KEI/1999
기본과제 연구보고서

지구온난화가스 저감대책동향분석 및 국내 대응방안 연구
- 수송부문 중심 -

1999. 12

한화진
오소영

한국환경정책·평가연구원
Korea Environment Institute

序 言

그동안 과학적인 근거를 놓고 의견이 분분하였던 지구기후변화 현상은 전세계 2,000여명의 과학자가 참여하여 활동해온 '기후변화에 관한 정부간 패널기구 (IPCC)'의 1995년 제2차 보고서를 통해 보다 확실시 되었으며 이와 함께 기후변화협약을 이행하기 위한 국제적인 공동노력의 촉구가 보다 거세지고 있는 상황입니다.

1997년 교토 제3차 당사국총회에서 채택된 교토의정서에서는 선진국의 구속력 있는 온실가스 감축목표를 설정하고 감축방안을 마련하였으며 이에 따라 향후 에너지절약 및 이용효율 향상, 신재생에너지 개발 등 온실가스 배출량을 줄일 수 있는 새로운 기술분야에 대한 투자 및 무역이 확대될 수 있는 계기가 마련되었습니다.

우리나라는 1993년 12월 세계 47번째로 기후변화협약에 가입하였으며 현재 온실가스 감축 의무대상국은 아니나 OECD 가입국가로서 선진국의 우리나라에 대한 의무감축 압력은 보다 거세지고 있는 실정입니다. 이를 위해 정부에서는 국무총리를 위원장으로 하는 "기후변화협약 범정부 대책기구" 및 산하 실무대책기구를 1998년 4월에 설치하여 기후변화협약에 대한 우리나라의 대응방안을 수립, 추진해 오고 있습니다.

21세기에는 환경, 경제, 에너지를 동일 선상에서 보는 패러다임의 전환이 요구될 전망으로 기후변화협약이 국내·외 환경정책을 선도할 것으로 예상됩니다. 특히 온실가스 배출의 상당부분을 차지하고 있는 에너지부문, 특히 수송과 산업분야의 온실가스 배출은 국내 주요 수출산업에 영향을 미치는 부분으로 자리할 전망입니다. 특히 수송부문은 각국마다 상대적으로 높은 에너지 수요증가와 최근 유럽연합(EU)의 신차협정 체결로 기후변화협약 대응이 환경과 무역의 연계로써 가시화되는 부분입니다만 국내에는 이에 대한 체계적인

연구가 상당히 부족한 실정입니다.

이러한 상황에서 본 연구는 수송부문중에서 특히 앞으로 온실가스 배출비중이 가장 클 것으로 전망되는 자동차부문의 기후변화 대응 전략 수립에 활용될 목적으로 수행되었으며 국내·외 저감대책을 조사·분석하고 가능한 대책들을 중심으로 저감시나리오별로 저감역량을 추정하였으며 기후변화협약 및 에너지 절약정책의 대응방안을 제안하는데 목적을 두었습니다.

아무쪼록 본 연구가 앞으로 정부가 계획하고 있는 온실가스 배출 저감의 정책수립에 도움이 되었으면 하는 바램입니다.

끝으로 본 연구를 맡아 성심성의껏 수행한 한화진 박사와 자료정리와 편집을 도와준 오소영 연구원에게 감사를 표하는 바입니다. 아울러 본 연구의 내용은 본 연구원의 공식견해가 아닌 연구자 개인의 견해임을 밝혀 드립니다.

1999年 12月

한국환경정책·평가연구원

院長 李 相 垠

목 차

Ⅰ. 문제의 제기 ····· 1

Ⅱ. 우리나라 수송부문 온실가스 배출 현황 및 전망 ····· 4
1. 배출원별 온실가스 배출 현황 및 전망(Tier 1 방법) ····· 4
2. 수송부문 온실가스 배출 현황 및 전망(Tier Ⅰ 방법) ····· 9
2.1. 수송부문 에너지소비 및 온실가스 배출 추이 ····· 9
2.2. 수송부문 에너지 수요 및 온실가스 배출 전망 ····· 14
3. Tier 2 방법에 의한 수송부문 CO_2 배출 현황 및 전망(본 연구 결과) ····· 23

Ⅲ. 국내·외 수송부문 온실가스 배출 저감대책 동향 ····· 30
1. 자동차 CO_2 배출저감 주요 대책 개요 ····· 30
2. 우리나라 자동차 CO_2 배출 저감대책 현황 ····· 35
3. 선진각국의 자동차 CO_2 배출 저감대책 동향 ····· 39
3.1. 미국 ····· 39
3.2. EU ····· 44
3.3. 일본 ····· 48
3.3.1. 온실가스 배출 동향 ····· 48
3.3.2. 일본 수송부문에서의 온실가스 저감대책 ····· 52
3.3.3. 일본의 CO_2 배출억제기술 동향 ····· 60
3.4. 선진국의 자동차 CO_2 저감대책 종합 ····· 63
3.5. 선진국의 수송부문 연구·개발 프로그램 운용 동향 ····· 74
3.5.1. 미국 ····· 75
3.5.2. EU ····· 78
3.5.3. 일본 ····· 79
4. 항공에서의 온실가스 배출저감 대책 ····· 80

Ⅳ. 우리나라 수송부문 CO_2 배출저감 대응 개선방안 ····· 86
1. 저감수단 이행시 저감잠재량 분석 ····· 86
1.1. 중기적 대응수단 ····· 87
1.2. 장기적 대응수단 ····· 93
2. 저감시나리오별 CO_2 배출량 분석 ····· 94
3. 국내 자동차 업계의 대응방안 ····· 95
4. 배출저감 달성을 위한 국가 대응방안 ····· 99
4.1. 기술개발 강화 ····· 100
4.2. 제도적인 대응책 ····· 103

Ⅴ. 결론 ····· 107

참고문헌 ····· 109

[부록 Ⅰ] 외국의 수송부문 이산화탄소 저감대책 ····· 111
[부록 Ⅱ] 국제 수송연료에 대한 온실가스 배출규제 동향 ····· 133

표 목 차

<표 Ⅱ-1> 부문별 온실가스 배출량 추이 전망 ····· 5
<표 Ⅱ-2> 부문별 이산화탄소 배출량 추이 ····· 8
<표 Ⅱ-3> 우리나라 수송 에너지소비 추이 ····· 9
<표 Ⅱ-4> 사용용도별 석유제품 소비량 및 비율(1994~1998) ····· 10
<표 Ⅱ-5> 수송 수단별 석유제품 소비량 및 비율(1994~1998) ····· 10
<표 Ⅱ-6> 우리나라 자동차 보유대수 추이(단위: 천대) ····· 11
<표 Ⅱ-7> 차종별·연료별 차량대수 비중(1998년도) ····· 11
<표 Ⅱ-8> 수송부문 온실가스 배출 종합(Gg) ····· 12
<표 Ⅱ-9> 수송부문 이산화탄소 배출 추이 ····· 13
<표 Ⅱ-10> 수송모드별 이산화탄소 배출량(천TC) ····· 14
<표 Ⅱ-11> 자동차대수 전망(에너지경제연구원) ····· 15
<표 Ⅱ-12> 수송부문 최종 에너지수요 ····· 17
<표 Ⅱ-13> 수송용 에너지원별 수요 전망 ····· 18
<표 Ⅱ-14> 여객부문 에너지수요 전망 ····· 19
<표 Ⅱ-15> 화물부문 에너지수요 전망 ····· 21
<표 Ⅱ-16> 수송수단별 온실가스 배출 전망 ····· 22
<표 Ⅱ-17> 도로부문(자동차) CO_2 배출 전망(Tier 2 방법) ····· 26
<표 Ⅲ-1> 연료별 CO_2 배출량의 상대적 비교(휘발유 100 기준) ····· 33
<표 Ⅲ-2> 수송수단별 에너지소비율 비교 ····· 35
<표 Ⅲ-3> 연도별 승용차의 평균연비 현황 ····· 37
<표 Ⅲ-4> 연도별 경승용차 보유현황 ····· 37
<표 Ⅲ-5> 배기량별 승용차 보유구조 추이(%) ····· 38
<표 Ⅲ-6> 대중교통 수송분담율 변화(서울) ····· 38
<표 Ⅲ-7> 미국의 수송부문 온실가스 배출추이 ····· 40
<표 Ⅲ-8> 연비개선 요소기술의 예 ····· 61
<표 Ⅲ-9> 일본의 저공해차 보급촉진시책의 현황 ····· 62

<표 Ⅲ-10> 각국의 자동차 CO_2 저감수단 종합 ····· 65
<표 Ⅲ-11> 미국의 수송분야 R&D 프로그램 ····· 77
<표 Ⅲ-12> EU의 에너지 합리적 이용 및 화석연료 기술 분야(수송부문) ····· 79
<표 Ⅳ-1> 연비개선시 도로부문(자동차)의 CO_2 배출 전망(Tier 2방법) ···· 88
<표 Ⅳ-2> 연료효율 개선시 저감잠재량 추정 ····· 89
<표 Ⅳ-3> 화물유통효율의 개선시 저감잠재량 ····· 90
<표 Ⅳ-4> 중기 저감대책 이행시 저감잠재량 추정 ····· 92
<표 Ⅳ-5> 저감시나리오별 CO_2 배출량 (단위: CO_2 백만톤) ····· 95
<표 Ⅳ-6> ACEA와 KAMA의 협정내용 비교 ····· 96
<표 Ⅳ-7> 주요 지역별 자동차 수출 현황 ····· 97
<표 Ⅳ-8> 차종별 수출 현황 ····· 98
<표 Ⅳ-9> 연료소비율 및 CO_2 감축에 미치는 인자 및 효과 ····· 101
<표 Ⅳ-10> CO_2 배출저감 기술요약 ····· 102

그 림 목 차

<그림 Ⅱ-1> 부문별 온실가스 배출량 추이 ····· 6
<그림 Ⅱ-2> 부문별 온실가스 배출비중 ····· 7
<그림 Ⅱ-3> 부문별 이산화탄소 배출량 추이 ····· 8
<그림 Ⅱ-4> 수송모드별 이산화탄소 배출량 ····· 14
<그림 Ⅱ-5> 자동차대수 전망(에너지경제연구원) ····· 16
<그림 Ⅱ-6> 수송용 에너지원별 수요 전망 ····· 18
<그림 Ⅱ-7> 여객부문 에너지수요 전망 ····· 20
<그림 Ⅱ-8> 화물부문 에너지수요 전망 ····· 21
<그림 Ⅱ-9> 수송수단별 온실가스 배출 전망 ····· 23
<그림 Ⅱ-10> 자동차 대수 전망(본 연구결과) ····· 27
<그림 Ⅱ-11> 주행거리 변화 추이 ····· 28
<그림 Ⅱ-12> 우리나라의 차종별 CO_2 배출비중(1997년도) ····· 29
<그림 Ⅱ-13> 연도별 CO_2 배출량 변화 추이 ····· 29
<그림 Ⅲ-1> 자동차 연비와 CO_2 배출량과의 관계 ····· 32
<그림 Ⅲ-2> 일본 CO_2 배출량의 부문별 내역 ····· 49
<그림 Ⅲ-3> 일본 수송부문의 CO_2 배출비중 추이 ····· 50
<그림 Ⅲ-4> 수송수단별 이산화탄소 배출비중 ····· 50
<그림 Ⅲ-5> 일본 가솔린승용차(신차) 평균연비(가중조화평균)의 추이선 ····· 51
<그림 Ⅳ-1> 연비개선에 따른 CO_2 배출량 전망 ····· 89
<그림 Ⅳ-2> 시나리오별 CO_2 배출량 ····· 95
<그림 Ⅳ-3> 지역별 자동차 수출 현황 ····· 97
<그림 Ⅳ-4> 차종별 수출 현황 ····· 98
<그림 Ⅳ-5> 엔진별 연료소비율 비교 ····· 103

Ⅰ. 문제의 제기

전지구차원의 기후변화 대응을 위한 국제적인 공동노력인 기후변화협약이 1992년 5월 유엔환경개발회의에서 채택되었고 1994년 3월 공식적으로 발효되었다. 그 동안 과학적인 근거를 놓고 의견이 분분하였던 지구기후변화 현상, 특히 인간의 활동에 의해 야기되는 지구온난화는 전세계 2,000여명의 과학자가 참여해 활동해온 '기후변화에 관한 정부간 패널기구(Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC)'의 1995년 제2차 보고서를 통해 보다 확실시 되었으며 이와 함께 기후변화협약을 이행하기 위한 국제적인 공동노력의 촉구가 보다 거세지고 있는 상황이다.

1997년 교토 제3차 당사국총회에서 채택된 교토의정서(Kyoto Protocol)에서는 선진국의 구속력 있는 온실가스 감축목표를 설정하고 감축방안을 마련하였으며 이에 따라 향후 에너지절약 및 이용효율 향상, 신재생에너지 개발 등 온실가스 배출량을 줄일 수 있는 새로운 기술분야에 대한 투자 및 무역이 확대될 수 있는 계기가 마련되었다.

우리나라는 1993년 12월 세계 47번째로 기후변화협약에 가입하였으며 현재 온실가스 감축 의무대상국은 아니나 OECD 가입국가로서 선진국의 우리나라에 대한 의무감축 압력은 보다 거세지고 있는 실정이다. 특히 온실가스 배출의 상당부분을 차지하고 있는 에너지부문, 특히 수송과 산업분야의 온실가스 배출저감은 국내 주요 수출산업에 미치는 영향이 클 것으로 전망된다.

지구온난화 예방을 위해 온실가스 감축의무를 이행함은 물론 경제에 미치는 부정적인 파급효과를 최소화하기 위해서는 경제 전반적인 에너지소비효율 향상 및 저에너지소비형으로의 산업구조 전환을 유도할 수 있는 정책을 수립·추진하는 것이 필요한 바, 이를 위해서는

기존의 국가정책 및 업체의 저감수단에 대한 평가와 문제점을 총체적으로 파악하는 것이 필요하다. 그동안 일부 기관에서 수행되어온 연구는 주로 거시적인 관점에서 국가 전체의 비용분석에 치중되어 구체적이고 합리적인 세부저감전략을 수립하는데는 한계가 있었으며 이는 온실가스 배출통계의 신뢰성 부족과 배출분야별로 실제 feasible한 기술적·비기술적 대책을 발굴하여 단계적으로 이행하기 위한 선행연구가 부족한데 원인이 있다. 지금까지의 연구결과에 의하면 기후변화협약의 이행에 따라 우리나라에 감축의무의 부담이 주어질 경우 경제활동에 영향을 미칠 것으로 전망하고 있는데 예를 들어 2010년의 기준배출량을 1997년 수준으로 동결하는 온실가스 감축의무를 질 경우 2010년 연평균 경제성장률은 0.5%～3.2% 감소가 예상되며 국민소득(GNP)은 약 21%～36% 감소가 예상되는 것으로 연구보고되고 있다[1].

