른 산업부문에 비해 클 것이다. 주의할 점은 최종배출원에 대하여 배출권 거래제도를 적용할 경우 전력사용에 대한 별도의 규제는 필요하지 않다는 것이다. 일부에서는 산업계에 대한 배출권 거래제도를 논의함에 있어서 전력의 사용에 따른 특별한 고려가 필요하다는 주장이 제기되고 있다. 전력의 소비 자체만으로는 오염물질이 배출되지 않지만 전력의 생산과정에서 다량의 오염물질이 배출되므로 이에 상응하는 부담이 지워져야 한다는 것이다. 이러한 주장은 발전소와 같이 전력부문의 배출원을 규제하지 않을 경우에 해당되는 논리로서 전력부문의 배출원도 산업부문의 배출원과 동시에 규제될 경우 전력사용에 대한 별도의 규제는 중복규제에 따른 비효율을 초래하게 되므로 바람직하지 않다.

## 6. 초기 배분방법별 비교

전술한 바와 같이 배출권 거래제도의 핵심적인 장점중의 하나가 효율성과 형평성을 균형있게 고려할 수 있다는 점이며, 이러한 장점을 최대한 살리기 위해 가장 중요한 것이 배출권의 초기배분방식에 대한 세심한 설계이다. 배출권의 할당방법은 무상분배, 경매, 직접판매, 배분권 거래 등 다양한데, 관련 이해관계자간의 분배 문제와 효율성을 종합적으로 고려하여 최적의 방식을 설계하여야 한다.

무상분배는 통상 과거배출실적에 따라 이루어지는데 배출업소에 대한 참여유인을 높이고 모든 경제주체에 대한 파레토개선(Pareto improvement)이 가능하다. 하지만 잠재적 사업자의 시장진입을 어렵게 함으로써 경쟁을 제한하고 동태적 효율성을 저하시킬 수 있다. 규모의 경제를 고려하여 오염원 규모에 대한 체감적 무상 배분도 가능하다.<sup>63)</sup>

경매는 가격정보를 공개함으로써 거래를 촉진하고, 독과점에 따른 가격조작을 예방할 수 있으며 신규사업자의 배출권 구입기회를 확대할 수 있다는 장점이 있

<표 V-10> 배출권 초기 분배방법

| 분배방법  | 내용                                       | 재정이전      | 특징                                       |
|-------|------------------------------------------|-----------|------------------------------------------|
| 無償分配  | 과거배출실적, 연료사용량 등을 기준으로 무상배분               | 없음        | 다양한 분배기준 적용가능, 현실적용이 용이함                 |
| 補助金   | 충분한 양을 무상분배 후 정부가 필요량만큼 구입               | 정부 ⇒ 오염원  | 정부의 재정부담이 큼                              |
| 受益競賣  | 배출권을 유상으로 경매                             | 오염원 ⇒ 정부  | 오염원의 재정부담이 큼<br>사전적 가격정보 제공을 통한 시장거래 활성화 |
| 無受益競賣 | 오염원간의 경매 (double auction)방식으로 배출권 보유를 조정 | 오염원 ⇔ 오염원 | 경매설계가 복잡<br>사전적 가격정보 제공을 통한 시장거래 활성화     |
| 直接販賣  | 일정한 가격으로 정부가 오염원에게 직접 판매                 | 오염원 ⇒ 정부  | 오염원의 재정부담 큼<br>배출권시장의 왜곡방지를 위한 정부개입수단    |
| 配分權去來 | 배출권을 할당받을 수 있는 권리에 대한 시장거래               | 오염원 ⇔ 오염원 | 배출권의 기간간 재배분을 시장기능에 맡김                   |

자료원: 김용건 (1996b)

63) 일본의 대기오염 총량규제에서는 규모가 증가함에 따라 배출허용량을 체감적으로 비례하도록 할당하고 있음.

다. 단, 오염저감비용보다 많은 배출권 구입비용을 초래하여 배출업소에 대한 재정 부담을 가중시킬 수 있다는 단점이 있다. 미국의 산성비프로그램에서는 배출권 배분시 경매방식을 일부(전체의 2.8%) 적용하여 시장형성을 효과적으로 촉진시킨 것으로 평가되고 있다. 최고입찰가와 청산가격간의 격차가 1993년 \$319에서 1997년 \$14로 감소하였는데, 이는 가격의 안정성이 크게 향상되었음을 나타내는 것이다.

직접판매는 정산을 위한 기말에 배출권 공급부족에 따른 시장교란을 예방하고 신규사업자에 대한 진입장벽을 해소하기 위해 규제당국이 일정량의 배출권을 비축하고 있다가 필요시 판매하는 제도이다. 배분권 거래는 배출권을 배분받을 수 있는 권리를 거래하는 제도로서, 배출권 시장의 불안정성을 감소시키는 장점이 있다. 캐나다에서 추진하고 있는 배출권 거래제도에서 검토중인 것으로 보고된 바 있다.<sup>64)</sup>

온실가스에 대한 배출권 할당을 위해 어떤 방식이 바람직한 효과를 거두는가에 대해서는 다양한 의견이 제시되고 있다. Cramton and Kerr(1998)<sup>65)</sup>는 온실가스 저감목표량을 달성하기 위해서 배출권의 경매가 최선의 대안이라고 주장한다. 구체적으로 정부는 분기별로 초과수요가 사라질때까지 경매가가 상승하는 영국식 경매(English Auction)의 실시를 통해 효과적인 가격정보를 얻을 수 있다. 이러한 경매는 실적기준 무상분배(grandfathering)에 비해 불합리한 세금구조를 개선하고, 비용배분의 유연성을 높이며, 혁신의 유인을 크게하고, 렌트의 배분을 둘러싼 정치적 갈등을 줄인다는 장점을 갖는다고 주장하고 있다.

호주 온실가스사무국(AGO, 1999)에서는 무상분배 및 경매와 함께, 소비자에게 일인당 기준으로 배출권을 배분하는 방안을 검토하고 있다. 배출규제의 궁극적 부담이 소비자에게 귀착된다는 점을 고려할 때, 소비자에 대한 배분을 통해 이러한 부담을 경감할 수 있다는 점과 빈부격차를 줄일 수 있는 방향으로 부의 재분배가 이루어진다는 측면에서 무상분배 및 경매를 통한 배출권 거래제도는 물론 탄소세와 비교할 때도 형평성 측면의 상대적 장점이 큰 것으로 평가된다. 하지만 소비자에게 배분된 배출권을 궁극적으로 누가 사용하게 되는지, 이러한 제도의 사후관리가 어떠한 것인지에 대해서는 구체적인 제안이 결여되어 있을 뿐만 아니라 수많은 소비자에 대한 배출권의 배분이 현실적으로 가능할 지에 대해서 의문점이 있다.

Matsuo(1999)는 소비자에 대한 배분과 배출업소에 대한 의무부담을 복합하는 형태의

64) 배분권 거래제도에 대한 이론적 고찰과 캐나다의 적용계획에 대해서는 Godby 외(1997)를 참조하시오.

65) Cramton, Peter, and Suzi Kerr, "Tradable Carbon Permit Auctions: How and Why to Auction Not Grandfather", Resources for the Future, Discussion Paper 98-34, 1998.

국내 배출권 거래제도를 제안하고 있다. 예를 들면, 에너지 판매 혹은 사용업체로 하여금 자신이 유발시킨 이산화탄소 배출량에 상응하는 배출권을 소비자로부터 구매하도록 강제할 수 있다. 이 경우 수많은 소비자로부터 배출권을 조달하는 것이 높은 거래비용을 유발시킬 것이라는 점에서 효율성 측면의 단점이 지적될 수 있다. 형평성 측면의 긍정적 효과가 거래비용의 증가라는 부정적 효과를 능가할 것인지가 관심의 초점이다.

경매의 실시를 위해서는 효과적인 시행안을 도출하기 위한 다양한 설계변수를 검토하여야 한다. 공개(구두)식 혹은 입찰(비밀)식, 동시경매 혹은 순차경매, 청산가격의 차별화 여부, 참가비 및 최저가격 유무 등의 선택에 따른 장단점 비교분석이 필요하다. 예를 들면 공개식(open; oral) 경매는 당첨자가 손해보는 “승자의 저주(Winner's Curse)” 현상을 예방하고 경매수익을 증가시키는 장점이 있는데 반해 입찰식(sealed-bid) 경매는 담합의 가능성을 예방하고 위험회피적 성향에 따른 비효율성을 줄이는 장점이 있다.

## VI. 자발적 이산화탄소 배출권 거래제도 도입효과 분석

### 1. 자발적 이산화탄소 배출권 거래제도의 설계

본 연구에서는 우리나라의 온실가스 감축의무 부담 이전에 조기실시의 대안으로서 시범적으로 도입될 수 있는 배출권 거래제도의 형태를 설계하고자 한다. 이러한 관점에서 경험과 지식을 축적을 극대화할 수 있도록 가능한 한 투명하고 합리적이며, 특히 자발적 참여를 유도할 수 있는 인센티브제도로서의 배출권 거래제도 설계에 초점을 맞추고자 한다.

앞에서도 살펴본 바와 같이 국가 온실가스 배출통계상에서 가장 중요한 관리대상은 에너지부분의 이산화탄소이며, 그 중에서도 산업부문이 가장 큰 잠재력을 갖고 있다. 배출량의 산정에 따른 불확실성에 있어서도 에너지 및 산업공정에서 발생하는 이산화탄소는 불확실성이 10% 내외로 폐기물에 따른 메탄(20~100%), 산림을 통한 CO<sub>2</sub> 흡수(60%) 등에 비해 월등하게 낮다.

<표 VI-1> 배출계수와 Activity 자료에 따른 불확실성

| 가스               | 배출원 범주                | 배출계수<br>U <sub>E</sub> | Activity 자료<br>U <sub>A</sub> | 총 불확실성<br>U <sub>T</sub> |
|------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| CO <sub>2</sub>  | 에너지                   | 7%                     | 7%                            | 10%                      |
| CO <sub>2</sub>  | 산업 공정                 | 7%                     | 7%                            | 10%                      |
| CO <sub>2</sub>  | 토지 이용 변화와 임업          | 33%                    | 50%                           | 60%                      |
| CH <sub>4</sub>  | Biomass 소각            | 50%                    | 50%                           | 100%                     |
| CH <sub>4</sub>  | 석유와 천연가스<br>Activity  | 55%                    | 20%                           | 60%                      |
| CH <sub>4</sub>  | 석탄 광업과 조업<br>Activity | 55%                    | 20%                           | 60%                      |
| CH <sub>4</sub>  | 쌀경작                   | 3/4                    | 1/4                           | 1                        |
| CH <sub>4</sub>  | Water                 | 2/3                    | 1/3                           | 1                        |
| CH <sub>4</sub>  | 축산업(Animals)          | 25%                    | 10%                           | 25%                      |
| CH <sub>4</sub>  | 축산 폐기물                | 20%                    | 10%                           | 25%                      |
| N <sub>2</sub> O | 산업 공정                 | 35%                    | 35%                           | 50%                      |
| N <sub>2</sub> O | 농업 용지                 |                        |                               | 2 Orders of magnitude    |
| N <sub>2</sub> O | Biomass 소각            |                        |                               | 100%                     |

주의: 60%이상의 산업 불확실성은 표기하지 않았음.

자료원: IPCC(1996)

배출총량 관리목표의 설정과 개별 배출원에 대한 배분문제는 배출권 거래제도의 설계에 있어서 가장 핵심적인 설계변수이다. 특히 우리나라는 국제협약상으로 총량적 배출목표를 부담하고 있지 않기 때문에 현재는 물론 미래에도 명확한 총량관리목표가 존재하지 않는다. 결국 경험추적과 사전대응이라는 관점에서 총량관리목표가 설정되어야 하는데, 이는 자칫 산업계에 대한 무리한 부담을 초래할 가능성이 있다. 따라서 초기단계의 시범실시를 위해서는 개별 업체(배출원)별 감축역량이 고려된 자발적 저감목표에 기초한 상향식 목표설정방식이 바람직하다.

개별 배출원의 자발성에 기초한 상향식 목표설정을 위한 방법으로는 우선 자발적 협약(VA)에서처럼 자발적 저감목표를 제시하도록 하고, 이에 기초하여 총량적 관리목표를 결정함과 함께 개별 배출원별 할당도 자발적 저감목표 제시값에 따라 무상배분하는 방식을 고려해볼 수 있다. 이는 일부 학자에 의해 제시된바 있는 “VA와 배출권 거래제도의 병행방안”인데, 몇가지 문제점을 안고 있다. 가장 심각한 문제점은 개별 배출원이 저감목표를 과소보고할 유인이 있다는 것이다. 규제당국의 입장에서 개별 배출원의 저감역량에 대한 정확한 정보를 갖고 있지 않기 때문에 이러한 과소보고의 유인을 효과적으로 예방하기는 매우 어렵다. 또한 자발적 협약과의 연계를 위해서는 위반시의 처벌이 없거나 매우 관대하여야 하는데, 이는 배출권의 재산가치를 훼손시킴으로써 시장의 형성을 저해할 수 있다.

영국 배출권거래그룹(UK ETG)에서 제안하고 있는 인센티브 경매방식은 자발적 참여에 기초한 상향식 목표설정방식의 대안을 제시하고 있다. 이는 규제당국에서 일정 수준의 인센티브 재원을 조성한 다음, 개별 배출원으로 하여금 자발적 저감 목표와 함께 받고자 하는 인센티브 재원액을 입찰토록 하는 것이다. 이를 통해 적정 관리목표의 결정과 함께 개별 배출원의 배출(저감)목표를 동시에 결정할 수 있다. (UK ETG, 2000) 이러한 ETG의 제안은 아직 구체화되지는 않은 상황이지만 본 연구에서는 이 개념을 활용하여 구체적인 메카니즘을 제시하도록 한다.

먼저 인센티브 경매 메카니즘의 특성을 살펴보도록 하자. 인센티브 경매하에서는 개별기업이 저감목표를 과소보고할 유인이 크게 줄어든다. 즉, 주어진 인센티브 재원 하에서 개별 배출원은 저감목표 입찰수준에 비례하여 재원을 배분받기 때문에 상호 경쟁하게 되며, 과소보고 자체가 반드시 유리하지는 않게 되기 때문이다. 과소보고의 유인자체가 얼마나 줄어드는지에 관해서는 엄밀한 분석이 요구되는데, 다음절에서 논의될 분석결과에 따르면 사실상 과소보고의 유인이 거의 해소됨을 알 수 있다. 이러한 특성은 저감역량에 대한 개별 기업의 비용특성이 유인일치적(incentive-compatible)으로 표출될 수 있는 메카니즘이 설계될 수 있음을 의미하는 것이다.

이처럼 저감비용정보에 대한 유인일치적 획득과정은 규제에 있어서 정보 (information)의 문제를 상당히 완화시켜 주는 것으로 전형적인 탄소세나 배출권 거래제도에 비해 우월한 특성으로 평가될 수 있다. 예를 들어 탄소세를 도입하려 할 경우 기업은 규제당국에게 자신의 저감비용을 낮추어 보고(설명)함으로써 탄소 세율을 낮추려 하는 유인을 갖게 되며, 배출권 거래제도를 도입하려 할 경우 반대의 유인을 갖게 된다. 결국 단순한 탄소세나 배출권 거래제를 도입하려 할 경우 규제당국은 정책수단의 주요변수(탄소세율 혹은 배출권 발행 총량)의 결정에 필요한 정보(기업의 비용특성)를 정확하게 파악할 수 없고, 따라서 필요한 정보의 획득을 위해서는 별도의 메카니즘을 필요로 한다. 즉, 단순한 형태의 탄소세나 배출권 거래제도를 시행하기 위해서는 기업의 비용함수에 대한 사전적 정보가 필요한데, 이를 획득하기란 현실적으로 매우 어렵다.

다음으로 인센티브 경매는 배출원 전체의 저감목표 달성에 소요되는 비용에 대하여 인센티브 재원을 상한으로 하는 적정 수준의 부담규모를 사전적으로 예측, 강제할 수 있다. 이산화탄소의 배출규제는 환경적 외부효과의 정의가 어렵기 때문에 환경피해규모의 평가도 어렵고, 따라서 배출원의 비용특성에 대한 정보를 갖고 있더라도 얼마만큼의 삭감을 유도해야 하는지에 대한 결정은 여전히 불가능하다. 이러한 경우에는 주어진 재원(혹은 총 저감비용에 대한 상한) 하에서 최대한의 저감노력을 유도할 수 있는 메카니즘이 차선택책으로서 검토될 수 있다. 본 연구에서 검토하고자 하는 온실가스 저감정책 조기실시의 관점에서도 이는 합리적인 접근방법이라 판단된다.

에너지 수급사슬상의 적용단계 선택에 있어서는 에너지 수입 및 공급업체에 대한 적용방식(상류식)의 경우 국가 전체적인 파급효과를 갖게 되므로 시범실시방안 으로서는 적합지 않다고 판단된다. 또한 효과적인 온실가스 저감노력의 유도를 위해서도 실질적인 저감대안에 대한 관리주체인 최종 소비자에 대한 규제가 바람직 하다. 적용대상 지역의 선택은 온실가스의 환경적 외부성이 발생원의 지역적 특성과 무관하므로 지역적 제한에 따른 이익이 없다고 판단된다. 따라서 본 연구에서 제시하고자 하는 배출권 거래제도의 대상은 특정 지역에 관계없이 인센티브 경매에 자발적으로 참여하는 산업부문의 최종 에너지 이용업체로 한다.

## 2. 인센티브 경매 및 배출권 거래에 대한 수리적 분석

### 2.1 인센티브 경매 및 배출권 거래제도의 수리적 모형화

앞에서 제시한 인센티브 경매 및 배출권 거래제도를 정확히 설명하기 위해서 다음과 같은 기호를 이용하고자 한다.

- $i$ : 사업장 고유번호
- $N_i$ : 사업장  $i$ 의 기준 배출량(별도 정책 부재시 배출예상량)
- $x_i$ : 사업장  $i$ 의 실제 배출량
- $e_i$ : 사업장  $i$ 의 실제 저감량 ( $e_i = N_i - x_i$ )
- $y_i$ : 사업장  $i$ 의 목표 배출량
- $r_i$ : 사업장  $i$ 의 목표 저감량 ( $r_i = N_i - y_i$ )
- $C_i(e_i)$ : 사업장  $i$ 의 저감비용함수 ( $C_i'(e_i) > 0, C_i''(e_i) > 0$ )
- $C(e)$ : 사업장 전체의 저감비용함수  

$$(C(e) = \text{Min}\{\sum_i C_i(e_i) \text{ s.t. } \sum_i e_i = e\})$$
- $R$ : 총 저감 목표 ( $R = \sum_i r_i$ )

인센티브 경매 및 배출권 거래제도는 다음과 같은 단계에 따라 실행된다.

- ① 정책적 판단에 따라 인센티브 재원( $W$ 원)을 조성한다.
- ② 사업장별 기준 배출량( $BL_i$ )을 결정한다.
  - $BL_i$ 는  $N_i$ 로 결정할 수도 있으며, 정책적 판단에 따라 하향조정된 값으로 대체할 수도 있다.
  - 일단  $BL_i = N_i$ 로 가정하고 필요시 별도 가정을 도입하기로 한다.
- ③ 개별 사업장은 동시에 무기명으로 목표 저감량( $r_i$ )을 입찰한다.
- ④ 개별 사업장에 대해  $N_i - r_i$ 의 배출권을 할당하고,  $r_i \cdot \frac{W}{\sum_i r_i}$ 의 인센티브를 지급한다. 이 때  $p = \frac{W}{\sum_i r_i}$ 를 저감량 단위당 청산가격(clearing

price)이라 부르도록 한다.

- ⑤ 사업장별로 배출량(혹은 저감량)을 결정하고 잉여배출권을 매매한다.
- ⑥ 매 기말 기준으로 배출량이 배출권 보유량을 초과한 업체에 대해 벌칙을 부과한다.

## 2.2 인센티브 경매 메카니즘의 균형 분석

앞에서 설명한 게임 중 ③단계와 ④단계로 구성된 인센티브 경매 메카니즘에 대하여 게임이론적 분석을 통해 균형상태를 도출하고 이를 해석하도록 한다. 본 메카니즘의 참가자(player)는 경매에 참여하는 사업장들이고, 각 사업장의 전략과 이익(비용)함수는 다음과 같이 표현될 수 있다.

- 사업장  $i$ 의 전략변수:  $\widehat{r}_i$
- 사업장  $i$ 의 비용최소화 문제

$$\underset{\widehat{r}_i}{Min} \left\{ C_i(\widehat{r}_i) - \frac{W}{\sum_k \widehat{r}_k} \cdot \widehat{r}_i \right\}$$

즉, 개별 사업장  $i$ 는 위의 비용을 최소화하기 위해 자신에게 가장 유리하다고 판단되는 저감목표  $\widehat{r}_i$ 를 제시할 것이다. 이러한 게임의 내쉬균형(Nash equilibrium)은 타 사업장의 최적 전략이 주어졌다는 가정하에서 각 사업장의 최적 전략(optimal strategy)으로 구성되는  $\{r_i^*\}_i$ 으로 표현될 수 있으며, 이는 다음과 같이 각 사업장의 최적화 1계조건을 모두 만족하여야 한다.

$$C'_i(r_i^*) = \frac{W}{\sum_k r_k^*} \cdot \left( 1 - \frac{r_i^*}{\sum_k r_k^*} \right), \forall i$$

위의 조건은 각 사업장이 자신이 제시한 저감목표  $\widehat{r}_i$ 에 비례하여 인센티브 재원  $W$ 를 나누어 갖는 게임에서 다른 사업장이 내쉬균형하에서의 최적전략  $\{r_i^*\}_i$ 를 따를 경우 자신도 이를 따르는 것( $r_i^*$ 를 제시하는 것)이 최선이 됨을 나타내는 것이다. 이러한 내쉬균형하에서 저감목표 단위당 인센티브 보상을(청산가격)은 다음과 같다.

$$p^* = \frac{W}{\sum_i r_i^*}$$

이와 같은 내쉬균형하에서는 개별 사업장의 한계저감비용값이 균형 저감목표량의 상대적 비중만큼 균형 청산가격에 미달하는 특성을 보여준다. 이는 한계비용균등화조건에 위배되는 것으로, 저감노력의 조정을 통해 총 저감량이 줄어들지 않으면서도 총 저감비용을 줄일수 있다는 것을 시사한다. 이러한 사업장간 조정은 추가적인 배출권 거래(⑤단계)를 통해 이루어질 수 있는 것으로 다음절에서 이를 논의하도록 한다.

앞에서 기술한 사업장별 최적화 1계조건에 대해 균형 저감목표량을 곱하여 모두 합하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\sum_i r_i^* \cdot C'_i(r_i^*) = W \cdot \left( 1 - \sum_i \left( \frac{r_i^*}{\sum_k r_k^*} \right)^2 \right)$$

위식은 개별기업의 균형 저감목표량과 한계저감비용을 곱한 값의 합과 총 재원이 차이를 나타냄을 보여준다. 또한 두 값의 차이가 허핀달지수와 같음을 보여준다. 이는 개별 사업장이 제시하는 저감목표에 대응하는 한계비용보다 단위당 보상률(청산가격)이 더 크다는 뜻으로, 개별 사업장이 보다 많은 이익을 얻기 위해 전략적으로 낮은 저감목표를 제시한다는 것을 의미한다. 또한 이러한 전략적 유인은 저감목표의 상대적 비중에 비례하게 된다.

미달하는 크기가 총재원에서 차지하는 비중의 제곱은 시장집중도(시장의 비경쟁적, 혹은 독과점적 특성)를 나타내는 허핀달지수(점유율의 제곱합)와 같은 형태를 나타내는데, 이는 사업장의 수가 늘어날수록, 그리고 저감목표량의 편차가 줄어들수록 작아진다.<sup>66)</sup> 예를 들어 10개의 동일한 업체를 가정할 경우 10%가 되며, 100개의 동일한 업체를 가정할 경우에는 1%로 줄어든다. 일반적으로  $n$  개의 동일한 사업장이 있을 때 허핀달 지수는  $1/n$  가 된다. 이러한 결과는 저감목표의 상대적 비중으로 표현하는 시장집중도가 낮아질수록 전략적 왜곡유인이 적어지며, 이는 참여 사업장의 수가 늘어날수록 낮아짐을 뜻한다.

정보 문제와 관련하여 본 메카니즘은 규제자가 기업의 비용에 대해 아무런 정보

66) 허핀달 지수(Herfindahl Index: HI) 또는 허핀달-허쉬만 지수(Herfindahl-Herschmann Index: HHI)란 시장의 집중도를 나타내는 지수로 개별 업체의 시장점유율의 제곱합으로 계산된다. 미국의 사법부와 연방거래위원회의 지침에 따르면 총점 1만점 기준으로 HHI가 1천점 미만일 때 시장은 "경쟁적(unconcentrated)"이라고 판단하며, 1,000 ~ 1,800점 사이일 경우 "다소 집중(moderately concentrated)"되어 있으며, 1,800점을 초과할 경우 "매우 집중(highly concentrated)"되어 있다고 판단하고 있다.

도 갖고 있지 않는다는 가정하에 규제자가 주어진 재원으로 최대한의 저감노력을 유도함과 함께 그에 상응하는 비용함수정보를 획득하고자 할 경우 활용할 수 있는 하나의 대안으로 평가된다. 게임이론의 분과인 메카니즘 설계론(Mechanism Design)에서는 이처럼 규제자가 아무런 정보도 갖고 있지 않는 문제에 대한 해답(solution concept)으로서 우위전략 메카니즘(Dominant-strategy mechanism)을 제시하고 있는데, 일반적인 상황에 적용가능한 대표적인 예로서 그러브즈 메카니즘(Groves Mechanism)을 들 수 있다. 하지만, 이처럼 일반적 상황에서 최선의 결과(first-best solution)를 얻을 수 있는 우위전략 메카니즘은 재정균형조건(budget-balance)<sup>67)</sup>과 개인적 합리성 조건(individual rationality)<sup>68)</sup>을 만족하지 않는다<sup>69)</sup>는 단점이 있어 현실에서의 적용사례를 거의 찾아볼 수 없다.

규제자가 기업의 비용특성에 대해 확률적인 정보<sup>70)</sup>를 갖고 있다는 가정하에서 규제문제를 분석하는 베이지안(Bayesian) 메카니즘 설계론에서는 사전적(ex-ante) 재정균형조건과 사전적 개인적 합리성 조건을 만족하는 메카니즘이 설계될 수 있다고 주장된다. 이 경우 규제자는 피규제자에 대해 정보공개에 따라 일정한 보상을 해 주어야 하는데 이 때 보상해야 하는 최소한의 금액을 피규제자가 규제자에 비해 우월한 정보를 보유하고 있는 데에 따른 이익이라는 의미에서 정보렌트(information rent)라 부른다.

본 연구에서 제시한 인센티브 경매 메카니즘은 기업에 대한 비용정보가 없는 상황에서 활용할 수 있으며, 비규제자(참여 사업장)의 수가 클 경우 보다 많은 노력을 유도할 수 있다. 이 과정에서 사업장의 비용정보 획득에 필요한 비용을 사전에 고정시킬 수 있다는 점에서 재정균형조건을 만족할 뿐만 아니라 피규제자의 자발적 참여를 유도할 수 있다는 점에서 개인적 합리성 기준도 만족한다.

메카니즘의 균형 분석을 위해 가정한 모형은 피규제자 상호간에 있어서는 완전 정보(complete information)를 가정하고 있다. 하지만 실험경제학(experimental

67) 재정균형조건은 규제자가 필요로하는 재원의 크기가 '0'이어야 한다는 조건인데, '0'은 아니지만 사전적으로 정확한 소요재원을 정의할 수 있을 때에도 재정균형조건이 만족되는 것으로 보다 광의로 해석되기도 함. 광의적 개념의 재정균형조건은 결국 규제를 위해 필요한 재원이 사전에 정확히 결정될 수 있는지를 뜻함.

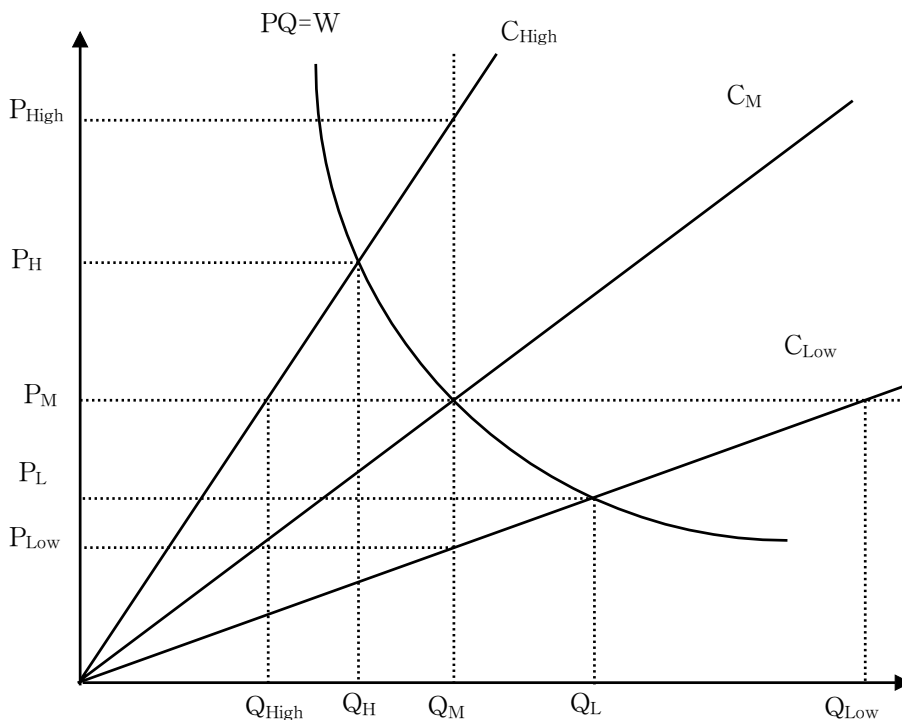
68) 개인적 합리성 조건은 모든 피규제자가 규제게임에 자발적으로 참여할 유인이 있을 때 성립하는 조건으로서, 피규제자가 게임의 참여를 통해 기대하게 되는 순이익이 모든 가능한 형태의 피규제자에 대해 '+'여야 한다는 조건임.

69) 재정균형조건과 개인적 합리성 조건은 동시에 충족되어야 한다는 특성이 있다. 하나의 조건을 무시할 경우 남은 다른 하나의 조건을 만족할 수 있는 방법이 이론적으로 항상 존재하기 때문이다.

70) 비용함수에 대한 정확한 정보는 아니지만 비용함수의 가능한 형태의 집합과 각 형태별 확률적 가능성을 나타내는 정보를 의미함.

economics)의 연구결과에 따르면 완전정보하의 게임에 있어서의 내쉬균형은 불완전정보 상황하에서도 반복을 통해 달성될 수 있음을 보여주고 있다. 즉, 본 연구의 입찰게임도 실제 적용시 반복입찰게임을 통해 내쉬균형을 달성할 수 있다.

탄소세 혹은 단순 배출권 거래제도와 비교할 때 비규제자의 비용함수에 대하여 아무런 정보도 없는 상황하에서도 활용될 수 있다는 것은 매우 유용한 장점이다. 규제자가 갖고 있는 피규제자의 비용함수에 있어서의 불확실성(정보의 불완전성)을 고려할 때 탄소세, 배출권 거래제도, 본 연구의 입찰 게임의 세가지 메카니즘의 균형변화를 살펴보면 [그림 VI-1]과 같다.



[그림 VI-1] 비용정보의 불확실성에 따른 정책수단별 균형변화

규제자가 한계 저감비용함수를  $C_M$ 으로 예측하였지만 실제로는  $C_{High}$  혹은  $C_{Low}$ 인 경우,  $P_M$ 을 세율로 하는 탄소세는  $Q_{High}$  혹은  $Q_{Low}$ 의 저감량을 초래함으로써 저감량의 변화가 매우 크게 나타날 수 있으며,  $Q_M$ 에 해당하는 저감량을 할당하는

배출권 거래제는  $P_{High}$  혹은  $P_{Low}$ 의 시장가격을 초래함으로서 시장가격에 매우 큰 불확실성을 야기할 수 있다. 본 메카니즘의 경우는 탄소가격의 경우  $P_H$ 에서  $P_L$ , 저감량의 경우  $Q_H$ 에서  $Q_L$ 로 변화의 폭이 상대적으로 작을 뿐만아니라 위의 그림에서와 같이 한계저감비용함수가 선형일 경우에 있어서 총 저감비용이  $0.5 \cdot P_M \cdot Q_M$ 으로 일정하다는 특성이 있다. 이는 비용함수가 선형이 아닐 경우 약간의 차이가 날수 있으나 비교적 안정적이라는 특성은 유지되는데, 이는 총 저감비용의 불확실성을 매우 작게 해 준다.

### 2.3 배출권 거래의 균형 분석

③단계와 ④단계의 인센티브 경매가 끝나면 개별 사업장은 경제활동을 통해 배출량을 결정하게 되며, 이와 함께 배출권의 거래가 발생한다. 벌칙을 피하기 위해서 개별 사업장은 할당된 배출권보다 배출량을 낮은 수준으로 유지하거나 그렇지 못할 경우 타 사업장으로부터 배출권을 구입하여야 한다. 따라서 개별 사업장의 배출량에 대한 의사결정은 배출권의 시장가격을 토대로 이루어진다. 즉, 배출량을 줄이기 위한 한계비용이 배출권의 시장가격보다 낮다면 배출량을 더 줄이고 남은 잉여배출권을 판매함으로써 이익을 높일 수 있다.

이러한 ⑤단계의 문제에서 개별 사업장의 의사결정변수는 저감량( $r_i$ )과 배출권 판매량(저감량 - 저감 할당량)이며 다음과 같은 목적함수를 갖게 된다. 단, 시장이 완전경쟁적이고 각 사업장은 가격수용자(price-taker)라 가정한다. 저감 할당량은 인센티브 경매 메카니즘 하에서의 균형 저감목표량( $r_i^*$ )이 되며,  $p$ 는 배출권의 시장가격이다.

- 사업장  $i$ 의 비용최소화 문제

$$\text{Min}_{r_i} \{C_i(r_i) - p \cdot (r_i - r_i^*)\}$$

배출권 거래의 시장균형  $\{\{r_i^{**}\}_i, p^{**}\}$ 은 위 문제의 1계조건으로 구성되며 다음과 같다.

$$C'_i(r_i^{**}) = p^{**}, \forall i$$

$$\sum_i r_i^{**} = \sum_i r_i^*$$

첫 번째 조건은 개별 사업장의 한계저감비용이 배출권의 균형 시작가격과 같아야 된다는 것으로 한계비용균등화원칙을 나타낸다. 두 번째 조건은 균형상태에서 개별 사업장의 저감량의 합이 저감허용량의 합과 일치한다는 수요공급일치조건이다.

### 3. 시뮬레이션 분석

본 장에서는 앞에서 제시한 인센티브 경매 메카니즘과 배출권 거래제도의 경제적 효과를 보다 구체적으로 살펴보기 위해 시뮬레이션 분석결과를 제시하도록 한다. 앞에서 수리모형을 통해 분석한 인센티브 경매 메카니즘과 배출권 거래제도의 경제적 특성을 보다 현실적인 데이터를 통해 구체적으로 분석함으로써 현실적용에 대한 시사점을 도출하고자 한다.

시뮬레이션 분석은 가상적인 비용함수를 갖는 가상적인 사업장들에 대하여 본 연구에서 제시하고 있는 인센티브 경매 메카니즘과 배출권 거래제도를 시행할 경우 어떤 결과가 초래될 것인가를 살펴보는 것이다. 이는 비록 가상적인 상황에 대한 분석이나, 데이터의 현실성에 따라서는 현실적용에 따른 파급효과를 근사하게 예측할 수 있다. 아래에서는 분석대상 및 기초자료를 설명하고, 단순한 배출권 거래제도를 시행할 경우에 대하여 거래비용을 고려할 때와 그렇지 않을 때로 나누어 분석한 후, 인센티브 경매 메카니즘과 배출권 거래제도를 함께 시행할 경우의 경제적 효과에 대하여 알아보도록 한다.

#### 3.1 분석 대상 및 기초자료

시뮬레이션 분석은 현실적 개연성이 높은 가상적 상황에 대한 분석을 통해 현실 적용시의 결과를 예측함으로써 정책수단의 파급효과를 분석하는 것이다. 따라서 가상적 상황자체가 현실을 잘 반영할수록 예측효과가 높아지고, 이에 기초한 정책수단의 적용여부에 대한 판단이 정확해 질 수 있다.

본 연구에서 제시하고 있는 메카니즘은 산업부문의 최종 에너지소비업체를 대상으로 한다. 따라서 이상적으로는 모든 에너지소비업체의 현실을 그대로 반영하는 자료가 필요하다. 하지만 이처럼 방대한 자료를 구한다는 것은 가능하지도 않을 뿐만 아니라 정책수단의 분석에 있어서도 비용효율성이 고려되어야 한다는 점에서

반드시 필요하지도 않다. 따라서 산업부문의 에너지소비업체 전체를 대표할 만한 표본을 선정하여 분석할 필요가 있다.