따라서 에너지부문별 주요 배출원에 대해 구체적인 저감수단을 발굴하고 저감역량을 조사하여 배출원별로 저감할 수 있는 배출량이 과연 어느 정도이고 부문별로 어떤 저감수단을 적용할 경우에 환경적으로 유리하고 경제적인지에 대한 실질적인 대안제시의 연구가 필요한 시점이다. 특히 수송부문의 경우는 상대적으로 높은 에너지 수요증가와 최근 유럽연합(EU)의 신차협정 체결로 기후변화협약 대응이 가시화되는 부분이며, 또한 선박 및 항공기의 국제수송 연료에서 발생하는 온실가스 감축문제까지 국제적으로 거론되고 있다.

사실상 온실가스 저감잠재량을 추정하는 일은 이행가능한 저감대책이 평가되고 저감대책별 저감잠재량을 판단하는 탄탄한 기초자료가 확보된 이후에 가능한 일이다. 그러나 우리나라는 배출통계 작성이나 저감대책별 효과분석 및 저감잠재량에 대한 분석연구는 물론이고 외국의 문헌을 조사하는 것도 미흡한 수준에 머물러 있는 상태이다. 따라서 현시점에서는 장기적으로 수송부문의 온실가스 배출저감

1) 이러한 결과는 에너지경제연구원, 산업연구원, LG경제연구원이 수행했던 연구에 기초한 것이다.

을 위해 필요한 체계적인 기틀을 마련할 수 있는 선행연구가 필요하다.

이러한 배경하에 본 연구는 수송부문중에서 특히 앞으로 온실가스 배출비중이 가장 클 것으로 전망되는 자동차부문을 주요 대상으로 하여 정부 및 자동차 업계에서 기후변화 대응 전략 수립에 활용될 목적으로 수행되었다.

□ 연구목적 및 주요 내용

본 연구는 에너지 부문의 주요 지구온난화가스(이하 '온실가스'라 함) 배출원중 자동차 대수의 증가 및 물동량 증가로 온실가스 배출 증가율이 가장 높은 수송분야, 이중에서도 자동차를 중심으로 온실가스 감축과 관련하여 국내·외 저감대책을 조사·분석하고 저감잠재량 추정이 가능한 대책들을 중심으로 저감시나리오별로 저감역량을 산정 하였으며, 기후변화협약 및 에너지 절약의 대응책을 제안하는데 목적을 두었다.

보고서 Ⅱ장에서는 우리나라의 수송부문 온실가스 배출 현황 및 전망에 대하여 기존의 연구결과와 본 연구에서 처음 시도한 산정 결과를 비교·분석하였으며, Ⅲ장은 국내·외 수송부문 온실가스 배출 저감대책 동향, Ⅳ장은 국내 수송부문의 온실가스 배출저감 대응방안을 국내의 차종별 배출량 자료를 근거로 제시하였다. 특히 Ⅳ장에서는 실현 가능한 저감수단별로 저감잠재량을 추정하여 저감시나리오를 작성하고 이를 달성하기 위한 대책들을 제시하였다.

본 연구에서는 대상 온실가스중 자동차에서 주로 배출되는 이산화탄소를 중심으로 하였다.

Ⅱ. 우리나라 수송부문 온실가스 배출 현황 및 전망

환경매체별 오염물질의 저감정책 수립에서와 마찬가지로 온실가스 배출원별 저감대책 수립시 배출통계는 가장 기초적인 자료로 요구되어진다. 현재의 배출통계자료에 기초하여 미래의 배출량을 예측하고 대책별 단위 저감잠재량에 따라 가장 비용효과적인 대책들이 마련될 수 있다. 그러나 우리나라는 배출통계자료가 그것이 갖는 중요성에 비해 비교적 소홀히 다루어지고 있는 경향이 있다. 본 장에서는 기존 분석된 자료를 인용하여 에너지부문의 배출원별 온실가스 배출과 수송부문의 수송모드별 배출현황 및 전망을 제시하였다. 또한 Ⅳ장의 세부대책 수립이 용이하도록 차종별로 실측된 배출계수를 적용하여 tier 2 방법에 의해 배출량을 산정하고, 기존의 자료와 비교·분석하였다.

1. 배출원별 온실가스 배출 현황 및 전망(Tier 1 방법)

우리나라는 매년 약 10%씩 증가하는 에너지소비율에 따라 온실가스 배출량은 1990~1997년 기간동안 연평균 7.9%의 증가율을 나타내었는데 이는 동기간 GDP 증가율 7.1%를 능가하는 수준이다. 이러한 온실가스 배출량은 아래 <표 Ⅱ-1>과 <그림 Ⅱ-1>에서 알 수 있듯이 에너지사용 증가와 함께 매년 증가하고 있는데 수송부문과 전환부문이 연평균 증가율 2.8%를 능가하고 있다.

온실가스 배출량중 이산화탄소 배출비중은 현재 세계 16위의 규모이며 이러한 추세라면 2000년에는 9위로 진입할 것으로 예측되고 있

다. 특히, 수송부문은 상대적으로 높은 에너지수요 증가와 원간대체 효과가 적어 에너지소비부문중 가장 높은 온실가스 배출증가(연평균 2.9%)를 보일 전망이다.

<표 II-1> 부문별 온실가스 배출량 추이 전망

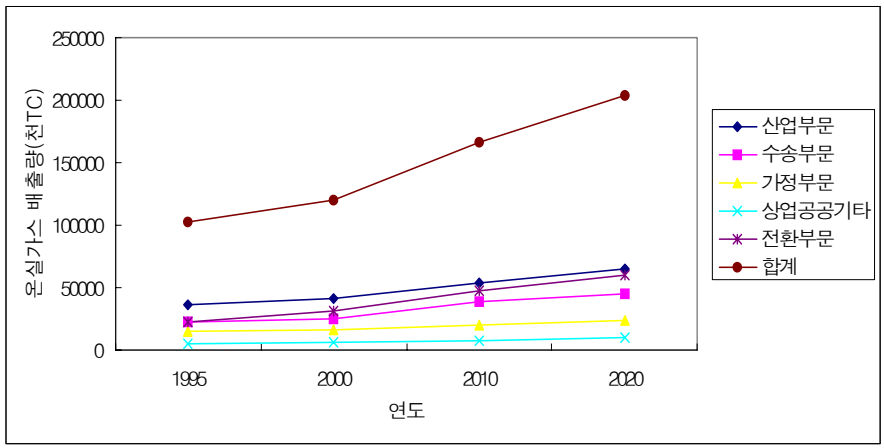
(단위: 천 TC, %)

부문구분	1995	2000	2010	2020	연평균증가율 (1996-2000)
산업부문	36700 (35.9)	41600 (34.5)	53300 (32.0)	65500 (32.1)	2.3
수송부문	22200 (21.7)	25200 (20.9)	38400 (23.0)	45100 (22.1)	2.9
가정부문	14600 (14.3)	16300 (13.5)	19400 (11.6)	23600 (11.6)	1.9
상업공공기타	5500 (5.4)	6100 (5.1)	7900 (4.7)	9600 (4.7)	2.2
전환부문	23100 (22.6)	31300 (26.0)	47800 (28.7)	60300 (29.6)	4.9
합계	102100 (100.0)	120500 (100.0)	166800 (100.0)	204000 (100.0)	2.8

주) 탈루성 온실가스 배출량은 제외하였으며, 전환부문은 별도집계

자료:『기후변화협약 대응 실천계획 수립을 위한 연구: 2차년도』, 산업자원부·에너지경제연구원, 1998. 12.

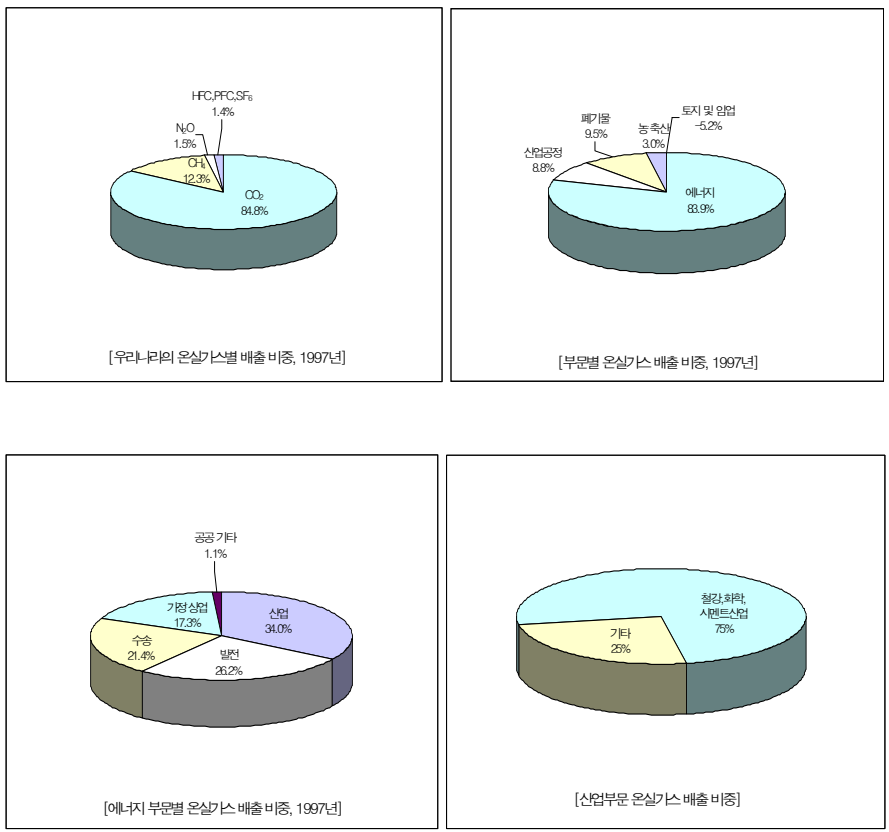
<그림 Ⅱ-1> 부문별 온실가스 배출량 추이



향후 이산화탄소 배출량은 1990년에 비해 2000년에는 2.3배, 2010년에는 2.9배, 2020년에는 3.4배 증가할 전망이다. 1997년 국내 온실가스 총배출량(141.3백만 탄소톤)은 1990년(83.3백만 탄소톤)에 비해 1.7배 증가하였으며 이중 이산화탄소 배출이 85%를 차지하였다.

1997년도 부문별 온실가스 배출비중은 에너지부문이 83.9%로 가장 크고, 산업공정부문이 8.8%, 폐기물부문이 9.5%, 토지 및 임업부문이 -5.2%, 농축산부문이 3.0%를 차지하였다. 에너지부문별 온실가스 배출량은 산업부문이 34%로 가장 많고 발전부문 26.2%, 수송부문 21.4%, 가정·상업부문 17.3%, 공공기타가 1.1%를 차지하고 있다. 산업부문의 경우에는 에너지 다소비업종인 철강, 화학, 시멘트 산업이 전체 배출량의 75%를 차지한다. 특히 수송부문은 자동차 수요의 대폭적인 증가로 온실가스 배출 증가율이 여타 분야보다 훨씬 큰 특징을 가진다. 에너지 부문의 온실가스 중에서는 이산화탄소가 98~99%의 배출비중을 차지하고 있다.

<그림 II-2> 부문별 온실가스 배출비중



자료: 환경부, 한국환경정책·평가연구원, 『지구온난화 알고 대처합시다』, 1999.

□ 이산화탄소 배출 추계

IPCC 지침에 따라 산정된 우리나라의 화석연료 연소에 의한 이산화탄소 배출량은 1981년 37,110천TC에서 1990년 65,172천TC로, 1997년에는 116,918천TC로 증가하여 1981~1997년 동안에 매년 7.4%의 높은 증가를 기록하였다. 특히 수송부문의 이산화탄소 배출량은 다른 부문보다 월등히 높은 증가를 나타내었는데 1981년에 3,043천TC로서

전체 이산화탄소 배출량 중에서 8.2%에 불과하였으나, 1985년에는 5,440천TC로 12.4%, 1990년에는 11,509천TC로 17.7%, 1997년에는 25,035천TC로 21.7%를 차지하여 연평균 14.1%의 증가율을 기록하였다. 이와 같은 급격한 증가는 주로 자가용 승용차의 보유 증가에 따른 에너지소비 증가에 기인한 것으로 판단된다.

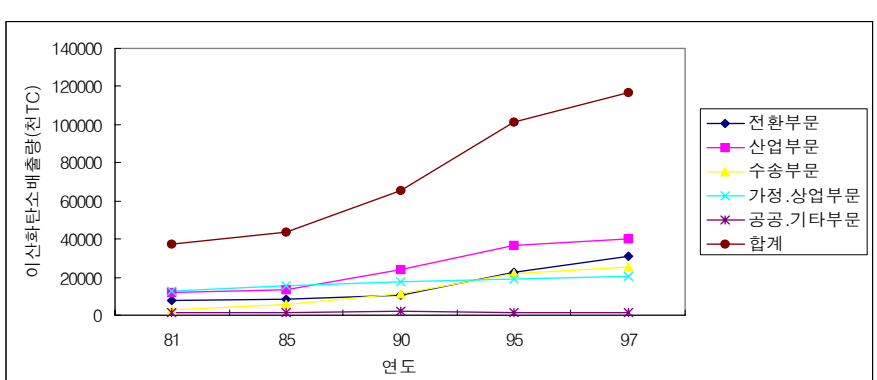
<표 II-2> 부문별 이산화탄소 배출량 추이

(단위: 천TC)

부문 \ 연도	1981	1985	1990	1995	1997	연평균 증가율(%)
전환부문	7,525.3	8,262.2	10,343.0	22,733.8	30,653.5	9.2
산업부문	12,169.2	13,289.6	23,783.7	36,232.9	39,776.9	7.7
수송부문	3,042.4	5,439.7	11,508.5	22,055.0	25,035.3	14.1
가정・상업부문	12,967.2	15,462.1	17,631.4	18,904.7	20,144.1	2.8
공공・기타부문	1,406.3	1,479.7	1,905.0	1,262.0	1,308.5	-0.4
계	37,110.4	43,963.3	65,171.6	101,188.4	116,918.2	7.4

자료:『기후변화협약 대응 실천계획 수립을 위한 연구: 2차년도』, 산업자원부・에너지경제연구원, 1998. 12.