산업부문의 에너지소비업체에 대한 대표적 표본을 추출하고 이에 대한 경제적 특성자료를 수집하는 것도 많은 시간과 노력이 필요하다. 특히 업체별 저감비용특성에 대한 자료를 수집한다는 것은 현실적으로 설문조사와 같은 초보적인 방법에 의존할 수밖에 없는데, 이러한 초보적 방법도 현장 실무자의 적극적인 협조가 없이는 불가능하다. 본 연구에서는 이러한 애로사항을 고려하여 기존에 수집된 자료를 최대한 이용하는 방법을 모색하였다. 이 과정에서 본 연구의 분석에 가장 적합하다고 판단된 자료는 에너지관리공단에서 보유하고 있는 자발적 협약 신청업체의 저감계획자료이다.

정부(산업자원부·환경부)에서는 1999년부터 연간 3만TOE 이상의 에너지를 사용하는 에너지다소비 사업장을 대상으로 자발적 협약의 체결을 통해 에너지 또는 이산화탄소 배출원단위 저감을 유도하고 있다. 자발적 협약 체결업체는 우선 연리 5.5%의 에너지이용합리화 자금을 지원받을 수 있고 환경분야의 연료사용규제를 완화받을 수 있다.

에너지관리공단(2000)에 따르면 1999년도 이행실적 보고대상인 46개 사업장의 경우 1999년 총 798건의 개선항목에 2,693억원을 투자하여 775,431TOE를 절감, 계획 절감량의 97%를 달성하였으며, 560,968tC의 이산화탄소 배출량 감축효과를 거두었고 11건의 이산화탄소 발생공정을 별도로 개선하여 7,764tC를 저감하여 1997년 배출량 27,885천tC의 2.0%를 감축하여 당초계획을 우수하게 추진하고 있는 것으로 파악되고 있다.

본 연구에서는 1999년에 자발적 협약 실행계획서를 제출한 사업장 중 자료가 취득가능하였던 35개 사업장의 실행계획서상의 자료를 기초로 분석을 진행하도록 한다. 분석대상 35개 사업장의 이산화탄소 배출량은 1998년 기준으로 255만tC로 산업부문 총 배출량의 6.6%를 차지하고 있다. 아래에서는 35개 대상 사업장이 제출했던 실행계획서상의 투자계획에 나타나 있는 저감대안별 투자비 및 연료 절감액, 이산화탄소 저감예상량 등의 자료를 이용하여 투자비용특성을 추출하여 분석을 진행하도록 한다.

이와 같은 분석은 개별업체의 투자계획이 현재 시점에서의 비용특성을 잘 반영한다는 전제하에서 현실적용시 초래되는 경제적 과급효과를 효과적으로 예측하는데 유용하다고 판단된다. 하지만 사업장이 제출했던 실행계획서의 내용에 오차가 있을 수 있고, 저감대안별 지속기간(lifetime) 자료의 누락에 따른 비용추정의 오류

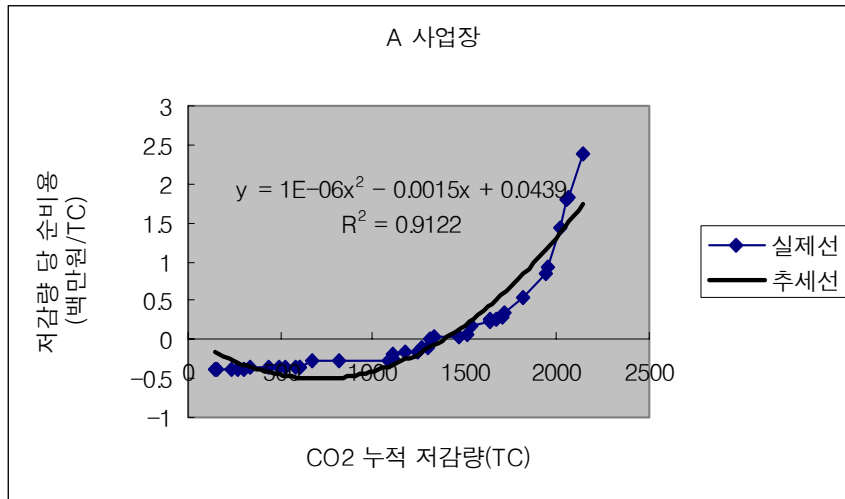
&lt;표 VI-2&gt; 분석대상 사업장 현황

| 사업장<br>일련번호 | 98에너지<br>사용량(toe) | 98년<br>CO <sub>2</sub> 배출량<br>(tC) | 5년간<br>절감량<br>(toe) | 5년간<br>CO <sub>2</sub> 저감량<br>(tC) | 5년간<br>투자비<br>(백만원) | 5년간절감액<br>(백만원) |
|-------------|-------------------|------------------------------------|---------------------|------------------------------------|---------------------|-----------------|
| 1           | 37,961            | 9,221                              | 4,006               | 5,151                              | 3,149               | 1,667           |
| 2           | 87,612            | 49,847                             | 55,791              | 11,246                             | 11,144              | 4,506           |
| 3           | 6,131             | 4,445                              | 7,372               | 4,086                              | 200                 | 4               |
| 4           | 56,982            | 28,537                             | 20,820              | 6,398                              | 1,736               | 2,766           |
| 5           | 68,533            | 47,343                             | 9,610               | 5,466                              | 1,473               | 1,207           |
| 6           | 590,718           | 532,304                            | 81,305              | 61,262                             | 4,445               | 5,154           |
| 7           | 291,634           | 266,095                            | 56,986              | 74,568                             | 21,760              | 4,743           |
| 8           | 709,805           | 377,414                            | 224,342             | 128,593                            | 18,700              | 57,578          |
| 9           | 58,074            | 35,586                             | 7,815               | 2,141                              | 972                 | 774             |
| 10          | 83,708            | 55,031                             | 183,599             | 28,408                             | 44,217              | 10,024          |
| 11          | 7,893             | 4,907                              | 5,343               | 2,413                              | 13,530              | 807             |
| 12          | 3,975             | 2,164                              | 3,855               | 978                                | 12,650              | 622             |
| 13          | 6,689             | 4,306                              | 5,895               | 3,373                              | 16,080              | 1,233           |
| 14          | 177,511           | 114,608                            | 54,524              | 32,405                             | 13,971              | 5,683           |
| 15          | 86,096            | 45,329                             | 18,550              | 5,929                              | 1,845               | 2,953           |
| 16          | 20,310            | 11,764                             | 12,635              | 3,438                              | 2,151               | 1,003           |
| 17          | 157,480           | 93,248                             | 53,308              | 13,013                             | 6,383               | 4,522           |
| 18          | 95,505            | 53,879                             | 21,270              | 7,787                              | 1,954               | 1,500           |
| 19          | 143,889           | 108,418                            | 14,041              | 6,140                              | 432                 | 1,507           |
| 20          | 56,538            | 39,051                             | 11,290              | 6,805                              | 2,275               | 2,299           |
| 21          | 41,495            | 32,220                             | 16,005              | 12,501                             | 29,049              | 3,947           |
| 22          | 18,167            | 4,314                              | 3,983               | 6,769                              | 1,140               | 1,363           |
| 23          | n.a.              | n.a.                               | 3,068               | 1,823                              | 0                   | 667             |
| 24          | 143,934           | 60,660                             | 19,373              | 8,844                              | 5,130               | 3,502           |
| 25          | 43,469            | 25,403                             | 14,877              | 6,881                              | 2,665               | 2,150           |
| 26          | 46,628            | 26,927                             | 11,953              | 10,398                             | 7,893               | 2,734           |
| 27          | 247,582           | 177,370                            | 41,153              | 17,251                             | 5,531               | 5,724           |
| 28          | 401,881           | n.a.                               | 170,526             | 56,448                             | 11,923              | 13,138          |
| 29          | 84,505            | 50,301                             | 23,905              | 8,376                              | 13,075              | 2,180           |
| 30          | 28,536            | 15,042                             | 5,159               | 1,874                              | 1,080               | 875             |
| 31          | 251,750           | 137,401                            | 80,495              | 13,551                             | 13,640              | 5,991           |
| 32          | 35,934            | 19,349                             | 12,501              | 2,294                              | 805                 | 949             |
| 33          | 80,442            | 36,923                             | 131,332             | 46,353                             | 26,622              | 13,658          |
| 34          | 98,868            | 53,803                             | 15,709              | 6,341                              | 3,669               | 2,983           |
| 35          | 46,931            | 25,235                             | 7,037               | 2,533                              | 716                 | 1,201           |
| 합계          | 4,317,168         | 2,548,443                          | 1,409,432           | 611,837                            | 302,005             | 171,613         |

자료원: 에너지 관리공단(1999)

가능성이 있어 해석에 주의를 요한다. 또한 시뮬레이션 분석에 일반적으로 적용되는 주의사항의 하나로서 분석결과 중 수치의 절대 수준에 큰 의미를 두기보다는 시나리오에 따른 민감도(sensitivity)에 보다 큰 의미를 두어야 한다는 점을 강조하고 싶다.

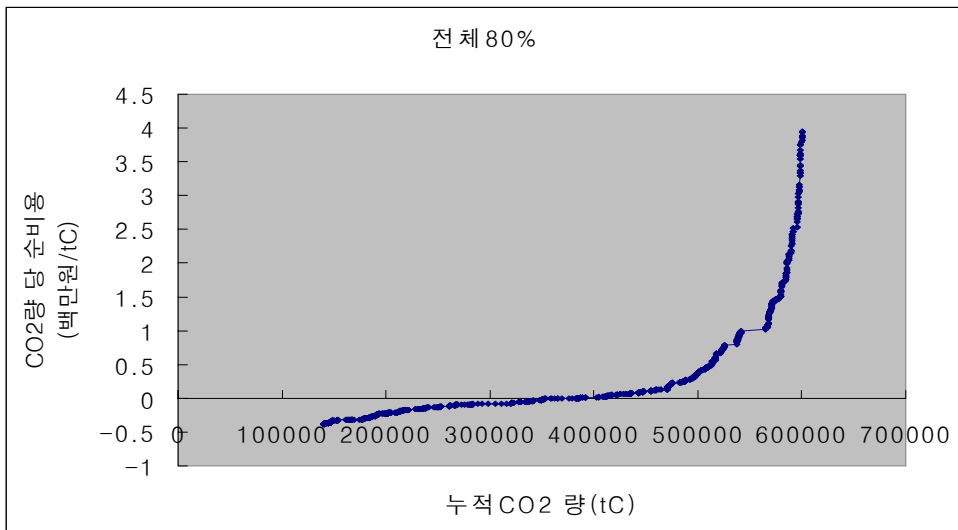
각 사업장의 저감대안에 따른 이산화탄소 한계(단위당)저감비용을 낮은 값부터 순서대로 정리하면 다음의 <표 VI-3>과 같은 결과를 얻는다. 또한 한계저비용을 누적 저감량에 대하여 그림으로 나타내면 다음의 [그림 VI-3]와 같이 한계비용함수를 얻을 수 있다. 원자료에 근거한 한계비용함수는 저감대안별 비용의 경향을 나타내는 단계함수(stepwise function)의 형태를 띠는데, 회귀분석을 통해 가장 근접한 연속함수로 추정하면 그림VI-3과 같은 결과를 얻을 수 있다. 원자료에 근거한 단계함수가 실제 비용특성을 보다 충실하게 반영하게 되지만 복잡한 균형분석을 위해서는 연속함수의 형태가 분석에 용이하다. 그림에서 보듯이 단계함수와 이를 통해 추정한 연속함수간에 큰 차이를 나타내지 않으므로 연속함수를 이용한 분석에 따른 오류는 크지 않은 것으로 판단된다.



[그림 VI-2] A사업장 CO<sub>2</sub> 누적 저감량에 대한 한계비용 및 추세선

<표 VI-3> 저감 대안별 소요 비용(예: A 사업장)

| 절약 대책<br>일련번호 | 절감량<br>(TOE) | 절감액<br>(백만원) | CO <sub>2</sub> 저감량<br>(tC) | 투자비<br>(백만원) | 1차년도<br>순비용 | 누적CO <sub>2</sub><br>저감량 | CO <sub>2</sub><br>저감단위당<br>순비용 |
|---------------|--------------|--------------|-----------------------------|--------------|-------------|--------------------------|---------------------------------|
| 1             | 276.6        | 55.3         | 145.9                       | 0.0          | -55.3       | 145.9                    | -0.379                          |
| 2             | 17.9         | 3.6          | 9.5                         | 0.0          | -3.6        | 155.4                    | -0.379                          |
| 3             | 157.8        | 31.5         | 83.2                        | 0.0          | -31.5       | 238.6                    | -0.379                          |
| 4             | 52.2         | 10.4         | 27.5                        | 0.0          | -10.4       | 266.1                    | -0.378                          |
| 5             | 72.8         | 14.5         | 38.4                        | 0.0          | -14.5       | 304.5                    | -0.378                          |
| 6             | 52.3         | 12.0         | 33.3                        | 0.0          | -12.0       | 337.8                    | -0.360                          |
| 7             | 151.5        | 34.7         | 96.5                        | 0.0          | -34.7       | 434.3                    | -0.360                          |
| 8             | 88.6         | 20.3         | 56.5                        | 0.0          | -20.3       | 490.8                    | -0.359                          |
| 9             | 61.3         | 14.0         | 39.0                        | 0.0          | -14.0       | 529.8                    | -0.359                          |
| ...           | ...          | ...          | ...                         | ...          | ...         | ...                      | ...                             |
| 31            | 21.9         | 1.1          | 11.6                        | 5.0          | 3.9         | 1,720.1                  | 0.336                           |
| 32            | 150.8        | 37.4         | 96.1                        | 88.0         | 50.6        | 1,816.2                  | 0.527                           |
| 33            | 196.7        | 45.1         | 125.3                       | 150.0        | 104.9       | 1,941.5                  | 0.837                           |
| 34            | 12.2         | 2.8          | 7.8                         | 10.0         | 7.2         | 1,949.3                  | 0.923                           |
| 35            | 125.1        | 25.0         | 66.0                        | 120.0        | 95.0        | 2,015.3                  | 1.439                           |
| 36            | 58.3         | 13.3         | 37.1                        | 80.0         | 66.7        | 2,052.4                  | 1.798                           |
| 37            | 14.4         | 3.3          | 9.2                         | 20.0         | 16.7        | 2,061.6                  | 1.815                           |
| 38            | 150.4        | 31.3         | 79.4                        | 220.0        | 188.7       | 2,141.0                  | 2.377                           |
| 합계            | 3,557.4      | 774.2        | 2,141.0                     | 972.0        | 197.8       | 2,141.0                  |                                 |



[그림 VI-3] CO<sub>2</sub> 누적 저감량에 대한 한계비용  
(상하위 10% 데이터 제외시)

### 3.2 배출권 거래의 균형분석(단계함수 이용)

본 연구에서는 먼저 실행계획서상의 저감대안에 따른 한계비용 단계함수를 통하여 배출권 거래의 시행시 비용절감효과를 분석하도록 한다. 이 때 개별 사업장의 삭감목표는 실행계획서상의 계획목표 대비 80%로 가정한다. 100%가 아닌 80%를 가정한 이유는 배출권의 거래시 추가감축의 유인이 있는 사업장이 있더라도 계획목표를 초과하는 저감대안에 대한 비용자료의 부재로 분석이 곤란하기 때문이다. 이는 비록 실행계획보다 완화된 목표를 가정하는 분석이지만 배출권 거래의 경제적 효과를 예상하는데 충분한 시사점을 줄 수 있을 것으로 판단된다. 한편, 회귀분석에 의한 연속함수를 활용할 경우 100% 혹은 그 이상의 목표를 가정한 분석이 가능한데 이는 다음 소절에서 살펴본다.

분석결과에 따르면 5년간 약 5만3천톤의 거래를 통해 개별 목표달성 대비 약 797억원의 비용절감이 가능한 것으로 추정된다. 이러한 비용절감액은 실행계획상의 총 투자비 2,648억원의 29.5%에 달하는 것으로 매우 높은 수치이다. 균형 시장가격은 270,875원/tC로 예측되며 총 거래금액은 약 143억원으로 추정된다. 균형 시장가격은 약 US\$200 수준으로 매우 높게 나타나고 있는데, 이는 사업장이 제출한 계획상의 저감비용이 과대 평가되었을 가능성과 데이터의 부족으로 저감비용이 과대계산 되었을 가능성이 복합적으로 영향을 미친 것으로 해석된다. 배출권 거래의 결과 삭감목표량의 약 10.8%가 거래를 통해 달성되었다.

### 3.3 배출권 거래의 균형분석(연속함수 이용)

앞에서 설명한 바와 같이 회귀분석을 통해 추정되는 연속함수를 이용하면 보다 풍부한 시나리오 분석이 가능하다. 본 연구에서는 다음과 같은 이차식으로 연속함수를 추정하였다.

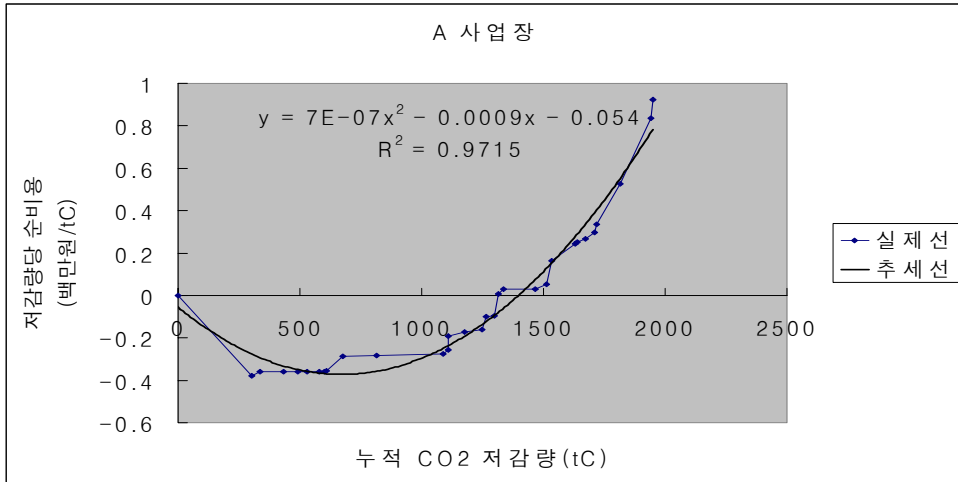
$$Y = aX^2 + bX + c$$

여기서 Y는 저감량 당 순저감비용(net reduction cost)를 나타내며 X는 이산화탄소 누적 저감량을 나타낸다. 이차함수로 추정한 이유는 대부분의 사업상 있어서 이차함수가 상당히 근사한 상관계수를 나타내기 때문이다. 또한 원자료의 상하위 10%에 해당하는 자료를 제외하고 추정할 경우 훨씬 높은 상관계수를 나타내는데, 이는 상하위 10%에 해당하는 자료가 특이하게 높거나 낮은 이상현상을 나타내는

&lt;표 VI-4&gt; 계획대비 80%의 삭감목표 설정시 시장균형 예측

| 사업<br>장 | 삭감 목표<br>(계획대비<br>80%) | 거래 부재시<br>목표 달성<br>저감비용(A) | 판매량       | 거래수익<br>(B) | 거래후<br>저감비용<br>(C) | 거래제하의<br>총비용<br>(D=C-B) | 거래에<br>따른 이익<br>(D-A) |
|---------|------------------------|----------------------------|-----------|-------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|
| 1       | 4,120.8                | 576.4                      | -2,076.2  | -562.4      | -413.6             | 148.8                   | 427.6                 |
| 2       | 8,997.1                | 6,730.8                    | -3,246.5  | -909.0      | -977.0             | -68.0                   | 6,798.8               |
| 3       | 3,268.8                | 3,861.8                    | -2,943.2  | -827.8      | 76.0               | 865.5                   | 2,996.3               |
| 4       | 5,118.3                | -1,723.0                   | 440.4     | 125.1       | -1,665.8           | -1,792.8                | 69.8                  |
| 5       | 4,372.7                | 147.5                      | 1,038.6   | 295.2       | 256.0              | -33.0                   | 180.6                 |
| 6       | 49,009.6               | -2,575.2                   | 11,591.0  | 3,311.7     | -1,599.0           | -4,746.4                | 2,171.3               |
| 7       | 59,654.4               | 83.0                       | -998.8    | -289.5      | -201.0             | 61.9                    | 21.2                  |
| 8       | 102,874.4              | -46,149.8                  | 24,354.2  | 7,220.9     | -57,069.0          | -63,673.7               | 17,523.8              |
| 9       | 1,712.8                | -334.5                     | -69.8     | -20.9       | -346.9             | -335.7                  | 1.2                   |
| 10      | 22,726.4               | 18,390.2                   | -19,400.8 | -6,002.9    | -786.0             | 4,461.5                 | 13,928.6              |
| 11      | 1,930.4                | 4,506.5                    | -1,958.8  | -610.8      | 0.0                | 522.9                   | 3,983.6               |
| 12      | 782.4                  | 4,429.0                    | 754.0     | 235.1       | 0.0                | 211.9                   | 4,217.1               |
| 13      | 2,698.4                | 3,573.9                    | -1,405.8  | -438.5      | 68.0               | 441.1                   | 3,132.8               |
| 14      | 25,924.0               | 2,000.6                    | -4,948.4  | -1,551.9    | -285.1             | 1,047.6                 | 953.0                 |
| 15      | 4,743.2                | -1,802.4                   | -655.2    | -206.2      | -1,717.0           | -1,886.8                | 84.4                  |
| 16      | 2,750.4                | 140.1                      | -767.8    | -242.8      | -213.0             | -12.7                   | 152.8                 |
| 17      | 10,410.4               | -2,163.2                   | 343.2     | 109.2       | -2,096.0           | -2,196.7                | 33.4                  |
| 18      | 6,229.6                | -463.2                     | 820.0     | 262.7       | -325.0             | -554.8                  | 91.6                  |
| 19      | 4,912.0                | -1,004.3                   | 1,199.6   | 385.2       | -1,075.0           | -1,407.6                | 403.3                 |
| 20      | 5,444.3                | -1,863.8                   | 995.7     | 334.8       | -2,065.8           | -2,343.2                | 479.4                 |
| 21      | 10,000.8               | 14,867.6                   | -5,462.2  | -1,841.2    | -527.0             | 944.9                   | 13,922.7              |
| 22      | 5,415.2                | -229.2                     | 1,325.4   | 448.8       | -223.0             | -589.7                  | 360.5                 |
| 23      | 1,458.4                | -535.2                     | 336.2     | 114.1       | -667.0             | -765.8                  | 230.5                 |
| 24      | 7,075.2                | -2,113.8                   | -78.6     | -26.7       | -2,186.0           | -2,172.4                | 58.6                  |
| 25      | 5,504.8                | -1,187.7                   | -211.2    | -72.9       | -1,242.0           | -1,192.5                | 4.8                   |
| 26      | 8,318.4                | 537.3                      | -1,167.8  | -411.4      | 155.0              | 463.6                   | 73.6                  |
| 27      | 13,800.5               | -1,503.4                   | -28.4     | -10.1       | -1,503.4           | -1,503.4                | 0.0                   |
| 28      | 45,158.4               | -4,034.1                   | 9,305.2   | 3,318.1     | -2,028.0           | -4,556.2                | 522.2                 |
| 29      | 6,700.6                | 6,509.6                    | -4,273.9  | -1,529.4    | 4.6                | 1,154.6                 | 5,355.0               |
| 30      | 1,499.2                | -164.3                     | 132.4     | 47.4        | -167.1             | -210.7                  | 46.4                  |
| 31      | 10,840.8               | 656.1                      | -1,661.2  | -601.0      | -1,094.0           | -651.7                  | 1,307.8               |
| 32      | 1,835.2                | -679.6                     | -150.6    | -54.7       | -715.0             | -681.9                  | 2.3                   |
| 33      | 37,082.6               | -7,310.8                   | -624.7    | -236.0      | -7,579.4           | -7,417.9                | 107.1                 |
| 34      | 5,072.8                | -220.8                     | -740.2    | -280.1      | -421.0             | -228.2                  | 7.4                   |
| 35      | 2,026.0                | -701.9                     | 233.6     | 88.6        | -658.4             | -729.4                  | 27.5                  |
| 합계      | 489,469.3              | -9,749.6                   | 0.0       | 0.0         | -89,426.6          | -89,426.6               | 79,677.0              |

주) 비용(금액)의 단위는 백만원, 판매량의 단위는 탄소-톤임.



[그림 VI-4] A사업장 CO<sub>2</sub> 누적 저감량에 대한 한계비용 및 추세선  
(상하위 10% 데이터 제외시)

경우가 많기 때문인 것으로 해석된다. 아래에서는 상하위 10%에 해당하는 자료를 제외하고 추정된 함수를 이용하도록 한다. 이처럼 한계비용함수가 이차식일 경우 총저감비용은 한계비용함수의 최소점을 변곡점으로 하는 3차식의 형태를 띠게 된다.

사업장별 비용함수에 대한 회귀분석결과는 다음의 표VI-5에 나타나있다. 6개 사업장을 제외한 29개 사업장에 있어서 상관계수( $R^2$ )가 0.6 이상으로 나타났으며, 14개 사업장이 0.8 이상을 나타내고 있어 매우 높은 상관관계를 나타낸다. 상관계수가 0.6 이하인 사업장은 추정된 연속함수를 이용한 분석에 심각한 오차를 초래할 수 있으므로 앞으로의 분석에서 제외하도록 한다. 한편 2개 사업장의 경우 X절편이 허수로 나타났는데, 이는 매우 낮은 비용으로 이산화탄소를 저감하는 수단이 없음을 나타내는 것으로 저비용 저감수단에 대한 자료가 누락된 것으로 해석되며, 분석방법상 다루기 곤란하므로 앞으로의 분석에서 제외하도록 한다. 남은 27개 사업장을 대상으로 총 한계 저감비용함수를 추정한 식은 다음과 같다.

$$Y = 1.0 \cdot 10^{-11} \cdot X^2 - 2.0 \cdot 10^{-06} \cdot X - 0.269$$

&lt;표 VI-5&gt; 각 사업장에 대한 함수 추정결과

| 사업<br>장 | R <sup>2</sup> | a                               | b                                | c                             | x-절편   | 저감목표량(계<br>획대비80%) |
|---------|----------------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|--------|--------------------|
| 1       | 0.836          | $1.97 \times 10^{-8}$ (0.815)   | $1.21 \times 10^{-4}$ (0.916)    | -0.286(-2.398)                | 2,032  | 4,121              |
| 2       | 0.888          | $3.45 \times 10^{-8}$ (4.295)   | $-1.15 \times 10^{-4}$ (-1.431)  | -0.215(-1.236)                | 4,819  | 8,997              |
| 3       | 0.744          | $7.65 \times 10^{-7}$ (3.646)   | $-1.82 \times 10^{-3}$ (-1.746)  | 1.476(1.330)                  | -      | 3,269              |
| 4       | 0.731          | $9.98 \times 10^{-8}$ (6.173)   | $-5.17 \times 10^{-4}$ (-4.051)  | 0.153(0.589)                  | 4,672  | 5,118              |
| 5       | 0.711          | $1.25 \times 10^{-8}$ (3.929)   | $4.810 \times 10^{-5}$ (-2.297)  | 0.0548(1.855)                 | -      | 4,373              |
| 6       | 0.651          | $2.30 \times 10^{-10}$ (2.956)  | $-9.86 \times 10^{-6}$ (-1.904)  | $9.27 \times 10^{-4}$ (0.013) | 49,910 | 49,010             |
| 7       | 0.813          | $1.03 \times 10^{-9}$ (7.191)   | $-5.94 \times 10^{-5}$ (-4.889)  | 0.552(2.630)                  | 48,660 | 59,654             |
| 8       | 0.386          | $1.56 \times 10^{-9}$ (1.09)    | $-1.48 \times 10^{-4}$ (-0.725)  | 0.796(0.132)                  | 40,071 | 102,874            |
| 9       | 0.971          | $7.07 \times 10^{-7}$ (16.971)  | $-9.49 \times 10^{-4}$ (-10.578) | -0.054(-1.276)                | 1,343  | 1,713              |
| 10      | 0.620          | $-1.45 \times 10^{-9}$ (-0.157) | $1.74 \times 10^{-4}$ (0.619)    | -0.387(-0.499)                | 6,619  | 22,726             |
| 11      | 0.742          | $9.57 \times 10^{-6}$ (5.377)   | $-1.69 \times 10^{-2}$ (-3.194)  | 7.024(1.872)                  | 953    | 1,930              |
| 12      | 0.826          | $1.17 \times 10^{-4}$ (4.145)   | $-6.61 \times 10^{-2}$ (-2.053)  | 6.857(0.786)                  | 533    | 782                |
| 13      | 0.918          | $2.32 \times 10^{-6}$ (8.997)   | $-4.09 \times 10^{-3}$ (-5.122)  | 0.890(1.466)                  | 1,804  | 2,698              |
| 14      | 0.950          | $1.10 \times 10^{-9}$ (6.909)   | $5.66 \times 10^{-6}$ (1.204)    | -0.268(-11.456)               | 13,649 | 25,924             |
| 15      | 0.920          | $6.92 \times 10^{-8}$ (11.804)  | $-2.62 \times 10^{-4}$ (-7.491)  | -0.281(-6.236)                | 5,076  | 4,743              |
| 16      | 0.912          | $1.39 \times 10^{-7}$ (4.136)   | $-4.80 \times 10^{-5}$ (-0.425)  | -0.232(-3.124)                | 1,793  | 2,750              |
| 17      | 0.675          | $4.92 \times 10^{-8}$ (6.440)   | $-5.67 \times 10^{-4}$ (-4.973)  | 1.042(2.900)                  | 9,892  | 10,410             |
| 18      | 0.707          | $4.25 \times 10^{-8}$ (5.246)   | $-3.00 \times 10^{-4}$ (-3.229)  | 0.178(0.900)                  | 6,850  | 6,230              |
| 19      | 0.346          | $8.08 \times 10^{-9}$ (-1.23)   | $2.00 \times 10^{-5}$ (-0.582)   | -0.185(-3.86)                 | 6,219  | 4,912              |
| 20      | 0.469          | $-4.00 \times 10^{-8}$ (-1.509) | $3.69 \times 10^{-4}$ (2.247)    | -0.995(-7.12)                 | 5,364  | 5,444              |
| 21      | 0.947          | $8.66 \times 10^{-8}$ (8.468)   | $-3.00 \times 10^{-4}$ (-4.54)   | -0.0083(-0.065)               | 3,361  | 10,001             |
| 22      | 0.579          | $2.22 \times 10^{-8}$ (1.008)   | $-1.00 \times 10^{-4}$ (-0.839)  | -0.0105(-0.113)               | 5,103  | 5,415              |
| 23      | 0.628          | $2.48 \times 10^{-7}$ (1.88)    | $-6.00 \times 10^{-4}$ (2.247)   | -0.1145(-1.34)                | 3,180  | 1,458              |
| 24      | 0.591          | $4.87 \times 10^{-8}$ (0.546)   | $-9.00 \times 10^{-5}$ (-0.122)  | -0.9929(-1.43)                | 5,446  | 7,075              |
| 25      | 0.953          | $7.13 \times 10^{-8}$ (14.254)  | $-3.00 \times 10^{-4}$ (-8.04)   | -0.126(-2.46)                 | 4,671  | 5,505              |
| 26      | 0.422          | $3.18 \times 10^{-7}$ (3.612)   | $-2.90 \times 10^{-3}$ (-2.65)   | 3.801(1.42)                   | 8,103  | 8,318              |
| 27      | 0.675          | $1.62 \times 10^{-8}$ (5.968)   | $-2.00 \times 10^{-4}$ (-3.136)  | -0.125(-0.607)                | 10,589 | 13,800             |
| 28      | 0.607          | $4.80 \times 10^{-10}$ (3.847)  | $-2.00 \times 10^{-5}$ (-2.165)  | -0.0326(-0.277)               | 41,569 | 45,158             |
| 29      | 0.842          | $1.50 \times 10^{-7}$ (5.987)   | $-4.00 \times 10^{-4}$ (-2.881)  | 0.296(1.438)                  | 3,021  | 6,701              |
| 30      | 0.698          | $2.55 \times 10^{-6}$ (2.995)   | $-3.90 \times 10^{-3}$ (-2.279)  | 0.471(0.839)                  | 1,165  | 1,499              |
| 31      | 0.739          | $4.19 \times 10^{-8}$ (4.992)   | $-4.00 \times 10^{-4}$ (-2.691)  | 0.282(0.559)                  | 9,237  | 10,841             |
| 32      | 0.794          | $5.81 \times 10^{-7}$ (4.227)   | $-9.00 \times 10^{-4}$ (-5.91)   | -0.250(-4.227)                | 1,740  | 1,835              |
| 33      | 0.872          | $1.69 \times 10^{-9}$ (9.403)   | $-4.00 \times 10^{-5}$ (-5.81)   | -0.188(-2.91)                 | 23,919 | 37,083             |
| 34      | 0.840          | $3.30 \times 10^{-8}$ (2.68)    | $-7.00 \times 10^{-5}$ (-0.935)  | -0.178(-1.737)                | 3,866  | 5,073              |
| 35      | 0.745          | $5.91 \times 10^{-7}$ (4.216)   | $-1.20 \times 10^{-3}$ (-2.904)  | 0.146(0.530)                  | 1,870  | 2,026              |
| 전체      |                | $2.60 \times 10^{-11}$ (34.54)  | $-1.00 \times 10^{-5}$ (-25.00)  | 1.556(17.01)                  |        | 489,469            |

주) ()값은 t-값임

연속함수를 이용한 균형분석을 위해서 다음과 같이 삭감목표치에 대해 3가지의 시나리오를 가정하도록 한다.

- 시나리오 1: 삭감목표치를 계획대비 80%로 설정
- 시나리오 2: 삭감목표치를 계획대비 100%로 설정
- 시나리오 3: 삭감목표치를 계획대비 120%로 설정

시나리오 1(계획대비 80%)에 대한 분석결과 42천tC의 거래가 발생하여 개별 목표달성 대비 460억원의 비용절감효과가 발생할 것으로 예측되었다. 또한 배출권의 시장균형가격은 373,190원이며 거래금액은 158억원 규모로 추정되었다. 이는 단계함수를 이용한 앞의 분석과 다소 차이를 나타내는 것인데, 분석대상에서 일부 사업장을 제외하고 함수의 추정에 따른 오차에 따른 것으로 해석된다.

분석결과 시나리오 2(계획대비 100%)의 경우 57천tC의 거래가 발생하여 개별 목표달성 대비 1,065억원의 비용절감효과가 예측되었다. 또한 균형가격은 955,395원이며 거래금액은 541억원 규모로 나타났다. 이는 시나리오 1(계획대비 80%)에 비해 거래량, 거래금액, 균형가격 모두 크게 증가한 것을 보여주는 것이다. 거래량은 20% 이상 늘어났고, 비용절감효과도 경우 2배 이상 증가하였으며, 특히 균형가격에 있어서는 3배 가까이 높아졌다. 이는 보다 강한 저감목표를 이행할 경우 사업장간의 배출권 거래가 보다 큰 폭의 비용절감효과를 가능하게 한다는 점과, 이행을 위한 한계비용이 매우 급격하게 증가함을 시사하는 것이다.

이러한 경향은 시나리오 3(계획대비 120%)의 분석결과를 통해서도 확인된다. 시나리오 3의 경우 74천tC의 거래가 발생하여 개별 목표달성 대비 2,135억원의 비용절감효과를 초래하며, 균형가격은 1,763,610원에 거래금액은 1,261억원 규모에 이른다. 이는 시나리오 2에 비해서도 거래량과 균형가격이 크게 증가한 것이며 거래에 따른 이익도 2배 이상으로 높아진 것이다.