<그림 II-3> 부문별 이산화탄소 배출량 추이



2. 수송부문 온실가스 배출 현황 및 전망(Tier Ⅰ 방법)

2.1. 수송부문 에너지소비 및 온실가스 배출 추이

우리나라의 수송부문 에너지소비는 승용차보급 확대 및 물동량 증가에 교통체증까지 가세하여 과거 높은 증가세를 기록하였으며 전체 에너지소비에서 차지하는 비중도 꾸준히 증가하고 있다(<표 Ⅱ-3>). 매년 연평균 13% 이상의 증가율을 보이고 있으며 최근 IMF 경제체제 이후 다소 감소되는 추세에 있었으나 경기가 회복되면서 다시 상승세를 나타내고 있다. 수송부문의 에너지소비는 '95년에서 '97년 기간동안 전체의 약 22%를 차지하였고 '98년에는 19.6% 수준[2]이며 대부분 석유류 사용에 의존한다. .

<표 Ⅱ-3> 우리나라 수송 에너지소비 추이

	1993	1994	1995	1996	1997	1998
총에너지 (천 TOE)	104,048	112,206	121,850	132,033	145,756	132,228
수송에너지 (천TOE)	21,119	23,860	27,148	29,792	32,080	25,985
구성비(%)	20.3	21.3	22.3	22.6	22.0	19.6
증가율(%)	14.0	13.0	13.8	9.7	3.2	-14.4

자료: KEI 내부자료.

수송부문의 석유제품류 소비량(<표 Ⅱ-4>)은 전체 석유제품 소비량의 28% 수준이며 수송모드중에서는 도로부분이 대부분을 차지하고 있다(<표 Ⅱ-5>).

---

2) 19.6%의 수송에너지 구성비는 선진국의 평균 30% 수준(일본: 26.6%, 미국: 36.5%, 영국: 31.4%, 프랑스: 29.9%)에는 못미치나 지금과 같은 에너지소비 증가율이 계속될 경우 곧 25% 이상을 달성할 것으로 예상된다.

<표 II-4> 사용용도별 석유제품 소비량 및 비율(1994~1998)

(단위: 천Bbl, %)

	산업	에너지산업	수송	가정・상업	공공	기타	합계
1994	258,200	66,535	170,391	115,829	10,543	1	621,498
	(41.54)	(10.71)	(27.42)	(18.64)	(1.70)	(0.00)	(100.00)
1995	265,835	75,101	193,711	132,600	9,962	0	677,210
	(39.25)	(11.09)	(28.60)	(19.58)	(1.47)	(0.00)	(100.00)
1996	281,306	75,688	212,744	140,650	10,674	0	721,062
	(39.01)	(10.50)	(29.50)	(19.51)	(1.48)	(0.00)	(100.00)
1997	345,249	68,054	228,146	142,306	10,142	-	793,898
	(43.49)	(8.57)	(28.74)	(17.93)	(1.28)	(0.00)	(100.00)
1998	341,673	30,089	187,734	102,200	8,581	1	670,278
	(50.97)	(4.49)	(28.01)	(15.25)	(1.28)	(0.00)	(100.00)

자료: http://www.petronet.org

<표 II-5> 수송 수단별 석유제품 소비량 및 비율(1994~1998)

(단위: 천Bbl, %)

년도	철도	도로	해운	항공	합계
1994	2,205	136,382	20,168	11,636	170,391
	(1.29)	(80.04)	(11.84)	(6.83)	
1995	2,228	154,844	23,276	13,364	193,712
	(1.15)	(79.94)	(12.02)	(6.90)	
1996	2,203	170,068	25,895	14,578	212,744
	(1.04)	(79.94)	(12.17)	(6.85)	
1997	2,196	180,710	28,874	16,366	228,146
	(0.96)	(79.21)	(12.66)	(7.17)	
1998	2,163	142,385	28,752	14,435	187,735
	(1.15)	(75.84)	(15.32)	(7.69)	

자료: http://www.petronet.org

에너지원별로는 경유가 가장 많이 소비되어 전체 수송에너지소비의 40.0%를 차지하였고, 다음이 휘발유로 29.1%를 점유하여 두 에너지원이 전체 수송에너지소비의 약 70%를 차지하였다. 특히 자가용 차량의 폭발적인 증가에 의하여 '81년에서 '98년 사이에 휘발유 소비가 15배 가까이 급증하였고, 수송부문 에너지에서 차지하는 비중도 '81년 14%에서 '98년에는 29.1%로 2배 이상 증가하였다.

수송에너지 수요증가는 '96년까지 년간 약 13%를 나타냈으며 이로 인해 2010년에는 최종에너지수요에서 25.5%의 비중을 차지할 것으로 예상된다. 특히 자동차 보유대수는 1981년에 약 572천대에서 1998년에는 10,469천대로 급증하였다.

<표 II-6> 우리나라 자동차 보유대수 추이(단위: 천대)

연도	1981	1985	1990	1995	1996	1997	1998
대수	572	1,113	3,395	8,469	9,553	10,413	10,469

1998년도 연료별 차량대수 비율을 살펴보면 휘발유 차량 69.7%, 경유 차량 30.3%이며, 차종별로는 승용차(휘발유+LPG)가 68.8%, 버스 11.0%, 트럭 20.2%를 나타내었다.

<표 II-7> 차종별·연료별 차량대수 비중(1998년도)

차종구분	차량대수 비율(%)	연료구분	차량대수 비율(%)
승용차	68.8	휘발유	69.7
버 스	11.0	경 유	30.3
트 럭	20.2		

자료:『자동차오염물질 배출량('98)』, 환경부, 1999. 9 자료를 인용, 정리한 것임.

수송부문에서 배출되는 온실가스 종류는 CO_2, CH_4, N_2O, HFCs가 있으며, 연료연소에 의한 배출은 CO_2, CH_4, N_2O이고 이중 이산화탄소가 99% 이상으로 대부분을 차지하고 있다.

<표 Ⅱ-8> 수송부문 온실가스 배출 종합(Gg)

		CO_2	CH_4	N_2O
1990	총(순)배출량	235,684	2,695	14
	연료연소에 의한 배출	238,962	125	3
	수송부문 (연소 배출에 대한 %)	42,198 (17.6%)	6 (4.8%)	0 (0)
1995	총(순)배출량	384,469	2,800	23
	연료연소에 의한 배출	371,024	49	4
	수송부문 (연소 배출에 대한 %)	80,868 (21.8%)	12 (24.5%)	1 (25%)
1997	총(순)배출량	439,206	3,001	24
	연료연소에 의한 배출	428,700	44	4
	수송부문 (연소 배출에 대한 %)	91,796 (21.4%)	14 (31.8%)	1 (25%)

자료:『기후변화협약 대응 실천계획 수립을 위한 연구: 2차년도』, 산업자원부·에너지경제연구원, 1998. 12.

아래 <표 Ⅱ-9>에서 알수 있듯이 전체 이산화탄소 배출량은 '81-'97 기간중 연평균 7.4%의 증가율을 보인 반면 수송부문은 평균 증가율을 훨씬 상회하는 14.1%를 나타내었다.

〈표 II-9〉 수송부문 이산화탄소 배출 추이

(단위: 천TC)

	1981	1985	1990	1995	1997	연평균 증가율(%)
수송부문	3,042.4	5,439.7	11,508.2	22,055.0	25,035.3	14.1
전체	37,110.4	43,963.3	65,171.6	101,188.3	116,918.2	7.4

자료:『기후변화협약 대응 실천계획 수립을 위한 연구: 2차년도』, 산업자원부·에너지경제연구원, 1998. 12.

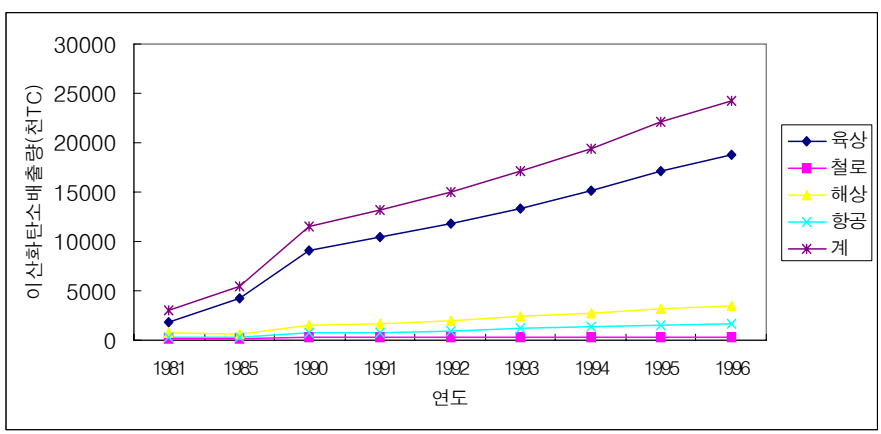
수송모드별 에너지소비를 살펴보면, '98년에 도로 73.6%, 철도 1.7%, 항공 7.6%, 해운 17.1%의 소비비중을 보이고 있으며 차량의 폭발적인 증가에 기인하여 도로부문의 에너지소비가 압도적인 비중을 차지하고 있다. 항공부문 에너지소비는 국내외 항공 수요가 증폭되면서 증가하기 시작하여 '88년에서 '98년 사이에 약 3.3배 증가하였고, 해운의 에너지소비도 화물수송 증가에 따라 약 3.0배 이상 증가하였다. 반면 철도부문의 에너지소비는 약 1.2배의 수준을 기록하였는데 이는 경합관계에 있는 승용차 및 버스로의 대체가 주된 요인으로 작용한 것으로 보인다. 이로 인한 수송모드별 CO_2 배출량은 육상부문의 배출량이 같은 기간에 10배 이상 증가하였다.

<표 Ⅱ-10> 수송모드별 이산화탄소 배출량(천TC)

	1981	1985	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
육상	1799.88	4234.65	9072.35	10414.23	11850.52	13363.36	15078.33	17142.18	18801.86
철로	192.32	220.56	255.35	259.80	264.38	279.20	270.40	273.28	270.15
해상	748.62	613.88	1444.10	1687.57	1985.49	2375.22	2724.51	3145.40	3493.81
항공	301.57	370.62	736.37	768.11	955.78	1144.94	1301.42	1494.15	1630.30
계	3042.39	5439.71	11508.17	13129.71	15056.18	17162.72	19374.66	22055.01	24196.13

자료:『기후변화협약 대응 실천계획 수립을 위한 연구: 1차년도』, 통상산업부·에너지경제연구원, 1997. 12.

<그림 Ⅱ-4> 수송모드별 이산화탄소 배출량



2.2. 수송부문 에너지 수요 및 온실가스 배출 전망

도로부문의 에너지소비에 영향을 미치는 주요 요소는 수송수단의

기술 및 운영적 측면과 수요적 측면으로 구분되는데, 기술적 측면에는 엔진효율의 향상, 중량저감, 차체의 유선형 설계 등 다양한 기술들이 있으며 이를 통해 연비 향상 및 에너지소비 감소를 달성한다. 운영 측면은 사용단계에서의 경제운전, 주행 환경의 개선, 수송효율 증진 및 주행거리 변화 등이 있다. 무엇보다도 에너지소비에 결정적인 영향을 미치는 요소는 수송수단 자체에 대한 수요로서 이는 에너지소비를 직접 유발한다는 점에서 에너지소비 추정시 가장 중요한 요소이다.

차량 보유대수 전망은 교통개발연구원의 전망치를 기초로 에너지경제연구원이 경제성장률 변화를 감안하여 보고한 자료를 인용, 아래 <표 Ⅱ-11>에 제시하였다. 자가용 승용차의 포화시점을 2020년으로 설정하고 그 이후부터는 정체되기 시작하는 것으로 가정한 것이다. 특히 이러한 가정은 일반적으로 승용차 수요는 일정시점에서 포화수준에 도달한 후 일정한 수준을 유지하고, 연비개선은 지속적으로 기술진보가 이루어지면서 향상될 것이며, 에너지소비에 큰 영향을 미치는 자동차의 연간 주행거리도 선진국형으로 근접해 나갈 것이라는 가정에 기초한 것이다[3].

<표 Ⅱ-11> 자동차대수 전망(에너지경제연구원)

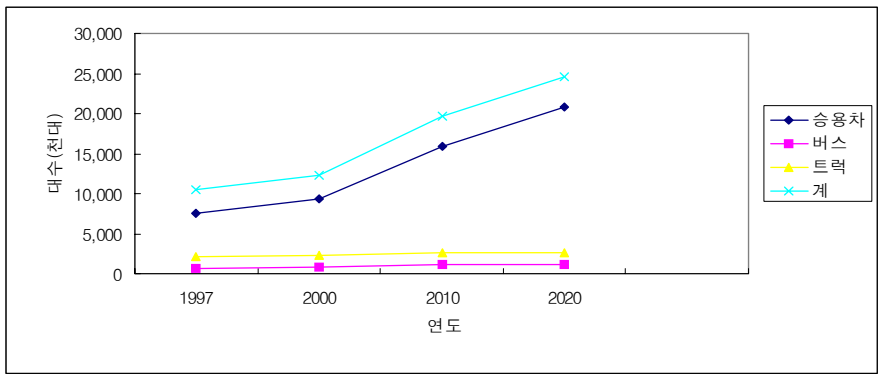
(단위: 천대)

구분	1997	2000	2010	2020	연평균증가율
승용차	7,586	9,265	15,928	20,770	4.48%
버스	719	861	1,160	1,173	2.15%
트럭	2,108	2,220	2,651	2,673	1.04%
계	10,413	12,347	19,740	24,616	3.81%

자료:『기후변화협약 대응 실천계획 수립을 위한 연구: 2차년도』, 산업자원부·에너지경제연구원, 1998. 12.

3) 지금까지의 경험에 의하면 여러 가지 가정으로 인해 전망된 대수가 일반적으로 과대 평가되는 경향이 있다.

<그림 Ⅱ-5> 자동차대수 전망(에너지경제연구원)



자가용 승용차 보유대수가 최근 IMF체제의 영향으로 다소 둔화되는 경향을 보였으나, 경제성장 회복세에 따라 다시 큰 증가가 예상된다. 비도로부문(철도, 해운 및 항공)도 구조적인 변화가 예상되는데 항공은 수송수단 중에서 가장 높은 증가세를 보일 것으로 전망되며, 철도는 향후에도 도로부문의 증대로 큰 증가를 보이기는 어려울 것이다. 해운은 수출입 등에 큰 영향을 받아 물동량이 지속적으로 상승세를 보일 전망이다.

수송 에너지소비는 향후 타부문에 비하여 높은 증가율을 보일 것으로 전망되는데, 연평균 증가율로 보면 '95~2010년에는 3.6%로 매우 높고, 2010~2020년에는 1.1%로 그 증가율이 둔화될 것으로 보인다. 이러한 둔화현상은 2010년 이후 자가용 승용차의 보급율이 포화수준에 근접하며, 연간 주행거리도 선진국 수준으로 진입하여 짧아질 것으로 예상되기 때문이다.

〈표 Ⅱ-12〉 수송부문 최종 에너지수요

(단위:백만TOE, 구성비 %)

	1995	2000	2010	2020	1996-2020 연평균증가율(%)
수송부문	27.1 (22.2)	31.0 (21.8)	47.4 (24.9)	55.7 (24.1)	2.9
전체	121.8	142.5	190.6	231.2	2.6

자료:『기후변화협약 대응 실천계획 수립을 위한 연구: 2차년도』, 산업자원부·에너지경제연구원, 1998. 12.

수송용 에너지원별 수요를 살펴보면 휘발유 소비는 자가용 차량의 증가로 2010년까지는 크게 증가하고, 그 이후부터는 승용차 보유의 정체에 따라 에너지소비도 점진적으로 감소될 것이다. 경유소비 비중도 점차 감소되며, 반면에 제트유 소비는 계속 증가할 것으로 전망된다. 이러한 에너지원별 수요는 앞으로 휘발유와 경유 등의 에너지가격의 구조 조정에 따라 변화될 수 있는 부분이다.

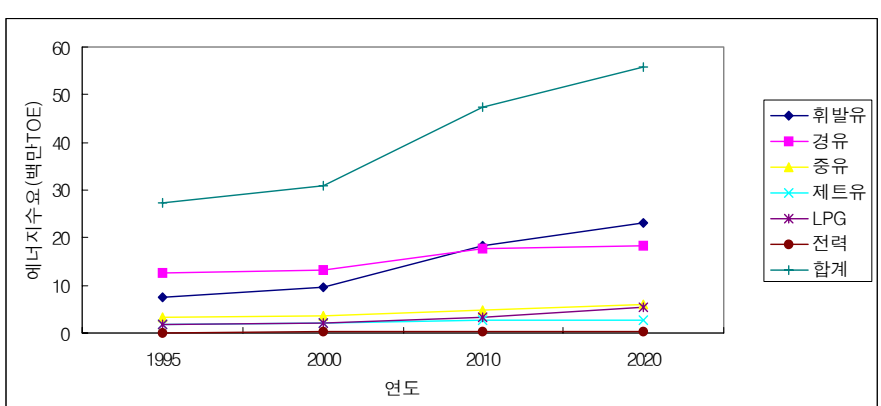
<표 II-13> 수송용 에너지원별 수요 전망

(단위: 백만TOE, 구성비 %)

구분	1995	2000	2010	2020	연평균증가율(%)
휘발유	7.53 (27.7)	9.61 (31.0)	18.43 (38.9)	23.09 (41.5)	4.58
경 유	12.68 (46.7)	13.18 (42.5)	17.83 (37.6)	18.27 (32.8)	1.47
중 유	3.19 (11.8)	3.71 (12.0)	4.77 (10.1)	5.93 (10.6)	2.51
제트유	1.77 (6.5)	2.12 (6.8)	2.73 (5.8)	2.77 (5.0)	1.81
L P G	1.85 (6.8)	2.18 (7.0)	3.38 (7.1)	5.27 (9.5)	4.28
전 력	0.13 (0.5)	0.20 (0.6)	0.27 (0.6)	0.33 (0.6)	3.70
계	27.15	31.00	47.41	55.67	2.91

자료: 『기후변화협약 대응 실천계획 수립을 위한 연구: 2차년도』, 산업자원부・에너지경제연구원, 1998. 12.

<그림 II-6> 수송용 에너지원별 수요 전망



에너지수요를 여객부문과 화물부문으로 구분하면, 여객부문의 에너지수요가 상대적으로 크게 증가하여 양자간의 차이는 더욱 커질 전망이다. '95년도에 여객용과 화물용 수송 에너지수요의 비율은 53:47인 반면에, 2000년에 56:44로 벌어져 2020년에는 63:37로 확대되고 그 후 휘발유 소비증가율의 둔화로 2030년에도 63:37 수준이 유지될 전망이다.

여객용 에너지소비를 수송수단별로 살펴보면 도로가 '95년에 13.56백만 TOE로 전체의 87.3%를 차지하고 있으며, 향후 이 부문의 에너지수요는 높을 것으로 '95~2020년간 연평균 3.6%의 증가율을 보일 전망이다. 철도는 '95년 0.34백만 TOE로 2.2%를 점유하였으며, 향후 2020년까지 연평균 1.6%의 증가율을 보일 전망인 반면에 해상부문 소비는 0.7%에 불과하며 향후에도 증가량이 크지 않을 전망이다. 항공여객 에너지소비는 '95~2020년 사이에 연평균 4.5%로 가장 높은 증가율을 보이고 있는데 이는 소득수준의 향상 등으로 국내·외 항공수요가 폭발적으로 증가할 것이기 때문이다.

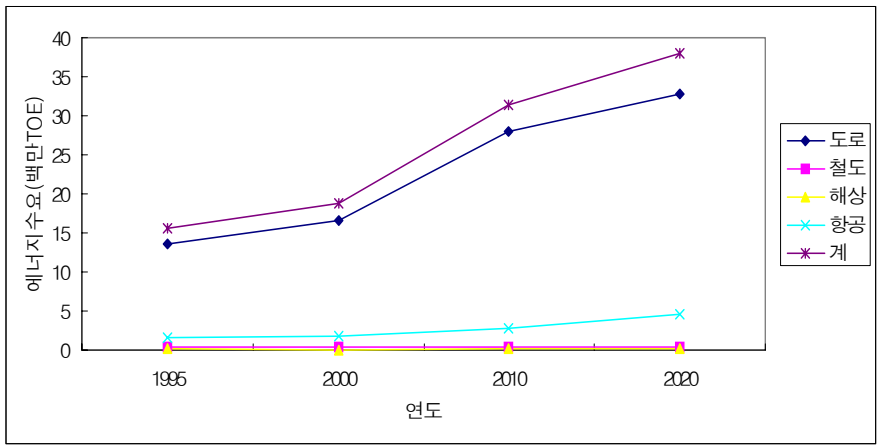
<표 II-14> 여객부문 에너지수요 전망

(단위: 백만 TOE, 구성비 %)

구분	1995	2000	2010	2020	연평균증가율(%)
도로	13.56 (87.3)	16.51 (88.1)	28.01 (89.3)	32.73 (86.2)	3.59
철도	0.34 (2.2)	0.34 (1.8)	0.41 (1.3)	0.50 (1.3)	1.55
해상	0.11 (0.7)	0.10 (0.6)	0.14 (0.4)	0.19 (0.5)	2.21
항공	1.52 (9.8)	1.80 (9.6)	2.82 (9.0)	4.53 (11.9)	4.46
계	15.54	18.74	31.38	37.96	3.64

자료: 『기후변화협약 대응 실천계획 수립을 위한 연구: 2차년도』, 산업자원부·에너지경제연구원, 1998. 12.

<그림 II-7> 여객부문 에너지수요 전망



화물용 에너지소비는 여객용과는 달리 경제규모와 경제성장률에 민감한 반응을 나타낸다. 향후 소비 증가세는 여객용보다는 훨씬 낮을 것으로 보이며 도로수송이 압도적인 비중을 차지한다.

화물용 도로부문 에너지소비는 '95년 62.2%에서 2010년 60.4%로 다소 하락하는데 2020년에는 전체의 약 55.9%를 점유할 것으로 전망하고 있으며 이는 다른 수송수단의 증가율이 상대적으로 높기 때문이다. 철도용 에너지소비는 '95년 점유율이 1.3%에 불과하여 가장 낮은 비중을 차지하고 있으며 이는 향후에도 크게 변하지 않을 전망이다. 반면 해상 화물용 수송에너지는 '95년 33.7%를 차지하였고, 향후 증가세가 지속되어 2020년에는 38.7%까지 이를 전망이다. 화물용 항공에너지소비도 높은 증가율을 보일 전망으로, '95년 2.8%에서 2020년에는 4.2%로 증가할 것으로 예상된다.

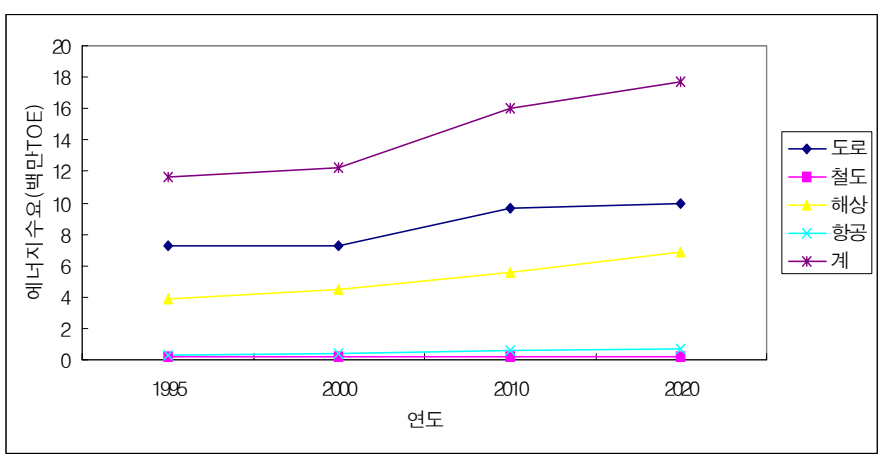
<표 Ⅱ-15> 화물부문 에너지수요 전망

(단위: 백만TOE, 구성비 %)

구분	1995	2000	2010	2020	연평균증가율(%)
도로	7.23 (62.2)	7.26 (59.3)	9.68 (60.4)	9.91 (55.9)	1.27
철도	0.15 (1.3)	0.17 (1.4)	0.19 (1.2)	0.20 (1.14)	1.16
해상	3.91 (33.7)	4.44 (36.2)	5.60 (34.9)	6.86 (38.7)	2.27
항공	0.32 (2.8)	0.38 (3.1)	0.56 (3.5)	0.74 (4.2)	3.41
계	11.61	12.25	16.03	17.71	1.70

자료:『기후변화협약 대응 실천계획 수립을 위한 연구: 2차년도』, 산업자원부·에너지경제연구원, 1998. 12.

<그림 Ⅱ-8> 화물부문 에너지수요 전망



수송부문은 최종 에너지소비부문 중 가장 높은 온실가스 배출 증가(연평균 2.9%)를 보였다. 온실가스 배출량은 IMF 경제위기 기간을

제외하고 2010년까지 전체 배출에서의 비중이 23% 수준으로 증가할 것이며, 2010년 이후 수송부문 에너지수요 증가세 둔화에 따라 배출 비중이 감소할 것으로 전망된다.

<표 II-16> 수송수단별 온실가스 배출 전망

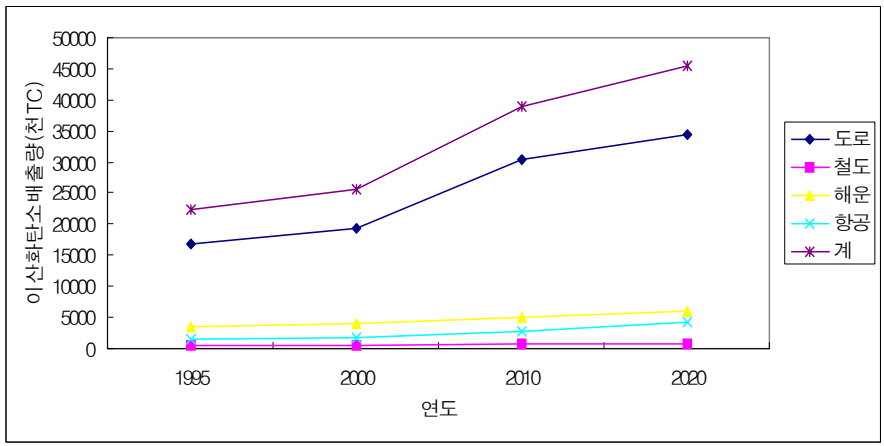
(단위: 천 TC, %)

구분	1995	2000	2010	2020	연평균증가율(%)
도로	16,880 (75.4)	19,240 (75.3)	30,400 (78.3)	34,310 (75.4)	2.9
철도	520 (2.3)	570 (2.3)	700 (1.8)	750 (1.7)	1.5
해운	3,490 (15.6)	3,940 (15.4)	4,980 (12.8)	6,130 (13.5)	2.3
항공	1,510 (6.7)	1,780 (7.0)	2,760 (7.1)	4,310 (9.5)	4.3
수송 계*	22,400 (21.9)	25,530 (21.2)	38,840 (23.3)	45,500 (22.3)	2.9
총 계	102,100	120,500	166,800	204,000	2.8

*수송 계의 ( )는 전체 배출량에 대한 수송부문 배출량의 비율을 나타냄.

자료:『기후변화협약 대응 실천계획 수립을 위한 연구: 2차년도』, 산업자원부·에너지경제연구원, 1998. 12.

<그림 II-9> 수송수단별 온실가스 배출 전망



3. Tier 2 방법에 의한 수송부문 CO_2 배출 현황 및 전망(본 연구 결과)

앞에 제시한 이산화탄소 배출량은 현재까지 국내에서 공식적으로 보고되고 있는 배출량값으로 수송수단의 에너지원별·모드별 에너지 소비량에 연료별 IPCC[4]의 배출계수만을 적용한 가장 기본적인 tier 1[5]방법에 의해 산출된 것이다. 따라서 국내 도로상에서 운행되는 차

4) 온실가스 배출통계 작성에 대한 국제적 기준은 IPCC에서 정하고 있으며 IPCC는 각국이 온실가스 배출통계를 작성할 때 이 기준에 맞추어 작성할 것을 권고하고 있다. 작성 지침으로 「IPCC 가이드라인 1995년판」을 발간하였고, 그 후 이 지침에 대한 추가와 수정 작업을 거쳐 「IPCC 가이드라인 1996년 개정판」이 발간되었다. 지침서상에 통계추정의 정밀도(난이도)들 고려하여 Tier 1/2/3의 세 가지 방법론이 제시되어 있다.