〈표Ⅵ -6〉 시나리오 1의 시장균형 예측 결과

| 사업장 | 삭감 목표<br>(계획대비<br>80%) | 거래 부재시<br>목표 달성<br>저감비용(A) | 판매량       | 거래수익<br>(B) | 거래후<br>저감비용<br>(C) | 거래제하의<br>총저감비용<br>(D=C-B) | 거래에<br>따른 이익<br>(D-A) |
|-----|------------------------|----------------------------|-----------|-------------|--------------------|---------------------------|-----------------------|
| 1   | 4,120.8                | 137.8                      | -359.8    | -134.3      | -13.0              | 121.3                     | 16.5                  |
| 2   | 8,997.1                | 1,303.9                    | -2,600.3  | -970.4      | -801.8             | 168.6                     | 1,135.3               |
| 4   | 5,118.3                | -1,294.6                   | 288.2     | 107.6       | -1,210.4           | -1,318.0                  | 23.3                  |
| 6   | 49,009.6               | -4,117.7                   | 25,854.7  | 9,648.7     | 16.7               | -9,632.0                  | 5,514.3               |
| 7   | 59,654.4               | -3,079.1                   | -2,795.7  | -1,043.3    | -4,339.7           | -3,296.3                  | 217.2                 |
| 9   | 1,712.8                | -240.2                     | -58.2     | -21.7       | -264.4             | -242.6                    | 2.4                   |
| 10  | 22,726.4               | 12,823.0                   | -12,763.3 | -4,763.2    | -1,706.5           | 3,056.6                   | 9,766.4               |
| 11  | 1,930.4                | 6,049.9                    | -864.3    | -322.5      | 1,923.7            | 2,246.2                   | 3,803.6               |
| 12  | 782.4                  | 1,097.8                    | -241.2    | -90.0       | -685.7             | -595.6                    | 1,693.5               |
| 13  | 2,698.4                | 574.5                      | -783.4    | -292.4      | -1,130.9           | -838.5                    | 1,413.1               |
| 14  | 25,924.0               | 870.8                      | -3,421.3  | -1,276.8    | -717.9             | 558.9                     | 311.9                 |
| 15  | 4,743.2                | -2,216.6                   | 1,132.6   | 422.7       | -2,095.2           | -2,517.9                  | 301.3                 |
| 16  | 2,750.4                | -133.4                     | -27.9     | -10.4       | -144.0             | -133.6                    | 0.2                   |
| 17  | 10,410.4               | -2,856.1                   | 345.0     | 128.7       | -2,754.9           | -2,883.7                  | 27.6                  |
| 18  | 6,229.6                | -1,488.9                   | 1,872.7   | 698.9       | -1,313.0           | -2,011.8                  | 523.0                 |
| 21  | 10,000.8               | 14,921.8                   | -5,685.3  | -2,121.7    | -418.2             | 1,703.4                   | 13,218.3              |
| 23  | 1,458.4                | -598.3                     | 2,206.9   | 823.6       | -1,167.3           | -1,990.9                  | 1,392.6               |
| 25  | 5,504.8                | -1,346.8                   | 62.0      | 23.1        | -1,324.6           | -1,347.7                  | 0.9                   |
| 27  | 13,800.5               | -3,245.3                   | -1,736.5  | -648.1      | -4,354.3           | -3,706.3                  | 460.9                 |
| 28  | 45,158.4               | -6,516.5                   | 9,649.4   | 3,601.0     | -4,386.2           | -7,987.3                  | 1,470.7               |
| 29  | 6,700.6                | 3,030.6                    | -2,515.7  | -938.8      | 178.3              | 1,117.1                   | 1,913.5               |
| 30  | 1,499.2                | -307.1                     | -224.8    | -83.9       | -497.0             | -413.1                    | 106.0                 |
| 31  | 10,840.8               | -3,460.2                   | -617.8    | -230.6      | -3,773.7           | -3,543.1                  | 82.9                  |
| 32  | 1,835.2                | -738.9                     | 180.4     | 67.3        | -695.2             | -762.5                    | 23.5                  |
| 33  | 37,082.6               | -460.1                     | -7,580.1  | -2,828.8    | -5,820.4           | -2,991.6                  | 2,531.5               |
| 34  | 5,072.8                | -496.7                     | 535.1     | 199.7       | -333.6             | -533.3                    | 36.6                  |
| 35  | 2,026.0                | -504.2                     | 148.3     | 55.3        | -463.7             | -519.0                    | 14.8                  |
| 합계  | 347,788.3              | 7,709.4                    | 0.0       | 0.0         | -38,292.9          | -38,292.7                 | 46,002.1              |

주) 비용(금액)의 단위는 백만원, 판매량의 단위는 탄소-톤임.

<표 VI-7> 시나리오2의 거래예상

| 사업장 | 삭감 목표<br>(계획대비<br>100%) | 거래 부재시<br>목표 달성<br>저감비용(A) | 판매량       | 거래수익<br>(B) | 거래후<br>저감비용<br>(C) | 거래제하의<br>총저감비용<br>(D=C-A) | 거래에<br>따른 이익<br>(D-B) |
|-----|-------------------------|----------------------------|-----------|-------------|--------------------|---------------------------|-----------------------|
| 1   | 5,151.0                 | 765.6                      | 614.0     | 586.6       | 1,291.4            | 704.9                     | 60.8                  |
| 2   | 11,246.4                | 5,485.9                    | -3,115.9  | -2,976.9    | 323.8              | 3,300.7                   | 2,185.2               |
| 4   | 6,397.9                 | -522.3                     | -120.3    | -115.0      | -642.8             | -527.8                    | 5.5                   |
| 6   | 61,262.0                | -3,382.1                   | 37,205.5  | 35,546.0    | 15,257.8           | -20,288.2                 | 16,906.0              |
| 7   | 74,568.0                | 12,544.0                   | -8,462.7  | -8,085.2    | 1,671.0            | 9,756.2                   | 2,787.8               |
| 9   | 2,141.0                 | 111.6                      | -136.1    | -130.0      | -36.6              | 93.4                      | 18.2                  |
| 10  | 28,408.0                | 26,024.7                   | -13,486.6 | -12,885.0   | 1,573.0            | 14,458.1                  | 11,566.6              |
| 11  | 2,413.0                 | 14,582.0                   | -1,240.7  | -1,185.4    | 1,992.2            | 3,177.6                   | 11,404.4              |
| 12  | 978.0                   | 6,275.2                    | -423.4    | -404.5      | -676.8             | -272.3                    | 6,547.5               |
| 13  | 3,373.0                 | 5,263.6                    | -1,307.3  | -1,249.0    | -1,031.9           | 217.1                     | 5,046.5               |
| 14  | 32,405.0                | 5,801.9                    | -296.7    | -283.4      | 5,515.4            | 5,798.8                   | 3.1                   |
| 15  | 5,929.0                 | -2,074.6                   | 931.0     | 889.5       | -1,452.5           | -2,342.0                  | 267.4                 |
| 16  | 3,438.0                 | 261.8                      | 266.8     | 254.9       | 492.7              | 237.8                     | 24.0                  |
| 17  | 13,013.0                | -508.8                     | -1,160.0  | -1,108.2    | -2,036.8           | -928.6                    | 419.8                 |
| 18  | 7,787.0                 | -1,413.7                   | 1,750.7   | 1,672.6     | -379.2             | -2,051.8                  | 638.0                 |
| 21  | 12,501.0                | 35,062.8                   | -7,162.1  | -6,842.6    | 245.5              | 7,088.1                   | 27,974.7              |
| 23  | 1,823.0                 | -801.8                     | 2,433.7   | 2,325.2     | -781.3             | -3,106.4                  | 2,304.6               |
| 25  | 6,881.0                 | -367.2                     | -261.5    | -249.8      | -638.8             | -389.0                    | 21.8                  |
| 27  | 17,250.6                | 2,312.1                    | -3,361.9  | -3,211.9    | -3,162.4           | 49.5                      | 2,262.5               |
| 28  | 56,448.0                | -3,726.5                   | 12,296.1  | 11,747.7    | 4,646.0            | -7,101.6                  | 3,375.1               |
| 29  | 8,375.8                 | 8,033.3                    | -3,120.7  | -2,981.5    | 868.8              | 3,850.3                   | 4,183.0               |
| 30  | 1,874.0                 | 615.8                      | -459.8    | -439.3      | -405.5             | 33.8                      | 582.0                 |
| 31  | 13,551.0                | 273.7                      | -2,083.0  | -1,990.1    | -2,959.5           | -969.4                    | 1,243.1               |
| 32  | 2,294.0                 | -528.1                     | 59.8      | 57.1        | -474.4             | -531.5                    | 3.4                   |
| 33  | 46,353.2                | 14,733.3                   | -10,440.9 | -9,975.2    | -1,650.2           | 8,325.0                   | 6,408.3               |
| 34  | 6,341.0                 | 15.5                       | 1,081.1   | 1,032.9     | 841.7              | -191.2                    | 206.7                 |
| 35  | 2,532.5                 | -230.4                     | 0.3       | 0.2         | -230.2             | -230.4                    | 0.0                   |
| 합계  | 434,735.4               | 124,607.1                  | 0         | 0           | 18,160.0           | 18,161.0                  | 106,446.1             |

주) 비용(금액)의 단위는 백만원, 판매량의 단위는 탄소-톤임.

&lt;표 VI-8&gt; 시나리오3의 거래예상

| 사업장 | 삭감 목표<br>(계획대비<br>120%) | 거래 부재시<br>목표 달성<br>저감비용(A) | 판매량       | 거래수익<br>(B) | 거래후<br>저감비용<br>(C) | 거래제하의<br>총저감비용<br>(D=C-B) | 거래에<br>따른 이익<br>(D-A) |
|-----|-------------------------|----------------------------|-----------|-------------|--------------------|---------------------------|-----------------------|
| 1   | 6,181.2                 | 1,718.2                    | 1,625.1   | 2,784.8     | 3,987.3            | 1,202.4                   | 515.8                 |
| 2   | 13,495.7                | 12,575.9                   | -3,640.3  | -6,238.1    | 2,600.0            | 8,838.1                   | 3,737.9               |
| 4   | 7,677.5                 | 1,526.4                    | -502.9    | -861.7      | 542.3              | 1,404.0                   | 122.4                 |
| 6   | 73,514.4                | -469.1                     | 47,342.5  | 81,126.6    | 44,762.4           | -36,364.2                 | 35,895.1              |
| 7   | 89,481.6                | 47,992.3                   | -14,074.4 | -24,118.1   | 13,950.2           | 38,068.3                  | 9,924.0               |
| 9   | 2,569.2                 | 847.9                      | -212.2    | -363.6      | 428.2              | 791.7                     | 56.2                  |
| 10  | 34,089.6                | 43,738.2                   | -13,108.8 | -22,463.4   | 9,633.3            | 32,096.7                  | 11,641.5              |
| 11  | 2,895.6                 | 30,418.0                   | -1,622.9  | -2,781.0    | 2,124.6            | 4,905.5                   | 25,512.5              |
| 12  | 1,173.6                 | 16,407.2                   | -602.7    | -1,032.8    | -655.1             | 377.7                     | 16,029.5              |
| 13  | 4,047.6                 | 14,226.8                   | -1,813.4  | -3,107.4    | -808.6             | 2,298.8                   | 11,928.0              |
| 14  | 38,886.0                | 13,707.3                   | 2,732.5   | 4,682.4     | 18,063.3           | 13,380.9                  | 326.3                 |
| 15  | 7,114.8                 | -1,187.3                   | 779.9     | 1,336.4     | -84.7              | -1,421.1                  | 233.8                 |
| 16  | 4,125.6                 | 958.4                      | 542.3     | 929.2       | 1,763.1            | 833.8                     | 124.6                 |
| 17  | 15,615.6                | 6,588.8                    | -2,585.5  | -4,430.6    | -479.6             | 3,951.0                   | 2,637.8               |
| 18  | 9,344.4                 | -555.3                     | 1,648.0   | 2,824.1     | 1,541.7            | -1,282.4                  | 727.1                 |
| 21  | 15,001.2                | 67,394.4                   | -8,653.7  | -14,829.1   | 1,576.1            | 16,405.1                  | 50,989.3              |
| 23  | 2,187.6                 | -988.2                     | 2,687.4   | 4,605.1     | 35.9               | -4,569.2                  | 3,581.0               |
| 25  | 8,257.2                 | 1,868.8                    | -558.1    | -956.3      | 787.2              | 1,743.6                   | 125.2                 |
| 27  | 20,700.7                | 13,702.4                   | -4,887.7  | -8,375.7    | -618.2             | 7,757.5                   | 5,944.9               |
| 28  | 67,737.6                | 3,708.9                    | 14,651.7  | 25,107.2    | 22,643.8           | -2,463.4                  | 6,172.4               |
| 29  | 10,051.0                | 16,614.2                   | -3,787.4  | -6,490.1    | 2,197.5            | 8,687.6                   | 7,926.7               |
| 30  | 2,248.8                 | 2,570.2                    | -684.1    | -1,172.3    | -206.3             | 965.9                     | 1,604.3               |
| 31  | 16,261.2                | 9,032.3                    | -3,464.4  | -5,936.6    | -1,201.8           | 4,734.8                   | 4,297.5               |
| 32  | 2,752.8                 | 72.7                       | -44.3     | -75.9       | -5.4               | 70.4                      | 2.3                   |
| 33  | 55,623.8                | 42,424.2                   | -13,211.6 | -22,639.5   | 6,932.5            | 29,572.0                  | 12,852.2              |
| 34  | 7,609.2                 | 1,027.1                    | 1,582.7   | 2,712.2     | 3,175.8            | 463.6                     | 563.5                 |
| 35  | 3,039.0                 | 515.1                      | -138.2    | -236.8      | 256.0              | 492.8                     | 22.3                  |
| 합계  | 521,682.5               | 346,436.0                  | 0         | 0           | 132,941.8          | 132,941.8                 | 213,494.2             |

주) 비용(금액)의 단위는 백만원, 판매량의 단위는 탄소-톤임.

### 3.4 배출권 거래의 균형분석(거래비용 고려)

배출권 거래를 위해서는 거래상대의 탐색, 중개수수료, 거래의 인허가를 위한 노력, 협상비용 등 여러 가지 부대비용을 필요로 한다. 이러한 비용의 존재는 비용효율적인 거래의 성사를 불가능하게 할 수 있다. 이러한 이유로 배출권 거래제도의 시행에 따른 경제적 이익이 과대평가될 수 있다고 지적되고 있다. 본 소절에서는 거래비용을 고려할 경우 배출권 거래의 경제적 효율성이 얼마나 떨어질 수 있는지를 분석하도록 한다.

거래비용의 발생은 거래비용의 유형에 따라 상이한 특성을 나타낸다. 거래상대의 탐색이나 인허가 비용은 거래 건당 고정적인 특성을 보일 수 있다. 한편 중개수수료나 협상비용은 거래의 규모가 커짐에 따라 비례하여 증가할 수 있다. 따라서 시뮬레이션 분석에 거래비용을 고려하는 방법도 다양하게 설계될 수 있는데, 본 연구에서는 거래비용이 거래량에 비례한다는 가정하에 분석하도록 한다. 거래건별 거래비용의 고려를 위해서는 거래대상의 탐색과정과 거래성사여부에 대한 확률적 모형화를 필요로 하므로 매우 복잡한 분석을 필요로 하는데 이는 후속연구를 통해 분석될 필요가 있다.<sup>71)</sup>

거래비용의 수준에 있어서 본 연구는 거래금액의 20%가 거래비용으로 지출된다고 가정하도록 한다. 또한 이 거래비용은 배출권의 구매자와 판매자가 각각 10% 부담한다고 가정하도록 한다. 구매자와 판매자간 거래비용의 분담비율은 균형에 영향을 미치지 않는다는 점이다. 이와 같은 거래비용하에서는 시장의 균형가격이 균형 판매가격과 균형 구매가격의 두가지로 나타난다. 또한 균형 판매가격은 평균 가격의 90%에 해당하며 균형 구매가격은 평균 가격의 110%에 해당하게 된다.

분석결과 시나리오 1(계획대비 80%)의 경우 균형가격이 377,105원으로 소폭 상승하고 거래에 따른 이익도 42,938백만원으로 다소 줄어드는 것으로 나타났다. 즉, 거래에 따른 비용절감효과는 약 6.7% 감소하며 거래가격은 대동소이하게 예측되는데, 이는 20%에 달하는 거래비용을 고려하였음에도 불구하고 효율성의 저하가 크지 않음을 시사하는 것이다. 하지만 저감목표가 보다 강한 시나리오 2와 3의 경우 효율성의 저하현상은 보다 심화되는 경향이 발견된다. 시나리오 2의 경우 비용절감효과는 15.2% 낮아지는 것으로 나타났다. 하지만 시나리오 3의 경우 비용절감효과의 저하가 11.4%에 그치고 있어 거래비용의 존재가 비용절감효과의 저하에

71) 거래 건당 거래비용의 발생을 고려한 시뮬레이션 분석의 사례연구는 Atkinson 외(1991)를 참조하시오.

미치는 영향이 저감목표의 강화에 따라 체계적으로 증가하는 것은 아님을 나타내고 있다.

<표 VI-9> 거래 비용 포함된 시나리오1의 거래예상

| 사업장 | VA목표<br>대비<br>삭감 목표 | 거래 부재시<br>목표 달성<br>저감비용(A) | 판매량       | 거래수익<br>(B) | 거래후<br>저감비용<br>(C) | 거래제하의<br>총저감비용<br>(D=C-B) | 거래에<br>따른 이익<br>(D-A) |
|-----|---------------------|----------------------------|-----------|-------------|--------------------|---------------------------|-----------------------|
| 1   | 4,120.8             | 137.8                      | -195.8    | -81.2       | 51.6               | 132.9                     | 5.0                   |
| 2   | 8,997.1             | 1,303.9                    | -2,455.9  | -1,018.7    | -744.9             | 273.8                     | 1,030.1               |
| 4   | 5,118.3             | -1,294.6                   | 229.5     | 77.9        | -1,231.3           | -1,309.2                  | 14.6                  |
| 6   | 49,009.6            | -4,117.7                   | 24,130.5  | 8,189.8     | -597.5             | -8,787.2                  | 4,669.5               |
| 7   | 59,654.4            | -3,079.1                   | -2,031.7  | -842.8      | -4,038.7           | -3,195.9                  | 116.8                 |
| 9   | 1,712.8             | -240.2                     | -29.3     | -12.1       | -253.0             | -240.8                    | 0.6                   |
| 10  | 22,726.4            | 12,823.0                   | -12,398.9 | -5,143.2    | -1,562.9           | 3,580.3                   | 9,242.7               |
| 11  | 1,930.4             | 6,049.9                    | -855.0    | -354.7      | 1,927.3            | 2,282.0                   | 3,767.9               |
| 12  | 782.4               | 1,097.8                    | -240.2    | -99.6       | -685.3             | -585.6                    | 1,683.5               |
| 13  | 2,698.4             | 574.5                      | -771.8    | -320.2      | -1,126.3           | -806.1                    | 1,380.7               |
| 14  | 25,924.0            | 870.8                      | -2,617.8  | -1,085.9    | -401.4             | 684.5                     | 186.3                 |
| 15  | 4,743.2             | -2,216.6                   | 1,067.3   | 362.2       | -2,118.5           | -2,480.7                  | 264.1                 |
| 16  | 2,750.4             | -133.4                     | 0.0       | 0.0         | -133.4             | -133.4                    | 0.0                   |
| 17  | 10,410.4            | -2,856.1                   | 273.4     | 92.8        | -2,780.4           | -2,873.2                  | 17.2                  |
| 18  | 6,229.6             | -1,488.9                   | 1,774.5   | 602.3       | -1,347.9           | -1,950.2                  | 461.3                 |
| 21  | 10,000.8            | 14,921.8                   | -5,599.3  | -2,322.7    | -384.4             | 1,938.3                   | 12,983.5              |
| 23  | 1,458.4             | -598.3                     | 2,167.5   | 735.6       | -1,181.3           | -1,916.9                  | 1,318.7               |
| 25  | 5,504.8             | -1,346.8                   | 0.0       | 0.0         | -1,346.8           | -1,346.8                  | 0.0                   |
| 27  | 13,800.5            | -3,245.3                   | -1,590.7  | -659.9      | -4,296.9           | -3,637.0                  | 391.7                 |
| 28  | 45,158.4            | -6,516.5                   | 8,664.5   | 2,940.7     | -4,737.0           | -7,677.7                  | 1,161.2               |
| 29  | 6,700.6             | 3,030.6                    | -2,422.4  | -1,004.9    | 215.0              | 1,219.9                   | 1,810.8               |
| 30  | 1,499.2             | -307.1                     | -213.8    | -88.7       | -492.7             | -404.0                    | 96.9                  |
| 31  | 10,840.8            | -3,460.2                   | -519.1    | -215.3      | -3,734.8           | -3,519.5                  | 59.2                  |
| 32  | 1,835.2             | -738.9                     | 158.0     | 53.6        | -703.2             | -756.8                    | 17.8                  |
| 33  | 37,082.6            | -460.1                     | -7,053.6  | -2,926.0    | -5,613.0           | -2,687.1                  | 2,227.0               |
| 34  | 5,072.8             | -496.7                     | 406.4     | 137.9       | -379.5             | -517.4                    | 20.7                  |
| 35  | 2,026.0             | -504.2                     | 124.1     | 42.1        | -472.3             | -514.4                    | 10.2                  |
| 합계  | 347,788.3           | 7,709.4                    | 0         | -2,941.0    | -38,169.4          | -35,228.4                 | 42,937.9              |

주) 비용(금액)의 단위는 백만원, 판매량의 단위는 탄소-톤임.

<표 VI-10> 거래비용 포함된 시나리오2의 거래예상

| 사업장 | VA목표대비<br>삭감 목표 | 거래 부채시<br>목표 달성<br>저감비용(A) | 판매량       | 거래수익<br>(B) | 거래후<br>저감비용<br>(C) | 거래제하의<br>총저감비용<br>(D=C-B) | 거래에<br>따른 이익<br>(D-A) |
|-----|-----------------|----------------------------|-----------|-------------|--------------------|---------------------------|-----------------------|
| 1   | 5,151.0         | 765.6                      | 220.6     | 182.8       | 940.8              | 758.0                     | 7.6                   |
| 2   | 11,246.4        | 5,485.9                    | -2,658.4  | -3,028.2    | 802.5              | 3,830.7                   | 1,655.3               |
| 4   | 6,397.9         | -522.3                     | 0.0       | 0.0         | -522.3             | -522.3                    | 0.0                   |
| 6   | 61,262.0        | -3,382.1                   | 32,750.6  | 27,132.2    | 11,287.3           | -15,844.9                 | 12,462.7              |
| 7   | 74,568.0        | 12,544.0                   | -6,002.3  | -6,837.3    | 4,245.2            | 11,082.5                  | 1,461.5               |
| 9   | 2,141.0         | 111.6                      | -42.9     | -48.9       | 60.8               | 109.7                     | 1.9                   |
| 10  | 28,408.0        | 26,024.7                   | -11,980.0 | -13,646.6   | 3,150.4            | 16,797.0                  | 9,227.6               |
| 11  | 2,413.0         | 14,582.0                   | -1,213.7  | -1,382.6    | 2,020.4            | 3,403.0                   | 11,179.0              |
| 12  | 978.0           | 6,275.2                    | -419.3    | -477.7      | -672.5             | -194.9                    | 6,470.1               |
| 13  | 3,373.0         | 5,263.6                    | -1,264.0  | -1,439.9    | -986.6             | 453.3                     | 4,810.3               |
| 14  | 32,405.0        | 5,801.9                    | 0.0       | 0.0         | 5,801.9            | 5,801.9                   | 0.0                   |
| 15  | 5,929.0         | -2,074.6                   | 734.7     | 608.7       | -1,627.5           | -2,236.2                  | 161.6                 |
| 16  | 3,438.0         | 261.8                      | 77.9      | 64.5        | 324.3              | 259.8                     | 2.0                   |
| 17  | 13,013.0        | -508.8                     | -854.1    | -972.9      | -1,716.7           | -743.8                    | 235.0                 |
| 18  | 7,787.0         | -1,413.7                   | 1,469.7   | 1,217.6     | -629.6             | -1,847.2                  | 433.5                 |
| 21  | 12,501.0        | 35,062.8                   | -6,893.9  | -7,853.0    | 526.0              | 8,379.0                   | 26,683.8              |
| 23  | 1,823.0         | -801.8                     | 2,316.1   | 1,918.8     | -886.1             | -2,804.9                  | 2,003.1               |
| 25  | 6,881.0         | -367.2                     | 0.0       | 0.0         | -367.2             | -367.2                    | 0.0                   |
| 27  | 17,250.6        | 2,312.1                    | -2,859.3  | -3,257.1    | -2,636.5           | 620.6                     | 1,691.5               |
| 28  | 56,448.0        | -3,726.5                   | 9,618.2   | 7,968.2     | 2,259.2            | -5,709.0                  | 1,982.5               |
| 29  | 8,375.8         | 8,033.3                    | -2,849.7  | -3,246.2    | 1,152.2            | 4,398.4                   | 3,634.9               |
| 30  | 1,874.0         | 615.8                      | -420.8    | -479.3      | -364.6             | 114.7                     | 501.1                 |
| 31  | 13,551.0        | 273.7                      | -1,737.2  | -1,978.9    | -2,597.6           | -618.8                    | 892.4                 |
| 32  | 2,294.0         | -528.1                     | 0.0       | 0.0         | -528.1             | -528.1                    | 0.0                   |
| 33  | 46,353.2        | 14,733.3                   | -8,725.2  | -9,939.0    | 144.9              | 10,083.9                  | 4,649.4               |
| 34  | 6,341.0         | 15.5                       | 733.2     | 607.4       | 531.6              | -75.8                     | 91.3                  |
| 35  | 2,532.5         | -230.4                     | 0.0       | 0.0         | -230.4             | -230.4                    | 0.0                   |
| 합계  | 434,735.4       | 124,607.1                  | 0         | -14,887.3   | 19,481.7           | 34,369.0                  | 90,238.0              |

주) 비용(금액)의 단위는 백만원, 판매량의 단위는 탄소-톤임. 균형가격은 1,035,560원임.

&lt;표 VI-11&gt; 거래비용이 포함된 시나리오3의 거래예상

| 사업장 | VA목표대비<br>삭감 목표 | 거래 부재시<br>목표 달성<br>저감비용(A) | 판매량       | 거래수익<br>(B) | 거래후<br>저감비용<br>(C) | 거래제하의<br>총저감비용<br>(D=C-B) | 거래에<br>따른 이익<br>(D-A) |
|-----|-----------------|----------------------------|-----------|-------------|--------------------|---------------------------|-----------------------|
| 1   | 6,181.2         | 1,718.2                    | 1,295.4   | 2,046.4     | 3,444.4            | 1,397.9                   | 320.3                 |
| 2   | 13,495.7        | 12,575.9                   | -3,209.4  | -6,197.0    | 3,384.9            | 9,581.9                   | 2,994.1               |
| 4   | 7,677.5         | 1,526.4                    | -275.9    | -532.8      | 955.6              | 1,488.4                   | 38.0                  |
| 6   | 73,514.4        | -469.1                     | 43,787.6  | 69,177.1    | 38,910.0           | -30,267.2                 | 29,798.1              |
| 7   | 89,481.6        | 47,992.3                   | -11,741.6 | -22,671.9   | 18,199.1           | 40,871.1                  | 7,121.3               |
| 9   | 2,569.2         | 847.9                      | -123.9    | -239.2      | 588.9              | 828.1                     | 19.8                  |
| 10  | 34,089.6        | 43,738.2                   | -11,444.2 | -22,097.7   | 12,666.1           | 34,763.9                  | 8,974.4               |
| 11  | 2,895.6         | 30,418.0                   | -1,598.2  | -3,086.0    | 2,169.5            | 5,255.5                   | 25,162.5              |
| 12  | 1,173.6         | 16,407.2                   | -598.2    | -1,155.1    | -646.9             | 508.1                     | 15,899.1              |
| 13  | 4,047.6         | 14,226.8                   | -1,769.3  | -3,416.3    | -728.2             | 2,688.0                   | 11,538.7              |
| 14  | 38,886.0        | 13,707.3                   | 1,207.3   | 1,907.3     | 15,552.4           | 13,645.0                  | 62.2                  |
| 15  | 7,114.8         | -1,187.3                   | 611.3     | 965.7       | -362.3             | -1,328.0                  | 140.7                 |
| 16  | 4,125.6         | 958.4                      | 388.2     | 613.3       | 1,509.4            | 896.1                     | 62.3                  |
| 17  | 15,615.6        | 6,588.8                    | -2,282.9  | -4,408.1    | 71.6               | 4,479.7                   | 2,109.1               |
| 18  | 9,344.4         | -555.3                     | 1,413.3   | 2,232.8     | 1,155.3            | -1,077.5                  | 522.3                 |
| 21  | 15,001.2        | 67,394.4                   | -8,402.5  | -16,224.5   | 2,033.5            | 18,258.0                  | 49,136.4              |
| 23  | 2,187.6         | -988.2                     | 2,586.8   | 4,086.7     | -129.7             | -4,216.4                  | 3,228.2               |
| 25  | 8,257.2         | 1,868.8                    | -285.4    | -551.1      | 1,283.8            | 1,835.0                   | 33.8                  |
| 27  | 20,700.7        | 13,702.4                   | -4,396.5  | -8,489.2    | 276.5              | 8,765.8                   | 4,936.6               |
| 28  | 67,737.6        | 3,708.9                    | 12,469.3  | 19,699.3    | 19,050.9           | -648.5                    | 4,357.4               |
| 29  | 10,051.0        | 16,614.2                   | -3,539.7  | -6,834.9    | 2,648.5            | 9,483.4                   | 7,130.9               |
| 30  | 2,248.8         | 2,570.2                    | -645.3    | -1,246.0    | -135.7             | 1,110.3                   | 1,459.9               |
| 31  | 16,261.2        | 9,032.3                    | -3,123.5  | -6,031.1    | -580.9             | 5,450.3                   | 3,582.0               |
| 32  | 2,752.8         | 72.7                       | 0.0       | 0.0         | 72.7               | 72.7                      | 0.0                   |
| 33  | 55,623.8        | 42,424.2                   | -11,576.8 | -22,353.7   | 9,910.1            | 32,263.7                  | 10,160.4              |
| 34  | 7,609.2         | 1,027.1                    | 1,299.9   | 2,053.7     | 2,710.2            | 656.5                     | 370.5                 |
| 35  | 3,039.0         | 515.1                      | -45.2     | -87.3       | 425.4              | 512.7                     | 2.5                   |
| 합계  | 521,682.5       | 346,436.0                  | 0         | -22,839.6   | 134,434.9          | 157,274.6                 | 189,161.4             |

주) 비용(금액)의 단위는 백만원, 판매량의 단위는 탄소-톤임. 균형가격은 1,755,370원임.

<표 VI-12> 시나리오별 거래 분석 비교

(금액단위: 백만원)

| 구분                | 총저감비용   | 균형가격    | 총거래량(tC) | 총거래금액   | 비용절감효과  | 총거래비용  |
|-------------------|---------|---------|----------|---------|---------|--------|
| 시나리오1             | -38,293 | 0.37319 | 42,275   | 15,777  | 46,002  |        |
| 시나리오2             | 18,161  | 0.95540 | 56,639   | 54,113  | 106,446 |        |
| 시나리오3             | 132,942 | 1.71361 | 73,592   | 126,109 | 213,494 |        |
| 시나리오1<br>(거래비용포함) | -35,228 | 0.37711 | 38,995   | 13,235  | 42,938  | 2,941  |
| 시나리오2<br>(거래비용포함) | 34,369  | 1.03556 | 47,921   | 44,663  | 90,238  | 9,925  |
| 시나리오3<br>(거래비용포함) | 157,275 | 1.75537 | 65,059   | 102,782 | 189,161 | 22,840 |

주) 거래비용이 고려된 시나리오의 균형가격은 판매기준 가격과 구매기준 가격의 중간값임.

### 3.5 인센티브 경매 메카니즘의 균형 분석

인센티브 경매 메카니즘에 대한 시뮬레이션을 위하여 사업장별 기준 배출량을 한계저감비용이 ‘0’인 저감량으로 가정하도록 한다. 이는 이론상 BAU(Business-As-Usual) 상태 배출량을 의미하는 것으로 현실적으로는 정확한 값이 관찰될 수 없다. 따라서 현실 적용시에는 이에 대한 대표값(proxy variable)을 취해야 하는데, 이에 대해서는 다음 장의 세부 운영방안에서 논의토록 하고 시뮬레이션 분석에서는 한계비용함수를 토대로 이를 추정하도록 한다.

회귀분석으로 추정된 한계저감비용함수를 통한 추정결과 기준배출량은 총 266,792tC로서 사업장이 제출한 저감계획량의 56.3% 수준으로 나타났다. 이는 사업장이 제출한 저감대안중 56.3%에 있어서 연료절감액 등 부수적 이익이 투자비용 등 소요비용을 초과하는 소위 “후회없는(No-regret) 대안”이라는 것으로서 이 부분에 대해서는 자발적 협약은 물론 타 정책수단의 집행이 없더라도 사업장의 자발적 실행이 유도될 수 있음을 의미한다.

본 시뮬레이션 분석에서는 다음과 같이 인센티브 재원에 대한 세가지 시나리오를 고려하도록 한다.

- 시나리오 A: 인센티브 재원 W=30억원
- 시나리오 B: 인센티브 재원 W=50억원
- 시나리오 C: 인센티브 재원 W=100억원

시나리오 A의 분석결과 30억원의 인센티브 재원을 경매를 통해 배분함으로써 기준 삭감량 대비 9.62%의 추가저감을 유도할 수 있는 것으로 나타났다. 인센티브 경매 메카니즘의 균형은 사업장별로 동일 비율(9.62%) 만큼 일률삭감시(개별달성시)와 비교할 때 25,528백만원의 비용절감효과를 나타내며, 비용최소화 균형(추가적인 배출권 거래제도 시행후의 균형)에 비해 단지 17백만원 만큼의 차이를 나타내는 것으로 나타났다. 이는 인센티브 경매를 통해 비용최소화 균형이 거의 달성됨을 의미하는 것이며, 경매 이후의 배출권 거래는 1,256t만이 이루어지는 것으로 나타나 거의 거래의 유인이 남아있지 않음을 보여주고 있다.

시나리오 B와 C의 분석결과도 유사한 경향을 나타낸다. 인센티브 재원이 50억원 및 100억원으로 증가함에 따라 경매 메카니즘에서 제시되는 추가적인 저감목표량은 기준 대비 12.3% 및 17.0%로 점차 증가하고 있으며, 배출권 시장에서의 균형가격은 13.0만원 및 18.8만원으로 상승하게 된다.

수리적 균형분석의 결과에서 나타난 바와 같이 경매 메카니즘의 균형 청산가격(저감단위당 인센티브 재원 지급율)은 배출권 시장의 균형가격 혹은 한계 저감비용보다 높게 나타난다. 시나리오 A의 경우 경매의 청산가격이 11만7천원/tC로 배출권 균형가격(=한계비용)보다 17.7% 높게 나타났다. 이러한 비율은 시나리오 B와 C에서도 17.3과 17.0으로 비슷하게 나타나고 있으며, 사업장의 전략적 행태를 통한 추가적 이익을 나타낸다. 또한 이처럼 청산가격이 한계비용을 초과하는 정도는 수리적 균형분석 결과에 입각할 때 저감목표의 상대적 비중에 대한 허핀달지수와도 같다는 점을 유추할 수 있다. 즉, 3개 시나리오의 허핀달 지수가 총점 만점 기준으로 약 1,700~1,770점으로 계산된다는 것을 알 수 있다. 이러한 수준은 미국의 연방거래위원회에서 제시하고 있는 지침에 의거할 때 현재의 시장환경이 완전경쟁적(1천점 이하)이거나 집중적(concentrated)이지 않으며 다소 집중적(독과점적)인 상태를 말하는 것이다. 분석결과에서 사업장별 저감목표 제시량을 보면 6번 사업장의 경우 전체 저감목표의 1/3 가까이 되는 높은 수치를 나타냄으로써 시장의 집중도를 심화시켰기 때문으로 해석된다. 이러한 시장의 비경쟁성은 참가 업체의 수가 늘어날 경우 훨씬 완화될 수 있다.