5) Tier 1은 배출량 산정의 가장 기본적인 방법으로 연소기술을 고려하지 않고 소비된 에너지 총량에 대해 연료종류별 배출계수를 적용하는 방법으로 연료별 연소기술, 연소상태 및 조건 등에 관한 상세한 자료를 얻을 수 없는 경우에 이용된다.

종별로 미시적 에너지소비자료를 이용하여 계산된 배출량은 아니므로 실제 운행시 대기 중으로 배출되는 이산화탄소 배출량과 차이가 있을 수 있으며 국가의 세부저감대책을 수립하는데 있어서도 한계가 있다.

방법론상의 tier 수준은 배출통계를 추정하는데 사용되는 기초자료의 수준에 따라 결정되는데 차종별 우리나라 고유의 배출계수를 사용하여 배출수준을 합리적으로 파악하려고 하는 연구수행은 아직까지 부족한 실정이다. 교통부문의 온실가스 배출량 추정모델의 일반적 형태는 다음과 같다.

$$\text{배출량} = \sum (EF_{abc} \times ACTIVITY_{abc})$$

EF = 배출계수, ACTIVITY = 에너지소비량 혹은 주행거리
a = 연료형태(경유, 휘발유, LPG 등)
b = 수송수단별, 차종(승용차, 경량차, 중량차 등)
c = 배출저감기술

배출량 통계추정방법중 가장 많은 기초자료를 필요로 하고 있는 Tier 3 방법은 실주행특성, 차령 등 아래에 나열한 여러 파라미터값이 요구되어진다.

・교통수단의 구분 ・연료의 종류 ・운행 특성
・배출 저감장치 ・정비 및 유지 ・차령 등

본 보고서에서는 기초자료의 정확성 및 국내자료 획득의 한계로 수송모드중 도로부문에 한정하여 국내 몇몇 차종에 대해 실측된 이산화탄소 배출량값을 평균하여 대표 배출계수로 설정하고, 차종별 CO_2 배출량을 산정하여 앞에서 제시한 tier 1방법의 CO_2 배출량 산정결과와 비교・분석하였다. 본 연구의 tier 2방법에 사용된 배출량 산정식과 파라미터들의 내용은 아래와 같다.

배출량 = 차종별 평균배출계수(차량 1대당 평균 CO_2 배출량) × 차종별 주행거리 × 차량대수

. 차종구분: 환경부 대기환경보전법상의 대기오염물질 산정시 사용하는 차종구분을 이용하였다.
. 차량대수 추이: 1990년부터 1997년까지의 차종별 자동차 실측 대수에 대하여 회귀식을 적용하고 2020년까지 예측하였다. 에너지경제연구원에서 예측한 차량대수(<표 Ⅱ-11>)는 과도하게 추정되었다고 판단하였으며 특히 본 연구에서 사용한 것과 같이 차종별로 분리할 수 없어 차량 대수는 본 연구에서 따로 예측하였다.
. 배출계수: 몇몇 차종에 대해 실측된 CO_2 배출량을 평균하여 대표값으로 사용하였다.
. 주행거리: 환경부 대기환경보전법상의 차종구분에 따라 조사된 자료가 없는 관계로 과거 연구된 자료를 그대로 활용하였다.[6)]

아래 <표 Ⅱ-17>은 예측된 차량대수와 주행거리를 비롯하여 실측된 차종별 평균배출계수를 가지고 tier 2 방법에 의해 산정한 CO_2 배출량 값을 나타낸 것이다. Tier 2 방법에 의해 산정된 CO_2 배출량은 차종별로 배출비중을 파악하여 세부저감대책 수립시 활용될 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서 산정한 tier 2방법의 CO_2 배출량값은 차종별 구분 없이 자동차의 연료사용량과 연료별 IPCC 배출계수를 이용하여 계산한 tier 1 방법의 CO_2 배출량과 order면에서 비교할 만하다.

6) 자료:『자동차 배출가스 종합대책』, 환경부, 1995. 12.

<표 II-17> 도로부문(자동차) CO_2 배출 전망(Tier 2 방법)

		휘발유		경유						합계	Tier1 방법[a]
		승용차	버스 소형	버스 소형	버스 중형	버스 대형	트럭 소형	트럭 중형	트럭 대형		
CO_2 배출계수	(g/km)	217	250	350	600	900	350	600	1000		
1997	대수(만대)	721.7	11.1	87.1	1.8	8.7	156.6	18	36.2	1041.2	
	주행거리(km/day)	47	47	69	59	245	70	95.2	160		
	CO_2(백만톤)	26.82	0.48	7.68	0.23	7.00	14.00	3.75	21.14	81.11	61.89[b]
2000	대수(만대)	866.6	11.5	103.5	1.9	9.3	187.5	19.6	42.0	1241.9	
	주행거리(km/day)	42.8	42.8	63	54.7	212	64	86.8	145.8		
	CO_2(백만톤)	29.33	0.45	8.33	0.23	6.44	15.33	3.73	22.34	86.18	70.55
2005	대수(만대)	1090.0	16.3	126.7	2.1	9.9	229.8	20.7	49.9	1545.5	
	주행거리(km/day)	38	38	55	47	198	58	80	130		
	CO_2(백만톤)	32.76	0.57	8.90	0.22	6.45	17.03	3.63	23.68	93.23	
2010	대수(만대)	1272.5	20.3	145.7	2.3	10.5	264.4	21.6	56.4	1793.6	
	주행거리(km/day)	35	35	52	44	188	55	73	123		
	CO_2(백만톤)	35.22	0.65	9.68	0.22	6.46	18.58	3.45	25.32	99.58	111.47
2020	대수(만대)	1560.5	26.5	175.7	2.5	11.3	319.0	23.0	66.6	2185.1	
	주행거리(km/day)	30	30	48	40	175	50	70	115		
	CO_2(백만톤)	37.02	0.72	10.78	0.22	6.50	20.38	3.53	27.97	107.11	125.80

주)[a] Tier 1 방법에 의해 도로부분의 연료사용량에 연료별 IPCC 배출계수를 적용하여 계산한 값임(자료: 『기후변화협약 대응 실천계획 수립을 위한 연구: 2차년도』, 산업자원부・에너지경제연구원, 1998. 12.).

[b] 1995년 배출량

・Tier 1 방법에 의한 CO_2배출량은 아래와 같이 계산됨.

1995년: 도로부문의 연료사용량(실측값)과 IPCC 배출계수를 이용하여 산출

2000년 이후: 모델을 이용하여 전망한 도로부문의 에너지 수요와 IPCC 배출계수를 이용하여 산출

・1997년 자동차 보유대수는 실측치(자료: 환경백서)이며 2000, 2005, 2010, 2020년 보유대수는 1990~1997년 실측치를 이용하여 구한 회귀식으로 예측한 값임.

・승용차 = 휘발유승용차 + LPG택시

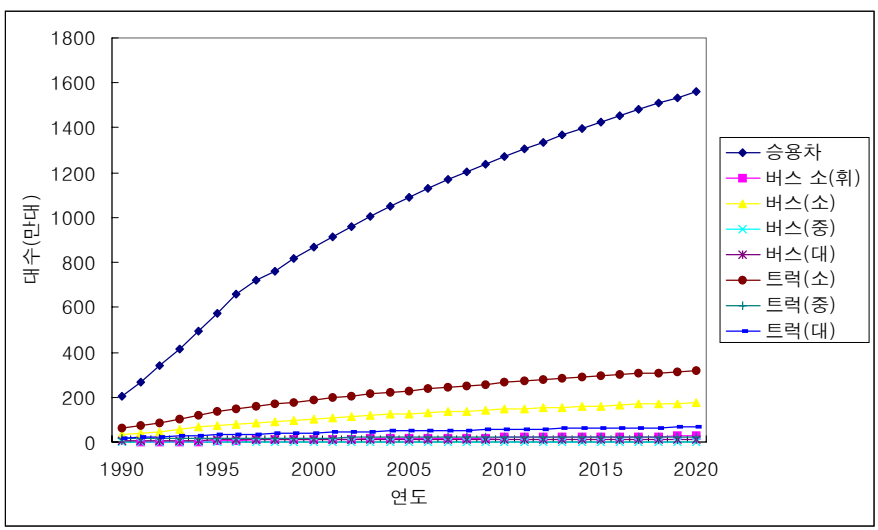
・휘발유 소형버스의 CO_2 배출계수 및 주행거리는 대형승용차(>2000cc)의 값

을 사용함.

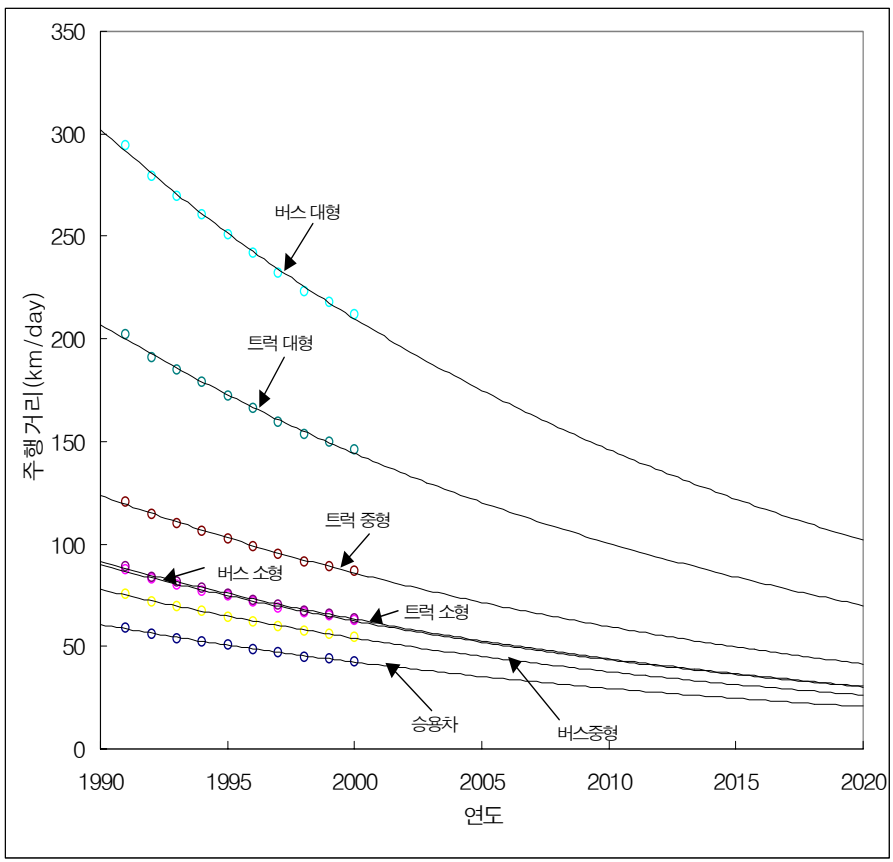
- 승용차의 CO_2배출계수는 소형승용차(<1400cc) 190g/km, 중형승용차(1400-2000cc)210g/km, 대형승용차(>2000cc) 250g/km를 평균한 값을 사용하였으며 기타 차종의 CO_2 배출계수는 한국기계연구원 내부자료를 활용함.
- 주행거리: 참고문헌「자동차 배출가스 종합대책, 환경부, 1995.」을 기반으로 2020년까지 예측한 값임.

아래 <그림 Ⅱ-10>과 <그림 Ⅱ-11>은 본 연구에서 사용한 자동차 대수 전망과 주행거리변화 추이를 각각 나타낸 것이다.

<그림 Ⅱ-10> 자동차 대수 전망(본 연구결과)

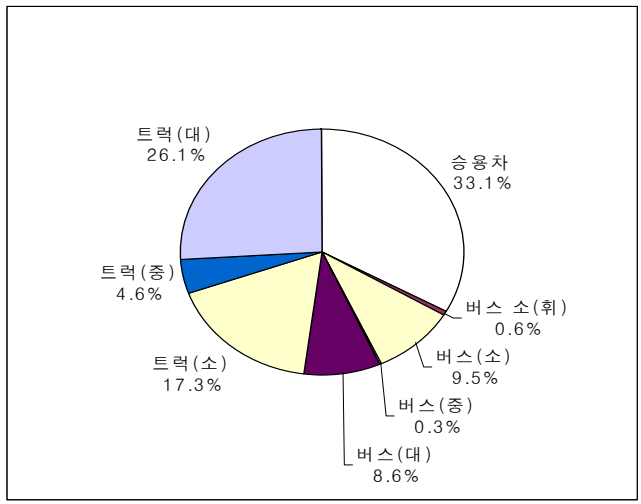


<그림 Ⅱ-11> 주행거리 변화 추이



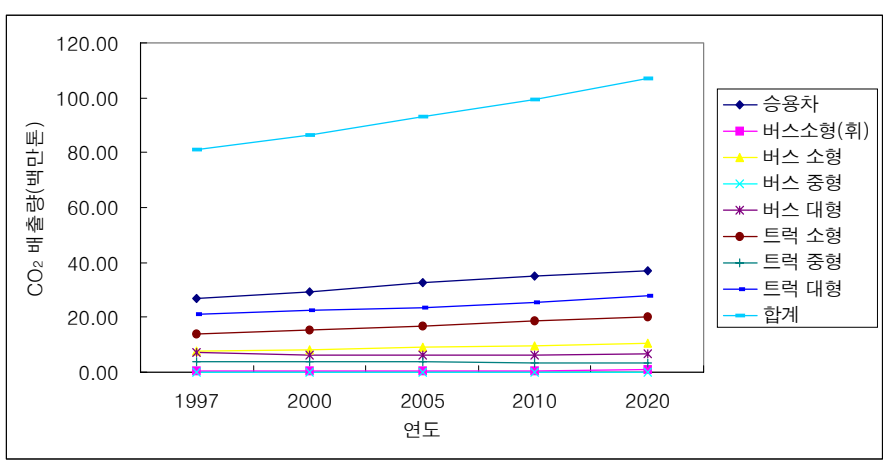
Tier 2 방법에 의해 본 연구에서 계산한 1997년 우리나라 자동차의 차종별 CO_2 배출비중은 승용차가 약 33.1%로 차종중 가장 높은 것으로 나타났으며 대형트럭이 그 다음으로 26.1%를 차지하였다. 아래 <그림 Ⅱ-12>는 1997년도의 차종별 CO_2 배출비중을 나타낸 것이다.