<표 VI-13> 시나리오 A의 분석결과

| 사업<br>장 | 기준<br>배출량 | 입찰<br>저감<br>량 | 인센<br>티브 | 총저감<br>량 | 저감<br>비용 | 개별목<br>표시 | 개별목표<br>달성비용 | 판매량   | 거래<br>수익 | 거래후<br>저감비용 | 거래제하의<br>총저감비용 | 거래<br>이익 |
|---------|-----------|---------------|----------|----------|----------|-----------|--------------|-------|----------|-------------|----------------|----------|
| 1       | 2,032     | 591           | 69       | 2,623    | -285     | 3,465     | -113         | -73   | -7       | -293        | -286           | 1        |
| 2       | 4,819     | 555           | 65       | 5,374    | -1,046   | 7,566     | -156         | -68   | -7       | -1,053      | -1,046         | 1        |
| 4       | 4,672     | 252           | 29       | 4,923    | -1,327   | 4,304     | -1,313       | -34   | -3       | -1,330      | -1,327         | 0        |
| 6       | 49,910    | 7,313         | 854      | 57,222   | -3,829   | 41,214    | -3,789       | 1,199 | 119      | -3,720      | -3,839         | 9        |
| 7       | 48,660    | 2,626         | 307      | 51,286   | -5,643   | 50,166    | -5,734       | -132  | -13      | -5,656      | -5,643         | 0        |
| 9       | 1,343     | 110           | 13       | 1,453    | -313     | 1,440     | -314         | -15   | -2       | -314        | -313           | 0        |
| 10      | 6,619     | 1,020         | 119      | 7,639    | -2,269   | 19,111    | 6,655        | -117  | -12      | -2,281      | -2,270         | 1        |
| 11      | 953       | 45            | 5        | 997      | 1,907    | 1,623     | 3,395        | -6    | -1       | 1,907       | 1,907          | 0        |
| 12      | 532       | 3             | 0        | 535      | -687     | 658       | -302         | 0     | 0        | -687        | -687           | 0        |
| 13      | 1,803     | 37            | 4        | 1,840    | -1,149   | 2,269     | -746         | -5    | -1       | -1,150      | -1,149         | 0        |
| 14      | 13,649    | 2,869         | 335      | 16,519   | -2,109   | 21,800    | -967         | -115  | -11      | -2,121      | -2,110         | 0        |
| 15      | 5,076     | 269           | 31       | 5,345    | -2,223   | 3,989     | -2,026       | -37   | -4       | -2,227      | -2,223         | 0        |
| 16      | 1,793     | 337           | 39       | 2,130    | -285     | 2,313     | -258         | -43   | -4       | -290        | -286           | 0        |
| 17      | 9,892     | 286           | 33       | 10,179   | -2,894   | 8,754     | -2,683       | -39   | -4       | -2,898      | -2,895         | 0        |
| 18      | 6,850     | 433           | 51       | 7,283    | -1,509   | 5,239     | -1,267       | -55   | -6       | -1,515      | -1,510         | 0        |
| 21      | 3,361     | 343           | 40       | 3,704    | -564     | 8,410     | 7,166        | -44   | -4       | -569        | -565           | 0        |
| 23      | 3,180     | 165           | 19       | 3,345    | -1,245   | 1,226     | -469         | -23   | -2       | -1,247      | -1,245         | 0        |
| 25      | 4,671     | 307           | 36       | 4,978    | -1,466   | 4,629     | -1,483       | -41   | -4       | -1,470      | -1,466         | 0        |
| 27      | 10,589    | 491           | 57       | 11,080   | -4,591   | 11,605    | -4,496       | -63   | -6       | -4,598      | -4,592         | 0        |
| 28      | 41,568    | 4,144         | 484      | 45,713   | -6,466   | 37,975    | -6,532       | 52    | 5        | -6,461      | -6,466         | 0        |
| 29      | 3,021     | 459           | 54       | 3,480    | 12       | 5,635     | 1,280        | -53   | -5       | 6           | 12             | 0        |
| 30      | 1,165     | 36            | 4        | 1,202    | -515     | 1,261     | -502         | -5    | -1       | -515        | -515           | 0        |
| 31      | 9,237     | 328           | 38       | 9,564    | -3,933   | 9,116     | -3,949       | -44   | -4       | -3,937      | -3,933         | 0        |
| 32      | 1,740     | 94            | 11       | 1,833    | -739     | 1,543     | -723         | -13   | -1       | -741        | -739           | 0        |
| 33      | 23,919    | 1,829         | 214      | 25,748   | -6,707   | 31,184    | -5,079       | -147  | -15      | -6,722      | -6,708         | 1        |
| 34      | 3,866     | 630           | 74       | 4,496    | -598     | 4,266     | -619         | -74   | -7       | -606        | -598           | 1        |
| 35      | 1,870     | 105           | 12       | 1,975    | -512     | 1,704     | -504         | -15   | -1       | -513        | -512           | 0        |
|         | 266,791   | 25,676        | 3,000    | 292,468  | -50,984  | 292,468   | -25,528      | -11   | 0        | -51,003     | -51,002        | 17       |

주) 비용 및 인센티브(금액)의 단위는 백만원, 판매량의 단위는 탄소-톤임.

&lt;표 VI-14&gt; 시나리오 B의 분석결과

| 사업<br>장 | 기준<br>배출량 | 입찰<br>저감량 | 인센<br>티브 | 총저감<br>량 | 저감<br>비용 | 개별목<br>표시 | 개별목표<br>달성비용 | 판매<br>량 | 거래<br>수익 | 거래후<br>저감비용 | 거래제하의<br>총저감비용 | 거래<br>이익 |
|---------|-----------|-----------|----------|----------|----------|-----------|--------------|---------|----------|-------------|----------------|----------|
| 1       | 2,032     | 759       | 116      | 2,791    | -263     | 3,549     | -86          | -91     | -12      | -276        | -264           | 1        |
| 2       | 4,819     | 709       | 108      | 5,528    | -1,026   | 7,750     | -13          | -84     | -11      | -1,037      | -1,026         | 1        |
| 4       | 4,672     | 324       | 49       | 4,995    | -1,317   | 4,409     | -1,327       | -43     | -6       | -1,323      | -1,317         | 0        |
| 6       | 49,910    | 9,262     | 1,413    | 59,172   | -3,641   | 42,214    | -3,857       | 1,474   | 192      | -3,465      | -3,657         | 15       |
| 7       | 48,660    | 3,365     | 513      | 52,025   | -5,554   | 51,382    | -5,633       | -157    | -20      | -5,575      | -5,554         | 1        |
| 9       | 1,343     | 141       | 21       | 1,484    | -309     | 1,475     | -310         | -19     | -2       | -311        | -309           | 0        |
| 10      | 6,619     | 1,328     | 203      | 7,948    | -2,229   | 19,575    | 7,352        | -147    | -19      | -2,250      | -2,230         | 1        |
| 11      | 953       | 56        | 9        | 1,009    | 1,909    | 1,663     | 3,641        | -7      | -1       | 1,908       | 1,909          | 0        |
| 12      | 532       | 4         | 1        | 536      | -687     | 674       | -187         | -1      | 0        | -687        | -687           | 0        |
| 13      | 1,803     | 47        | 7        | 1,851    | -1,148   | 2,324     | -634         | -7      | -1       | -1,149      | -1,148         | 0        |
| 14      | 13,649    | 3,666     | 559      | 17,315   | -2,014   | 22,329    | -782         | -135    | -18      | -2,032      | -2,014         | 0        |
| 15      | 5,076     | 347       | 53       | 5,423    | -2,213   | 4,085     | -2,060       | -46     | -6       | -2,219      | -2,213         | 0        |
| 16      | 1,793     | 428       | 65       | 2,222    | -273     | 2,369     | -246         | -53     | -7       | -280        | -274           | 1        |
| 17      | 9,892     | 370       | 56       | 10,262   | -2,883   | 8,967     | -2,757       | -49     | -6       | -2,890      | -2,884         | 1        |
| 18      | 6,850     | 555       | 85       | 7,405    | -1,493   | 5,366     | -1,304       | -69     | -9       | -1,503      | -1,494         | 1        |
| 21      | 3,361     | 437       | 67       | 3,798    | -552     | 8,614     | 7,974        | -54     | -7       | -559        | -552           | 1        |
| 23      | 3,180     | 212       | 32       | 3,392    | -1,238   | 1,256     | -485         | -29     | -4       | -1,242      | -1,239         | 0        |
| 25      | 4,671     | 395       | 60       | 5,066    | -1,454   | 4,741     | -1,482       | -51     | -7       | -1,461      | -1,455         | 1        |
| 27      | 10,589    | 633       | 97       | 11,223   | -4,572   | 11,887    | -4,416       | -79     | -10      | -4,583      | -4,573         | 1        |
| 28      | 41,568    | 5,285     | 806      | 46,854   | -6,337   | 38,897    | -6,589       | 77      | 10       | -6,327      | -6,337         | 0        |
| 29      | 3,021     | 573       | 87       | 3,594    | 27       | 5,771     | 1,453        | -64     | -8       | 18          | 27             | 1        |
| 30      | 1,165     | 47        | 7        | 1,212    | -513     | 1,291     | -490         | -7      | -1       | -514        | -513           | 0        |
| 31      | 9,237     | 423       | 65       | 9,660    | -3,920   | 9,338     | -3,950       | -56     | -7       | -3,928      | -3,921         | 1        |
| 32      | 1,740     | 121       | 18       | 1,860    | -736     | 1,581     | -730         | -17     | -2       | -738        | -736           | 0        |
| 33      | 23,919    | 2,346     | 358      | 26,266   | -6,642   | 31,940    | -4,669       | -180    | -23      | -6,667      | -6,643         | 1        |
| 34      | 3,866     | 800       | 122      | 4,666    | -575     | 4,369     | -610         | -91     | -12      | -588        | -576           | 1        |
| 35      | 1,870     | 135       | 21       | 2,005    | -508     | 1,745     | -510         | -18     | -2       | -510        | -508           | 0        |
| 합계      | 266,791   | 32,771    | 5,000    | 299,562  | -50,161  | 299,562   | -22,708      | 0       | 0        | -50,189     | -50,189        | 28       |

주) 비용 및 인센티브(금액)의 단위는 백만원, 판매량의 단위는 탄소-톤임.

<표 VI-15> 시나리오 C의 분석결과

| 사업<br>장 | 기준<br>배출량 | 입찰<br>저감량 | 인센<br>티브 | 총저감<br>량 | 저감<br>비용 | 개별목<br>표시 | 개별목표<br>달성비용 | 판매<br>량 | 거래<br>수익 | 거래후<br>저감비용 | 거래제하의<br>총저감비용 | 거래<br>이익 |
|---------|-----------|-----------|----------|----------|----------|-----------|--------------|---------|----------|-------------|----------------|----------|
| 1       | 2,032     | 1,061     | 234      | 3,093    | -208     | 3,700     | -35          | -121    | -23      | -233        | -210           | 2        |
| 2       | 4,819     | 985       | 217      | 5,803    | -975     | 8,077     | 274          | -111    | -21      | -998        | -977           | 1        |
| 4       | 4,672     | 454       | 100      | 5,126    | -1,293   | 4,595     | -1,340       | -57     | -11      | -1,305      | -1,294         | 1        |
| 6       | 49,910    | 12,687    | 2,792    | 62,597   | -3,184   | 44,000    | -3,961       | 1,915   | 360      | -2,852      | -3,212         | 29       |
| 7       | 48,660    | 4,696     | 1,033    | 53,356   | -5,332   | 53,556    | -5,291       | -197    | -37      | -5,370      | -5,333         | 1        |
| 9       | 1,343     | 196       | 43       | 1,539    | -298     | 1,538     | -299         | -25     | -5       | -303        | -299           | 0        |
| 10      | 6,619     | 1,906     | 419      | 8,525    | -2,126   | 20,403    | 8,665        | -203    | -38      | -2,166      | -2,128         | 2        |
| 11      | 953       | 76        | 17       | 1,028    | 1,913    | 1,733     | 4,145        | -9      | -2       | 1,911       | 1,912          | 0        |
| 12      | 532       | 5         | 1        | 538      | -687     | 702       | 62           | -1      | 0        | -687        | -687           | 0        |
| 13      | 1,803     | 68        | 15       | 1,871    | -1,144   | 2,423     | -396         | -9      | -2       | -1,146      | -1,144         | 0        |
| 14      | 13,649    | 5,090     | 1,120    | 18,739   | -1,779   | 23,274    | -415         | -167    | -31      | -1,811      | -1,780         | 1        |
| 15      | 5,076     | 489       | 108      | 5,565    | -2,187   | 4,258     | -2,114       | -62     | -12      | -2,199      | -2,188         | 1        |
| 16      | 1,793     | 591       | 130      | 2,384    | -243     | 2,469     | -223         | -69     | -13      | -257        | -244           | 1        |
| 17      | 9,892     | 524       | 115      | 10,416   | -2,855   | 9,346     | -2,855       | -67     | -13      | -2,868      | -2,856         | 1        |
| 18      | 6,850     | 775       | 171      | 7,626    | -1,453   | 5,593     | -1,364       | -92     | -17      | -1,471      | -1,454         | 1        |
| 21      | 3,361     | 604       | 133      | 3,965    | -521     | 8,978     | 9,547        | -71     | -13      | -535        | -522           | 1        |
| 23      | 3,180     | 299       | 66       | 3,479    | -1,222   | 1,309     | -515         | -39     | -7       | -1,230      | -1,223         | 1        |
| 25      | 4,671     | 554       | 122      | 5,225    | -1,425   | 4,942     | -1,470       | -68     | -13      | -1,439      | -1,426         | 1        |
| 27      | 10,589    | 893       | 197      | 11,483   | -4,525   | 12,390    | -4,217       | -107    | -20      | -4,546      | -4,526         | 1        |
| 28      | 41,568    | 7,318     | 1,610    | 48,886   | -6,020   | 40,542    | -6,652       | 122     | 23       | -5,998      | -6,021         | 0        |
| 29      | 3,021     | 770       | 169      | 3,790    | 63       | 6,016     | 1,798        | -80     | -15      | 47          | 62             | 1        |
| 30      | 1,165     | 67        | 15       | 1,232    | -510     | 1,346     | -460         | -9      | -2       | -511        | -510           | 0        |
| 31      | 9,237     | 598       | 132      | 9,835    | -3,888   | 9,733     | -3,908       | -76     | -14      | -3,903      | -3,889         | 1        |
| 32      | 1,740     | 170       | 37       | 1,910    | -726     | 1,648     | -740         | -23     | -4       | -731        | -727           | 0        |
| 33      | 23,919    | 3,280     | 722      | 27,200   | -6,481   | 33,292    | -3,810       | -234    | -44      | -6,527      | -6,483         | 2        |
| 34      | 3,866     | 1,101     | 242      | 4,967    | -521     | 4,554     | -591         | -118    | -22      | -545        | -522           | 2        |
| 35      | 1,870     | 189       | 42       | 2,059    | -498     | 1,819     | -516         | -25     | -5       | -503        | -498           | 0        |
| 합계      | 266,791   | 45,445    | 10,000   | 312,237  | -48,125  | 312,237   | -16,681      | -2      | 0        | -48,177     | -48,177        | 52       |

주) 비용 및 인센티브(금액)의 단위는 백만원, 판매량의 단위는 탄소-톤임.

경매 메카니즘의 균형청산가격은 BAU 대비 추가저감노력을 유도하기 위해 필요한 자원의 규모를 나타내는 것으로 해석할 수 있다. 즉, 시나리오 A에서 균형청산가격이 11만7천원으로 나타나고 이에 따른 추가저감량이 BAU 대비 9.62%로

나타난 것은 역으로 9.62% 정도의 추가저감노력을 유도하기 위해서는 저감량 단위당 11만7천원 정도의 재원이 필요로 하는 것으로 해석할 수 있다. 마찬가지로 12.28%의 추가저감을 위해서는 저감량 단위당 15만3천원의 재원이 요구되며, 17.03%의 추가저감노력을 유도하기 위해서는 단위당 22만원 가량의 재원이 조성되어야 한다. 이러한 수치는 본 연구에서 제시하고 있는 메카니즘에 참여시키고자 하는 사업장의 범위를 토대로 요구되는 총 재원의 크기를 가름할 수 있는 잣대로 활용될 수 있다.

<표 IV-16> 시나리오별 균형 비교 (단위: 백만원, 탄소톤)

| 인센티브<br>재원 | 낙찰된<br>저감목표<br>총량 | 기준배출량<br>대비<br>추가저감률 | 총<br>저감비<br>용 | 개별달성시<br>총<br>저감비용 | 개별달성<br>대비<br>비용저감효과 | 추가<br>거래<br>량 | 균형<br>가격 | 거래후<br>총<br>저감비용 | 거래에<br>따른<br>추가이익 |
|------------|-------------------|----------------------|---------------|--------------------|----------------------|---------------|----------|------------------|-------------------|
| 3,000      | 25,676            | 9.62%                | -50,984       | -25,528            | 25,457               | 1,256         | 0.09930  | -51,003          | 19                |
| 5,000      | 32,771            | 12.28%               | -50,161       | -22,708            | 27,453               | 1,550         | 0.13003  | -50,189          | 28                |
| 10,000     | 45,445            | 17.03%               | -48,125       | -16,681            | 31,444               | 2,039         | 0.18815  | -48,177          | 52                |

인센티브 경매 이후에 발생하는 거래량은 추정치보다 커질 가능성이 높다. 인센티브 경매 당시의 경제적 상황이 시간에 따라 변화됨에 따라 완전경쟁균형점이 이동할 수 있는데, 이는 새로운 거래기회를 창출하므로 입찰시점에서 예상된 거래보다 많은 거래가 일어날 가능성을 뜻한다.

이론적으로는 물론 시뮬레이션 결과도 모든 사업장에 있어서 메카니즘 참여에 대한 인센티브가 존재한다. 이는 주어진 재원을 유인일치적 경매를 통해 나누어주는 게임이므로 참여의 인센티브가 없을 수 없다. 단지, 인센티브의 크기가 사업장별 비용함수 특성에 따라 다르며, 이는 저감목표에 대한 입찰을 통해 표현되는 것이다. 하지만 인센티브 재원을 참여 사업장에 대한 참가비(entry fee) 징수를 통해 조달할 경우 개별 사업장의 참여유인은 낮아지게 되며, 그 정도는 개별 사업장의 비용특성에 의존하고, 인센티브 부담률이 커짐에 따라 보다 많은 사업장이 참여유인을 잃게 된다. 예를 들어 총 인센티브 재원의 10%를 참여 사업장의 기준 배출량에 비례하여 부담시킬 경우 총 27개 사업장 중 2개의 사업장이 참여유인을 잃게 된다. 참가비를 통한 재원조달율(인센티브 부담률)이 20%, 30%로 높아질 경우 참여유인이 없어지는 사업장의 수는 5개, 8개로 증가한다. 부담률이 40%일 경

우에는 재원규모에 따라 30~50억원일 경우 16개로, 100억원일 경우 14개로 늘어나서 총 사업장의 과반수가 참여유인을 잃게 되는 것으로 나타났다.

<표 VI-17> 인센티브 부담률에 따른 참여유인 결여사업장 수

| 재원규모 \ 부담율 | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 30억원       | 2   | 5   | 8   | 16  | 20  |
| 50억원       | 2   | 5   | 8   | 16  | 20  |
| 100억원      | 2   | 5   | 8   | 14  | 19  |

주) 총 사업장수는 27개임.

이와 같이 재원 부담률이 늘어남에 따라 참여유인을 상실하는 업체의 비중이 급속히 늘어나는 것은 참가비의 징수에 따른 비용증가에 기인하는 자연스런 현상이기도 하지만 사업장별 비용특성의 차별성에 따라 심화되게 된다.<sup>72)</sup> 만일 모든 사업장이 동일한 저감비용함수를 갖는다면, 적어도 부담률이 50%에 이를 때까지는 모든 사업장이 참여유인을 잃지 않게 된다.<sup>73)</sup> 즉, 앞에서 살펴본 수리적 균형분석의 결과에서도 유추하였듯이 저감비용함수가 불록할 경우 참가 사업장이 할당받게 되는 인센티브 재원의 크기는 (BAU 대비 추가적) 저감비용의 두배를 초과하며, 따라서 특별한 이유가 없는 한 부담률이 50%에 이르기까지는 참여에 따른 인센티브 보상액이 참가비를 상회하여야 한다. 하지만 사업장별 비용함수의 특성이 크게 차이날 경우 저감량 비중이 높은 사업장이 전략적 입찰을 통해 이러한 이익을 보다 많이 취하게 됨으로써 그렇지 못한 사업장의 이익이 상대적으로 낮아지게 되며, 상대적으로 낮은 이익을 얻는 사업장에 있어서는 참가비의 징수가 (50% 이하의 부담률에서도) 이익을 상쇄시킬 수 있다. 부담률이 10%에 불과한 경우에도 참여유인을 잃게 되는 2개 사업장은 이러한 불리함이 큰 경우이고, 부담률이 50%인 경우에도 여전히 참여유인을 갖게 되는 사업장(재원규모에 따라 7~8개)은 상대적으로 높은 이익을 향유하는 경우에 해당한다.<sup>74)</sup>

72) 이처럼 재원 부담률이 증가함에 따라 참여유인을 상실하는 사업장의 수가 증가하는 현상에 있어서 재원규모의 크기에 따른 차이는 크지 않음을 분석결과(표)를 통해 알 수 있다.

73) 합계상으로 보면 부담률 50%의 경우에도 전체적인 참여유인은 양의 값을 갖는다. 즉, 개별 사업장의 참여유인의 합계는 재원규모 30억원의 경우 2.5억원, 50억원의 경우 4.2억원, 100억원의 경우 8.9억원으로 부담률 50% 하에서도 양의 값을 갖는 것으로 나타났다. 따라서 부담률이 50% 이하에서도 이탈 사업장(참여유인을 상실하는 사업장)이 발생한다는 것은 사업장간 비용특성의 차별화에 크게 기인하는 것으로 해석된다.

74) 특히 6번 사업장의 경우 상대적 이익의 규모가 큰데, 재원규모 100억원의 경우 부담률 50% 하에서도 11.5억원의 이익(인센티브 재원 수입 - BAU 대비 추가저감목표(입찰값) 달

참가비 징수에 따른 참여유인의 변화는 참가비 징수방법에도 크게 의존할 수 있다. 앞의 분석은 과거 배출실적(1998년 기준 이산화탄소 배출량)에 비례하여 참가비를 징수한다는 가정하에 이루어졌는데, 반드시 이 공식을 적용해야 하는 것은 아니며 보다 많은 사업장의 참여유인을 유지하기 위해 다른 방식을 활용할 수 있을 것이다. 가능한 한 많은 사업장의 참여유인을 유지하면서 보다 많은 재원을 조달할 수 있도록 설계하는 것이 바람직할 것이다. 이러한 점에서 인센티브 경매 메카니즘의 시행에 따라 얻게 되는 초과이익(참여유인)에 비례하는 참가비를 징수할 수 있다면 바람직할 것이나 이는 경매 메카니즘의 균형을 미리 예측하여야 한다는 점에서 현실적으로 적용하기 어렵다. 결국 메카니즘의 시행에 따라 보다 많은 이익을 얻을 것으로 ‘예측’되는 사업장에게 보다 많은 참가비를 징수할 수밖에 없으며, 이러한 예측을 위해 측정가능한 객관적 지표가 대표변수(proxy variable)로 선택되어야 할 것이다. 수리적 균형분석의 결과 메카니즘의 시행에 따른 사업장별 이익은 전략적 행태를 고려할 때 균형상태에서 제시되는 저감목표량의 상대적 비중에 비례하는 경향을 발견할 수 있었다. 본 연구에서는 균형상태에서 제시되는 저감목표량을 사전적으로 정확히 결정할 수 없고, 저감비용함수 자체도 정확히 관찰될 수 없다는 전제하에, 저감목표량과 가장 높은 상관관계를 보일 것으로 판단되는 과거 배출량 실적을 토대로 참가비를 징수한다는 가정하에 시뮬레이션 분석을 시행한 것이다. 보다 합리적인 참가비 징수방법의 도출을 위해서는 보다 많은 사업장별 데이터를 토대로 가능한 여러가지 방식들에 대한 분석이 필요하다.

---

성비용)을 확보하는 것으로 평가되어 전체 이익(참여유인)의 합계 8.9억원 이상의 이익을 얻는 것으로 나타났다. 이처럼 일부 사업장이 주어진 재원을 많이 배분 받음으로서 다른 사업장의 참여유인을 떨어뜨리게 된다.

## VII. 배출권 거래제도 운영방안

본 장에서는 앞장에서 제시한 인센티브 경매 메카니즘과 배출권 거래제도의 구체적인 운영방안을 제시하도록 한다.

### 1. 배출량 산정방법

정확한 온실가스 배출량의 산정은 경제주체 단위의 배출량 관리를 위해 가장 기초적인 작업이며, 특히 건전한 배출권 거래제도를 운영하기 위한 필수조건이다. 배출량에 대한 산정과 보고가 정확하지 않을 경우 배출권의 재산가치를 훼손하게 되어 배출권 거래제도의 유용성을 크게 떨어뜨린다.

온실가스, 특히 이산화탄소의 배출량을 측정(산정)하는 방식은 크게 직접측정에 의존하는 방법과 연료사용을 토대로 간접적으로 추정하는 방식이 제시되고 있다. 직접적 방법은 연소되는 가스가 방출되는 부분에서 기계를 사용하여 이산화탄소를 측정하는 방법으로서 소위 연속측정 장치(Continuous emission monitoring system: CEMs)를 이용하게 된다. 이 방법은 연소과정에서 발생할 수 있는 복잡한 현상이 직접적으로 반영될 수 있기 때문에 최종 배출량에 대한 정확한 평가가 가능하다는 장점이 있으나 장비의 설치와 운영에 많은 시간과 비용이 소요될 뿐만 아니라 아직 측정장비나 기술의 신뢰성이 높지 않아 정도관리에도 어려움이 있다는 단점이 있다. CEMs를 이용한 측정방법에는 이산화탄소를 직접 측정하는 방법과 산소( $O_2$ )를 측정하여 이산화탄소를 간접적으로 계산하는 방법이 있다. CEMs의 이용은 아황산가스나 먼지, 질소산화물과 같은 타 대기오염물질에 대한 측정과 병행할 때 시너지효과를 거둘 수 있는데, 이 경우 희석가스(diluent gas)로 이산화탄소를 이용하느냐 혹은 산소를 이용하느냐에 따라 이산화탄소를 직접 측정하느냐 산소를 통해 간접 측정하느냐의 선택이 이루어질 수 있다.

연료사용량을 토대로 간접적으로 산정하는 방법은 연소되는(소비하는) 연료의 종류와 양, 연소기계의 효율 등을 고려한 식을 이용하여 배출되는 이산화탄소의 양을 추정하는 방법이다. 배출계수를 통한 계산이므로 고가의 장비를 설치할 필요가 없으며 주로 사무적인 작업에 의존하기 때문에 비용이 적게 소요된다는 장점이 있는 반면 배출계수를 통한 간접계산으로서 실제 배출량에 대한 근사치에 불과하므로 정확성이 떨어진다는 단점이 있다.

미국에서는 산정비 프로그램과 같이 아황산가스 등에 대한 배출권 거래제도를 운영하는 과정에서 CEMs를 통해 주요 대기오염물질과 함께 이산화탄소의 배출량을 직접측정하도록 권장하기도 한다. 하지만 미국 환경청(EPA)의 지침에서도 이산화탄소의 측정만을 위한 CEMs의 운영은 권장하지 않고 있다. 단지 기존에 다른 대기오염물질에 대한 CEMs의 운영이 불가피한 경우 추가적으로 이산화탄소의 측정을 권장할 뿐이다. IPCC(2000)에서도 연속측정의 경우, 이산화탄소만을 측정하는데 있어서는 다른 방법에 비하여 상대적으로 비용이 많이 들어가고, 반드시 더 정확한 것도 아니며, 다만 다른 오염물을 측정할 때 희석가스로 이산화탄소를 측정하는 경우 사용할 수 있다고 권고하고 있다. 또한 선진국의 여러 기관에서 제시하고 있는 산정방법을 보더라도 대부분의 경우 연료사용량에 기초한 간접적 산정방법을 권고하고 있다. (부록 참조) 본 연구에서는 이러한 기존의 연구결과를 기초로 연료사용량을 기초로 배출계수를 이용한 간접적 산정방식을 제안한다.

간접적 방법에 따른 이산화탄소 배출량의 산정은 연료사용량, 열량, 탄소함유량, 산화계수 등 4가지의 자료를 기초로 다음과 같이 공식화할 수 있다.

$$\text{CO}_2 \text{ 배출량} = \text{연료사용량} * \text{열량환산계수} * \text{탄소함유량 계수} * \text{산화계수} * 44/12$$

연료사용량은 배출업소별 연료 구입량 자료와 재고변화자료를 토대로 계산된 해당기간의 실제 사용량이다. 열량환산계수는 Net Calorific Value(NCV)와 Gross Calorific Value(GCV) 중 어느 것을 사용하는가에 따라 달라지며, NCV와 GCV에 대한 선택은 탄소함유량 계수에 대해서도 영향을 미친다. 이론적으로 이 두 가지 간의 선택은 배출량 산정결과에 영향을 미치지 않으므로 무엇을 선택하든지 상관이 없지만 일관성 있는 적용은 보장되어야 한다. 우리나라의 경우 정부고시열량이 공표되고 있지만 NCV인지 GCV인지 불분명한 상태이다. 현재로서는 정부고시열량과 IPCC의 탄소함유량 계수를 이용하는 것이 현실적인 대안이라 판단된다. 하지만 IPCC의 계수가 순발열량 기준인 만큼 향후 정부에서 연료별 순발열량 환산계수에 대한 표준을 제시하여야 할 것이다. 산화계수에 있어서도 IPCC의 계수를 표준으로 하되, 시설별 혹은 부문별 계수에 대한 신뢰성 있는 조사결과가 있을 경우 이를 활용할 수 있을 것이다.

보고 및 입증에 있어서 1차적으로는 배출업소의 자율보고에 의존하는 것이 현실적인 대안이다. 이 보고에는 앞의 산정공식을 구성하는 각각의 데이터가 배출량 산정결과와 함께 보고되어야 한다. 이에 대한 입증 혹은 확인을 위해서 정부 혹은

&lt;표 VII-1&gt; 이산화탄소 측정방법에 대한 사례

|      | 출처   | CO <sub>2</sub> monitoring 방법                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| IPCC | IPCC | <p>기준 배출계수에 관한 자료를 제시<br/>Reference Approach를 권고<br/>에너지 단위로 환산시 Net Calorific Value를 사용<br/>산정공식:<br/> <math display="block">\text{CO}_2 \text{ 배출량} = \text{연료} * \text{열량} * \text{탄소함유량} * \text{산화계수} * 44/12</math> <math display="block">\text{사용량} \quad \text{환산계수} \quad \text{계수}</math> </p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 미국   | EIA, | <p>IPCC의 산정공식 이용<br/>Sectoral Approach: 주거, 상업, 산업, 수송, 발전부문<br/>에너지 소비 data는 EIA자료를 사용<br/>Gross Calorific Value를 사용<br/>자체적으로 조사하여 만든 배출계수가 있음<br/>IPCC default값과 비슷하나 보다 정확함<br/>석탄 이외의 산화계수는 IPCC 계수와 같음<br/>미국의 특정 1차 연료는 생산, 수출, 수입, 저장 변동에 대해 다른 환산계수를 사용<br/>Reference Approach도 사용<br/>두 방법의 결과는 미세한 차이 나타냄<br/>1998년 총 에너지 소비량에서 Reference Approach의 결과가 Sectoral Approach의 결과보다 2.0% 낮게 나옴</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|      | EPA  | <p>1. 배출계수를 사용하는 방법<br/>2. CO<sub>2</sub> CEMs을 사용하여 직접 측정하는 방법<br/>3. O<sub>2</sub> CEMs을 사용하여 식을 통해 CO<sub>2</sub>를 계산하는 방법<br/>40 CFR PART75.13에 규정</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 영국   | DEFR | <p>기업에 관한 보고 지침서임<br/>IPCC 산정공식을 이용<br/>IPCC 배출계수를 기본으로 한 배출계수를 사용<br/>보고 범주를 크게 3가지로 나눔<br/> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기업의 사용 에너지(난방과 조명 포함)</li> <li>- 기업활동에 따른 수송(운행차량, 화물 수송, 사업장 출장 포함)</li> <li>- 특정사업의 기반 공정(nitric acid manufacturing, aluminium smelting, cement production )</li> </ul> 기업의 주요부문에 대하여 우선적으로 시행<br/>주요부문을 설정한 다음 범위를 선정<br/> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국제기업의 경우 모든 UK내의 활동과 직업을 포함</li> <li>- 직원들의 국내, 국제 출장을 포함함</li> <li>- UK내의 위성회사나 자회사는 포함</li> </ul> commitment를 약속<br/>효과적인 보고를 위해 책임자 선임<br/>간단한 표를 이용하여 배출량을 구할 수 있음<br/>3가지 단위의 (kgCO<sub>2</sub>/UK kWh, kgCO<sub>2</sub>/therm, kgCO<sub>2</sub>/liter) 배출계수 중 하나를 선택하여 계산</p> |

|               |               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| WBCSD<br>/WRI | WBCSD<br>/WRI | <p>IPCC 산정 공식 이용<br/>온실가스 계산시 일관성, 완전성, 중요성, 정확성, 투명성 원칙에 따름</p> <p>기업차원과 시설차원으로 구분하여 제시</p> <p>우선 기업의 주요 배출 부분에 대하여 평균을 이용하여 조사 포함 범위를 설정( 범위의 소유와 책임에 관한 대안 제시)</p> <p>scope1: 기업소유권내의 공정이나 수송에 의한 온실가스</p> <p>scope2: scope1 + 에너지 수출입의 순배출</p> <p>scope3: scope2 + 다른 간접 온실가스 배출</p> <p>기업간 합병, 외주, 분리, 소유관계 등에 따른 Boundary 문제에 대해 해결방향 제시</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Management Control: 운영 시설의 배출을 통합하여 보고</li> <li>- Equity Shared: equity 소유에 비례하여 온실가스를 보고</li> </ul> <p>baseline 설정 문제에 대한 대안 제시</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Baseline set: 교토 의정서와 비슷</li> <li>- Adjustment for organic growth</li> <li>- Adjustment for structural change</li> </ul> <p>시설차원은 주요 배출원을 설정한 다음 기업전체에 대하여 조합</p> |
| BP<br>Amoco   | BP<br>Amoco   | <p>IPCC 산정공식 이용</p> <p>순(net) CO<sub>2</sub>량은 기업이 사용한 직접 배출과 수출입을 통한 간접 배출을 합한 양임</p> <p>직접 배출</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 에너지 관련 배출원</li> <li>- flare</li> <li>- 에너지 관련 공정(process)</li> </ul> <p>간접 배출</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- grid로부터의 전기 수입</li> <li>- CHP 이외로부터의 전기 수입</li> <li>- CHP로부터의 전기 수입</li> </ul> <p>: CHP의 경우 전력과 열에너지에 대한 CO<sub>2</sub> 분배원칙</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 폐열 발전(cogeneration)이 아닌 전기 stream의 수입</li> <li>- 폐열 발전(cogeneration) 전기 stream 수입</li> <li>- grid로의 전기의 직접 수출</li> <li>- 소비자로 직접 수출</li> <li>- stream 수출</li> </ul>                                                                                                                       |

정부에서 지정하는 감사기관이 서류상의 검토와 함께 필요할 경우 실사를 통해 검증을 하여야 하며, 불성실 보고에 대해서는 엄격한 벌칙을 부과함으로써 정확한 보고를 유도해야 한다.

참고로 현재 대기환경보전법과 에너지이용합리화법에 따라 일정규모 이상의 배출업소별 연료사용량이 보고되고 있다. CO<sub>2</sub>에 대한 보고사항이 이러한 기존의 보고사항과 상당부분 중복되므로 이들 보고규정을 하나로 통합하고 체계적으로 관리할 필요가 있다. 또한 배출업소에서 보고한 연료사용량 자료의 확인을 위해 국제청으로부터 세금계산서 등에 대한 자료협조를 요청할 수 있도록 할 필요가 있다.