<그림 Ⅱ-12> 우리나라의 차종별 CO_2 배출비중(1997년도)



아래 <그림 Ⅱ-13>은 차종별로 연도별 CO_2 배출량 변화를 나타낸 것으로 1997년 33%의 승용차 배출비중이 2010년에는 35%로 증가하며 대형트럭은 26%에서 25%로 약간 감소할 것으로 전망된다.

<그림 Ⅱ-13> 연도별 CO_2 배출량 변화 추이



Ⅲ. 국내·외 수송부문 온실가스 배출 저감대책 동향

Ⅱ장에서 살펴본 바와 같이 우리나라 수송부문 CO_2 배출량중 특히 도로부문의 배출량이 2000~2010년 동안 약 84% 이상을 차지할 것으로 전망되어 수송수단 중 자동차의 위치가 점차 증가할 것으로 예상된다. 자동차에서의 이산화탄소 감축문제는 전세계 선진국의 공통된 사항으로 급기야는 EU의 신차협정이라는 국제적인 규제로까지 발전해가고 있으며 이에 따라 각국마다 구체적인 대책들이 개발되어 이행되고 있다. 또한 최근 국제 사회에서는 비도로 수송수단인 항공과 선박의 국제연료에 대한 배출규제 움직임과 대책들의 필요성이 거론되고 있어 수송부문의 온실가스 저감대책은 기후변화협약 대응에서 중요한 이슈가 될 전망이다. 본 장에서는 자동차를 중심으로 국내·외의 이산화탄소 배출저감 대책들을 살펴보았으며 비도로수송수단중 에너지소비가 증가하는 항공을 중심으로 저감대책을 제시하였다.

1. 자동차 CO_2 배출저감 주요 대책 개요

자동차 CO_2 배출의 주요 저감수단으로는 정부주도의 직접 규제수단 또는 경제적인 수단이외에 자동차산업체의 자발적인 대응수단 등이 있으며 국가의 일괄된 정책은 자국의 특수한 경제적·규제적 상황에 따라 다르다. 그러나 일반적으로 CO_2 배출저감을 위해 목표로 삼고 있는 정책의 범주는 다음과 같이 크게 4가지로 분류할 수 있다. 이에 대한 보다 구체적인 내용은 [부록 Ⅰ]에 수록하였다.

1) 자동차 연료효율(연비[7])개선 대책

고연비자동차 개발의 목적은 기존 차량과 최소한 동일 성능을 갖되 연료를 보다 적게 사용하는 차량개발 및 엔진효율 개선을 통해 배출저감을 유도하고자 하는 것으로 자동차 연료효율을 10% 개선할 경우 CO_2 배출은 약 7~8% 감소될 것으로 기대된다. 차체개량 및 엔진설계는 CO_2 배출에 상당한 감소효과를 나타내나 일정 수준이상에서는 차량 성능의 감소를 감수해야하는 문제점이 발생한다.

자동차의 연비와 CO_2배출의 관계는 Carbon Balance법을 기준하여 구해질 수 있는데 그 관계식은 아래와 같다(한상명, 1999).

$$\text{연비}(\text{㎞}/\ell) = \frac{K}{0.866HC(g/km)+0.429CO(g/km)+0.273CO_2(g/km)} \quad \cdots(1)$$

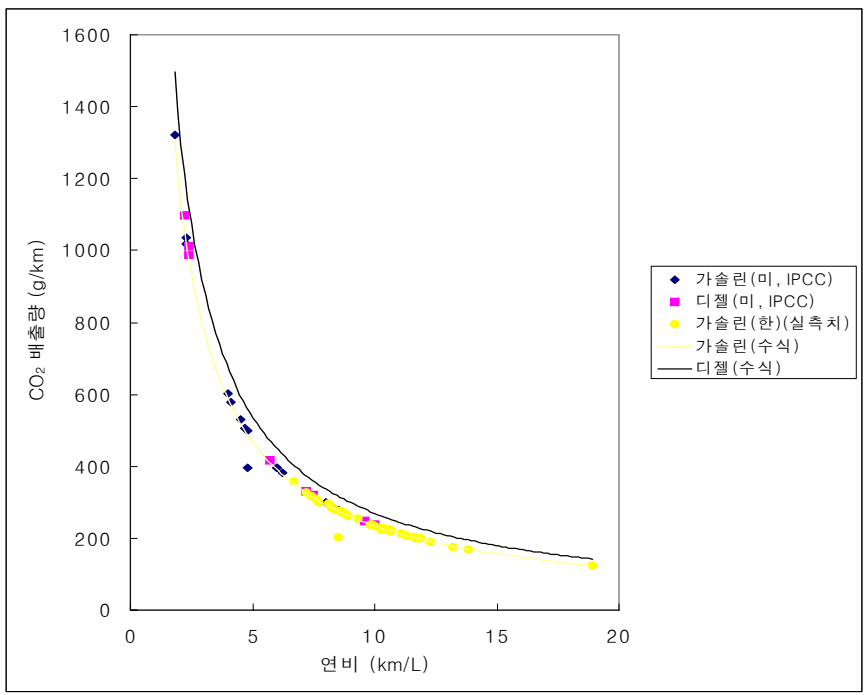
상수 K의 값은 사용연료의 밀도에 따라 차이가 있으며 가솔린은 640, 디젤은 735이다. 차량 주행시 발생되는 HC와 CO의 발생량은 CO_2 발생량에 비하여 그 order가 무시할 수 있는 수준으로 위의 식에서 보면 연비와 CO_2의 배출은 반비례 관계임을 알 수 있다(연비 $\propto$ K/0.273 CO_2).

연비에 따른 자동차 CO_2 배출량과 수식에 의하여 계산된 CO_2 배출량을 아래의 <그림 Ⅲ-1>에 비교, 제시하였다. 기술적으로 CO_2 배출량 저감은 연비개선과 직결됨을 알 수 있다.

---

7) 연비란 연료 1ℓ 또는 1갤런당 주행가능한 거리(km/ℓ 또는 mpg) 또는 100km를 주행하는데 소비되는 연료(ℓ/100km)로 나타내는데 어떤 것으로 표시하느냐에 따라 고연비 또는 저연비로 불리워진다.

<그림 Ⅲ-1> 자동차 연비와 CO_2 배출량과의 관계



주) (미, IPCC)는 IPCC의 배출계수를 표시한 것이며 (한)(실측치)는 국내 몇몇 차종에 대해 측정된 실제 값을 나타낸 것임. 실선은 연비와 CO_2 배출량 관계식 (1)을 나타낸 것으로 HC와 CO의 배출량은 무시한 것임.

연비개선 자동차의 기술개발이외에 차량이용자로 하여금 저연비자동차를 구매하게 하는 제도가 무엇보다 중요한데 혁신적인 연비제도 중의 하나로 피베이트(feebate)제도가 꼽히고 있다. 이 제도는 기준연비를 초과 또는 하회하는 것에 비례하여 차량판매가격 등에 fee(세금) 또는 rebate(환불)를 부여하는 제도이다. 차량운용비용의 초기 부담부분으로 작용하기 때문에 구매자에게 직접적이고 즉각적으로 작용하여 구매패턴에 크게 영향을 미치고, fee의 대부분이 평균 이상 소득자에게 부과되고 rebate의 대부분이 평균 이하 소득자에게 부과

되어 적용에 따른 반발을 최소화하면서 시장의 판매구성비에 커다란 영향을 미칠 것으로 평가되고 있다.

2) 대체연료 자동차 개발·보급(저배출차량 보급)

아래 <표 Ⅲ-1>에서 알 수 있듯이 CNG, LPG 등의 연료는 최적의 엔진상태에서 휘발유와 경유보다 CO_2 배출량이 20~35% 정도 적게 배출되는 것으로 알려져 있다. 따라서 기존의 휘발유, 경유보다 탄소 함량이 적은 청정한 연료로 구동되는 자동차의 개발 및 보급은 장기적으로 CO_2 저감의 중요한 수단이다. 기후변화협약 이행과 연계하여 선진국의 자동차업계에서는 대체연료 자동차 개발 움직임이 활발히 진행되고 있다.

<표 Ⅲ-1> 연료별 CO_2 배출량의 상대적 비교(휘발유 100 기준)

연료	휘발유	경유	CNG	LPG	알콜
최적엔진조건	100	88	66	80	82

※ 자료출처: 한국기계연구원 내부자료

2005년 이후 국제시장에서 대체연료 자동차의 시장점유율은 10% 이상을 차지할 것으로 전망하고 있다[8]. 대체연료 자동차의 구매요구를 증대시키기 위해 선진외국에서는 △기존연료(휘발유, 경유)에 대한 세금 인상 △대체연료 구입에 대한 재정적인 유인책(낮은 세금) △전기/천연가스 자동차 등 대체연료자동차 구입에 대한 재정적인 지원과 △지속적인 연구개발 등의 제도적인 장치를 개발하여 이행하고 있다.

8) 그러나 여전히 기존 휘발유와 경유자동차의 연비 개선을 통한 CO_2 저감이 주를 이룰 것으로 전망된다.

3) 운전자의 운전습관 개선 홍보

네덜란드의 에너지·환경부가 수행한 연구결과에 의하면 동일 차라도 운전방식에 따라 연료소비량에 있어 약 50%의 차이를 보이고 있으며 실제 운전 습관과 자동차 연료절감 기술(내장된 절감장치 등) 정보 및 교육 프로그램 강화로 약 15%의 연료절약이 가능한 것으로 나타났다. 주행시 연료효율 개선(실주행연비 개선)을 위한 행동요령으로는 △엔진을 과도하게 헛돌리지 말 것 △부드럽게 운전할 것(격렬한 회전은 피할 것) △과속운전을 자제할 것[9] △타이어 압력을 적당하게 유지할 것 △불필요한 무게의 원인이 되는 것은 제거할 것 등이 해당된다. 유럽에서는 운전자의 운전습관을 바꾸도록 장려하는 것이 자동차에서의 CO_2 배출저감을 성공시키는데 가장 중요한 부분으로 고려하고 있다.

4) 수송체계의 구조와 운영 개선

이에 해당되는 범주로는 효율적인 교통관리(교통수요관리), 대중교통체계의 개선, 토지이용과 수송계획의 통합이 있다.

①효율적인 교통관리는 도로상에서 운행되는 자동차수를 근본적으로 줄이는 것으로 더욱 효율적인 주차정책을 비롯하여 활용 가능한 교통관리 기술의 이용 등이 해당된다. OECD 대부분의 도시에서 자동차 평균승차인원(occupancy)은 1.5인 이하로 집계되고 있어 "나홀로 차량"의 급증과 함께 교통수요관리의 중요성이 커지고 있다.

②대중 교통체계의 개선은 지속 가능한 교통정책으로 중요한 요소인 modal switching을 위해서 필요한 수단이다. 우리나라의 경우 1인이 1 km를 가는데 승용차는 지하철에 비해 약 28배의 에너지를 더 소비하는 것으로 나타났다(<표 Ⅲ-2>).

---

9) 일반적으로, 연료소비와 오염은 80 ㎞/h에서 상당히 증가하고 100 ㎞/h 이상에서는 두드러지게 증가한다.

<표 Ⅲ-2> 수송수단별 에너지소비율 비교

구분	승용차	택시	버스	지하철
에너지소비율 (kcal/인·km)	1,680	760	260	59

자료: 『기후변화협약관련 국가보고서 작성 및 대응방안 연구』, 산업자원부, 1995. 12.

③ 토지이용과 수송계획의 통합: 화물자동차로부터 보다 효율적인 유통체계인 철도, 선박 등으로 수송 mode을 전환할 경우에 반영되어야 할 사항이다.

선진외국의 분석결과에 의하면 4)의 수송체계의 구조와 운영개선은 이산화탄소 저감에 대한 정책에서 직접적인 효과는 다소 한계가[10] 있는 반면 1), 2)와 3)은 이산화탄소 배출에 직접적인 영향을 미치는 것으로 조사되었다.

2. 우리나라 자동차 CO_2 배출 저감대책 현황

우리나라는 정부차원의 『기후변화협약대응 종합대책』과 국가보고서상에 온실가스 배출부문별로 기본대책을 설정해 놓고 있다. 수송부문의 경우에는 앞서 제시한 외국의 대책과 유사한 범주내에서 저감대책을 마련해 놓고 있는데 주요 저감대책으로는 1)연비개선 자동차 보급확대, 2)경차 보급확대, 3) 대체연료 자동차 개발 촉진, 4) 물류합리화와 5) 환경친화적 교통체제구축의 5가지가 해당된다. 1999년

10) 이러한 효과는 지역적인 특성에 따라 크게 차이가 있는 것으로 평가되고 있다. 우리나라와 같이 국토면적이 협소한 지역에서는 수송체계의 구조와 운영개선이 CO_2 저감에 효과가 클 수 있다는 것이다.

들어서는 이러한 저감대책들을 추진하기 위한 세부계획들이 국무조정실을 총괄기관으로 하여 마련 중에 있다.

그러나 국내 저감대책들은 현상황에서 현실적·기술적으로 필요한 사항과 가능성 등에 대한 분석은 물론 이행시 문제점이 무엇이고 저감잠재량은 어느 정도인지에 대한 검토가 제대로 이루어져 있지 않은 상태에서 대기질 개선을 위한 자동차의 오염물질 저감대책과 혼용되어 설정되고 있으며 따라서 CO_2 배출저감의 국가전략을 수립하기에는 부족한 면이 있다. 특히 기술적인 대책과 이를 위한 제도적·행정적인 대책에 대해서는 국가차원의 장기 계획과 노력이 상당히 부족한 실정인데 이는 차종별 CO_2 배출량에 대한 파악은 물론이고 CO_2이외의 온실가스에 대한 배출통계 작성이 매우 미비한 때문이다.

국가 R&D 사업은 에너지 10개년 계획(1997～2006년)과 선도기술개발사업(1992～2001년)을 기반으로 한 2012년까지의 장기적인 기술개발 계획에 기초하며 주요 분야로 △에너지 절약 및 이용효율 향상 기술, △대체에너지 기술, △온실가스 처리기술이 해당되며 이중 수송부문과 관련해서는 에너지절약 및 이용효율 향상 기술의 4개 중점 프로그램의 하나인 자동차 연비개선 등이 있다. 기후변화협약에 연계된 국내 기술개발로는 그 동안 산업자원부가 주관하는 G-7 차세대 차량 개발사업의 일환으로 연구개발이 진행되고 있으나 단품형식의 제품을 산발적으로 개발하는데 그치고 있는 실정이다.