<표 VII-2> 연료별 배출계수에 대한 국가별 비교(단위: t C /TJ)

| 연료 종류                 | 미국        |          |                         | IPCC      |          |                         | 영국                   |
|-----------------------|-----------|----------|-------------------------|-----------|----------|-------------------------|----------------------|
|                       | 탄소함유<br>량 | 산화계<br>수 | CO <sub>2</sub><br>배출계수 | 탄소함유<br>량 | 산화계<br>수 | CO <sub>2</sub><br>배출계수 | CO <sub>2</sub> 배출계수 |
| 평균 grid 전력            |           |          |                         |           |          |                         | 122.23               |
| 주거용 석탄                | 24.64     | 0.99     | 89.44                   |           |          |                         |                      |
| 상업용 석탄                | 24.64     | 0.99     | 89.44                   |           |          |                         |                      |
| 산업용 석탄                | 24.23     | 0.99     | 95.95                   |           |          |                         |                      |
| 이외 산업용 석탄             | 24.29     | 0.99     | 88.17                   |           |          |                         |                      |
| 수입 coke               | 26.40     | 0.99     | 95.83                   |           |          |                         |                      |
| 발전 석탄                 | 24.42     | 0.99     | 88.64                   |           |          |                         |                      |
| U.S Territory coal    | 23.83     | 0.99     | 86.50                   |           |          |                         |                      |
| 석탄                    |           |          |                         |           |          |                         | 83.34                |
| 무연탄                   |           |          |                         | 26.80     | 0.98     | 96.30                   |                      |
| 점결탄(Coking coal)      |           |          |                         | 25.80     | 0.98     | 92.71                   | 83.34                |
| other bituminous coal |           |          |                         | 25.80     | 0.98     | 92.71                   |                      |
| Sub-bituminous coal   |           |          |                         | 25.80     | 0.98     | 92.71                   |                      |
| Lignite               |           |          |                         | 27.60     | 0.98     | 99.18                   |                      |
| Oil shale             |           |          |                         | 29.10     | 0.98     | 104.57                  |                      |
| 토탄(peat)'             |           |          |                         | 29.10     | 0.98     | 104.57                  |                      |
| BKB & Patent fuel     |           |          |                         | 25.80     | 0.98     | 92.71                   |                      |
| Coke Oven/Gas Coak    |           |          |                         | 29.50     | 0.98     | 106.00                  |                      |
| Coak Oven Gas         |           |          |                         | 13.00     | 0.98     | 46.71                   |                      |
| Blast Furnace Gas     |           |          |                         | 66.00     | 0.98     | 237.16                  |                      |
| 천연가스                  | 13.72     | 1.00     | 50.06                   | 15.30     | 1.00     | 55.82                   | 52.78                |
| 액화 천연가스               |           |          |                         | 17.20     |          |                         |                      |
| 원유                    | 19.18     | 0.99     | 69.62                   | 20.00     | 0.99     | 72.60                   |                      |
| Orimulsion            |           |          |                         | 22.00     | 0.99     | 79.86                   |                      |
| Gasoline              |           |          |                         | 18.90     | 0.99     | 68.61                   | 66.67                |
| 항공 Gasoline           | 17.89     | 0.99     | 64.94                   |           |          |                         |                      |
| Motor Gasoline        | 18.32     | 0.99     | 66.50                   |           |          |                         |                      |
| Kerosene              | 18.69     | 0.99     | 67.84                   |           |          |                         |                      |
| Jet kerosene          |           |          |                         | 19.50     | 0.99     | 70.79                   | 66.67                |
| other kerosene        |           |          |                         | 19.60     | 0.99     | 71.15                   |                      |
| 아스팔트&도로오일             | 19.54     | 0.99     | 70.93                   |           |          |                         |                      |
| Heavy Fuel Oil        |           |          |                         |           |          |                         | 72.23                |
| jet fuel              | 18.69     | 0.99     | 67.84                   |           |          |                         |                      |
| Shale Oil             |           |          |                         | 20.00     | 0.99     | 72.60                   |                      |
| Gas/Diesel Oil        |           |          |                         | 20.20     | 0.99     | 73.33                   | 69.45                |
| Residual fuel Oil     | 20.37     | 0.99     | 73.94                   | 21.10     | 0.99     | 76.59                   |                      |
| LPG                   | 16.10     | 0.99     | 58.44                   | 17.20     | 0.99     | 62.44                   | 63.89                |
| distillate fuel oil   | 18.91     | 0.99     | 68.64                   |           |          |                         |                      |

< 표 계 속 >

&lt; 표 계 속 &gt;

|                      |       |      |       |       |      |       |       |
|----------------------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|
| Lubricant            | 19.18 | 0.99 | 69.62 | 20.00 | 0.99 | 72.60 |       |
| Waste Lubricants     |       |      |       |       |      |       | 69.45 |
| Other Petroelum      | 19.17 | 0.99 | 69.59 |       |      |       |       |
| Ethane               |       |      |       | 16.80 | 0.99 | 60.98 | 55.56 |
| Naphtha              |       |      |       | 20.00 | 0.99 | 72.60 | 72.23 |
| Special Naphtha      | 18.82 | 0.99 | 68.32 |       |      |       |       |
| Naphtha(<401 deg.F)  | 17.19 | 0.99 | 62.40 |       |      |       |       |
| Other Oil(>401deg.F) | 18.91 | 0.99 | 68.64 | 20.00 | 0.99 | 72.60 |       |
| Bitumen              |       |      |       | 22.00 | 0.99 | 79.86 |       |
| MoGas Blend          | 18.38 | 0.99 | 66.72 |       |      |       |       |
| Misc.Products        | 19.17 | 0.99 | 69.59 |       |      |       |       |
| Pentanes Plus        | 17.29 | 0.99 | 62.76 |       |      |       |       |
| Petrochemical        | 18.36 | 0.99 | 66.65 |       |      |       |       |
| Petroleum Coke       | 26.40 | 0.99 | 95.83 | 27.50 | 0.99 | 99.83 | 94.45 |
| Refinery Feedstocks  |       |      |       | 20.00 | 0.99 | 72.60 |       |
| Refinery Gas         |       |      |       | 18.20 | 0.99 | 66.07 | 55.56 |
| Still Gas            | 16.60 | 0.99 | 60.26 |       |      |       |       |
| Unfinished Oil       | 19.17 | 0.99 | 69.59 |       |      |       |       |
| Waxes                | 18.78 | 0.99 | 68.17 |       |      |       |       |
| Other Wax & Misc     | 18.78 | 0.99 | 68.17 |       |      |       |       |
| Gerthermal           | 1.94  | 0.99 | 7.04  |       |      |       |       |
| 고체 Biomass           |       |      |       | 29.90 |      |       |       |
| 액체 Biomass           |       |      |       | 20.00 |      |       |       |
| 가스 Biomass           |       |      |       | 30.60 |      |       |       |

다음으로 미국, 영국 등 선진국에서처럼 우리나라 특성에 맞는 고유의 산업별 혹은 기술별 배출계수 도출을 위한 조사가 필요하다. 주요 선진국에서는 자국의 특성을 반영하는 배출계수를 독립적으로 이용하고 있는데, 대부분의 경우 IPCC에서 제시하고 있는 것보다 낮은 계수를 이용하고 있다. 향후 배출권 거래가 시작되면 이처럼 배출계수의 차이에 따른 배출량 차이에 따라 막대한 재정적 이해가 발생할 수 있으므로 이에 대한 준비가 필요하다.

마지막으로 전력사용에 대한 배출량 산정에 관한 원칙이 필요하다. 전력의 이용 자체는 이산화탄소를 배출하지 않지만 전력의 생산과정에서는 다량의 이산화탄소가 배출될 수 있다. 전력의 이용에 따른 배출책임을 누구에서 귀속시킬 것인가의 문제는 다른 국가에서도 중요한 문제의 하나로 부각되고 있다. 본 연구에서 제시하고 있는 배출권 거래제도는 산업부문의 대상으로 하고 있으며 전력생산과정에서

이산화탄소를 배출하는 발전업자를 제외하고 있다. 만일 발전업자를 포함하여 배출권 거래제도를 시행할 경우 발전업자가 배출에 대한 책임을 부담하고 전력을 2차 에너지로서 사용하는 산업체는 전력 생산에 따른 이산화탄소 배출책임을 부담시키지 않는 것이 합당하다.<sup>75)</sup> 본 연구에서는 발전업자를 적용대상에서 제외한다는 가정하에 전력을 이용하는 산업부문 배출원에 대하여 간접적으로 책임을 부담시키는 방안을 제시하도록 한다.

현재 우리나라의 전력산업은 한국전력이 발전, 송전 및 배전 전반에 걸쳐 사실상의 독점적인 영향력을 보유하고 있다. 이로 인해 전력을 이용하는 산업체의 입장에서 특별한 전원을 선택할 수 없으며 배출계수의 적용시 한국전력의 평균 배출계수를 적용하는 것이 현실적이다. 예를 들면 배출권 거래제도 시행 직전년도에 한국전력 평균 배출계수를 이용하여 개별 산업체의 전력사용량에 곱하여 배출량을 계산할 수 있다. 단, 한국전력의 평균배출계수 산정시 원자력 발전을 제외하는 방안을 검토할 필요가 있다. 이론적으로 산업체의 전력 이용이 발전과정의 이산화탄소 배출에 미치는 영향은 주로 첨두부하용 전원과 관련되어 있으므로 기저부하로 운영되는 원자력발전과의 관계는 매우 미미하기 때문이다. 향후 청정개발체제(CDM)를 통한 원자력의 활용가능성이 가시화될 경우 CDM과의 연계를 통한 활용방안이 재검토될 필요가 있다.

현재 논의중인 발전부문 구조개편이 가시화되어 전력부문에 소매경쟁체제가 도입된 이후에는 개별 사업장이 전력의 판매자(배전업자 혹은 발전업자)를 선택할 수 있게 된다. 이 경우 사업장이 이용하는 전력량에 대하여 그 사업장에 판매한 회사의 평균 배출계수를 적용하도록 함으로써 발전업자의 이산화탄소 저감 경쟁을 유도할 수 있다.

## 2. 인센티브 재원의 조성

인센티브 재원의 조성은 본 연구에서 제시하는 메카니즘에서 가장 중요한 설계 변수의 하나이다. 재원의 총 규모뿐만 아니라 재원을 어떻게 조달할 것인가의 문제가 메카니즘의 효과에 지대한 영향을 미치기 때문이다.

75) 전력생산에 따른 이산화탄소의 배출책임을 발전업자와 산업체(전력을 2차에너지로서 이용하는 업체)에게 동시에 부담시키는 것은 이중부담의 문제점을 야기한다. 단, 책임의 정도를 적절히 배분하는 것은 가능할 수 있다. 예를 들면 탄소세를 시행할 경우 이산화탄소에 대한 표준세율의 50%씩을 각각 부담시킬 수 있는데, 이 경우 이중부담에 따른 문제를 완화 혹은 제거할 수 있을 것이다.

재원의 규모가 커질수록 참여하는 사업장의 범위가 확대될 뿐만 아니라 경매 메카니즘에서 각 사업장이 제시하는 목표 저감량이 커짐으로 총 저감목표 자체가 커지게 된다. 따라서 규제당국은 재원의 크기를 통해 유도하고자 하는 저감노력의 크기를 결정하게 된다. 역으로 규제당국은 정책적 판단에 따라 유도하고자 하는 저감노력의 정도에 근거하여 총 재원규모를 결정해야 한다. 본 연구에서는 시뮬레이션 분석을 통해 표본으로 선정된 27개 사업장을 대상으로 30~100억원의 인센티브 재원으로 BAU 저감량 대비 9.6~17.0%의 추가 저감노력을 유도할 수 있음을 살펴보았다. 산업부문 전체를 대상으로 할 경우 동일한 비율의 추가저감노력을 유도하기 위해서는 보다 큰 재원이 소요될 것이다. 이에 대해서는 보다 많은 사업장에 대한 비용자료를 토대로 추가적인 분석이 필요하다.

한편 소요재원을 어떻게 조달할 것인지도 매우 중요하다. 소요재원 전체를 국가 예산에서 지원할 수도 있으며, 일부를 참여업체로부터 징수할 수도 있다. 시뮬레이션 분석결과에서도 알 수 있듯이 참여업체로부터 징수하는 재원의 규모가 커질수록 참여유인은 작아지게 되어 참여업체 수가 줄어들게 된다.

수리적 균형분석의 결과 사업장의 저감비용함수가 볼록하다고 가정하면 모든 사업장이 동일한 조건일 경우 메카니즘 참여에 따라 얻게 되는 개별 사업장(혹은 전체)의 순이익(인센티브 배분액 - 추가저감비용)이 인센티브 배분액의 50%를 초과한다는 것을 알 수 있다. 이 경우 총재원(W)의 50%를 참가비를 통해 징수하더라도 메카니즘에 참여할 유인이 유지될 수 있다. 하지만 현실적으로 사업장별 비용특성이 상이하기 때문에 참여업체수는 상당히 줄어들 수 있음을 시뮬레이션 분석을 통해서도 살펴보았다. 보다 많은 사업장의 자료를 토대로 총재원의 50% 이내에서 참여 사업장에 대한 참가비 수준을 결정할 수 있을 것이다. 단, 사업장의 참여유인이 단기적인 금전상의 이익뿐만 아니라 환경친화적 이미지를 통한 대국민 홍보효과, 미래의 규제에 대한 사전대응 필요성 등의 부수적인 효과까지 포함할 경우 50% 이상으로 참가비를 높이더라도 상당한 수의 사업장에 대하여 참여유인을 유지할 수 있을 것이다. 한편, 사업장의 참여유인은 전략적 행태를 통한 이익과 비례하는 특성이 있으며 이는 저감능력이 우수할수록(낮은 비용으로 많은 양의 저감이 가능할수록) 커지는데, 규모가 큰 사업장이 보다 많은 양을 저감할 수 있는 여지를 갖는다고 볼 때 대규모 사업장을 중심으로 참여가 이루어질 가능성이 크다는 점을 유추할 수 있다.

참여 사업장으로부터 징수하는 부분을 제외한 나머지 재원은 정부의 몫이며, 궁극적으로는 세금을 내는 개인 혹은 법인의 부담이다. 정부 혹은 국민이 이러한 재원을 부담하여야 하는 이유로 적어도 두가지를 들 수 있다. 하나는 기후변화협약

에 대한 조기 대응노력이 중장기적으로 경제적 이익을 가져다 준다는 점이고 다른 하나는 이산화탄소 배출저감노력이 부수적 환경편익을 통해 국민의 복지를 향상시킬 수 있다는 점이다. 조용성(2000)에 따르면 서울시민을 대상으로 하는 설문조사 결과 전체의 73.2%가 감축의무 부담에 찬성하였으며, 이 중 72.4%는 온실가스 감축에 필요한 소요비용을 평균 23,196원 만큼 지불할 의사가 있는 것으로 조사되었다. 전 국민에 대해 이를 적용하면 총 지불의사는 5,532억원으로 추정되는데, 이 재원을 기금으로 연리 8%를 적용하면 매년 442.5억원의 재원이 산출될 수 있다.<sup>76)</sup>

한편, 정부 재정을 통한 충당금에 대해서 이산화탄소 저감에 따른 부수적 환경편익의 증가분이 충당금 규모보다 크도록 함으로써 전체 국민의 복지를 증가시킬 수 있다. 재원이 증가함에 따라 보다 고비용의 저감대안이 필요하게 되지만 부수적 환경편익은 함께 증가하지 않을 수 있는데, 부수적 환경편익의 한계치(marginal value)보다 입찰 청산가격이 높을 경우에는 재원을 축소지출하는 방안이 활용될 수 있다. 부수적 환경편익의 크기에 대해서는 앞에서도 개략적으로 살펴보았지만 저감대안별 편차 뿐만 아니라 환경편익의 화폐적 가치에 있어서도 추정방법과 기초자료에 따라 큰 차이를 보이고 있어 추가적인 연구가 뒷받침되어야 할 것으로 사료된다.

마지막으로 총재원 중 정부의 몫을 조성하는 방법으로 일반예산에서 지원하는 방법, 기존의 환경 혹은 에너지 관련 세수에서 조달하는 방법, 기존의 환경·에너지 세율의 인상이나 탄소세의 신설 등을 통해 조달하는 방법 등이 검토될 수 있다. 일반예산에서 지원하는 방법보다는 환경·에너지 관련 세수를 통한 재원의 마련이 오염자부담원칙의 관점에서 바람직하다. 또한 탄소세는 파급효과가 워낙 광범위하여 조속한 시일내에 도입되기 어려울 것으로 예상되므로 기존의 에너지·환경관련 세수를 활용하는 것이 용이할 것으로 판단된다.

### 3. 감시감독체계

본 연구에서 제시하고 있는 인센티브 경매 메카니즘과 배출권 거래제도의 시행을 위해서는 인센티브 재원을 관리하고 참여 사업장의 배출량 및 배출권 보유량을 감시 및 통제하는 상시기구(가칭 "국가 배출권 거래관리소(National Emissions Trading Office: NETO)")가 필요하다. NETO는 가능한 한 독립성을 갖춘 행정조직으로 하고, 기후변화협약 범정부대책기구 산하에 있는 "배출권 거래제도 정책연

76) 전국민을 4천5백만으로 가정하면  $4,500만명 \times 0.732 \times 0.724 \times 23,196원$ 으로 계산된다.

구팀”과 같은 전문가 집단의 감독을 받도록 함으로써 시행초기의 합리적 의사결정을 촉진할 필요가 있다. 이 조직에서 담당하여야 할 업무는 다음을 포함하여야 한다.

- ① 인센티브 재원의 관리 및 경매 메카니즘의 시행
- ② 배출량 산정지침의 개발 및 홍보
- ③ 배출권 거래의 인허가, 관련 수수료의 징수 및 관리
- ④ 사업장별 배출량 및 배출권 보유량 정보의 관리 및 정기적 감사
- ⑤ 업종별 및 시설별 온실가스 배출계수의 개발에 대한 지원
- ⑥ 참여 사업장 등 이해당사자의 갈등을 조정하기 위한 심사위원회의 운영

NETO 설립 초기에는 이산화탄소 배출량 및 이의 산정에 필요한 경제 관련 통계(에너지 사용량 등)를 위주로 관리할 수 있지만, 타 온실가스는 물론 대기오염물질의 배출량과 관련된 자료도 함께 관리하는 것이 바람직하다. 온실가스와 대기오염물질 관련 통계가 상호 밀접하게 연관되어 있어 하나의 기관이 이를 관리하고 필요에 따라 정보를 공유하는 것이 자료제출을 위한 사업장의 보고 노력을 최소화하고 정보의 관리효율을 높일 수 있을 것이다. 특히 다음과 같은 자료가 종합적인 관리를 필요로 한다.

- ① 이산화탄소 등 온실가스 배출량에 대한 사업장별 및 시설별 자료
- ② 주요 대기오염물질 배출량에 대한 사업장별 및 시설별 자료
- ③ 사업장별 시설별 제품별 생산량 및 매출액
- ④ 사업장별 시설별 생산능력 및 기간별(월별) 가동률
- ⑤ 사업장별 시설별 기간별(월별) 에너지사용내역(재고변화 포함)
- ⑥ 사업장별 재무제표(연결 재무제표 포함)

제도의 이행기간은 계절적 차이와 같은 불안정성을 해소하기 위해 최소한 1년 이상으로 결정될 필요가 있다. 3~5년과 같이 장기간을 대상을 할 경우 이행기간 중에 발생하는 불확실성에 따른 위험을 줄일 수 있으나 발생할 수 있는 문제를 누적시킬 수 있고 사후평가를 통한 개선여력을 상식할 수 있으므로 바람직하지 않다.

배출권 보유량을 초과하여 배출할 경우에 대해 이를 효과적으로 예방할 수 있는

수준의 별칙이 필요하다. 원칙적으로 시장 거래가격 이상의 벌금이 부과되어야 하는데, 기준 시장가격의 결정이 어려울 경우 예상가격을 사전에 결정하고 이보다 충분히 높은 수준(예: 3~5)으로 정할 수 있다. 저감목표 입찰게임의 청산가격(총 재원을 총 낙찰 저감량으로 나눈 값)은 시장가격에 대한 합리적인 예측값으로 활용될 수 있다. 이처럼 경매 메카니즘의 활용은 미국의 산성비 프로그램에서와 같이 시장을 활성화하기 위해 별도의 경매 프로그램을 운영하여야 하는 필요성을 제 거해 준다.

본 연구에서 제시하는 배출권 거래제도가 자발적 참여를 전제로 하는 것이지만 탈퇴조차 자유롭게 하는 것은 부적절한 인센티브를 초래할 수 있다. 인센티브 경매에서 지나치게 높은 목표를 제시함으로써 많은 재원을 확보한 후 탈퇴하려는 유인이 발생해서는 안될 것이다. 배출권 거래제도 적용대상에서 탈퇴하는 사업장에 대해서는 해당 시행기간의 인센티브 재원 지급액의 환불과 함께, 동기간 순매출한 배출권에 대해서도 재매입 및 반납의무를 부과하여야 한다.

관련 법 체계로서 기존의 법규를 개정, 적용하는 방안과 새로운 법안을 도입하는 방안을 검토해 볼 수 있다. 기존의 법규 중 대기보전법과 에너지이용합리화법이 기후변화협약상의 온실가스를 직접 다루고 있으므로 이를 개정하여 이산화탄소에 대한 배출권 거래제도 관련 조항을 포함하도록 개정될 수 있을 것이다. 하지만 두가지 모두 이산화탄소에 대한 양적 규제를 포함하기에는 많은 수정이 필요할 것으로 예상되므로 새로운 법의 제정하는 것이 바람직할 수 있다. 현재 검토중인 가칭 지구온난화법 등에서 온실가스에 대한 배출권 거래제도 관련 규정을 포함하고 있으므로 이에 대한 보완을 통해 인센티브 경매 메카니즘과 배출권 거래제도의 법적 근거를 확보할 수 있을 것이다.

#### 4. 기준 배출량의 결정

기준 배출량은 새로운 규제가 도입되기 이전의 경영환경하에서 각 사업장이 얼마만큼의 이산화탄소를 배출할 것인가에 대한 예측을 토대로 결정되어야 한다. 이는 경제상황이나 개별 사업장에 특수한 환경이 불확실하다는 점에서 정확하게 추정하기 어렵다. 반면에 기준배출량이 비현실적으로 높게 평가된 사업장은 그만큼 높은 삭감목표를 제시할 수 있으므로 인센티브 재원을 보다 많이 확보하거나 혹은 배출권 거래를 통해 이익을 얻을 수 있다. 즉, 소위 Hot air와 같은 개념의 배출권(paper permit)을 통해 일부 사업장이 부당이익을 향유할 가능성이 있다. 따라서

기준 배출량의 결정은 매우 중요한 문제이며 합리적이고 투명한 과정을 통해 결정되어야 한다.

기준 배출량은 통상적인 배출권 거래제도의 경우 무상 할당량과 같은 개념으로 이해할 수 있는데, 미국의 배출권 거래제도 시행경험을 통해 볼 때 기준배출량은 시설별 과거 배출실적에 근거하는 것이 가장 보편적인 합의를 이룰 수 있는 것으로 판단된다. 과거 배출실적에 기초한 기준배출량의 결정에 있어서 시설별 결정방식을 택하는 이유는 동일한 사업장이라도 시설의 폐쇄나 신설에 따른 배출량 변동은 가능한 한 별도로 고려되어야 하기 때문이다. 미국의 산성비 프로그램에서와 같이 최근 3년간 배출량의 평균을 기준 배출량으로 인정할 수 있을 것이다.

일정기간의 과거배출량을 기초로 기준 배출량을 산정할 경우 현실적으로 자료의 부족이나 특수상황의 발생등으로 광범위한 예외규정이 필요하게 된다. 예를 들어 최근 3년간 배출량 자료가 없거나 있더라도 편차가 매우 큰(예: 20% 이상) 경우, 해당 업종의 평균 가동률 및 이산화탄소 원단위를 이용하여 기준배출량을 평가할 수 있다. 또한 가동률이나 원단위의 적용이 곤란한 상황이 발생할 경우 해당 사업장의 신청에 따라 투명하고 합리적인 심사과정을 거쳐 기준배출량을 정할 수 있을 것이다. 특히 신규 등록 사업장이 이러한 경우에 해당될 것이다. 이처럼 현실적으로 불가피하게 발생하는 예외적 상황은 매우 빈번할 것으로 예상되는데, 이를 해결하기 위해 관련전문가로 구성된 심사위원회가 필요할 것으로 판단된다.

한편 반드시 과거 배출실적의 100%를 기준배출량으로 해야 할 당위성은 없다. 예를 들면 과거 배출실적의 95%를 기준배출량으로 정함으로써 배출권 거래제도의 참여를 위해서는 BAU 대비 5%의 감축을 조건화할 수 있을 것이다. 이로써 생산효율이 이산화탄소 원단위가 시간에 따라 줄어드는 경향이 있다는 점을 감안할 수 있다. 또한 인센티브 경매를 통해 소요저감비용 이상의 재정적 이익을 볼 수 있으므로 이에 대한 사전환수의 성격도 부여할 수 있다.

본 연구에서 제시하고 있는 배출권 거래제도에 참여하는 사업장은 지속적으로 추가적인 저감목표를 제시하여야 하는데, 이는 시행회수가 늘어남에 따라 누적적인 저감노력을 요구하게 된다. 따라서 제도의 반복시행시 개별 사업장의 기준배출량을 당해 사업장의 과거 배출량에 계속 조건화하는 것은 중장기적으로 자칫 무리한 부담을 초래할 수 있다. 이는 인센티브 재원의 배분을 통해 경감될 수 있지만 사업장의 참여유인을 크게 악화시킬 소지가 있다. 특히 기준배출량 결정시 과거배출량을 할인하여 적용할 경우 보다 심각한 문제가 야기될 것이다.

이러한 문제는 저감노력을 시행할수록 불리한 기준에 직면하게 됨으로써 저감노

력을 회피하게 되는 현상으로서 소위 기준선 보호(Baseline Protection)의 문제가 대두한다. 보다 적극적인 저감노력(높은 저감목표의 제시)을 시행하는 사업장에 대해서 그 사업장 자체보다는 업종이나 산업 전체의 평균적인 성과에 기초하여 기준선을 설정할 경우 이러한 문제는 완화될 수 있다. 이처럼 보다 넓은 범위에 기초한 벤치마킹은 개별 사업장이 포함된 광범위한 그룹의 사업장간에 경쟁(yardstick competition)을 유도함으로써 효율제고효과를 극대화할 수 있다는 장점도 갖고 있다. 여기서 범위의 결정은 가능한 한 비슷한 여건에 처한 사업장을 묶음으로써 경쟁의 형평성을 높여야 하는데, 예를 들면 개별 업종이나 유사한 업종 집단을 대상으로 할 수 있다. 다음의 표 VII-3에 나타난 바와 같이 이산화탄소 원단위는 업종간에 심한 차이를 나타내므로 가능한 단일한 업종이나 유사한 업종간에 경쟁할 수 있도록 할 필요가 있다. 이처럼 업종간의 경쟁을 유도하기 위해서는 업종별 원단위에 기초한 기준배출량을 적용할 필요가 있는데, 예를 들면 개별 사업장의 기준배출량을 당해 사업장의 생산능력에 업종 평균 원단위와 가동률을 곱하여 산출할 수 있다.

<표 VII-3> 부문별 이산화탄소 원단위 변화 추이(T-C/백만원, 1990년 실질가격)

| 부문      | 1985  | 1990  | 1995  |
|---------|-------|-------|-------|
| 농림어업    | 0.086 | 0.127 | 0.158 |
| 광업      | 0.151 | 0.155 | 0.534 |
| 제조업     | 0.549 | 0.422 | 0.397 |
| 음식료품    | 0.176 | 0.173 | 0.174 |
| 섬유·가죽제품 | 0.156 | 0.232 | 0.232 |
| 목재·종이제품 | 0.405 | 0.352 | 0.572 |
| 인쇄 및 출판 | 0.045 | 0.035 | 0.081 |
| 화학제품    | 0.432 | 0.302 | 0.229 |
| 비금속광물   | 2.598 | 1.581 | 1.462 |
| 1차 금속   | 2.912 | 2.289 | 2.276 |
| 금속제품    | 0.167 | 0.090 | 0.164 |
| 일반기계    | 0.117 | 0.054 | 0.060 |
| 전기전자기기  | 0.093 | 0.045 | 0.030 |
| 정밀기기    | 0.100 | 0.038 | 0.045 |
| 수송장비    | 0.073 | 0.047 | 0.044 |
| 기타제조업   | 0.255 | 0.061 | 0.090 |
| 건설업     | 0.063 | 0.059 | 0.062 |
| 서비스업    | 0.205 | 0.210 | 0.203 |

자료원: 강상인 외(1998.12, 한국환경·정책평가연구원)

기준배출량의 결정에 있어 과거 배출실적과 업종별 원단위 등 여러 가지 요인을 어떻게 조합하여 나갈 것인가에 대한 이행스케줄은 적어도 제도시행 초기에 제시됨으로써 사업장이 당면하는 중장기적 위험을 최소화하여야 한다. 예를 들면 초기에는 과거 배출실적을 기준으로 하되, 시행회수가 늘어남에 따라 업종별 원단위에 대한 가중치가 점차 늘어나도록 하는 가중평균방식을 검토할 수 있다.

어느 경우에는든 참여 사업장이 당면하는 기준선(Baseline)은 점차 강화될 것이다. 이는 잠재적 참여 사업장의 참여유인에 지대한 영향을 미치는데, 참여 사업장과 비참여 사업장간의 형평성 문제와도 밀접하게 관련되어 있다. 비참여 사업장이 배출저감압력으로부터 영원히 제외될 수 있거나 가능한 한 늦게 참여하는 것이 유리한 상황을 만들어서는 안될 것이다. 이러한 측면에서 자발성을 기초로 시작되는 배출권 거래제도가 미래에 강제화 될 수 있는 가능성을 완전히 제거할 필요는 없다. 또한 신규 참여 사업장에 적용되는 기준선이 기존 참여 사업장이 당면하는 기준선 보다 약한 것이어서는 안된다. 중장기적으로 (유사)업종별 원단위를 통한 기준선의 결정은 이러한 문제를 해결하는 합리적인 절충점이 될 수 있을 것이다. 이를 위해서는 (유사)업종별 원단위에 대한 공신력 있는 자료가 (NETO에 의해) 생산될 필요가 있다.

## 5. 시장의 형성 및 관리

인센티브 경매는 배출권의 할당은 물론 경매 이후의 거래시장에 대해 중요한 시그널을 제공한다. 인센티브 경매는 제도 이행기간을 기준으로 1회 시행되어야 한다. 입찰시에는 저감목표 뿐만 아니라 저감대책, 부수적 환경편익(대기오염물질 저감량 등)에 대한 자료도 함께 제출토록 함으로써 사후평가에 활용할 필요가 있다. 구체적인 입찰 과정은 다음과 같이 설계할 수 있다.

- ① 입찰 관리자는 총재원(W)을 공개한다.
- ② 개별 사업장은 목표저감량과 관련자료를 제시한다.
- ③ 입찰 관리자는 청산가격(총재원을 목표저감량의 합계로 나눈 값)과 개별사업장이 받게 되는 인센티브의 크기를 공개한다. 개별 사업장에 대한 인센티브의 크기는 청산가격에 대해 개별사업장이 제시한 목표저감량을 곱한 값으로 한다.
- ④ 개별 사업장은 청산가격과 인센티브의 크기를 토대로 목표 저감량을

다시 제시한다.

- ⑤ 모든 사업장에 있어서 다시 제시된 목표저감량이 바로 전에 제시한 목표저감량과 동일할 경우 입찰은 종료되고 이 때의 청산가격과 목표저감량에 따라 인센티브의 지급 및 배출권 할당을 실시한다. 만일 하나 이상의 사업장에 대해 다시 제시된 목표저감량과 바로 전에 제시한 목표저감량이 다를 경우 ③과 ④의 절차를 반복한다.
- ⑥ 목표저감량을 3회 이상 변경하는 사업장에 대해서는 입찰자격을 박탈한다.

배출권의 거래는 저감목표 및 배출권을 부여받은 사업장뿐만 아니라 중개회사, 비정부단체, 개인, 타 사업장 등 모든 국내외 법인 및 개인에 대하여 제한없이 허용함으로써 가능한 한 많은 이익집단의 이해관계를 반영하고 거래를 활성화하는 것이 바람직하다. 또한 거래당사자들의 거래신청에 특별한 하자가 없는 한 거래를 허용하는 신고제를 채택함으로써 거래에 대한 위험과 거래비용을 최소화할 필요가 있다.

태양에너지, 지열, 수력, 풍력 등 신재생에너지의 이용이나 연료전지 등 저탄소형 신기술의 활용에 대해서는 추가적인 저감 크레딧을 인정하고 배출권 거래시장에서 유통될 수 있도록 하는 방안도 검토할 필요가 있다. 이러한 신기술은 다가올 탄소시장에서 보다 적은 위험으로 보다 높은 가치를 인정받을 수 있기 때문이다.

배출권의 사용기한은 충분하게 설정하고 예탁의 범위도 넓게 설정함으로써 중장기적인 투자의 효율을 높일 필요가 있다. 예를 들면 배출권의 사용기한은 5년 이상으로 설정하고, 제한없는 예탁을 허용하는 것도 가능한 대안이다. 사용기한의 제한은 예탁 가능성을 함께 제한하게 되는데, 예를 들어 사용기한이 5년일 경우 예탁가능연수는 4년이 될 것이다. 예탁에 따른 잉여배출권의 누적은 향후 감축의무를 부담하게 될 때 추가적인 감축수요로 작용하게 된다.<sup>77)</sup>

정부정책의 변화로 배출권의 가치가 소멸되거나 하락할 경우에 대해서는 예탁된 배출권을 정부가 의무적으로 구매하는 것과 같은 대비책이 세워둌으로써 배출권 시장의 건전한 발전을 촉진해야 한다. 이 때 구매가격은 국제 배출권 가격의 일정

77) 예를 들어 1억톤의 (구속적인) 배출목표를 할당받을 경우 조기실시를 통해 (국내적으로) 이미 1천만톤의 잉여배출권이 남아있을 경우 이러한 잉여배출권의 가치를 보장하기 위해서는 배출권의 신규할당량을 9천만톤 이하로 유지하여야 하는 상황이 발생할 수 있다. 이는 사실상 잉여배출권을 축적(예탁)하지 못한 업체에게 10%의 추가적인 감축의무를 요구하는 것과 같다. 이처럼 배출권 혹은 저감 크레딧의 비축을 초래하는 국내적 (조기실시) 노력에 대해서는 국제협상과정에서 추가적인 양해를 받도록 하는 노력이 필요하다.

비율(X%)로 결정되도록 함으로써 저감노력의 강도를 적정수준으로 유도할 수 있을 것이다. 또한 우리나라의 저감목표가 국제협상을 통해 결정될 경우 국내 거래제도의 실시를 통해 예탁된 저감량을 추가적으로 인정받을 수 있도록 노력해야 할 것이다. 이를 위해서는 추가적인 저감노력을 객관적으로 입증할 수 있도록 체계적인 기록과 과학적인 자료정리가 필요하다.

사업장의 시설 폐쇄시 발생하는 크레딧(Shut-down Credit)은 폐기를 원칙으로 하되 일부는 차기 이행기간의 인센티브 경매에 대비하여 비축할 수 있다. 미국 환경청(2000)에서는 저감노력 없이 잉여배출권을 판매함으로써 환경적 건전성을 침해하고 일부 업체에 부당이득을 안겨줄 수 있다는 우려에서 Shut-down Credit의 인정을 엄격히 제한하고 있다. 예를 들면 총량적 관리목표가 정해진 Cap-and-Trade 체제하에서는 인정하되 Baseline-and-Credit 체제하에서는 인정하지 않는 원칙을 제안하고 있다. 본 연구에서 제시하는 메카니즘은 순수한 의미의 Cap-and-Trade나 Baseline-and-Credit 시스템이 아니므로 이 원칙을 바로 적용하기는 곤란한데, 제도시행 초기에는 보다 보수적인 원칙을 적용하여 경험을 축적한 후 이를 개선해 나가는 노력이 필요할 것이다. 사업장 전체가 아닌 일부 시설 폐쇄시에는 해당 시설에서 배출되는 배출량의 비중에 비례하여 배출권을 회수할 필요가 있다.

## 6. 도입 일정(안)

도입일정을 제시하기 전에 다음과 같은 시나리오를 가정하자. 첫째 3차 공약기간 혹은 그 이전에 대해 구속적 감축의무를 부담할 가능성이 높다. 둘째 2차 공약기간 혹은 그 이전에 대해 자발적 감축목표를 제시하게 될 가능성이 크다. 이 경우 국제 배출권 거래에 참여하게 될 가능성이 커진다. 셋째 2005년 이전에 2차 공약기간 이전에 대한 우리나라의 감축목표 협상이 시작될 가능성이 크다.

이와 같은 전제는 현재 진행중인 기후변화협상을 볼 때 결코 지나치거나 비관적인 시나리오가 아니라고 판단된다. 오히려 일정 자체가 보다 앞당겨질 공산이 크다고 판단된다. 따라서 이러한 전제에서 제시되는 도입 일정이 너무 조급하거나 이르다는 해석은 경계되어야 한다.

먼저 2005년 이전에 2차 공약기간 이전에 대한 우리나라의 감축목표 협상이 진행될 경우 우리나라의 저감역량을 파악하여 협상에 대비하는 노력을 그보다 선행될 필요가 있다. 우리나라는 아직 배출원의 저감역량에 대한 정보나 정책수단(특히

배출권 거래제도)의 시행경험이 부족하다. 물론 선진국에서도 교토의정서 협상시 이러한 지식을 충분히 축적하였던 것은 아니나 그렇다고 우리나라도 이들 국가의 준비부족을 답습할 필요는 없다. 게다가 우리나라의 경제상황은 선진국보다 훨씬 불안정하며, 시장경제에의 적응능력이나 관련통계자료 등 하부구조에 있어서 불리한 상황에 처해 있다는 점에서 보다 철저한 준비가 요구된다.

저감능력에 대한 정보와 제도적 경험을 토대로 협상에 대비한 지식을 축적하기 위해서는 합리적인 정책수단의 시행과 평가가 사전에 이루어져야 하는데, 본 연구에서 제시하고 있는 배출권 거래제도를 정책수단으로 선택할 경우 적어도 1~2회의 시행경험이 요구된다. 이를 위해서는 늦어도 2004년 경부터 배출권 거래제도의 시범실시가 시행될 필요가 있다. 2차 공약기간(2013년에 시작)부터의 목표대비 저감량이 국제적으로 인정된다고 가정할 때 10년 이상의 내구연한을 갖는 설비에 대한 투자결정의 경우 2003년부터 재평가되어야 하며, 시범실시 예고를 통해 합리적인 의사결정이 촉진되어야 한다. 또한 이를 위해서는 시행될 제도에 대한 광범위한 의견수렴과 법적, 제도적 기반 구축이 1~2년에 걸쳐 진행되어야 한다. 이를 토대로 <표 VII-4>와 같은 도입 일정이 제시될 수 있다. 단, 2001년 7월 개최예정인 COP6 속개회의의 결과에 따라서 기존의 추세를 크게 벗어나는 결과가 도출될 경우 이를 고려한 일정의 조정이 필요하다. 또한 미국, 일본 등 주요 교역상대국 및 경쟁상대국의 관련 일정을 고려하여 유연성 있는 대처가 요구된다.