자동차 CO_2 배출과 연계되는 항목(연비표시제도, 경자동차 보급, 대중교통수송분담율)들의 국내 현황을 아래에 제시하였다.

1988년 우리나라에 연비표시제도가 실시된 이후 1993년 정착되기까지 국산 자동차의 연비는 실제 개선을 보이고 있지 않다. 국내 제작승용차의 평균연비는 1992년도 13.86 km/ℓ에서 1997년에는 12.52 km/ℓ로 연평균 2.0%씩 하락하였으며 1998년 최근들어 약간씩 향상되는 추세에 있다.

<표 Ⅲ-3> 연도별 승용차의 평균연비 현황

구분	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
평균연비(km/l)	13.86	13.89	13.37	12.80	12.71	12.52	13.74
증감율(%)	-	0.2	△3.7	△4.3	△0.7	△1.5	△9.7

자료: 『기후변화협약세부추진과제 모음집』, 국무조정실, 1999. 8.

그 동안의 연비하락은 권고사항인 연비제도가 자동차 제작사로 하여금 연비개선의 노력에 대한 동기부여가 충분하지 못하였고 특히 연비가 높은 경소형차보다 연비가 상대적으로 낮은 중대형차에 대한 소비자층의 지속적인 선호에 기인한다고 하겠다. 이에 따라 관련부처에서는 단순효율표시 수준의 현행 연비제도(권고사항)를 생산관리를 수반하는 연비관리제도로 전환하여 일정기준 미달차량에 대한 기술개발 등의 의무부과나 저연비 자동차에 대한 지원방안 등을 수년 내에 마련할 것을 검토 중에 있다(이영재, 1999. 6월 & 7월).

경자동차 보급에 있어서는 매년 소폭 증가하고 있으나 선진국에 비해서는 낮은 수준이며[11] 1998년도 보급율은 6.5% 수준이다. 연도별 경승용차 보유현황과 배기량별 승용차 보유구조 추이는 아래 <표 Ⅲ-4>와 <표 Ⅲ-5>와 같다.

<표 Ⅲ-4> 연도별 경승용차 보유현황

구 분	1991	1992	1993	1994	1995	1997	1998
승용차(천대)	2,728	3,461	4,271	5,149	6,006	7,586	7,581
경승용차(천대)	31	108	138	176	206	366	490
비 율(%)	1.2	3.1	3.2	3.4	3.4	4.8	6.5

자료: 『기후변화협약세부추진과제 모음집』, 국무조정실, 1999. 8.

11) 배기량 1000 cc이하의 1995년도 선진국의 보유현황은 일본 15.7%, 독일 7.9%, 영국 9.1%, 이탈리아 38.8%로 보고되고 있다.

<표 Ⅲ-5> 배기량별 승용차 보유구조 추이(%)

	1993	1994	1995	1996	1997	1998
1,000 cc 이하	3.2	3.4	3.4	4.3	4.8	6.5
1,500 cc 이하	65.6	63.6	60.9	57.6	55.0	46.6
1,500 cc 이상	31.2	33.0	35.6	38.1	40.2	46.9

자료: 『기후변화협약세부추진과제 모음집』, 국무조정실, 1999. 8.

대중교통의 수송분담율은 아래 <표 Ⅲ-6>과 같이 대중교통서비스의 부족과 자동차 이용자의 승용차 선호경향으로 계속 감소되는 추세에 있다.

<표 Ⅲ-6> 대중교통 수송분담율 변화(서울)

구 분	1978	1988	1997
대중교통	74.0	67.4	60.2
지 하 철	7.0	16.8	30.8
버 스	67.0	50.6	29.4
승 용 차	6.5	16.6	29.7

자료: 『기후변화협약 범정부 대책기구 제12차 실무대책회의』, 에너지·산업대책반, 1999. 5.

이상과 같이 CO_2 배출저감과 연계되는 연비개선 차량의 개발·보급, 경자동차 보급확대 및 대중교통의 수송분담율 제고 등이 중심이 되어 대책들이 수립되고 있으나 구체적인 대책마련은 미흡한 실정이다.

3. 선진각국의 자동차 CO_2 배출 저감대책 동향

수송부문이 온실가스, 특히 이산화탄소의 주요 배출원이며, 기후변화에 상당한 기여를 하고 있다는 것이 인식됨에 따라 국가마다 수송분야의 온실가스 저감을 위해 다양한 수단들을 개발·이행하고 있다.

3.1. 미국

1995년 미국에서 여객과 화물수송에 사용된 화석연료는 국가 에너지의 27%를 차지하였다. 다음 10년 동안에도 수송 서비스 수요가 계속 증가할 것으로 예상되어 온실가스 배출을 저감시키려는 노력을 방해할 것이고, 계속적으로 도시 대기오염과 미국의 외국에 대한 원유 의존도를 증가시키는 계기가 될 것이다.

아래 <표 Ⅲ-7>은 1990년부터 1996년까지 미국에서 수송과 관련된 모든 활동에 의한 온실가스 배출량 추이를 요약한 것으로(Carline, 1998) 각각의 온실가스에 대하여 GWP(Global Warming Potential) 수치에 의해 가중치를 둔 MMTCE(millions of metric tons of carbon equivalents) 단위로 산정·제시된 것이다.

<표 III-7> 미국의 수송부문 온실가스 배출추이

(단위: MMTCE, millions of metric tons of carbon equivalents)

온실가스/차량 유형	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
CO_2	409.6	400.8	406.7	414.1	427.4	432.8	445.5
승용차[a]	169.3	167.8	172.0	173.5	172.5	160.0	163.2
경량트럭[a]	77.5	77.2	77.2	80.5	87.2	104.9	107.1
기타 트럭	56.8	54.7	56.6	59.7	62.4	64.0	67.0
버스	2.7	2.9	2.9	3.0	3.3	3.5	3.7
항공기	55.9	53.8	53.0	53.5	55.6	55.0	57.4
선박	16.3	15.0	15.3	13.4	13.7	12.5	13.2
기관차	7.4	6.9	7.4	6.7	8.0	8.1	8.5
기타[b]	23.7	22.4	22.4	23.7	24.8	24.9	25.5
CH_4	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
승용차	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6
경량트럭	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
기타 트럭과 버스	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2
항공기	+	+	+	+	+	+	+
선박	0.1	0.1	0.1	+	+	+	+
기관차	+	+	+	+	+	+	+
기타[c]	0.1	0.1	0.l	0.1	0.1	0.1	0.1
N_2O	13.2	13.9	14,8	15.6	16.3	16.6	16.5
승용차	8.7	9.1	9.7	10.1	10.0	10.1	10.1
경량트럭	3.4	3.7	3.9	4.2	5.1	5.2	5.1
기타 트럭과 버스	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9
항공기[d]	+	+	+	+	+	+	+
선박	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
기관차	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
기타[c]	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
HFCs	+	+	0.2	0.7	1.3	2.5	3.6
자동차 에어컨디셔너[e]	+	+	0.2	0.7	1.3	2.5	3.6
총 계	424.3	416.1	423.2	431.7	446.4	453.3	467.0

+ 0.05 MMTCE를 초과하지 않음.

주: Totals may not sum due to independent rounding.

a 미국 연방도로관리국 경량트럭의 정의를 수정하여 미니밴, sports utility 차량을 포함하도록 하였다. 이전에 이들 차량은 승용차 범주에 포함되어 있었다. 따라서 1994년부터 1995년까지 승용차의 CO_2 배출에서 갑작스러운 저하가 관찰

되었다. 그러나 이러한 격차는 경량트럭에서 동일한 양만큼의 CO_2 배출에 의해 벌충되었다.

b "기타" CO_2 배출은 이륜차, 건설장비, 농기계, 파이프라인, 윤활유 등을 포함한다.

c "기타" CH_4, N_2O 배출은 이륜차, 건설장비, 농기계, 가솔린을 연료로 하는 오락용, 산업용, 잔디 및 정원용, light commercial, 벌목, 공항 시설, 기타 장비 그리고, 디젤을 연료로 하는 오락용, 산업용, 잔디 및 정원용, light construction, 공항시설 등을 포함한다.

d 항공기 N_2O 배출은 항공기의 가솔린 연소는 포함하지만, 충분한 자료입수가 어려운 관계로 제트연료 연소는 제외되었다.

e 주로 HFC-134a를 포함한다.

자료: Recent Trends in US Greenhouse Gas Emission, CarLines, December, 1998.

1990년부터 1996년까지 수송부문이 미국의 전체 온실가스 배출의 약 26%를 차지하였다. 이들 배출은 주로 연료연소로부터 나오는 이산화탄소이며 1990년부터 1996년까지 8.8% 정도 증가하였다. 그러나 이 기간 동안 N_2O와 HFC 배출에 있어서의 더 많은 증가로 인하여 수송수단으로 인한 총체적인 배출은 실제로 10.1% 정도 증가하였다 (US, Climate Action Report, 1997).

미국에서는 수송부문이 2000년까지 가장 빠르게 증가하는 CO_2 배출원이 될 전망이다. 1993년 국가보고서 (The Climate Change Action Plan: CCAP)는 차량운행에 대한 수요 증가를 둔화시키고, 더욱 연료효율적인 기술과 청정연료를 위한 시장을 강화함으로써 수송부문 배출 증가에 대처하기 위한 일괄적인 대책들을 포함하고 있다.

수송부문이 CO_2 배출원의 상당부분을 차지하기 때문에 1993 CCAP에서는 모든 차량과 경트럭을 포함하는 개인용 자동차로부터의 온실가스 배출을 대폭 감소시키기 위한 대책의 개발 방법을 확립할 것을 요구하였다. 이 방법의 목표는 10년에서 15년 동안에 걸쳐서 연간 2%에 상당하는 양으로 신규 차량에서 연료효율을 향상시킬 직·간접적인 대책들을 확인하는 것이었다.

이러한 책임을 이행하기 위하여 클린턴 대통령은 개인용 자동차로

부터 온실가스 배출을 대폭 저감하는데 조력할 정책 자문위원회를 구성하였다. 주요 공공 및 민간부문 관련 대표자들을 포함하는 많은 노력에도 불구하고, 이 방법은 의견 일치된 제안을 마련하지는 못하였다. 결과적으로 수송부문에서의 배출저감은 전체 순배출을 1990년 수준으로 되돌리는데 있어서 중요한 과제로 남아있다. 1997년도 미국의 기후변화 국가보고서에 수록된 자동차 CO_2 배출저감대책은 아래와 같다.

Cash Value of Parking(Action 19)

이 방법은 고용주가 제공하는 주차 수입에 대한 과세와 관련된 국내 세입법 부문에 있어서의 변화이다. 그 목표는 카풀, take transit 또는 출퇴근을 위한 다른 방법을 찾는데 대한 새로운 강력한 인센티브를 제공함으로써 차량 운행과 교통 혼잡을 감소시키는 것이다. 그 변화는 일부 고용주들에게 세금면제의 조건으로 비과세 주차보조금으로써 현금 수당을 제공하도록 요구한다. 그 변화를 이행하기 위한 법률이 1994년 General Agreement on Tariffs and Trade legislation의 일부로써 도입되었으나 제정되지는 않았다.

혁신적인 수송전략(Action 20)

이 수단은 깨끗한 공기와 도시 이동성의 공동 목표를 충족시키고자 노력하는 도시와 주들에게 활용가능한 전략들의 축적를 확대할 것으로 예상된다. 미국 환경청(EPA)은 수송부(DOT)와 협의하여 차량 운행 거리를 감소시키기 위한 혁신적인 수송 전략으로 대기질 개선을 확인하는 지침서의 초안을 작성하고 있는 중이다.

미국은 혁신적인 오염 관리 전략을 적극적으로 추진하고, 사람들에게 운전량을 줄이도록 장려하기 위하여 주차요금, 배출에 기준한 요금, 차량 scrapping의 가속화, 수송 보조금 같은 시장 메카니즘에 집중하고 있다. 몇몇 주에서는 혼잡통행료와 대량 수송 finance 같은 혁신적인 프로그램을 시험하였다. 가상 사무실(완전히 휴대 가능한

통신 및 컴퓨터 장비), 고성능 자동차 및 수송 차량, 운행자 정보 시스템의 발전 같은 새로운 기술들이 장려될 것이다. 이러한 발의들은 청정대기법안을 이행하는데 드는 비용을 감소시키고, 선택권의 증가와 환경의 질 향상을 통하여 수송 이용자들의 생활의 질을 향상시킬 가능성을 가진다.

재택근무 프로그램(Action 21)

DOT는 다른 부처와 협조하여 연방정부의 파일롯 재택근무 프로그램을 실시할 것이다. 이 프로그램은 재택근무 설비를 장려함으로써, 그리고 사용자의 집에 더 가까운 포괄적인 사무장비를 제공하는 기존의 재택근무 센터를 이용함으로써 통근자의 운행을 감소시킨다. 재택근무는 컴퓨터와 컴퓨터 연결에 있어서의 빠른 기술적 발전 그리고 전체 노동력의 일부로써 정보 연구자들의 증가를 토대로 커다란 활용 가능성을 가질 것으로 인식되고 있다.

1994년 4월 DOT 장관은 재택근무에 대한 공식적인 부처의 정책을 발표하였고, 1996년 6월 클린턴 대통령은 행정부와 정부기관들에게 계획을 수립하고, 종업원들에게 재택근무 기회의 제공을 확대할 것을 지시하였다. 더욱이 연방정부는 지방 정부 및 민간 업체들에 의한 재택 근무 이용 증가를 장려하고 있다.

1993 CCAP에서는 Action 19에서 21까지를 공동으로 평가하여 2000년에는 6.6MMTCE의 저감을 달성할 것으로 예상하였다. 이러한 프로그램 이행으로 인해 저감되는 양은 현재의 예상으로 2000년에는 4.6MMTCE, 2010년에는 10.9MMTCE이다.

타이어에 대한 연비 표시(Action 22)

DOT는 타이어 시장의 교체를 위하여 타이어 라벨 제도를 실시함으로써 차량 연비를 증가시킬 것이다. 이들 라벨은 타이어의 회전저항이 자동차 연비에 미치는 영향에 대한 측정을 토대로 할 것이다.