<표 VII-4> 이산화탄소 배출권 거래제도 및 인센티브 경매 도입일정(안)

| 연도   | 추진 내용                  | 작업                        |
|------|------------------------|---------------------------|
| 2002 | 시범실시방안에 대한 의견수렴        | - 공청회(3회 이상)<br>- 홍보 및 교육 |
| 2003 | 시범실시를 위한 법적, 제도적 기반 구축 | - 관련 법규 제·개정<br>- NETO 설립 |
| 2004 | 1차년도 시범실시              | - 1차 인센티브 경매              |
| 2005 | 1차년도 시행 평가 및 저감목표 협상   | - 협상대책 수립·의견수렴            |

## 참 고 문 헌

- 김동원, 「2000년대를 향한 에너지정책방향」, 에너지경제연구원, 1989.
- 김용건, "교토의정서상의 유연성 조치에 대한 논의 방향," 「그린삼성」, 통권 제48호, 1998.
- 김용건, "배출권거래제 적용사례 및 시사점," 「기후변화협약과 천연가스 산업의 대응방안 세미나 자료집」, 한국가스공사, 1999a.
- 김용건, "대기환경관리를 위한 배출권 거래제도의 활용방안", 「환경포럼」, 제3권 제10호, 한국환경기술개발원, 1996b.
- 김용건, 「기명식 배출권 거래제도의 설계 및 환경문제에 대한 적용방안에 관한 연구」, 한국과학기술원 박사학위논문, 1996a.
- 김용건, 「온실가스 배출권 거래제도 동향분석 및 국내 도입방향 연구」, 한국환경정책·평가연구원, 1999b.
- 대한상공회의소, 「청정개발체제(CDM) 논의 동향과 이슈 분석」, 1999.
- 동력자원부, 「에너지부문 중장기 환경종합대책 수립연구」, 1992.
- 배출권거래제연구회, 「배출권 거래제도 논의동향 및 향후 정책방향」, 한국환경정책·평가연구원, 1998.
- 산업자원부/에너지경제연구원, 「기후변화협약 대응 실천계획 수립을 위한 연구(2차년도)」, 1998a.
- 산업자원부·에너지경제연구원, 「기후변화협약과 교토의정서」, 1998b.
- 산업자원부·에너지경제연구원, 「기후변화 대응 실천계획 수립을 위한 연구」, 1999, 8
- 산업자원부·에너지경제연구원, 「기후변화 대응 실천계획 수립을 위한 연구」, 1999, 12
- 산업자원부·에너지경제연구원, 「기후변화협약 및 교토 의정서 대응전략 연구」, 2000.
- 산업자원부·에너지경제연구원, 「에너지 산업부문의 온실가스 저감대책」, 1998.
- 안병훈, 「배출권거래제도의 설계 및 환경문제에 대한 적용방안에 관한 연구」, 한국환경기술개발원, 1996.
- 에너지경제연구원, 「21세기에너지방안」, 1990.
- 에너지경제연구원, 「기후변화협약 관련 국가보고서작성 및 대응방안연구」, 1994.

- 에너지경제연구원, 「기후변화협약의 과제와 대응방향」, 1994.
- 에너지경제연구원, 「에너지 경제-환경-시스템의 모형화에 관한 연구」, 1999.
- 에너지경제연구원, 「에너지·자원부문의 정책 과제와 방안」, 1996.
- 에너지경제연구원, 「에너지부문환경공해대응연구」, 1992.
- 에너지경제연구원, 「지구온난화 방지를 위한 에너지부문 환경문제 대응방안연구」, 1993.
- 에너지경제연구원, 「한국의 에너지미래」, 1987.
- 에너지경제연구원, 「화석연료부담금이 산업구조에 미치는 영향」, 1999.
- 에너지경제연구원·대한상공회의소, 「기후변화협약 관련 논의 동향과 경제적 파급 효과」, 1999.
- 에너지관리공단, 「VA 전문위 4차 회의자료」, 1999. 7.
- 에너지관리공단, 「VA협약 46개 사업장의 99년 이행실적 분석결과」, 2000. 5.
- 이은명·이기훈, 「배출권 거래제를 활용한 전력산업의 온실가스 저감방안」, 에너지경제연구원, 연구보고서 99-08, 1999.
- 조경엽, 「Top-Down 모형구축을 위한 연구: 교토메카니즘 분석을 위한 Global CGE모형 개발」, 에너지경제연구원, 연구보고서 99-10, 1999.
- 조용성, 「국제 온실가스 배출권거래제 도입에 대한 논의 동향」, 「1999년도 정기학술대회 논문집」, 한국환경경제학회, 1999.
- 조용성·김용건, 「국제온실가스 배출권거래제도에 대한 대응 방향」, 「한국자원경제학회지」, 제9권 1호, 179-204, 1999.
- 통계청, 「1996 광공업통계조사보고서(전국편)」, 1998. 2.
- 통계청, 「1997년 기준 사업체기초통계조사보고서」, 1998. 11.
- 통상산업부/에너지경제연구원, 「기후변화협약 대응 실천계획 수립을 위한 연구(1차년도)」, 1997. 12.
- 통상산업부·에너지경제연구원, 「국가에너지기본계획수립연구」, 1996.
- 통상산업부·에너지경제연구원, 「기후변화협약 관련 국가보고서 작성 및 대응방안 연구」, 1995.
- 한국동력자원연구소, 「에너지통계연보」, 1982.
- 한국동력자원연구원, 「에너지수급계획모형개발과 운용에 관한 연구」, 1981.
- 한국에너지기술연구원, 「에너지부문 환경공해 저감대책 수립」, 1991.
- 한국열관리시험연구소, 「종합에너지정책의 연동화」, 1979.

- 한국환경정책·평가연구원, 「환경문제를 고려한 천연가스의 경제성 평가 및 보급 활성화 방안」, 한국가스공사, 2000.
- 한국환경정책·평가연구원/에너지경제연구원, 「온실가스 저감 시나리오별 비용/편익 분석」, 환경부, 2000. 9.
- 한국환경정책·평가연구원, 「지구온난화, 알고 대처합시다」, 환경부, 1998, 12.
- 환경부, 「환경백서」, 1997.
- 환경부, 「환경통계연감」, 1998.
- Atkinson and Tietenberg, Market failure in incentive-based regulation: the case of emissions trading, *Journal of Environmental Economics and Management*, 1991
- Australian Greenhouse Office, *National Emissions Trading: Issuing the permits*, Discussion paper 2, 1999.
- Baron, Richard, *Market Power in International GHG Emissions Trading*, OECD, 1999.
- Baumert, Kevin A., Ruchi Bhandari, Nancy Kete, What might a developing country climate commitment look like?, World Resource Institute(WRI), 1999. 5,
- Brian McLean, The US Acid Rain Program: Overview and Lessons Learned, Chinese Study Tour Workshop, US EPA, 2000. 10.
- Bohm, P., Determinants of the benefits of international carbon emissions trading: theory and experimental evidence, *Emissions Trading - Proceedings of the Conference on GHG Emissions Trading*, ABARE, 1998.
- Burniaux, J.-M., How important is market power in achieving Kyoto? an assessment based on the GREEN model, OECD paper, 1999.
- Burtraw, Dallas, Trading Emissions To Clean the Air, *The RFF Reader*, 1998.
- Center for International Environmental Law, Building a Compliance Regime Under the Kyoto Protocol, 1999.
- Center for International Environmental Law, The Compliance Fund: A New Tool for Achieving Compliance Under the Kyoto Protocol, 1999.
- Claussen, Ellen, Lisa McNeilly, Equity & Global Climate Change, Pew center on Global Climate Change, 1998, 10.
- Coase, Ronald, The Problem of Social Cost, *Journal of Law and Economics*,

- 1960.
- Dales, J. H., *Pollution, Property and Prices*, Toronto, Ontario, University of Toronto Press, 1968.
- Ellerman, A. Denny, Henry D. Jacoby and Annelene Decaux, *The Effects on Developing Countries of the Kyoto Protocol and CO<sub>2</sub> Emissions Trading*, MIT, 1998.
- Elzen. M. den., M. Berk., M. Shaeffer., J. Oliver., C. Hendriks., B. Metz., *The Brazilian Proposal and other Option for International Burden Sharing: an evaluation of methodological and policy aspects using the FAIR model*, RIVM(National Institute of Public Health and the Environment: Netherlands), 1999.
- Environment Agency of Japan, *Discussion Paper on Domestic Emission Trading Regime for Greenhouse Gases in Japan*, 2000, 6.
- Global Commons Institute, *Contraction and Convergence*, 2000.
- Godby, Robert W., Andrew Muller, and J. Douglas Welland, *Emissions Trading with Shares and Coupons when Control over Discharges is Uncertain*, *Journal of Environmental Economics and Management* 32, 359-381, 1997.
- Grand, M, *Argentina's Voluntary Commitment Proposal at COP5: What is it About?*, RFF, 2000. ([www.weathervane.rff.org](http://www.weathervane.rff.org))
- Groenenberg, Heleen, Dian Phylipsen, Kornelis Blok, *Differentiating the burden world wide: Global burden differentiation of GHG emissions reductions based on the Triptych approach - a preliminary assessment*, 2000.
- Hizen, Y., T. Saijo, *Designing GHG Emissions Trading Institutions in the Kyoto Protocol: An Experimental Approach*, *Environmental Modeling & Software*, forthcoming, 1999.
- IEA(International Energy Agency), *CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion*, 2000.
- IPCC, *An Introduction to Simple Climate Models used in the IPCC Second Assessment Report*, 1997.
- IPCC, *Revised 1996 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories*, 1996.
- Jansen, J. C., J. J. Battjes, J. P. M. Sijm, C. Volkers, J. R. Ybema, *The Multi-sector Convergence Approach*, semi-final draft, CICERO, 2000.

- Johnstone, Nick, Tradable Permit Systems and Industrial Competitiveness: A Review of Issues and Evidence, *Implementing Domestic Tradable Permits for Environmental Protection*, OECD, 1999.
- Joskow, Paul L., Richard Schmalensee, The Political Economy of Market-Based Environmental Policy: The U.S. Acid Rain Program, *Journal of Law and Economics*, vol. XLI, 37-83, 1998.
- Klaassen, Ger, Emissions trading in the EU: practice and prospects, *Pollution for Sale*, Edward Elgar, 1999.
- Koch, T and A. Michaelowa, "Hot air reduction for Russia through measures prior to 2008 and Non-Quantifiable Projects", 1999. (www.hotair.org)
- Kopp, R., R. Morgenstern, W. Pizer, and M. Toman, "A Proposal for Credible Early Action in U.S. Climate Policy," WRI, 1999.
- Lutter, Randall, Developing Countries' Greenhouse Emissions: Uncertainty and Implications for Participation in the Kyoto Protocol, *The Energy Journal*, Vol. 21, No. 4, 93-120, 2000.
- Matsuo, Naoki, International Framework on Climate Change after the COP3, IGES, 1998.
- McMillan, John, Selling Spectrum Rights, *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 8, 145-162, 1994.
- Montero, J., Prices vs. Quantities with Incomplete Enforcement, MIT, 1999.
- Montgomery, W. D., Markets in Licenses and Efficient Pollution Control Programs, *Journal of Economic Theory* 5, 395-418, 1972.
- OECD, Economic Modelling of Climate Change, Workshop Report, 1998.
- OECD, *Implementing Domestic Tradable Permits for Environmental Protection*, 1999.
- Philibert Cedric and Jonathan Pershing, Evolution of mitigation commitments, Draft Paper, OECD and IEA, 2000, 5.
- Phylipsen, G., J. Bode, K. Blok, H. Merkus and B. Metz, A Triptych sectoral approach to burden differentiation; GHG emissions in the European bubble, *Energy Policy*, 1998.
- Pizer, W., Choosing Price or Quantity Controls for Greenhouse Gases, Resources for the Future, Climate Change Brief No. 17, 1999.

- Rolfe Chris, Axel Michaelowa and Michael Dutschke, Closing the Gap: A Comparison of Approaches to Encourage Early Greenhouse Gas Emission Reductions, Hamburg Institute of International Economics, 1999.
- Schmalensee, Richard, Paul L. Joskow, A. Denny Ellerman, Juan Pablo Montero, and Elizabeth M. Bailey, An Interim Evaluation of Sulfur Dioxide Emissions Trading, *Journal of Economic Perspectives* 12, 53-68, 1998.
- Schwarze, Reimund and Peter Zapfel, Sulfur Allowance Trading and the Regional Clean Air Incentive Market: A Comparative Design Analysis of Two Major Cap-and-Trade Permit Programs?, *Environmental and Resource Economics*, 1999. 11.
- Sorrell, Steve, Why sulphur trading failed in the UK, *Pollution for Sale*, Edward Elgar, 1999.
- South Coast Air Quality Management District, *A market Incentive Air Pollution Reduction Program for NOx & SOx*, 1998
- Taiwan Research Institute, Carbon Dioxide Emission Trading in Taiwan: an Analysis of Feasibility, 1999
- Torvanger, Asbjorn and Odd Godal, A survey of differentiation methods for national greenhouse gas reduction targets, Center for International Climate and Environmental Research(CICERO), 1999. 8.
- UNCTAD, Global Greenhouse Emissions Trader, Issue 7, 1999. 10.
- UNCTAD, *Greenhouse Gas Emissions Trading*, 1999.
- UNFCCC, *A Guide to the Climate Change Process*, 2000.
- UNFCCC, "Principles, Modalities, Rules and Guidelines for the Mechanisms Under Articles 6, 12 and 17 of the Kyoto Protocol," FCCC/SB/1999/MISC.3, Add.1-3, 1999.
- UNFCCC, "Procedures and mechanisms relating to compliance under the Kyoto Protocol: Submissions from Parties," FCCC/SB/1999/MISC.4, 1999.
- Weitzman, M., Prices vs. quantities, *Review of Economic Studies* 41, 477-491, 1974.
- Wilson, Robert, Strategic Analysis of Auctions, *Handbook of Game Theory*, Vol. 1, 127-279, Elsevier Science Publishers, 1992.

## 부록 . 이산화탄소 배출량 산정방식

배출되는 CO<sub>2</sub>의 확인작업은 CO<sub>2</sub>에 대한 관리에 있어서 가장 기본적인 일이다. 국제적으로 CO<sub>2</sub> 측정에 관하여 여러 가지 방법들이 제시되고 있다. 현재까지 공동으로 사용하도록 지정된 방법은 없으나, 많은 경우 IPCC가 제시하는 방법을 기본으로 하여 CO<sub>2</sub> 배출을 확인한다. 아래에서는 IPCC에서 제시하고 있는 방법론을 살펴보고, 미국, 영국 등 주요 선진국 및 연구소 등에서 제시하는 방법론을 비교평가하여 이 결과를 토대로 우리 나라에 적용가능한 방법을 제시하도록 한다.

### 1. IPCC(Intergovernment Panel on Climate Change)의 방법론<sup>78)</sup>

"Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories"에서는 에너지 부분의 CO<sub>2</sub> 배출을 측정하는데 있어서, 'Reference Approach'와 'Sectoral Approach'인 두 개의 Tier1방법을 제시하고 있다.

Reference Approach가 가장 기본적인 방법으로 간단한 정보로 CO<sub>2</sub>배출량을 쉽게 계산할 수 있다. 이 방법에서는 먼저 한 국가의 생산량, 수입량, 수출량, 저장의 변동량 등의 data를 기본으로 국내에서 사용되는 화석 연료량을 측정한다. 다음으로 각각 다른 단위를 가지고 있는 측정한 사용 연료량의 단위를 에너지 단위인 TJ으로 같은 단위를 지니도록 환산하여 준다. 단위를 환산하기 위하여 각 연료에 대한 총발열량이나 순 발열량을 사용한다. <부표 1-1>에 IPCC에서 제시하는 순 발열량(Net Calorific value)값이 제시되어 있다. IPCC에서는 고정 배출원에서 연소되는 연료에 포함되어 있는 탄소는 연소되는 동안 대부분 CO<sub>2</sub>로 배출되는 것으로 보고, 에너지 단위로 환산된 값에 탄소 함유량 계수를 곱하여 탄소량을 계산한다. <부표 1-2>의 탄소 함유량 계수는 기준(default)값이다. 만약 더 정확한 계수 자료가 존재한다면, 그 자료를 사용할 수도 있다. 이렇게 구해진 탄소량은 국내에 존재하는 모든 연료를 포함한 탄소량이다. 그러나 실제로 국내의 모든 화석 연료들이 연소에만 사용되는 것이 아니다. 그 중에서는 제품의 공급원료로 사용되는 것이 있는데, 이렇게 사용되는 연료내의 탄소 중 일부분은 장기간 배출되지 않고 제품 내에 몰입된다. 그러므로 이러한 대기로 배출되지 않는 탄소량을 계산하

78) "Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories" 및 "2000 IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty in National Greenhouse Gas Inventories" 참조

여 총탄소량에서 보정해주어야 한다. 몰입 탄소량을 구하는 과정은 앞의 과정과 동일하다. 먼저 제품으로 사용되는 연료량을 측정한 다음 단위 환산을 하고 여기에 탄소의 몰입 비율을 곱하여 준다.

만약 연료의 모든 탄소가 CO<sub>2</sub>로 전환된다고 가정하면, 연료의 탄소 함유량은 대기로 방출되는 최대의 탄소량으로 간주될 수 있으나, 위에서 언급한 것과 같이 100%효율을 지닌 연소 공정은 없기에 탄소의 일부분은 대기로 배출되지 않고 재나 매연에 잔존하게 된다. 그러므로 산화되지 못하는 탄소를 보정해 줄 필요가 있다. 이를 보정하기 위하여 산화 계수를 사용한다. 일반적으로, 가스나 석유의 경우의 산화 계수는 정확한 편이다. 석탄의 경우, 산화계수는 연소조건에 따라 다르므로, 석탄 사용자나 생산자와 함께 논의하는 것이 좋으나, 추정값은 IPCC Guidelines에 제시되어 있다. <부표 1-3>에 나와있는 IPCC default 값으로 제시된 3개의 연료 범주에 관한 산화 계수를 구해진 총 탄소량에 곱하면, 실제로 산화되어 대기로 방출되는 탄소량을 구할 수 있다. 마지막으로 우리가 구하고자 하는 값이 CO<sub>2</sub> 값이므로 탄소와 CO<sub>2</sub>의 분자량 차이를 이용하여 44/12를 곱하면 대기로 방출되는 CO<sub>2</sub>량을 구할 수 있다. 각 연료별로 나온 이 CO<sub>2</sub> 값을 다 합하여 주면 그 나라의 총 CO<sub>2</sub> 배출량을 구할 수 있다.

‘Reference Approach’가 단지 연료 종류별로 투입되는 연료에 관하여서만 계산하는 반면에 Sectoral Approach의 경우는 좀 더 분류하여 모든 부문과 모든 연료 종류별로 위의 과정과 같이 계산하여 총 CO<sub>2</sub>량을 구한다. 보다 상세한 분류에 따라 분야별, 기술별로 특화된 연료소비량과 배출계수를 활용하는 Tier2·3방법의 적용도 가능한데, 이 방법이 앞의 Reference Approach방법보다는 더 세분화된 배출을 추정할 수 있으나 더 많은 자료가 필요하다. 에너지 소비 데이터가 비교적 정확한 나라에 대하여는 ‘bottom-up’ approach인 Tier2·3방법이 정확하기 때문에 권장된다. IPCC에서는 Reference Approach에 추가적으로 ‘bottom-up’ 방법인 Tier2·3을 사용하는 것을 권장하고 있다. 비교적 높은 정확성 때문에 거론되고 있는 연속추정의 경우, CO<sub>2</sub>만을 측정하는 데 있어서는 다른 방법에 비하여 상대적으로 비용이 많이 들어가고, 더 정확한 것도 아니어서 권장되지 않는다. 다만 다른 오염물을 측정할 때, diluent gas로 CO<sub>2</sub>를 측정하는 경우 사용할 수 있다.

연소시 화석 연료의 CO<sub>2</sub> 배출계수는 연료내 탄소량에 달려있다. 연료 탄소함유량은 고유특성이고 연소과정이나 조건에 따라 달라지지 않는다. 에너지 산출량 역시 고유 특성이지만 calorific value는 연료 화학결합의 구성에 따라 달라진다. 총 발열량(Gross Calorific Value)은 발열량 계산 개념의 하나로서 연료를 연소시킬 때 생성되는 수분의 증발 잠열을 포함한 발열량을 말하고, 고발열량(Higher

Heating Value)이라고도 한다. 순발열량(Net Calorific Value)은 연료를 연소시킬 때 생성되는 수분을 수증기로 변화시키기 위한 증발잠열에 해당하는 열량을 총발열량(Gross Calorific Value(GCV))에서 뺀 나머지 발열량을 말하며, 저발열량(Lower Heating Value)이라고도 한다. 화석연료 연소로부터의 CO<sub>2</sub> 배출계수는 단위 질량당 표현하는 것보다 단위 에너지당 표현하는 것이 변동이 적으므로 바람직하다. 이 때 단위질량 당 연료소비량을 단위 에너지당 연료소비로 환산하는데 NCV가 사용된다. 국가에 따라 NCV대신 GCV를 사용하기도 한다.

Municipal solid waste(MSW)과 같이 거래되지 않는 연료나 원유와 같이 열량으로 판매되지 않는 연료에 대한 탄소 함유량과 NCV은 확인하기가 어렵다. MSW의 경우는 열을 발생시키는 폐기물 연소공정의 운영자로부터 얻을 수 있다. 스웨덴과 덴마크에서 MSW의 제안된 NCV값은 9.5에서 10.5 GJ/t의 범위를 지닌다. 원유의 경우는 원유의 비중과 황함유량을 사용하여 탄소함유량을 알 수 있다.

참고로, 다음 식은 182개의 원유 sample을 분석하여 얻어졌는데, 원유의 탄소 함유량 측정하는 데 사용될 수 있다.<sup>79)</sup>

$$\text{탄소 함유량} = 76.99 + (10.19 \times \text{SG}) - (0.76 \times \text{황함유량})$$

SG: 석유의 특정 무게

$$\text{SG} = 141.5/(\text{API}^{80}) + 131.5$$

탄소와 황 모두 무게%로 측정됨

공급업자가 적절한 연료 탄소 함유량과 calorific value를 제시하지 않는 한, IPCC Guidelines에서 제시하는 배출계수와 Net Caloric Value를 사용하도록 한다. 모든 방법에서 연소되는 연료 종류와 양이 activity data이다. 이러한 자료는 연소 장치나 연료 소비 회사들이 국가 기관에 직접 제출하는 자료에서나 연료를 판매하는 연료 공급업자들의 판매 자료로부터 얻을 수 있다. 연료 공급업자의 경우 가스에 대하여는 비교적 정확하게 확인할 수 있으나, 공급업자의 자료를 사용하는 것 보다는 회사가 국가에 제출하는 직접 연료 사용량을 이용하는 것이 더 바람직하다.

79) USDOE/EIA. URL:<http://eia.doe.gov/oiaf/1605/gg98rpt/appendixb.html>

80) API: 석유의 비중에 대한 Arbitrary scale designating

API 정도 = (141.5 / 60F에서의 비중) - 131.5

<부표 1-1> Net Calorific Value(TJ/10<sup>3</sup>tonne)

| 정제 석유 제품                            |       |
|-------------------------------------|-------|
| 휘발유(항공, auto_)                      | 44.80 |
| jet Kerosene                        | 44.59 |
| Other Kerosene                      | 44.75 |
| Shale Oil                           | 36.00 |
| Gas/Diesel Oil                      | 43.33 |
| Residual Fuel Oil                   | 40.19 |
| LPG                                 | 47.31 |
| Ethane                              | 47.49 |
| Naphtha                             | 45.01 |
| Bitumen                             | 40.19 |
| Lubricant                           | 40.19 |
| Petroleum Coke                      | 31.00 |
| Refinery Feedstocks                 | 44.80 |
| Refinery Gas                        | 48.15 |
| Other Oil Product                   | 40.19 |
| Other Product                       |       |
| Coaking Coal에서의<br>Coal Oil and Tar | 28.00 |
| Oil Shale                           | 9.40  |
| Orimulsion                          | 27.50 |
| 자료원 : OECD/IEA 1996a                |       |

&lt;부표 1-2&gt; 탄소 배출계수

| 연료                    | 탄소배출계수<br>(tC/TJ) |
|-----------------------|-------------------|
| 액체 연료                 |                   |
| 1차 연료                 |                   |
| 원유                    | 20.0              |
| Orimulsion            | 22.0              |
| 액화 천연가스               | 17.2              |
| 2차 연료/제품              |                   |
| 휘발유                   | 18.9              |
| jet kerosene          | 19.5              |
| other kerosene        | 19.6              |
| Shale Oil             | 20.0              |
| Gas/Diesel Oil        | 20.2              |
| Residual fuel Oil     | 21.1              |
| LPG                   | 17.2              |
| Ethane                | 16.8              |
| Naphtha               | (20.0)(a)         |
| Bitumen               | 22.0              |
| Lubricant             | (20.0)(a)         |
| Petroleum Coke        | 27.5              |
| Refinery Feedstocks   | (20.0)(a)         |
| Refinery Gas          | 18.2(b)           |
| Other Oil             | (20.0)(a)         |
| 고체 연료                 |                   |
| 1차 연료                 |                   |
| 무연탄                   | 26.8              |
| 점결탄(Coking Coal)      | 25.8              |
| other bituminous coal | 25.8              |
| Sub-bituminous coal   | 26.2              |
| Lignite               | 27.6              |
| Oil shale             | 29.1              |
| 토탄(Peat)              | 28.9              |
| 2차 연료/제품              |                   |
| BKB & Patent Fuel     | (25.8)(a)         |
| Coke Oven/Gas Coak    | 29.5              |
| Coak Oven Gas         | 13.0(b)           |
| Blast Furnace Gas     | 66.0(b)           |
| 가스상 연료                |                   |
| 천연가스(건조)              | 15.3              |
| Biomass               |                   |
| 고체 Biomass            | 29.9              |
| 액체 Biomass            | (20.0)(a)         |
| 가스 Biomass            | (30.6)(a)         |
| (a) default value임    |                   |
| (b) 부문별 계산에 사용        |                   |

&lt;부표 1-3&gt; 산화계수

| 탄소 산화율                                                |       |
|-------------------------------------------------------|-------|
| 석탄 <sup>1</sup>                                       | 0.98  |
| 석유와 석유제품                                              | 0.99  |
| 가스                                                    | 0.995 |
| 발전용 토탄 <sup>2</sup>                                   | 0.99  |
| 1. global average임<br>단, 다양한 석탄의 경우 최소값인 0.91을<br>사용함 |       |
| 2. 가정용 토탄은 더 낮다.                                      |       |

## 2. 영국<sup>81)</sup>

영국 정부는 온실가스 배출 목표를 달성하는 데 있어 복합적인 정책을 사용하기로 발표하였다. 영국은 2008년부터 2010년까지 1990년 대비 12.5%를 감축하기로 약속하였고, 국내 배출CO<sub>2</sub> 감소 목표는 2010까지 20%를 감축하기로 하였다. 그러나 영국내 기업들이 이러한 변화를 충분히 수용하기가 어렵기에 현재 계획과 정책에 있어서는 2010년까지 국가적으로 10% 감축하고, CO<sub>2</sub>에 있어서는 2010년까지 3%를 감축하도록 계획하고 있다. 이러한 목표를 달성하기 위해 변화 속도와 효율을 증가시킬 필요가 있었고, 이에 온실가스에 관한 여러 가지 연구를 계속하여 왔다. 그 연구의 일환으로 1999년 6월 Department of the Environment, Transport and the Region에서 기업의 온실가스 배출에 대한 'Environmental Reporting guidelines'를 발간하였다.

이 지침서는 기업들로 하여금 적은 비용에 배출을 측정하고 보고할 수 있도록 단계적인 방법을 제시하였다. 보고 범주에 있어서 크게 3가지 범주로 나뉘어진다. 첫 번째는 기업이 사용하는 에너지에 관한 범주로, 여기에는 작업을 위해 사용되는 에너지와 함께 작업장의 조명과 난방을 위해 사용되는 에너지도 포함된다. 두 번째 범주는 에너지와 관련된 수송범주이다. 여기에는 기업이 운영하는 차량 운행 뿐 아니라 화물 수송, 사업상의 출장 또한 포함된다. 마지막으로 특정 사업을 기반으로 한 배출 공정이다. 이러한 배출들은 공정에서의 에너지 사용한 결과로 발생하는 배출과 다르게 공정 자체의 부산물로서 발생하는 배출을 의미한다. 여기에는 nitric acid manufacturing, aluminium smelting, cement production 등에 의한 배출이 포함된다.

기업들이 보고하기 위하여 먼저 해야 할 것은 우선되는 것들을 선정하는 것이다. 만약 해당 기업이 현재 많은 온실가스 배출을 측정하지 않고 있는 경우 주요한 부분만을 측정함으로써 시작할 수 있다. 기업의 주요 부분은 사업의 특성에 따라 다르다. 기업내의 활동(activity) 유형들을 전체적으로 파악하고 이러한 활동이 초래하는 배출량을 다음의 목록을 통해 예상할 수 있으므로 이를 기초로 주요 배출 활동을 결정할 수 있다.

CO<sub>2</sub> 환산량 기준으로 10톤이 발생하는 활동은 다음과 같다.

- o 23,000kWh 전력의 구매

81) "Environmental Reporting guidelines for company reporting on greenhouse gas emissions": Department of the Environment, Transport and the Regions, June 1999 참조

- 휘발유 4,300ℓ 사용
- 휘발유 차량으로 평균 30,000 miles나 48,000km의 주행
- 14번의 국제 장거리(전체 90,000km이상)나 110번의 단거리(전체 55,000km이상) 운행
- 165,000km의 기차 여행(단거리 항공 여행이 철도 여행 3배의 CO<sub>2</sub>계수를 지님)
- 300km 이상의 화물을 다 채운 A727(적재 능력 19톤)의 비행
- 5,000 miles나 9,000km 이상의 농업용 화물 자동차 운전
- 화물 700톤을 적제한 최신형 기차의 1,700km 운전
- 중간 크기의 사무실 건물 내 air conditioning 시설에서의 2년 이상의 냉동제 누출
- 매립지나 폐수에서의 메탄의 1/2톤 배출

우선적으로 측정할 것을 결정한 다음으로는 범위(boundary)를 설정한다. 국제 기업의 경우에는 모든 국내의 활동과 직원들을 포함하고 직원들의 국제, 국내 출장도 포함한다. 기업 활동이 국가 범위를 넘는 경우에는 나라별로 배출을 분류하는 것이 좋다. 만약 기업이 포괄적인 온실가스 배출을 보고하고자 한다면, 우선 사업이 위치한 국가에 국가 온실가스 배출보고 지침이 있는지를 확인한다. 이러한 지침에는 국가 특정 환산 계수가 포함되어 있다. 대안으로는, 온실가스 배출에 대한 국제 지침을 따라서 보고할 수도 있다. 하지만 국제 환산 계수는 전세계적인 근사치이므로 국가별 자료보다는 덜 정확하다. 자회사나 위성 회사의 영국내 활동은 포함한다. 직접적으로 운영하지는 않으나 실제로 많은 영향을 주는 활동에 있어서는 기업의 온실가스 감소 전략에 포함하도록 권고하고 있다. 기업들의 범위를 명확하게 기술하고 포함되는 활동과 제외되는 활동들 또한 보고하도록 권고하고 있다.

다음으로는 감축이행(commitment)을 약속한다. 효과적인 보고를 하기 위하여 이 작업에 대하여 책임자를 지정하고, 적절한 자료를 수집할 수 있는 권한을 부여한다. 마지막으로 indicator를 더 개발하도록 한다.

이 지침서에 따른 에너지 사용 회사의 발생 CO<sub>2</sub>를 측정하는 방법은 다음과 같다.

1. 각각의 단위로 여러 종류의 사용 에너지에 대한 목록을 작성한다.
2. 이 때 단위가 <부표 2-1>의 단위인가를 확인한다.
3. <부표 2-1>의 1번에 연료/에너지 종류의 양을 기입한다.

4. <부표 2-1>의 3,4,5,6의 사용 단위에 적절한 환산계수를 선택한다.
5. 적절한 환산계수로 연료량을 곱한다.
6. 계산 결과를 7항에 기입한다.
7. Combined Heat and Power의 사용과 CHP heat이나 power를 수출/입을 고려한다.
8. 시설에서 사용한 에너지에 대한 총 배출을 계산하기 위해 7번을 합한다.

<부표 2-1> CO<sub>2</sub> 관련 에너지 계산(kgCO<sub>2</sub>)

| 연료 종류                    | 연간 사용량 | × kgCO <sub>2</sub> /tonne | × kgCO <sub>2</sub> /(or) UK kWh | × kgCO <sub>2</sub> /(or) therm | × kgCO <sub>2</sub> /(or) litres | 총 표A<br>kgCO <sub>2</sub> |
|--------------------------|--------|----------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| 1                        | 2      | 3                          | 4                                | 5                               | 6                                | 7                         |
| average grid electricity |        |                            | 0.44                             |                                 |                                  |                           |
| 천연가스                     |        |                            | 0.19                             | 5.50                            |                                  |                           |
| Gas/Diesel oil           |        | 3,142                      | 0.25                             |                                 |                                  | 2.68                      |
| Petrol                   |        | 3,135                      | 0.24                             |                                 |                                  | 2.31                      |
| Heavy Fuel Oil           |        | 3,117                      | 0.26                             |                                 |                                  |                           |
| Coal                     |        | 2,419                      | 0.30                             |                                 |                                  |                           |
| Coaking Coal             |        | 2,603                      | 0.30                             |                                 |                                  |                           |
| LPG                      |        |                            | 0.23                             | 6.87                            |                                  | 1.65                      |
| Jet Kerosene             |        | 3,150                      | 0.24                             |                                 |                                  | 2.52                      |
| Ethane                   |        | 2,925                      | 0.20                             |                                 |                                  |                           |
| Naphtha                  |        | 3,447                      | 0.26                             |                                 |                                  |                           |
| Waste Lubricants         |        | 2,947                      | 0.25                             |                                 |                                  |                           |
| Petroleum Coke           |        | 2,933                      | 0.34                             |                                 |                                  |                           |
| Refinery Gas             |        |                            | 0.20                             | 5.97                            |                                  |                           |
| Other Oil Products       |        | 2,933                      | 0.24                             |                                 |                                  |                           |
| Renewable                |        |                            | 0.00                             |                                 |                                  |                           |

자료원: National Air Emission Inventory, UK Greenhouse Gas Inventory

&lt;부표 2-2&gt; 사용 단위

| 연료              | 단위                         | data source             |
|-----------------|----------------------------|-------------------------|
| 전기(Electricity) | kWh                        | 요금청구서, 계량기값             |
| 천연가스            | kWh, therms                | Gas bill, meter reading |
| 석탄              | tonnes, kWh                | 공급량 기록, weigh hoppers   |
| 석유 정제 제품        | tonnes, liter, kWh, therms | Pipeline measurements   |
| 열병합발전           | 사용 연료                      |                         |

주) Therm : 100,000BTU에 해당하는 열량의 단위(영국에서는 가스의 요금단위로 사용)  
kWh, Therm은 총발열량(gross calorific value)에 근거

### 3. 미국

#### 3.1 EIA의 지침<sup>82)</sup>

미국은 'bottom-up' 방법을 사용하여 화석연료의 연소에 의한 CO<sub>2</sub> 배출을 측정하기 위하여 많은 노력을 기울이고 있다. 이 'bottom-up' 방법은 개념적인 면에서 IPCC의 방법과 비슷하다. 대략적인 과정은 다음과 같다.

1단계에서는 부문별로 연료 종류에 따른 에너지 소비를 측정한다. 에너지 소비 data는 U.S Department of Energy의 Energy Information Administration(EIA)에서 구할 수 있다. EIA data는 연료의 분배 부분이나 소비 부분에서 보고된다.

에너지 소비 data는 주거부문, 상업부문, 산업부문, 수송 부문, 발전 부문과 같은 최종 사용 부문과 석탄, 천연 가스, 석유와 같은 1차 연료 종류와 자동차 휘발유와 같은 2차 연료 종류별로 취합된다. 각기 다른 data의 물리 단위를 공동의 에너지 단위로 환산시킨다. 에너지 data에 있어서 IPCC와 다른 점은 사용량 data의 표시에 있어서 IPCC emission inventory에서는 저발열량(Lower Heating value:LHV)<sup>83)</sup>를 사용하는 것에 비해 U.S inventory에서는 고발열량(Higher Heating Value:HHV)<sup>84)</sup>을 사용한다는 것이다. 만약 저발열량이 사용된다면, 연료의 Btu는 5~10% 낮아지고, 탄소계수는 5~10% 커질 것이다. 그러므로 어떤 값을 사용하더라도 탄소 배출 계산 결과는 변함이 없다.

2단계에서는 모든 연료가 배출하는 탄소 함유량을 계산한다. 연소되는 화석연료의 탄소 함유량은 단위 에너지 당 배출되는 탄소량을 나타내는 연료 특정 탄소 함유량 계수와 에너지 소비량을 곱함으로써 산출할 수 있다. 미국에서 사용되는 탄소 함유량 계수는 EIA가 몇 년에 걸쳐 조사한 정보를 기본으로 한 것으로, 이것은 IPCC의 default값의 탄소 함유량 계수와 비슷하나 좀 더 정확하다.

3단계에서는 제품생산에 포함되는 탄소량을 조정하여 준다. 최종 사용부문에 따라 화석연료를 제품의 원료로 사용하는 경우가 있다. 이 경우 제품으로 사용되는 화석연료에 장기간 저장되는 탄소를 조정해주어야 한다. 이러한 몰입 탄소는 제품

82) "Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-1998" 참조

Emission of Greenhouse Gases in the United States: Estimation Method October.31, 2000

<http://www.eia.doe.gov>

83) Net Calorific Value(NCV)

84) Gross Calorific Values

의 생산 후 제품에 남아있는 탄소를 계산하여 구할 수 있다. 우선 제품의 원료로 사용되는 연료량을 조사하고 이 원료량에 탄소 함유량 계수를 곱하여 전체 탄소량을 계산한 다음 그 값에다 몰입비율을 곱하면 제품에 몰입되는 탄소량을 구할 수 있다. 이 양을 전체 탄소량에서 제한한다.

4단계에서는 국제 bunker 연료의 탄소를 제하여 준다. 국제 수송 활동이나 국제 bunker 연료의 소비에 의한 배출은 IPCC가 요구하는 국가 inventory에서 제외된다. EIA 에너지 통계는 항공기의 제트유, 항공 모함과 같은 선박용 석유와 같은 국제 bunker 연료를 포함하고 있다. 이러한 값들을 조정하기 위하여 국제 bunker 연료 배출은 분리하여 계산하여 이 값을 수송부분에서 제한한다.

5단계에서는 연소과정동안 산화되지 않는 탄소를 계산한다. 연소과정이 100%효율이 아니기 때문에 연료에 포함되어 있는 탄소의 일부분은 대기로 방출되지 않고, 매연, 분진, 재 등에 잔존하게 된다. 연소의 비효율로 인해 발생하는 산화되지 않는 탄소 비율은 천연가스의 경우 0.5에서 석유와 석탄의 1의 범위를 가진다. 석탄을 제외한 이러한 가정은 IPCC의 default값과 일치한다.

6단계는 배출 측정을 합하는 것이다. 미국에서의 실제 CO<sub>2</sub> 배출은 석탄, 석유, 천연가스와 같은 주요 연료 종류별과 주거용, 상업용, 산업용, 수송용, 발전용과 같은 소비 부문에 따라 합할 수 있다.

<부표 3-1> 연간 변동 탄소 함유량 계수 (MMTCE/QBtu)

| 연료 종류          | 1990  | 1991  | 1992  | 1993  | 1994  | 1995  | 1996  | 1997  | 1998  |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 주거용 석탄         | 25.92 | 26.00 | 26.13 | 25.97 | 25.95 | 26.00 | 25.92 | 26.00 | 26.00 |
| 상업용 석탄         | 25.92 | 26.00 | 26.13 | 25.97 | 25.95 | 26.00 | 25.92 | 26.00 | 26.00 |
| 산업용 점결탄        | 25.51 | 25.51 | 25.51 | 25.51 | 25.52 | 25.53 | 25.55 | 25.56 | 25.56 |
| 이외 산업용 석탄      | 25.58 | 25.60 | 25.62 | 25.61 | 25.63 | 25.63 | 25.61 | 25.63 | 25.63 |
| 발전용 석탄         | 25.68 | 25.69 | 25.69 | 25.71 | 25.72 | 25.74 | 25.74 | 25.76 | 25.76 |
| LPG            | 16.99 | 16.98 | 16.99 | 16.97 | 17.01 | 17.00 | 16.99 | 16.99 | 16.99 |
| Motor Gasoline | 19.41 | 19.41 | 19.42 | 19.43 | 19.45 | 19.38 | 19.36 | 19.35 | 19.33 |
| Jet Fuel       | 19.40 | 19.40 | 19.39 | 19.37 | 19.35 | 19.34 | 19.33 | 19.33 | 19.33 |
| Crude Oil      | 20.16 | 20.18 | 20.22 | 20.22 | 20.21 | 20.23 | 20.25 | 20.24 | 20.24 |

자료원: EIA(1999c)

단위) MMTCE/QBtu : Million Metric Ton of Carbon Equivalent per Quadrillion Btu

<부표 3-2> CO<sub>2</sub>배출계산에 사용되는 계수

| 연료 종류                      | 탄소 함유량 계수(MMTCE/QBtu) | 산화 계수 |
|----------------------------|-----------------------|-------|
| 석탄                         |                       |       |
| 주거용 석탄                     | [a]                   | 0.99  |
| 산업용 석탄                     | [a]                   | 0.99  |
| 산업용 점결탄                    | [a]                   | 0.99  |
| 산업용 다른 석탄                  | [a]                   | 0.99  |
| 수입 coke                    | 27.85                 | 0.99  |
| 수송 석탄                      | NC                    | 0.99  |
| 발전 석탄                      | [a]                   | 0.99  |
| U.S Territory<br>coal(bit) | 25.14                 | 0.99  |
| 천연 가스                      | 14.47                 | 0.995 |
| 석유                         |                       |       |
| 아스팔트&도로오일                  | 20.62                 | 0.99  |
| 항공 휘발유                     | 18.87                 | 0.99  |
| distillate fuel oil        | 19.95                 | 0.99  |
| Jet Fuel                   | [a]                   | 0.99  |
| Kerosene                   | 19.72                 | 0.99  |
| LPG                        | [a]                   | 0.99  |
| 윤활유                        | 20.24                 | 0.99  |
| Motor Gasoline             | [a]                   | 0.99  |
| Residual Fuel              | 21.49                 | 0.99  |
| Other Petroleum            | 20.23                 | 0.99  |
| AVGas Blend                | 18.87                 | 0.99  |
| Components                 |                       |       |
| Crude Oil                  | [a]                   | 0.99  |
| MoGas Blend                | 19.39                 | 0.99  |
| Components                 |                       |       |
| Misc. Products             | 20.23                 | 0.99  |
| Naphtha(<401 deg.F)        | 18.14                 | 0.99  |
| Other Oil(>401 deg.F)      | 19.95                 | 0.99  |
| Pentanes Plus              | 18.24                 | 0.99  |
| Petrochemical              | 19.37                 | 0.99  |
| Feedstocks                 |                       |       |
| Petroleum Coke             | 27.85                 | 0.99  |
| Still Gas                  | 17.51                 | 0.99  |
| Special Naphtha            | 19.86                 | 0.99  |
| Unfinished Oils            | 20.23                 | 0.99  |
| Waxes                      | 19.81                 | 0.99  |
| Other Wax & Misc           | 19.81                 | 0.99  |
| Gerthermal                 | 2.05                  | 0.99  |

자료원: 탄소 계수: Energy Information Administration (EIA), U.S.A

석탄 연소 효율은 Bechtel(1993)

석유와 천연가스의 연소 효율은 IPCC(IPCC/UNEP/OECD/IEA 1997, vol.2)

NC : Not Calculated

[a]: 소비 부문에서 사용되는 연료질에 따라 계수가 변함 (표 3-1)

미국에서는 IPCC가 권고한대로 Reference Approach를 사용하여서도 CO<sub>2</sub> 배출을 계산하고 있다. 먼저 국가 에너지 통계에 있어서 생산, 수입, 수출, 저장 변동량 data는 각각의 단위로 DOE/EIA로부터 얻는다. 연료의 탄소 함유량은 연료의 열량에 의해 변한다. 그러므로 정확한 CO<sub>2</sub>를 측정하기 위하여, 연료 통계는 Btu나 TJ와 같은 에너지 단위를 사용해야 한다. 세세한 연료 생산량은 일반적으로 물리 단위를 사용하기 때문에 탄소 계산하기 이전에 단위를 환산한다. DOE/EIA의 환산계수를 사용한다. 다음으로는 적정 연료 소비량을 계산한다.

1차 연료의 생산량에 수입량을 더한 값에 수출량을 제하고 저장 변동을 보정해 준다. 2차 연료의 수출입을 1차 연료의 소비에 더하여 준다. 하지만 2차 연료의 생산은 이미 1차 연료 계산에 포함되어 있으므로 무시한다. IPCC Reference Approach는 공동 에너지 단위로 전환하기 이전에 연료 소비량(Apparent Fuel Consumption)을 계산하도록 요구한다. 그러나 미국의 특정 1차 연료는 생산, 수출, 수입, 저장 변동에 대하여 각각 다른 환산계수를 사용하기 때문에 단일 환산계수로 연료 소비량을 곱할 수 없다. 그러므로, 미국의 에너지 통계는 연료 소비량 계산 이전에 동일열량으로 환산한다. 적정 소비가 계산된 후의 과정은 이전의 'bottom-up' approach의 방법과 동일하다. 연료 특정 계수를 사용하여 잠재적 탄소 함유량을 계산한 다음 비에너지 부문에서 사용된 화석연료 제품 내 저장된 양을 총 탄소 함유량에서 제하여 준다. 마지막으로 실제 탄소 배출량을 구하기 위하여 산화 계수를 곱함으로써 불완전 연소로 인해 산화되지 않는 양을 제하여 준다. IPCC reporting guidelines에서 온실가스를 총 분자량 근거로 보고하도록 권고함으로써 화석연료 연소로부터의 CO<sub>2</sub>배출 측정의 마지막 단계는 탄소 단위에서 CO<sub>2</sub>단위로 환산하는 것이다. 실제 탄소 배출량에 탄소에 대한 CO<sub>2</sub> 분자량 비율인 44/12를 곱하여 줌으로 배출되는 CO<sub>2</sub>량을 측정할 수 있다.

이 두 방법으로 측정한 값들은 적은 범위의 오차를 지님으로 비교적 정확한 값들을 지닌다. 이론적으로는 두 방법이 같은 결과를 나타내어야 하나, 실제적으로는 소비 에너지 총량과 측정 CO<sub>2</sub> 배출량에는 미세한 차이가 있다. 먼저 소비 에너지 총량을 살펴보면, 1998년에는 Reference Approach에서의 값이 Sectoral Approach 보다 2.0% 낮게 계산되었다. 가장 큰 차이는 Sectoral Approach에서 측정되는 높은 석유 소비이다. 이러한 차이에는 여러 가지 요인들이 있다. 우선은 생산 정의가 달기 때문에 차이가 발생한다. Reference Approach에서의 연료 category들이 Sectoral Approach의 것들과 다르다. 예를 들면, Reference Approach는 원유에 대해 apparent 소비량을 측정한다. 일반적으로 원유는 직접 소비되지 않고, 다른 제품으로 정제된다. 결과적으로, 미국은 원유를 에너지 목록에서 계산하지 않고, 원유 정제를 통한 여러 가지 제품을 에너지 목록에서 계산한다.

다른 예로는 Reference Approach에서는 석탄을 무연탄, 유연탄 등과 같이 등급별로 분류하였는데 반하여 Sectoral Approach에서는 주거용, 상업용, 산업용 등으로 부문별로 분류하였다. 또한 'bottom-up' 계산에서 사용되는 LPG는 액화 천연가스(NGL)과 LPG의 혼합이다. 다른 요인으로 Heat Equivalents를 들 수 있다. 미국 내외 수천의 생산자들에 의해 통계되는 원유와 같은 특정 부문에 대한 Heat Equivalents를 획득하기가 힘들다. 또한 U.S. Energy Data의 불일치의 가능성도 한 요인이다. 미국은 상세한 에너지 소비량을 수집하는 것이 정확한 에너지 자료를 얻는 방법이라 믿으므로, Reference Approach에서 사용되는 총 에너지 자료 수집에 대하여 크게 노력하지는 않았다. 그러므로, Reference Approach에서 사용된 'top-down' 통계치는 Sectoral Approach에서 사용된 'bottom-up' 통계치 만큼 정확하지는 않을 것이다. 또 한가지 요인은 Sectoral Approach에서는 보고된 소비량을 사용하는 대신에 Reference Approach에서는 apparent 소비량을 사용하는 것이다. CO<sub>2</sub> 배출량 차이를 살펴보면, 에너지 소비에 있어서 Sectoral Approach가 Reference Approach보다 2.0% 높게 계산되었으나, CO<sub>2</sub> 배출량은 0.8% 낮게 계산되었다. 천연가스의 경우 두 방법 다 거의 비슷한 값이 나왔으나, 석탄과 석유의 경우 Reference Approach의 값이 Sectoral Approach 값보다 높게 계산되었다. 세 가지 연료의 차이점에 대한 요인은 다음과 같다. 우선은 생산 정의가 다르기 때문이다. 석탄 자료는 앞에서 언급한 것과 같이 미국 석탄 자료는 Sectoral Approach에서 사용되는 형태로 수집되므로 각 방법에 대하여 다르게 종합된다. 그러므로 이 자료는 Reference Approach보다 더 정확하다. 또한 Reference Approach는 석유 관련 배출에 원유도 포함한다. 다음으로는 Sectoral Approach가 좀 더 정확한 범주별 탄소 계수를 사용하는 반면, Reference Approach는 IPCC가 제공하는 default 값을 사용하는 것도 한 요인이다.

비록 두 방법이 비슷한 결과를 나타내지만, 미국은 연료 수준에서의 CO<sub>2</sub> 배출을 계산하는 데에는 'bottom-up'인 Sectoral Approach가 더 정확하다고 믿는다.

### 3.2. 연속측정 방법(CEMs)

미국환경청(EPA)에서는 연속측정 방법(CEMs)에 대한 지침을 제시하고 있다. CEMs(continuous emission monitoring system)란 배출되는 가스상의 물질 중에서 특정 오염물의 농도 또는 배출속도(emission rate)를 측정하는 장치이다. CEMs의 주요 하부장치는 sample interface, pollutant analyzer, diluent analyzer, data recorder가 있다. data recorder는 분석기(analyzer)의 결과를 기록하는 장치로,

자동 data 감소 성능을 포함할 수도 있다. diluent analyzer는 diluent gas(O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>)를 감지하고, 가스 농도에 대한 output을 표시하는 부분이다. pollutant analyzer는 오염물을 감지하고, 가스 농도에 대한 output을 표시하는 부분이다. sample interface는 sample acquisition, sample delivery, sample conditioning, protection of the monitor from the effects of the stack effluent 중 하나 이상에 대하여 사용되는 CEMs의 부분이다.

CEMs를 사용하여 CO<sub>2</sub>를 측정하는 방법은 미국 연방code 40 75.13부분에 제시되어 있다. 다음은 이 code를 간략히 정리한 것이다.(40 CFR PART 75.13)

만약 시설의 소유자나 운영자가 CEMS를 사용한다면, 다음을 만족해야 한다. 소유자나 운영자는 대기로 방출되는 CO<sub>2</sub> 농도(ppm이나 %) volumetric gas flow(scfh), CO<sub>2</sub> mass emission( ton)을 측정하기 위하여 CO<sub>2</sub> CEMS와 flow monitoring system을 설치하고, 확인하고, 운영하고, 유지하거나, O<sub>2</sub>농도(%), CO<sub>2</sub> 농도(%), volumetric gas flow(scfh), CO<sub>2</sub> mass emission(ton)을 측정하고 기록하기 위한 handling system과 자동 data acquisition과 함께 appendix F의 절차를 이용하는 CO<sub>2</sub>를 측정하기 위하여 flow monitoring system과 O<sub>2</sub>농도 monitor를 이용하는 CO<sub>2</sub> CEMS를 설치하고, 확인하고, 운영하고, 유지하여야 한다. 소유자나 운영자가 CO<sub>2</sub> emission monitoring system( CO<sub>2</sub> , O<sub>2</sub> pollutant monitor)를 사용하는 경우, CO<sub>2</sub> 농도(%)와 volumetric flow rate(scfh)의 CEMS 측정을 CO<sub>2</sub> mass emission (tons/day)으로 전환시킬 때 다음 과정을 사용한다.

1. CO<sub>2</sub> 농도를 wet basis로 측정할 때, 시간당 CO<sub>2</sub> mass emissions rates(tons/hr)를 계산하는데 다음 식을 사용함

$$E_h = KC_hQ_h \text{ ----- (Eq. F-1)}$$

$E_h$  = unit 운영시간동안의 시간당 CO<sub>2</sub> mass emission rate (tons/hr)

$K = 5.7 \times 10^{-7}$  for CO<sub>2</sub> (tons/scf)/% CO<sub>2</sub>

$C_h$  = unit 운영동안 wet basis, CO<sub>2</sub> %의 시간당 평균 CO<sub>2</sub> 농도

$Q_h$  = unit 운영시간동안의 시간당 평균 volumetric flow rate, wet basis

2. CO<sub>2</sub>농도가 dry basis로 측정된다면, 시간당 CO<sub>2</sub> mass emission rate (tons/hr)는 다음식을 사용

$$E_h = KC_{hp}Q_{hs} \frac{(100 - \%H_2O)}{100} \text{ ----- (Eq. F-2)}$$

K=5.7 × 10<sup>-7</sup>(tons/scf) CO<sub>2</sub> %

E<sub>h</sub> = 시간당 CO<sub>2</sub> mass emission rate (tons/hr)

C<sub>hp</sub>= 굴뚝(flue)내의 시간당 평균 CO<sub>2</sub> 농도

3. 각 calendar quarter에 대한 총 CO<sub>2</sub> mass emission은 Eq. F-3을 각 calendar year에 대한 총 CO<sub>2</sub> mass emission은 Eq. F-4를 사용한다.

$$E_{CO2q} = \sum_{h=1}^{Hr} E_h t_h \text{ ---- (Eq. F-3)}$$

E<sub>CO2q</sub> = Quarterly total CO<sub>2</sub> mass emissions (tons)

E<sub>h</sub> = 시간당 CO<sub>2</sub> mass emission rate (tons/hr)

t<sub>h</sub>= unit 운영 시간

H<sub>r</sub> = calendar quarter동안 유용한 시간당 CO<sub>2</sub> mass emission rates 의 수

$$E_{CO2a} = \sum_{q=1}^4 E_{CO2q} \text{ ---- (Eq. F-4)}$$

E<sub>CO2a</sub>= 연간 총 CO<sub>2</sub> mass emissions (tons)

E<sub>CO2q</sub> = Quarterly total CO<sub>2</sub> mass emissions (tons)

q = calendar year동안 E<sub>CO2q</sub>가 유용한 Quarter

적용 unit에 대하여 O<sub>2</sub> monitor를 사용하여 굴뚝가스의 O<sub>2</sub>농도(부피%)를 연속적으로 monitoring하는 경우 시간당 CO<sub>2</sub> mass emission (tons)을 결정하는데 다음의 식들을 사용한다. flue gas의 시간당 평균 CO<sub>2</sub> 농도를 결정하기 위해 다음 식에 적정한 F와 F<sub>c</sub> factor를 넣어서 계산함

$$CO_{2d} = 100 \frac{F_c}{F} \cdot \frac{20.9 - O_2}{20.9} \text{ ---- (Eq. F-5a)}$$

CO<sub>2d</sub> = unit 운영 시간동안 시간당 평균 CO<sub>2</sub> 농도, 부피%, dry basis

F, F<sub>c</sub> = F factor나 carbon basis Fc

20.9 = 대기 중의 O<sub>2</sub> %

O<sub>2d</sub> = unit 운영시간동안 시간당 평균 O<sub>2</sub> 농도, dry basis, 부피%

| 연료                         | F-factor<br>(dscf/mmBtu) | F-factor<br>(scfCO <sub>2</sub> /mmBtu) |
|----------------------------|--------------------------|-----------------------------------------|
| 석탄(ASTM D388-92)           |                          |                                         |
| 무연탄                        | 10,100                   | 1,970                                   |
| Bituminous & subbituminous | 9,780                    | 1,800                                   |
| Lignite                    | 9,860                    | 1,910                                   |
| 석유                         | 9,190                    | 1,420                                   |
| 가스                         |                          |                                         |
| 천연가스                       | 8,710                    | 1,040                                   |
| 프로판                        | 8,710                    | 1,190                                   |
| 부탄                         | 8,710                    | 1,250                                   |
| 목재                         |                          |                                         |
| Bark                       | 9,600                    | 1,920                                   |
| Wood residue               | 9,240                    | 1,830                                   |

$$CO_{2w} = \frac{100}{20.9} \frac{Fc}{F} \left[ 20.9 \left( \frac{100 - \%H_2O}{100} \right) - O_{2w} \right] \quad \text{--- (Eq. F-5b)}$$

$CO_{2w}$  = unit 운영시간동안의 시간당 평균 CO<sub>2</sub> 농도, wet basis, 부피%

$O_{2w}$  = unit 운영시간동안의 시간당 평균 O<sub>2</sub> 농도, wet basis, 부피%

%H<sub>2</sub>O = stack내 가스에 포함된 moisture

#### 4. World Resource Institute (WRI)<sup>85)</sup>

WRI는 1982년에 설립된 민간 국제 조사 기구로서, global agenda에 자원의 고갈, 환경 오염, 생태계 붕괴와 같은 문제점을 제시하는 것을 목적으로 한다. WRI는 생태계의 붕괴 감소와 지구 기후 변화를 완화를 위해, 또한 자원 사용과 폐기물 발생을 감소하면서 번영을 확대하는 정책과 실행을 촉진하고 자원과 환경에 관련된 정보와 결정에 대하여 열람할 수 있는 기회 제공하기 위하여 충분한 과학적

85) "Greenhouse Gas Protocol Initiative Corporate Greenhouse Gas Inventories: Proposed Reporting Standard, Guidance and Estimation Tools, November, 2000 Road Test Draft for public comment & testing," 참조

<http://www.wri.org>

<http://www.ghgprotocol.org>

증명과 건전한 정책분석을 통해 지구 환경문제에 대한 정보, idea, 해법을 제공해 왔다. 현재 20개국 이상에서의 전문가들이 참여하고 있으며, 50개국 이상의 자문위원들, 협력자들, 국제 동아리들과 연계하고 있다.

#### 4.1 GHG Protocol Initiative

현재는 재무 회계와 달리 온실가스 배출을 측정하고 보고하는 데 있어서 공통된 방법이 없다. 나와 있는 기존 방법들은 여러 부분에서 서로 다르고, 때로는 기업의 보고해야 하는 한계설정 문제, 사용 전력의 간접 배출 포함문제, 배출계수 사용 문제, 시작점 결정 문제 등과 같은 주요 방법에서 충돌되기도 한다. 그러기에 기업에 있어 공통으로 사용할 수 있는 protocol을 세우는 것이 필요하다. 이러한 필요에 따라 WRI를 중심으로 공통의 GHG Protocol Initiative project를 진행하고 있다.

이 initiative는 World Business Council for Sustainable Development(WBCSD)와 World Resource Institute(WRI)에 의해 기존의 온실가스 측정과 보고 initiative들을 연구한 후 1999년 5월에 시작되었다. 이 GHG Protocol Initiative는 재계, 정부, 비정부 기관의 자발적인 많은 온실가스 배출 전문가들에 의해 추진되고 있다. 이 project에서는 기업의 배출을 측정하고 보고하는 지침서를 제작하는 데 있어서 core operation, product life cycle, carbon sequestration 3개의 관련 module들을 연구 중이다. 초기 작업은 2001년 초기에 발표하기로 예정된 공동 inventory module에 관한 것이다. 공동 inventory module은 범위 설정과 보고에 관하여 지침서를 제공할 것이다. 여기에는 온실가스 계산 원리들과 inventory 범위, 공동 baseline, inventory reporting등을 포함하는 국제 온실가스 계산 기준과 inventory goal, 범위, baseline, radio indicator, inventory quality/credibility, GHG 배출원 확인, 시설정보의 조합, 측정 방법 등을 제시하여 주는 시설차원의 공동의 측정 & 보고 지침서와 배출 측정과 수집, 다른 산업 부문과 공정으로부터의 온실가스 배출을 측정하기 위한 부문별·부문간 GHG worksheet와 지침, uncertainty 조정에 관련하여 이행을 보조하는 선택 수단들이 포함되어 있다. 선택 수단은 IPCC에서 제안하는 것들과 일치하나 배출자료에 있어 좀 더 정확하도록 고안되었다.

WRI와 World Business Council for Sustainable Development에서는 public comment 와 testing을 위한 Road Test Draft을 발간하였다. 이 draft standard, guidance, tools는 많은 재계, 정부, 비정부 기관의 자발적인 참여로 개발되었다.

## 4.2 Road Test Draft

다양한 기업들의 필요에 따라 온실가스 Inventory & Reporting Standard는 유연한 approach이어야 한다. 온실가스를 계산하는 데는 다음의 원칙이 있다.

- 일관성(consistency): Inventory와 보고자료는 특정 해와 해를 비교할 수 있어야 한다.  
변동 사항이 있을 경우 비교할 수 있도록 명확하게 기술한다.
- 완전성(completeness): Inventory의 Scope와 Boundary는 기업, 운영이나 활동에 대하여 적절해야 한다. 선택된 범위 내의 모든 주요한 배출원은 inventory에 포함되어야 한다.
- 중요성(materiality): 측정과 보고의 선택 범위에 있어서 기업의 전체 배출에 주요한 배출원 모두를 포함하여야 한다. inventory에 적용되는 주요 가정과 criteria를 기록한다.
- 정확성(accuracy): systemic error를 하지 않도록 주의한다. random error는 효과적인 관리를 통해 최소화하도록 하고, uncertainty는 가능한 한 정량화한다.
- 투명성(transparency)/확실성(verifiability): 보고 자료는 명확해야 하며, 사용 방법과 가정을 기록해야 한다.

이 지침서에서는 기업차원에서 결정하고 처리하는 문제에 관한 것과 inventory 자료인 시설 차원에 관한 것 두 부분으로 나뉜다.

### 1) 기업 차원의 지침(Corporate Level Guidance)

먼저, Inventory 목표를 규정한다. 이상적으로 온실가스 inventory는 사용자와 사용에 대하여 다양한 정보를 제공하도록 설계되어야 한다. 실제로 많은 회사들이 특히, 처음 보고를 하는 회사들이 inventory를 결정하는 데 필요한 자료가 부족하여 동시에 달성할 수 없는 몇 개 조건을 취사 선택하여 평균(trade-off)을 취하여 inventory를 결정한다. 그러므로 inventory에서 우선되는 것을 정의할 필요가 있다. inventory 계획 목표에 따라 inventory의 범위와 질을 결정하는 것이 중요하다. inventory를 작성하는 것은 배출원과 온실가스 배출 규모를 평가하도록 도와주

고, 온실가스 감소 전략을 개발하는 데 자발적 계획 방법을 제공한다. 실제로 대부분의 기업들이 다수의 inventory 목표를 가지고 있다. 서로 다른 범위들에 대해 종합적이고 세부화된 정보 수집이 필요하다. 초기에는 온실가스를 배출하는 주요 배출원을 간단히 평가하는 것으로 시작한다. 이 정보는 배출감소 전략을 확인하고 다음 배출관리 전략을 세우는 데 유용하다. 시간이 지날수록 inventory의 질이 향상되어야 한다. 다음은 inventory 작성 양식으로 기업에 의해 자주 거론되는 inventory 목적을 나타내었다.

| inventory Goals                |                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Internal Management            |                                                                                                                                                                              |
|                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• target, 측정과 보고 과정 결정</li> <li>• 비용 효과적인 감소 방법 확인</li> <li>• 공정/생산 기술혁신 개발</li> <li>• Internal/external benchmarking</li> </ul>      |
| Emission Market & Policy Tools |                                                                                                                                                                              |
|                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 배출 credit의 판매 또는 구매</li> <li>• Baseline protection</li> <li>• Cap &amp; trade allowance trading program</li> <li>• Taxes</li> </ul> |
| 정부에 보고                         |                                                                                                                                                                              |
|                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 국가 또는 지역 규제(regulation)에 따른 보고</li> <li>• 지령(Directive)</li> </ul>                                                                  |
| Public Reporting               |                                                                                                                                                                              |
|                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• stakeholder reporting</li> <li>• Voluntary program</li> </ul>                                                                       |
| Eco-labelling & Certification  |                                                                                                                                                                              |
|                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marketing</li> <li>• Climate Neutral service, products, companies</li> </ul>                                                        |

다음으로, Inventory 범위를 설정한다. 적정한 inventory 범위를 설정할 때와 보고 내용을 결정할 때에 온실가스 배출에 대한 소유와 책임을 어떻게 허가할 것에 대해 선택해야 한다.

이 project draft에서는 몇가지 부분에 대하여 선택 사항을 제시하였다. 첫째로, 범위 설정에 있어서 직접배출과 간접배출에 대한 계산(Scope)을 살펴보면, 다음과

같다.

직접 배출은 기업이 소유하거나 관리하는 배출원의 배출이고, 간접 배출은 기업에 의해 배출되기는 하지만 물리적으로 다른 기업에 의해 소유되거나 관리되는 현장이나 운영에서 일어나는 배출이다. 수입되는 전기나 회사 전용 차량이 아닌 다른 수송 차량을 이용한 출장 등이 여기에 속한다. 다른 종류의 기업이나 기관의 필요를 조정하고 온실가스 배출 자료의 다른 사용을 보조하기 위하여 3-scope reporting framework을 설계하였다.

Scope 1: 온실가스 직접 배출-제조 과정이나 회사 소유 수송 방법에서의 배출을 포함하는 것으로 기업 소유의 온실가스 배출

Scope 2: (Scope 1) + 에너지 수출입의 순(net) 배출  
(예, 수출입되는 전기와 steam)

Scope 3: (Scope 2) + 다른 간접 온실가스 배출

에너지 수출입은 많은 회사의 주요한 간접 배출원이기 때문에 다른 간접 온실가스와 구분한다. 또한 에너지 관련 자료는 구하기가 비교적 용이하기 때문에도 구분한다. inventory의 목표와 기업의 온실가스 배출원의 특성에 따라 자발적으로 Scope를 선택한다. 기업들은 그들이 보고하는 scope나 scope들을 기록하고 그것을 선택한 이유도 기록하고 각 scope의 총량을 보고한다. 즉, Scope 2를 보고하기로 한 기업은 Scope1에 대하여서도 분리하여 보고하여야 한다. Scope 3를 보고하기로 한 기업은 역시 Scope1과 Scope2에 대하여 분리하여 보고하여야 한다. 기업의 유동성과 투명성을 최대한 확인하기 위해 세 scope 모두를 보고하는 것이 좋다.

| boundary approach                        | 장점                                                                                                                                                                        | 단점                                                                                                                             |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Scope 1</b><br>GHG 직접 배출              | <ul style="list-style-type: none"> <li>o 단순한 자료 수집과 확인</li> <li>o 적절한 규제체제와 탄소시장 (예, 배출권 거래제도, credit for early action)</li> <li>o 이중 계산을 피함</li> </ul>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>o 많은 기업들에 대하여 전체 온실가스와 잠재적 감소 기회에 대한 정보가 불충분함</li> </ul>                                |
| <b>Scope 2</b><br>직접 배출 + 에너지 관련 GHG 배출  | <ul style="list-style-type: none"> <li>o 더 실제적인 activity를 나타냄</li> <li>o Upstream 에너지 수입-대부분의 회사의 주요 배출원</li> <li>o 적절한 경영/기업 결정과 전략</li> <li>o 에너지 사용의 자료 유용성</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>o 이중 계산</li> <li>o 전력 배출 계수 정확성의 변화</li> <li>o 자료 확인이 더 어려움</li> </ul>                  |
| <b>Scope 3</b><br>Scope 2 + 다른 간접 GHG 배출 | <ul style="list-style-type: none"> <li>o 특정 배출원에서는 다른 간접 배출원이 중요할 수 있음</li> <li>o 적절한 internal management와 기업 결정</li> <li>o GHG 감소 가능성 범위 확대</li> </ul>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>o 이중 계산</li> <li>o 자료 평가와 확인</li> <li>o 제한된 간접 GHG배출원</li> <li>o 정확한 배출계수 부족</li> </ul> |

다음으로, 공동 소유(shared ownership)에 대한 온실가스 계산에 대해 다음을 제시하였다. 기업들은 법적 구조와 운영구조에 있어서 joint venture, 자회사, 합명회사, collaboration 등 다양하다. 만약 온실가스 배출원이 공동 소유된 경우, 기업들은 다음 중 하나 또는 둘 다 보고해야 한다.

**Management Control:** 운영 시설의 배출을 통합하여 보고한다. 운영자가 기업 공정을 경영하기 때문에 보통 management control은 시설의 운영자를 의미한다.

**Equity Shared:** equity 소유에 비례하여 온실가스를 보고한다.

기업들은 어떤 방법을 사용할 것인지에 대하여 명백히 제시하고 그 이유를 설명해야 한다. 만약 기업이 두 방법을 다 사용하기로 결정하였다면, 기업은 각 방법에 대하여 분리된 inventory를 보고해야 한다. 만약 계약에 의해 온실가스가 배분되어 있다면, 계약상의 방법이 선행되어야 한다.

| Boundary approach               | 장점                                                                                                        | 단점                                                                                              |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Management control              | <ul style="list-style-type: none"> <li>o 유용성-적절한 표준 관련 정보</li> <li>o 자료 평가가 용이</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>o Management control operator 설정이 어려움</li> </ul>         |
| Ownership Pro-rata equity share | <ul style="list-style-type: none"> <li>o 적용과 이해가 간단</li> <li>o 기업 활동에 더 관련</li> <li>o 재정회계와 일치</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>o 주주 확인 어려움</li> <li>o 자료 평가</li> <li>o 자료 확인</li> </ul> |
| Contractual consideration       | <ul style="list-style-type: none"> <li>o GHG 배출이 비용계수가 됨</li> </ul>                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>o 자료 확인</li> <li>o gaming 기회 존재</li> </ul>               |

마지막으로, 외주(Outsourcing)의 경우는 다음과 같다. 외주활동(outsourced activity)이 있는 equity share된 회사의 경우 equity share approach를 배출을 통합하여 보고하는 데 사용하고, 결과 GHG는 scope1 inventory에 포함하여야 한다. 보고 회사가 외주활동에 대해 효과적인 management control을 가지고 있는 경우 management approach가 배출을 통합하여 보고하는 데 사용되고, 결과 GHG는 scope1 inventory에 포함되어야 한다. 외주를 하는 회사가 equity도 효과적인 management control도 존재하지 않을 경우 배출은 scope 3에 포함되어야 한다. 기업의 핵심(core)부분이 아닌 외주활동의 GHG 배출은 핵심(core) 운영 inventory에 포함하지 않는다.

| Approach                   | 장점                                                                                   | 단점                                                                                                                                     |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| outsourced activity의 배출 포함 | <ul style="list-style-type: none"> <li>o 잘 반영된 기업 활동</li> <li>o 비슷한 시설 활동</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>o 기업 정보의 confidential 범위</li> <li>o 이중 계산</li> <li>o 자료와 자료 확인 평가</li> </ul>                    |
| outsourced activity 배출 비포함 | <ul style="list-style-type: none"> <li>o 간단한 자료 수집과 확인</li> </ul>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>o Outsourcing은 GHGs의 “paper reducton”을 일으킬 수 있음</li> <li>o Compromises comparability</li> </ul> |

셋째로는 Baseline을 설정한다. Baseline은 시간에 따른 연간 배출에 대하여 배출 활동을 측정하도록 선택된 참고 연도이다. 만약 기업이 GHG 배출 Baseline을 설정하고 이에 대하여 미래 배출을 측정한다면, organic growth, 외주, 합병, 인수, 분리, 생산변화 등과 같은 얼마간의 변수가 배출 수준에서 변할 수 있다. 이 때, baseline을 조절하는 3가지 approach가 고려되었는데 마지막의 세 번째 대안이 채택되었다.

*Baseline set - no adjustment*: 계산이 간단하다. 1990년을 기본해로 정의한 교토의정서의 approach와 비슷하다. 그러나, 산업의 구조적 변화와 기업의 역동적인 성장, 쇠퇴, 재생을 고려하지 못하기 때문에 성과의 평가를 적절하게 하기 어렵다.

*Adjustment for organic growth*-생산단계의 변화: 여기에서는 배출의 organic growth가 주요 측정 대상이므로, baseline 조정에 대한 조건은 고려되지 않는다.

*Adjustment for structural change*: 이 방법은 계산 과정이 복잡하기 하지만, 좀 더 재정 회계와 일치하도록 조정되었다. 시간에 따른 활동을 측정할 수 있고, eco-efficiency metrics와 같은 approach와 일치한다. 인수와 분리 작업에 따른 배출 소유권의 이전에 대하여 조정을 한 이후 절대 배출에 관한 활동을 왜곡하지 말아야 한다. 이 방법에서 운영 단위나 기업의 판매를 통해 회사의 총 GHG 배출에 주요한 변화가 일어난다면, baseline은 배출에서의 변화%만큼 낮아질 것이다. 일반적으로 5-10%를 주요한 변화 범위로 인정한다. 또한 기존 기업이나 운영단위의 인수로 회사의 총 GHG배출에서 주요한 증가가 일어난다면, baseline은 배출에서 변화%만큼 증가할 것이다. 운영 단위가 조업을 정지하고 판매하지 않을 경우, baseline에는 어떠한 조정도 불필요하다. 신규 시설 시작과 같은 incremental 생산이 증가하는 경우, baseline을 조정하지 않도록 한다.

경영자와 주주들이 관심을 가지는 두가지 원리가 있다. 절대적인 GHG 배출인 회사나 단체의 'footprint'과 관련되어 있고, 다른 하나는 ratio indicator로 측정하는 GHG 배출감소 활동과 관련되어 있다. Ratio indicator는 활동 효율, 영향정도, 가치나 성취 질에 대한 정보를 제공한다. Ratio는 비슷한 생산이나 공정간의 비교를 용이하게 한다.

회사들은 그들의 활동 자료로부터 그들 사업에 적합하고 의사 결정을 보조할 수 있는 ratio를 구상해야 한다. 회사들은 어떤 ratio가 그들의 사업에 영향을 미치고 이익을 줄 수 있는지를 생각해야 한다. 다음은 여러 가지 ratio indicator의 예이다.

생산성(productivity)/효율(efficiency) Ratio: 생산성/효율 ratio는 GHG 영향과 관련된 기업의 가치와 성취를 나타낸다. 증가하는 효율 ratio는 긍정적인 작업 향상을 반영한다.

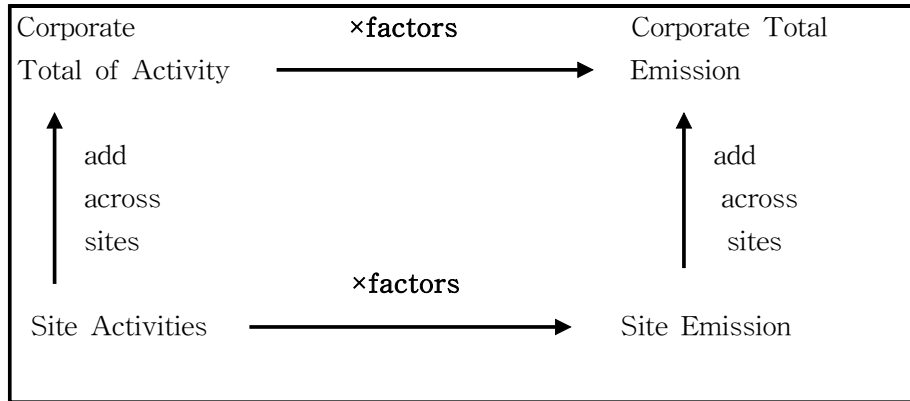
강도(Intensity) Ratio: 활동(activity)단위나 가치 단위당 GHG 영향을 나타낸다. 감소하는 강도 ratio는 긍정적인 작업향상을 반영한다.

퍼센트: 퍼센트는 비슷한 문제간의 ratio이다.

다음으로, Inventory Quality 와 Credibility를 확인한다. 외부 주주들과 GHG inventory의 결과를 논의할 경우, inventory의 GHG 계산 원리들을 언급하는 것이 도움이 될 것이다. 이러한 계산원리들은 적절한 GHG inventories들을 설계하고 평가하는데 유용하다. GHG 배출 inventory에서의 불확실성(Uncertainty)이 중요하다. 불확실성의 정도는 배출원, 계산 방법, 수집 자료의 정확성에 따른 다른 배출측정 방법에 따라 다르다. 기업들은 숫자들이 “soft”한 경우 주의깊게 그들의 결정과 계산을 조절하고, 그들의 inventory의 정확성을 향상시키며 정부 규제나 배출권 거래제 계획, eco-labelling 프로그램들의 경우 적절한 확실성을 제공하기 위해 그들 inventory에 포함된 불확실성 정도를 평가한다. 공적인 보고의 경우, inventory가 정과 불확실성의 주요 원인들을 기록한다. 신뢰할 수 있는 온실가스 inventory를 설정하기 위하여 사용자들은 inventory 측정과 보고 원리에 따라 보고하여야 한다.

신뢰할 수 있는 inventory를 설정하기 위하여 온실가스 측정과 보고 과정을 설계하고 이행할 시 정확한 기술과 system을 사용하고, 측정과 보고 과정을 수행하기 위한 검토와 일정 기간의 내부 감사를 한다. 또한, 전체 범위의 독립적인 외부 감사나 보고된 inventory 확인을 할 수도 있다. 광범위하게 조사하고, 조사에 의해 획득된 증거의 범위와 특성이 충분하며, 측정·보고 과정과 자료 system을 신뢰할 수 있고 내부 감사와 확인자 보고서의 양식과 내용을 신뢰할 수 있으면 그 inventory는 신뢰할 수 있다. 마지막으로, 시설 정보를 통합한다. 많은 회사들이 특정 활동에 대한 온실가스 배출을 측정한 다음 다양한 부분으로 가능한 나라별로 그리고 기업부문들로 자료를 수집하고 정리한다. 연료 연소의 CO<sub>2</sub> 배출을 조합하는 두 가지 방법이 있다.

아래 그림에서 살펴볼 수 있듯이, 각 부분에서의 활동을 모두 더한 다음 배출계수를 곱하여 통합된 총 배출량을 계산하는 방법과 각 부분의 활동 각각에 배출계수를 곱하여 준 다음 각 부부별로 나온 배출량을 합하여 줌으로 통합된 총 배출량을 계산하는 방법 두 가지가 있다.



이러한 approach들의 차이점은 배출계산 지점의 결정에 있다. 이 두 approach들의 계산은 결과적으로 같고, 상호간에 배타적이지 않다. site level 계산에서 일관성을 확인하도록 하는 회사의 경우 두 approach를 다 따르고 그 결과를 비교한다. site level 계산은 site의 총activity, 총 배출, site-specific 배출계수들을 필요로 한다. 배출을 계산하도록 시설들에게 요구함으로써 배출에 대한 인식과 이해를 증진시킨다. 이것은 또한 통합 단계에서의 배출량을 감소시켜주지만, 저항이 따르고, 더 많은 계산상의 오류가 발생한다. 만약 시설이 자신의 배출을 계산하고 보고한다면, 그들은 CO<sub>2</sub>동량 배출을 계산하는 데 사용한 계수와 net electricity 사용을 상세하게 제출해야 한다. 가치를 최대화하고 보고 부담을 최소화하기 위하여 몇몇 회사는 두 방법을 다 사용한다. 복잡한 공정을 지닌 대형배출의 경우 site level의 계산이 요구된다. 거의 단일한 배출을 하는 많은 수의 소형 site들은 사용 연료와 운전 activity만을 보고하도록 한다. Corporate database나 reporting tool은 각 activity들에 대하여 총 배출을 계산함으로써 site level 경영자는 배출의 출처를 알 수 있다. 시설들이 그들의 배출을 계산하도록 하는 경우에도 사용하고 운전한 연료와 전력 자료는 조합되어야 한다.

## 2) 시설차원의 지침(Facility Level Guidance)

먼저, GHG 배출원을 확인한다. 초기에, 회사들은 그들의 직접, 간접 GHG 배출원을 평가한다. 다음으로 회사 전체 부분으로 보고한다. 이 과정에서 두 가지 방법으로 나누어진다. 하나는 시설들로 하여금 통합적으로 GHG 배출을 보고하는 시설에 대한 것이다. 다른 하나는 통합적으로 activity 자료를 보고하는 시설에 관한 것이다.

통합적으로 배출을 보고하는 시설의 경우, 자료 기록과 투명성/확실성과 일치하도록, 시설들과 부문들(site)은 각 해마다 통합적으로 다음 정보를 보고한다. 자료 기록은 확인을 위해 몇 년간 보관한다.

- o 6가지 온실가스에 대한 절대적인(absolute) 배출 자료
- o CO<sub>2</sub> 환산량 단위의 절대적인 배출
- o inventory에서 제외된 배출원과 제외 원인을 기록
  - 범위외에 있는 배출원으로 포함되는 배출원과 포함 원인을 기록
- o 배출계산 방법, 계산동안 사용된 상세한 자료, 지난 자료제출이후 사용 방법의 상세한 변화
- o standard factors가 사용된 경우 참조사항으로 기록
  - 상이한 site-specific factors가 사용된 곳은 factor를 설명(전력 사용에 대한 factor 선택방법이 중요함)
- o 배출자료로부터의 계산을 명확히 기록
- o 적절한 ratio를 선택하여 해마다 배출변화를 이 계수에 대하여 판단
- o inventory quality
- o 다음에 정의된 연간 작업에 관한 보조 문서
  - 배출자료와 별도로 시설들은 정보의 배경을 제공해야 한다.
    - 이전해와 비교하여 일어난 주요한 변화(인수, 분리, 폐업 등)를 제시하게 설명해야 함
    - 이전방법의 사용과 다른 결과를 나타내는 배출 측정 방법에서의 상세한 변화를 제시
    - 기업 target 진행 설명
    - 자료에 나타난 경향 제시하고 설명
    - 입력 자료와 target을 도와주는 배출 완화 방법의 정보 제공

통합적으로 Activity 자료를 보고하는 시설들의 경우, 자료 기록과 투명성/확실성과 일치하도록, 시설들과 부문들(site)은 각 해마다 통합적으로 다음 정보를 보고한다. 자료 기록은 확인을 위해 몇 년간 보관한다.

- o 연료 사용 자료(전력, 천연가스, diesel, 휘발유, 석탄, 목재, 태양열, 이외 연료)
- o Activity data(passenger miles(auto), passenger miles(train), passenger miles(navigation), passenger miles(airplane), freight(road), freight(navigation), freight(air), waste landfilled, relevant activity data for any process emission)

- o inventory 제외 배출원 목록과 제외 원인, 보고 범위 외의 포함 배출원 목록과 포함 원인
- o 보고 기간
- o 다음에 정의된 연간 작업 보조 문서
  - 이전해와 비교하여 일어난 주요한 변화(인수, 분리, 폐업 등)를 제시하고 설명해야 함
  - 기업 target 진행 설명
  - 자료에 나타난 경향 제시하고 설명

이 때 제출되는 배출자료에 대한 배출 계산과 평가 지침이다. 각 시설에 따라 배출 자료를 수집하고 보고한다. 연소 시설, 수송 시설, 알루미늄 생산 시설, 철과 강철 생산시설 등의 시설별 나와있는 지침을 따라 보고한다. 화석연료 고정 연소원의 경우 배출되는 CO<sub>2</sub>량은 이론적으로는 장치와는 무관하고, 단지 연소되는 연료의 종류와 질에 따라 달라진다. 그러나, 실제적으로는 사용되는 장치에 의해 적은 부분이 산화되지 못하고 재나 매연에 잔존하게 된다. N<sub>2</sub>O와 CH<sub>4</sub>는 연료 종류와 사용 장치에 따라 상당히 변한다. CO<sub>2</sub>배출의 경우 에너지 자료나 질량 자료를 사용하여 측정할 수 있다. 방법의 선택은 투입 정보에 따라 결정한다. N<sub>2</sub>O와 CH<sub>4</sub> 배출은 단지 에너지 자료를 사용하여 측정할 수 있다. 에너지 자료를 사용하는 CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> 배출: 평가 기간내에 연소된 각 연료 종류에 대하여 net calorific value를 사용하여 GJ단위로 환산한다. 각 연료 종류에 대한 총 에너지 투입량에 각 연료에 적합한 CO<sub>2</sub>배출계수를 곱하여 주어 배출을 계산한다. 배출계수는 실제 연료 함유량에 근거하여 계산된다. 적절한 연료 함유량 자료가 없는 경우, default factor를 사용할 수 있다. 그러나 어떤 종류의 default factor는 적정 연료 함유량 자료가 없는 경우에만 사용해야만 한다. N<sub>2</sub>O와 CH<sub>4</sub> 배출은 사용 연료와 기술 종류에 적합한 N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> 배출계수와 각 사용 연료 종류에 대한 총 에너지 투입량을 곱하여 주어 구한다. 질량 자료를 사용하는 CO<sub>2</sub>배출의 경우 연소된 연료의 탄소 함유량에 연소된 연료량을 곱하여 주어 구할 수 있다. 간접 배출은 보고 시설의 한계를 넘나드는 에너지(전력과 steam)의 수출입에서 발생한다. 전력의 탄소 함유량은 계절, 날짜, 공급기간에 따라 변하며, cross-border 에너지 시장의 평가에 사용할 적절한 배출계수를 결정하기가 어렵다. 다음은 전력 배출계수를 선택하는 여러 가지 방법이다. 선택1에서 3으로 갈수록 정확성이 감소된다.

1. 만약 전력 공급업자가 배출계수를 제공할 수 있는 경우, 이 방법이 가장 선호되는 방법이다. 이는 연소되는 연간 총 연료로부터 발생하는 평균 계수

(CO<sub>2</sub>/kWh)이다. 회사는 공급업자와 함께 사용 형태, 실제 연소되는 연료, 기술에 가장 적절한 배출계수를 개발할 수 있다.

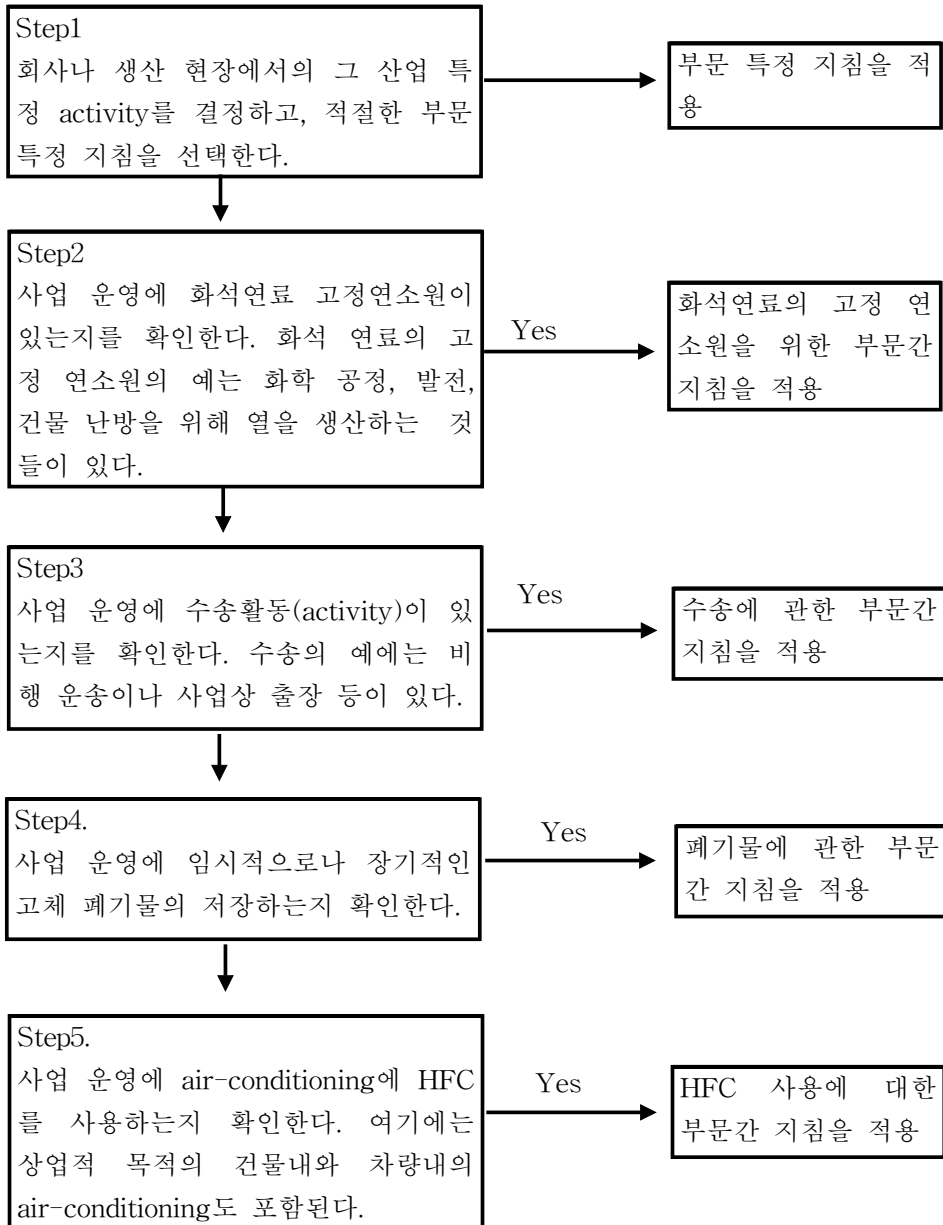
2. 시설이 위치해 있는 나라에서 정부에 의해 고시된 default 배출계수를 사용한다. 정부통계는 지역과 지방에 의해 합하여진 것이다.
3. 전체 국가 grid에 대한 적정 국가 평균 계수를 사용한다.

### 3) 온실가스 Inventory Tools

이 보고서에서는 다양한 배출원의 배출을 계산하는 계산 tool을 제시하고, 불확실성(uncertainty)을 조정하는 지침을 제시하였다. 이러한 tool들은 기업 경영자와 전문가들에 의해 검토되었고, 그 기능에 있어서 가장 유용하다고 판단되었다. 이러한 tool들은 선택 사항이고, 기업들은 이것들로 그들 자신의 온실가스 측정 tool을 대신할 수 있다. 배출자료의 수집과 계산에 있어서 대부분의 경우 시설이나 회사의 모든 배출을 포함하기 위해서는 하나 이상의 방법을 적용할 필요가 있다. 모든 부문간 지침서와 특정 부문 지침서는 비슷한 구조를 지니고 있으며, 배출자료를 측정하고 계산하는데 단계적인 방법을 제시한다.

대부분의 경우 worksheet에 생산 자료를 기입하고 적절한 배출계수를 선택하는 것이 기본적인 일이다. Default 계수가 포함 부문에 대하여 제시되어 있으나, 더 정확한 계수가 있는 경우 그 계수를 사용할 수 있다. 각기 다른 온실가스들은 처음에는 분리하여 계산한 다음 그들의 온실 잠재력에 따라 CO<sub>2</sub> 환산량으로 전환하여 함께 보고한다. 지침서 중에는 단순한 방법과 좀 더 발달된 방법 중 선택하도록 하는 two-tier approach를 포함하는 것도 있다.

더 발달된 방법이 더 정확하기는 하나, 대부분 더 상세한 자료와 사업 운영에서 사용된 기술에 대한 이해를 필요로 한다.



5. BP amoco <sup>86)</sup>

다국적 기업인 BP amoco의 경우 BP amoco 그룹 배출권 거래 제도를 2000년 1월 1일부터 시행하고 있는데, 이산화탄소 배출계산에 대한 protocol을 1997년 9월에 발간하였다. 이 protocol에 따르면, BP amoco의 순(net) 이산화탄소 배출량은 BP amoco의 운영으로 인해 직접적으로, 간접적으로 배출되는 이산화탄소의 총량을 계산하여 구해진다. 직접적 배출은 BP amoco의 굴뚝, 배출관, 배기 장치 등에서 배출되는 양이고, 간접적인 배출은 BP amoco의 stream과 전기의 수출입을 통하여 더해지거나 감해지는 배출양이다.

이를 간단히 나타내면

$$C_{net} = C_{direct} + C_{indirect}$$

$C_{net}$  = 순 이산화탄소 배출량(ton)

$C_{direct}$  = 굴뚝, 배출관, 배출기관을 통한 직접 이산화탄소의 직접 배출

$C_{indirect}$  = stream과 전기의 수출입을 통한 이산화탄소의 간접 배출

$$C_{indirect} = C_{import} - C_{export}$$

$C_{import}$  = 수입되는 stream과 전기로 인한 이산화탄소 배출

$C_{export}$  = 수출되는 stream과 전기의 결과로 감소되는 이산화탄소 배출

## 1) 이산화탄소의 직접 배출

배출구로부터의 배출량과 온도를 측정하는 곳은 그룹에서 적은 수이다. 그룹 내 탄소 배출원은 주요한 3가지 범주로 나눌 수 있다. 1차 에너지 관련 배출원, flares, 공정(process)가 그것이다.

<sup>86)</sup> Protocol for the calculation of carbon dioxide emission  
<http://www.ghgprotocol.org>

에너지 관련 배출원의 경우, 이산화탄소는 수출이나 공정에서의 사용을 위한 열과 전력(power)을 생산하기 위해 연료의 연료와 가연성 가스등을 연소함으로 배출된다. 배출되는 이산화탄소의 양은 장치와는 무관하고, 단지 연소되는 연료의 질과 양에 따라서 달라진다. 그러므로 inventory는 각 연료 종류에 대한 총 소비량에 따라 정하여진다. 이 부문에서 선호되는 방법은 다음과 같다. 각 연료와 운영(operation)에 대하여 평가하고자 하는 기간동안 각 다른 연료 종류별 총 소비량을 기록한다. 그 기간동안의 연료의 평균 순발열량(Net Calorific Value)를 사용하여 GJ 단위의 에너지 투입량으로 환산한다. 이 총 에너지 투입량에 각 연료의 이산화탄소 배출계수를 곱함으로 이산화탄소 배출을 계산할 수 있다. 연료 가스나 화학잔류물과 같이 비상업 연료의 경우 배출계수를 계산하여야 하지만, 상업연료의 경우는 IPCC의 배출계수를 사용할 수 있다. 이러한 방법의 사용은 에너지 소비와 이산화탄소 배출을 계산하는데 사용되는 자료의 일관성 있게 한다.

<부표 5-1>은 이 방법을 사용하여 배출을 계산하는 형식상/worksheet이다.

<부표 5-1> 에너지 관련 배출원의 CO<sub>2</sub> 배출 계산 Worksheet

| 에너지 관련 배출원 |                                     |                         |                                |                                      |                                 |
|------------|-------------------------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
|            | 1단계                                 |                         |                                | 2단계                                  |                                 |
|            | A<br>Net calorific value<br>(MJ/kg) | B<br>연소된 연료<br>(tonnes) | C<br>Equivalent energy<br>(GJ) | D<br>배출계수<br>(kgCO <sub>2</sub> /GJ) | E<br>배출 CO <sub>2</sub><br>(kT) |
|            |                                     |                         | C = (A×B)                      |                                      | E=(C×D/1,000,000)               |
| 예1         | 35.50                               | 10,000                  | 355,000                        | 75                                   | 26.63                           |

다른 방법으로는 탄소 단위 이산화탄소는 소비된 연료질량에 연료의 탄소 질량분을 곱하여 얻을 수 있다. 탄소 질량 분은 연료 자체내 이산화탄소를 포함할 수 있다. 이산화탄소 단위의 이산화탄소를 계산하기 위해서는 탄소의 이산화탄소 값에 3.67을 곱하여 준다. 만약 연료의 공급량을 측정할 수 없으면, 가스 터빈의 연료 소비량이나 보일러의 열 생산량과 같은 장치 작업량 자료로부터 계산할 수 있다.

Flares의 경우도 위와 비슷한 방법을 사용하여 이산화탄소를 계산할 수 있다. 그러나 위와 비교하여 flare gas 공급량이나 구성이 더 불명확하다. 계산에는 pilot

gas, pure gas, routine flaring(intended and unintended), operational flaring(trip, startup and shutdown), emergency reliefs를 포함한 모든 배출원이 포함되어야 한다. 같은 방법이 유정 시험동안 원유 flaring에 적용할 수 있다. 선호되는 방법은 다음과 같다. 탄소로 표현되는 이산화탄소는 flare된 가스(나 액체)의 질량에 flare된 가스내 탄소의 질량 부분을 곱하여 계산할 수 있다.

탄소로 표현된 이산화탄소는 3.67을 곱하여 이산화탄소로 표현되는 이산화탄소를 구한다. 탄소의 질량부분에는 flare된 가스의 이산화탄소와 다른 탄소 화합물들이 포함된다. 공급량과 구성의 자료의 신뢰성에 따라 계산의 정확성이 달라진다. 일반적으로 지금까지 flare gas flowmeter는 정확하지 않고, 많은 flare의 경우 측정되지 않고 있다. 위의 과정을 표로 나타내면 <부표 5-2>와 같다.

<부표 5-2> flare의 CO<sub>2</sub> 배출계산 Worksheet

| Flares     |                             |                                        |                                |                                      |                                      |
|------------|-----------------------------|----------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
|            | 1단계                         |                                        |                                | 2단계                                  |                                      |
| flared gas | A<br>Gas flared<br>(tonnes) | B<br>Carbon content<br>(mass fraction) | C<br>Carbon flared<br>(tonnes) | D<br>환산계수<br>(CO <sub>2</sub> /Cw/w) | E<br>배출 CO <sub>2</sub><br>(ktonnes) |
|            |                             |                                        | C=(A×B)                        |                                      | E=(C×D/1,000)                        |
| 예1         | 10,000.00                   | 0.82                                   | 8,200                          | 3.67                                 | 30.09                                |

공정(progress)의 경우 다른 모든 이산화탄소 배출은 화학 반응(산화작용)의 결과나 분리공정 같은 공정 자체에서 발생한다. 이산화탄소 생산을 포함한 모든 산화 반응은 발열 반응이며, 대부분의 경우 방출된 열은 사라진다. 열과 전력(power)에 대한 증기를 생산하는데 사용되고, 찬물이나 뜨거운 공기로 사라진다. 화학반응의 결과 이산화탄소는 반응열이 열과 전력(power)으로 사용되더라도 공정 배출로 간주한다. 이러한 분류가 언제나 옳은 것은 아니지만 대부분의 경우는 그렇다. 이 경우 이중 계산을 피하여야 한다. 소각로의 배출은 공정배출(process)에 포함되고, 투입되는 쓰레기와 사용되는 보조 연료의 구성과 양에 따라 계산된다.

## 2) 간접 이산화탄소 배출

간접 이산화탄소 배출은 시설 경계간에 수입되거나 수출되는 에너지(stream과 전기)를 사용하여 계산한다. 선호되는 방법은 다음과 같다. 이산화탄소의 배출은 수입되거나 수출되는 에너지량에 이산화탄소 배출계수를 곱하여 나타낼 수 있다. 적용되는 탄소 배출계수는 수입되는 에너지원과 수출되는 power의 목적지에 따라 다르다. BP가 생산한 에너지를 사용한 제삼자의 이산화탄소 배출을 설명하고, 발생된 에너지를 BP가 사용한 결과로서 다른 이에 의해 감해지는 이산화탄소를 확인한다. 적용되는 탄소 배출계수는 지방/지역/국가에 따라 다르나, 다음의 지침서를 따른다. 다음의 에너지 배출원/저장소는 다르게 고려되어야 한다.

### o grid로부터의 전기 수입

이산화탄소 배출계수는 전달될 때 상실 분을 포함하여 전체 grid에 대한 연 평균 계수이다.

### o combined heat and power 생산자 이외로부터의 전기 수입

공급계약을 생산자와 직접 체결하면, 이산화탄소 배출계수는 연소되는 실제 연료와 생산자가 사용하는 기술에 따른다.

### o combined heat and power 생산자로부터의 전기 수입

이 경우, 전기와 stream은 같은 연료 연소로부터 나온다. 이 경우 탄소 배출계수는 전기하나만 생산하는 것에 비해 낮다. CHP 시설의 이산화탄소는 stream의 work potential을 근거로 수출되는 에너지 stream에서 배출된다. 만약 BP가 CHP에서의 모든 에너지와 stream을 구매한다면, 발생되는 총에너지를 고려한 평균 배출계수와 배출 이산화탄소는 충분히 구할 수 있다. 그러나, 다른 경우 총 이산화탄소 배출을 다른 에너지stream 발생원에 분배해야 한다. 100℃의 액체 물을 사용한 다른 stream의 work potential에 따라 배출을 분배한다.

다음 표는 계산방법을 나타낸다.

< CHP 배출계수 계산 >

| 총 CO <sub>2</sub> 배출 = H ktonne |                  |                             |                          | 174 kt                      | 1단계                                  |                                     |
|---------------------------------|------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
|                                 | 2단계              |                             |                          |                             | 3단계                                  |                                     |
| Stream                          | A<br>에너지<br>(GJ) | B<br>stream 온도<br>(Celsius) | C<br>stream 압력<br>(barg) | D<br>work potential<br>(GJ) | E<br>CO <sub>2</sub> 배출<br>(ktonnes) | F<br>CO <sub>2</sub> 계수<br>(kgC/GJ) |
|                                 |                  |                             |                          |                             | E=(H*D/ΣD)                           | F=(E/D)                             |
| 전기                              | 245,000          | NA                          | NA                       | 245,000                     | 49                                   | 198.4                               |
| stream1                         | 1,350,000        | 400                         | 40.0                     | 318,100                     | 63                                   | 46.7                                |
| stream2                         | 1,100,000        | 300                         | 20.0                     | 207,800                     | 41                                   | 37.5                                |
| stream3                         | 750,000          | 200                         | 10.0                     | 106,100                     | 21                                   | 28.1                                |
| Σ                               | 3,445,000        | -                           | -                        | 877,000                     | 174                                  |                                     |

1단계에서는 연료 연소를 근거로 시설의 총 이산화탄소 배출을 계산한다.

2단계에서는 각 에너지 stream의 work potential을 계산한다. 전기의 경우 work potential은 에너지와 같은 값이고, stream의 경우 work potential은 다음 식에 따라 stream의 specific enthalpy와 specific entropy로 계산된다.

$$W_i = (F_i/1,000)*\{[h_i - (T_{ref} + 273)*s_i] - [h_{ref} - (T_{ref} + 273)*s_{ref}]\}$$

$W_i$  = stream i의 Work potential(GJ)

$F_i$  = stream의 mass (tonne)

$T_i$  = stream flow i의 전달온도(℃)

$T_{ref}$  = reference 온도 (℃)

$h_i$  = stream flow i의 specific enthalpy (kJ/kg)

$h_{ref}$  = reference 조건의 specific enthalpy

$s_i$  = stream flow i의 specific entropy (kJ/(kg.K))

$s_{ref}$  = reference 조건에서의 specific entropy

3단계는 모든 work potential을 합하고, 총 이산화탄소를 각 stream에 비율에 따라 분배한다.

o 폐열 발전(cogeneration)이 아닌 전기 stream의 수입

이산화탄소 배출계수는 연소되는 연료의 종류, 보일러의 열효율, 전달 체계에

서의 열손실들을 고려하여 계산한다.

o 폐열 발전(cogeneration) 전기 stream 수입

이 경우, 전기와 stream은 같은 연료의 연소로부터 함께 발생되고, 이산화탄소 계수는 stream 하나만 발생하는 것에 비하여 낮다. 나머지 부분은 위 CHP와 같다.

o grid로의 전기의 직접 수출

o 소비자로 직접 수출

두 경우다 전력 발생 열용량은 grid에서 치환된다. 이산화탄소 배출계수는 전달과정 열 손실을 포함한 전체 grid에 대한 연 평균 계수이다.

o stream 수출

stream 수출이 현재 열용량으로 치환되는 곳에서 이산화탄소는 현재 연료 혼합물과 치환된 보일러의 열효율을 근거로 계산된다.

## 주요 용어 해설

AAU(Assigned Amount Unit): 교토의정서에 따라 부속서 B국가에 할당되는 온실가스 배출권을 의미함. PAA와 동일한 개념임.

BAU(Business-as-Usual): 별도의 정책 및 조치가 없는 상황에서 예상되는 상태를 의미함.

CER(Certified Emission Reduction): 청정개발체제 사업의 수행에 따른 온실가스 저감량에 대한 인증임.

ERU(Emission Reduction Unit): 공동이행사업의 수행에 따른 온실가스 저감량에 대한 인증임.

JUSSCANNZ 그룹: 유럽연합에 속하지 않는 선진국간 정보교류 및 토론을 위한 모임으로 일본, 미국, 스위스, 캐나다, 호주, 노르웨이, 뉴질랜드, 아이스랜드, 멕시코, 한국 등이 포함되어 있음.

PAA(Parts of Assigned Amount): 교토의정서에 따라 부속서 B국가에 할당되는 온실가스 배출권을 의미함. AAU와 동일한 개념임.

UMBRELLA 그룹: JUSSCANNZ 그룹과 유사하지만 교토메카니즘 등 주요쟁점에 대해 독립적인 주체로 협상에 참여하고 있음. JUSSCANNZ 그룹에 러시아와 우크라이나가 포함되어 있으며, 스위스, 멕시코, 한국 등이 제외됨.

공동이행(Joint Implementation: JI): 기후변화협약 부속서 I국가간에 공동으로 온실가스 저감사업을 수행하여 투자국이 저감분의 일부를 자국의 저감실적으로 인정받는 제도로서 교토의정서 6조에 규정되어 있음.

교토메카니즘(Kyoto Mechanism): 교토의정서상 온실가스 감축의무 이행비용을 절감하기 위해 국가간 협력을 촉진하기 위해 허용된 제도로서 배출권 거래, 청정개발체제, 공동이행의 세가지를 지칭함.

교토의정서(Kyoto Protocol): 1997년 12월 교토에서 개최된 제3차 기후변화협약 당사국총회에서 채택된 의정서로 부속서 I국가의 온실가스 감축의무와 교토메카니즘을 포함하고 있음.

기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC): 1992년 6월 브라질 리우에서 개최된 지구정상회담에서 채택된 것으로 지구온난화를 완화하기 위한 범세계적인 노력을 강화하기 위한 국제환경협약임.

당사국(Party): 협약 혹은 의정서상의 법적 의무를 부담하겠다는 선언(비준: ratification)을 한 국가를 말함. 협약 혹은 의정서의 채택사항을 확인하는 절차에 불과한 서명(sign)과 달리 구속력을 가짐.

당사국총회(Conference of the Parties: COP): 협약 관련 최종 의사결정기구로서 통상적으로 매년 1회 개최됨. 교토의정서에 대한 의정서 당사국총회(Meeting of the Parties: MOP)는 의정서가 발효되지 않아 아직 개최되지 않음.

배출권 거래(Emissions Trading): 교토의정서에 따라 부속서 B국가에 할당되는 온실가스 배출권을 거래하는 제도임.

부속기구(Subsidiary Body): 당사국총회의 효율적인 진행을 위한 자문기구로서 기후변화협약의 경우 이행부속기구(Subsidiary Body on Implementation: SBI)와 과학기술부속기구(Subsidiary Body on Scientific and Technological Advice: SBSTA)가 있음. 양대 부속기구의 회의는 매년 2회 이상 동시에 개최됨.

부속서 B국가: 교토의정서 부속서 B에 속한 국가로서 부속서 I국가에서 터키와 벨라루스가 제외되어 있음. 교토의정서상에서 온실가스에 대한 양적 감축의무가 부과되어 있음.

부속서 II국가: 한국과 멕시코를 제외한 OECD 선진국으로 기후변화협약 부속서 II에 명시되어 있는 국가임.

부속서 I국가: 기후변화협약 부속서 I에 속한 국가들로 이에 속하지 않는 비부속서 I국가에 비해 추가적인 의무를 부담하고 있음. OECD 국가(한국, 멕시코 제외) 및 시장경제전환국가로 구성됨.

시장경제전환국가(Economies in Transition: EIT): 동유럽과 구 소련연방 소속국가들로 시장경제로 전환중에 있는 국가로서, 러시아, 우크라이나, 크로아티아, 슬로바키아, 슬로베니아, 벨라루스, 불가리아, 에스토니아, 라트비아, 리투아니아, 루마니아 등임.

온실가스(Greenhouse Gases: GHGs): 대기중에 분포하며 지구온난화를 유발하는 것으로 알려진 가스로 교토의정서에는 이산화탄소, 메탄, 아산화질소, 수소불화탄소, 과불화탄소, 육불화황의 6가지가 명시됨. 이외에 수증기, 염화불화탄소 등도 주요 온실가스로 알려져 있음.

청정개발체제(Clean Development Mechanism: CDM): 부속서 I국가의 감축의무 이행과 비부속서 I국가의 지속가능개발을 촉진하기 위한 사업으로 교토의정서 12조에 규정되어 있음.

환경협력그룹(Environmental Integrity Group: EIG): 기후변화협상에 있어서 협상 그룹의 하나로서 한국, 멕시코, 스위스, 리히텐슈타인 등이 포함되어 있음.

용역과제 연구보고서

온실가스 배출저감 목표설정 및 배출권 거래제도 활용방안

2001년 3월 인쇄

2001년 3월 발행

수행기관: 한국환경정책·평가연구원

발주기관: 환경부 지구환경담당관실

경기도 과천시 중앙동 1 정부제2청사

전화 (02) 504-9245

인쇄처: 대명기획, 전화 (02) 2263-1292~3

- 
- 정부의 동의없이 무단 전재 및 복제를 금합니다.
  - 본 최종보고서에서 제시하는 연구내용은 연구수행자의 의견임을 밝힙니다.

본 보고서는 재활용 촉진을 위하여 재생용지를 사용하였으며,  
환경보호를 위해 코팅을 하지 않았습니다.