1996년과 1997년에 국회는 DOT가 타이어 라벨 기준을 공포하는 것을 본질적으로 제지하였으나 정부는 아직도 이 대책을 실행하려고 시도하고 있다. 1993 CCAP는 이 수단이 2000년에 1.5 MMTCE의 저감을 달성할 것이라고 예상하였으며 현재의 예상은 2000년 0.7 MMTCE, 2010년 4.8 MMTCE 수준이다.

3.2. EU

EU 또한 자동차 사용 증가로 자동차에서의 CO_2 배출이 상당히 증가하였고 이러한 동향은 계속될 것으로 예측된다. 국제적으로 수송부문의 에너지절약과 함께 CO_2 배출규제에 대해서는 EU가 가장 적극적이다. EU에서 승용차에 의한 CO_2 배출은 인위적인 총 CO_2 배출의 약 12% 정도를 차지한다. 도로 수송에 의한 CO_2 배출은 1990년에서 1997년 사이에 약 9% 정도 증가하였고, 승용차가 이러한 증가의 대부분에 기여하였다. EU는 늦어도 2010년까지 EU에 있는 모든 신규 자동차들에 대하여 평균 120 g/㎞의 CO_2 배출에 도달하는 것을 목표로 하고 있는데[12] 이것은 1995년에 비하여 약 1/3의 개선을 보여주는 것이다. 이 목표를 달성하기 위해 다음의 3가지 제안을 활용하고 있다.

①자동차 제작사가 차량 기술개선을 통하여 자동차로부터의 CO_2 배출을 감소시킬 것을 약속하는 협정

②자동차 운전자들이 더욱 연료 효율적인 차량을 선택하도록 영향을 미치는 시장 지향적인 대책

③연비에 대한 소비자의 인식을 향상시키기 위한 소비자 연비정보 계획 - 이 계획을 설정하는 법률이 위원회에 의해 제안되었고, 현재 각료 평의회와 유럽의회에서 논의되고 있음.

---

12) EU의 시험절차에 따라 측정되었을 때의 목표값이다.

위의 3가지 제안중 자동차 제작사와의 자발적인 협정에 의한 저감방안이 정해졌다. 즉, '96. 12월, EU 집행위는 기후변화협약에 대응하기 위하여 유럽자동차공업협회(ACEA)에 이산화탄소 감축목표치를 제안하였는데, 자율적 추진목표로서 2005~2010년까지 승용자동차의 CO_2 배출량을 120 g/km로 감축할 것을 제시[13]하였다. '97. 12월에는 교토의정서가 채택되면서 EU 회원국은 2008~2012년 동안에 1990년 대비 8% 감축의무가 주어졌다. 이러한 배경 하에 '98. 10월 룩셈부르크에서 개최된 EU환경이사회에서 집행위와 EU 자동차업계간에 「신차로부터의 CO_2 배출감축을 위한 협약 」이 만장일치로 승인되었다. 이 협정에서 2008년까지 신규 자동차의 CO_2 배출량을 140g/km(평균연비 5.7ℓ/100km)로, 2003년에는 2012년까지 120g/km로 낮추는 방안을 검토하기로 결정하였다. 그러나 EU의 궁극적 목표는 2005년 늦어도 2010년까지는 120g/km까지 낮추는 것임을 강조하였다. 일반적인 측정단위에서 이 목표는 5.17ℓ/100km와 4.56ℓ/100km의 가솔린과 디젤 소비량을 의미한다. 결국 2008년부터 신규판매 승용차에서의 CO_2배출량을 최소 25% 감축할 목표를 세우고 있다.

※ 제시한 단위 km당 배출량은 차량 1대당의 배출량은 아니며 차량군(fleet)의 평균배출량이다. 따라서 연비가 높아 CO_2배출량이 작은 소형차량을 확대 보급할 경우 중형 및 대형차량에서의 이산화탄소 배출량을 상쇄할 수 있다는 것으로 해석된다. 이에 따라 유럽에서는 정책적으로 소형차량 특히, 이산화탄소 배출저감면에서 휘발유보다 유리한 소형경유자동차의 보급을 확대하고 있다.

EU 평의회는 저감전략의 성공을 위하여 개선에 대한 모니터링과

13) 현재 EU의 평균 CO_2 배출량은 186g/km로 알려져 있다.

평가가 필요하다고 강조하고 다음에 제시한 제도(안)을 제안하였다.

□ EU 집행위의 모니터링 제도(안)

EU 이사회는 1996년 6월 25일, 승용차 CO_2감축의 효율적인 추진을 위하여 모니터링의 중요성을 강조하고 2001년부터 실시할 것을 제안하고 있다. 모니터링 제도는 ① 승용차 CO_2 감축의 효율적이고 투명한 평가 ② 승용차 fleet의 CO_2변동을 모니터링함으로써 대기환경개선, 대기중 오존농도, 산성화, 도로안전 등과 같은 여타 EU의 정책적인 목표에 미치는 영향의 파악이 가능하고 승용차 시장 구조변화에 대한 CO_2 감축정책의 영향평가를 목적으로 하고 있다.

1) 모니터링의 주요 내용

집행위는 각 회원국내 관련 기관의 공식 데이터를 이용하여 모니터링하며 그 data의 범위는 ① 자동차의 대기환경개선, 대기중 오존농도, 산성화 등과 같이 여타 EU의 정책적 목적에 영향을 미치는 자료, ② 모니터링을 통해 각 업체가 환경협정의 이행에 기여하고 있다는 것을 확인할 수 있는 자료, ③ 각 업체별, 연료별, 중량별, 엔진파워별, 배기량별 이산화탄소 배출량, CO_2의 분포, 중량, 파워 및 엔진크기와 관련된 자료 등이며 이를 통해 CO_2 감축정책이 새로운 승용차시장(예: 승용차 수요의 downsizing화)의 특성에 미치는 영향을 파악토록 하는 것이다. 그러한 정보는 도로안전, 자동차연료의 수요전망, 자동차산업의 경쟁력 등에 미치는 영향을 파악하는 데도 유용할 것이다.

2) 모니터링 방법

각 회원국의 등록기관에 의거, 당해 연도에 신규 등록된 승용차의 CO_2 배출량을 취합하여 자동차 그룹별 평균 배출량을 계산한다. 상기 평균배출량을 집행위는 EU전체차원에서 취합하여 연간보고서를 발간하여 이를 소비자들과 각 이해단체에 제공한다(단, 모니터링 보

고서에는 각 업체별 달성정도에 대해서는 언급하지 않음).

3) 모니터링 규정(안)

각 회원국들은 자국내 신규등록 승용차의 CO_2 배출량을 모니터링하는 제도를 도입하여야 하며 자료에 대한 정확성과 신뢰성은 각 회원국이 책임진다. 모니터링을 위해 필요한 data는 ① CO_2 배출량(g/km), ② 연료 형태(가솔린, 디젤), ③ 제조업체, ④ 중량(kg), ⑤ 최대파워(kW), ⑥ 엔진크기(cm^3)이다. 상기 취합된 자료는 1차적으로 일정한 계산방식 및 보고양식에 의거 다음과 같이 정리하여 집행위에 제출한다.

① 연료형태별 신규등록 대수, ② 각 연료별 신규등록 승용차의 CO_2 평균 배출량, ③ 각 연료별, 제작사별 신규등록 승용차 CO_2 평균 배출량, ④ 각 연료별 신규등록 승용차의 CO_2 배출 분포현황, ⑤ 신규등록 승용차의 중량별 분포현황, ⑥ 신규등록 승용차의 최대 파워별 분포현황, ⑦ 신규등록 승용차의 엔진크기별 분포현황.

또한 각 회원국은 당해연도가 끝난 3개월내 관련 자료를 집행위에 제출해야 하며 시행 초에는 6개월내 보고한다.

3.3. 일본[14)]

3.3.1. 온실가스 배출 동향

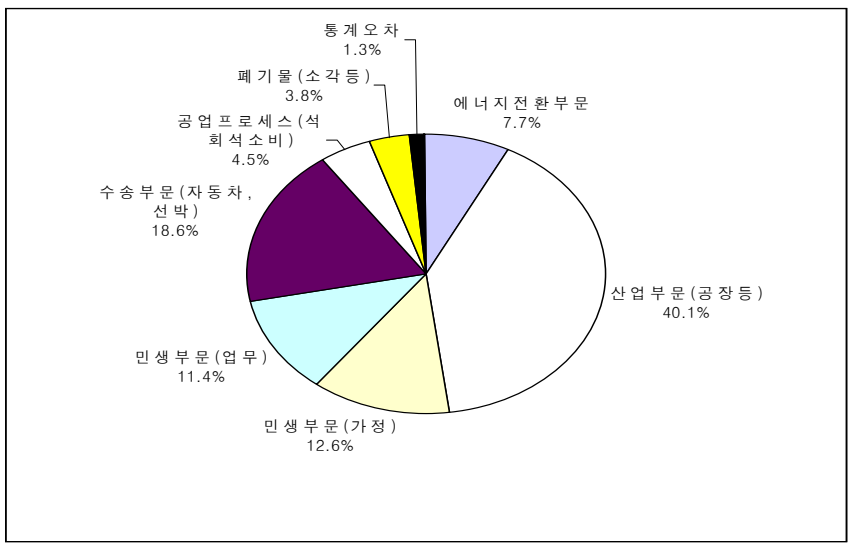
일본은 지구온난화문제에 대해 관심이 높았던 1990년 전후부터 온난화방지 행동계획을 책정하고 관련기술개발을 가속화하는 등 국가수준에서의 활발한 움직임으로 산업계를 포함하여 보다 구체적 대응책에 관한 논쟁이 높아져 가고 있다. 1990년 10월 23일 지구환경보전에 관한 관계각료회의에서「지구온난화 방지 행동계획」이 결정되었다. 이 계획에서는 1991년부터 2010년까지 2000년 이후의 CO_2 1인당 배출량 및 배출총량을 1990년 수준으로 안정화시키는 것을 목표로 하고 있다. 또한 통상산업성에서는 향후 100년간의 장기전망을 가지는 기술개발을 통해 지구환경오염을 해결할 것을 목표로 한「지구재생계획」을 제창해 기술로 인한 공헌을 하나의 중점과제로 들고 있다. 통산성 공업기술원에서는 1993년 4월 1일부터「에너지・환경영역 종합기술개발 추진계획(뉴 선샤인계획)」을 발족시켜 지속적 성장과 에너지・환경문제의 동시해결을 목표로 한 혁신적 기술개발을 개시하였다.

일본에서 배출되는 온실가스의 지구온난화에 대한 기여는 CFC와 HCFC에 따른 기여를 제외하면, CO_2가 95%를 차지하고 있다. <그림 Ⅲ-2>는 CO_2 배출량의 부문별 내역을 나타낸 것으로 에너지소비에 기인한 배출이 약 92%, 공업 프로세스에 따른 배출이 4.5%, 폐기물 소각에 의한 배출이 3.8%를 차지하고 있다. 에너지소비에 의한 배출 중에서 수송부문은 18.6%를 차지하고 있다.

---

14) 본 절의 내용은 참고문헌중 'Challenge Toward a Climate Change', Engine Technology, Vol. 1, No. 1, 1999. 와 일본의 1997년도 기후변화협약 국가보고서의 내용을 정리・요약한 것이다.

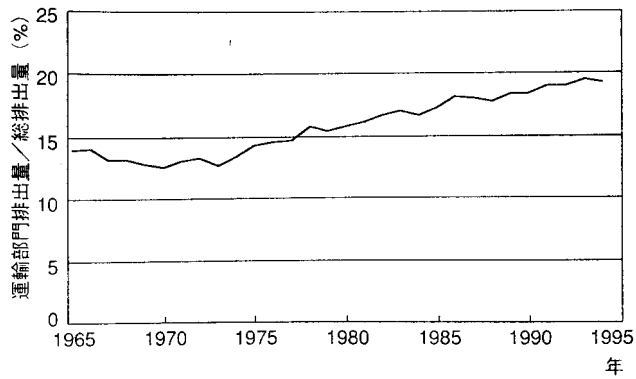
<그림 Ⅲ-2> 일본 CO_2 배출량의 부문별 내역



자료: 일본 환경백서, 평성9년(1997년도).

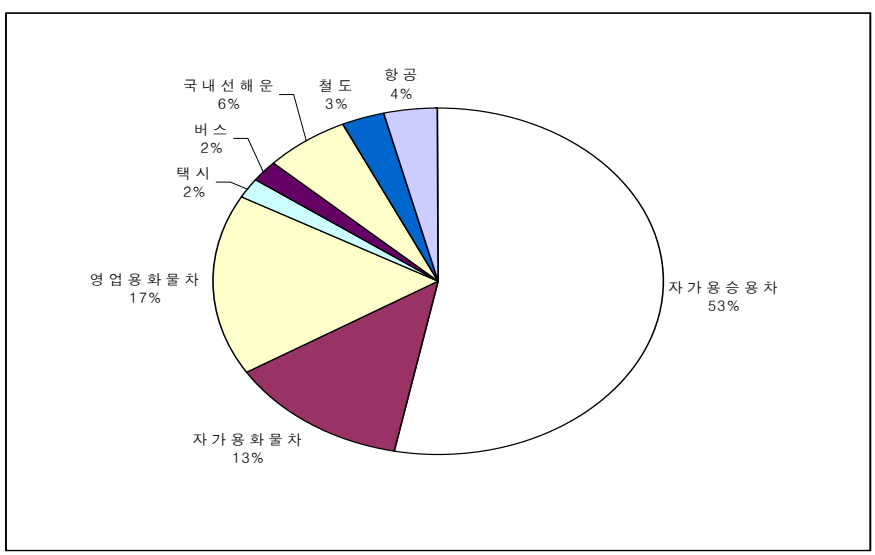
수송부문으로부터의 CO_2 배출량은 일본의 총배출량 중 큰 비율을 차지하고 있으며, 그 비율은 계속적으로 증가하고 있는데(<그림 Ⅲ-3>) 이러한 CO_2 배출량의 증가는 경제성장에 동반되는 수송량의 증가에 기인한다고 볼수 있다.

<그림 Ⅲ-3> 일본 수송부문의 CO_2 배출비중 추이



아래 <그림 Ⅲ-4>에서 알 수 있듯이, 1995년 수송부문전체의 CO_2 배출량중 자동차가 차지하는 총비중은 87.0%이며 이중 자가용 승용차 배출비율은 53%였다.

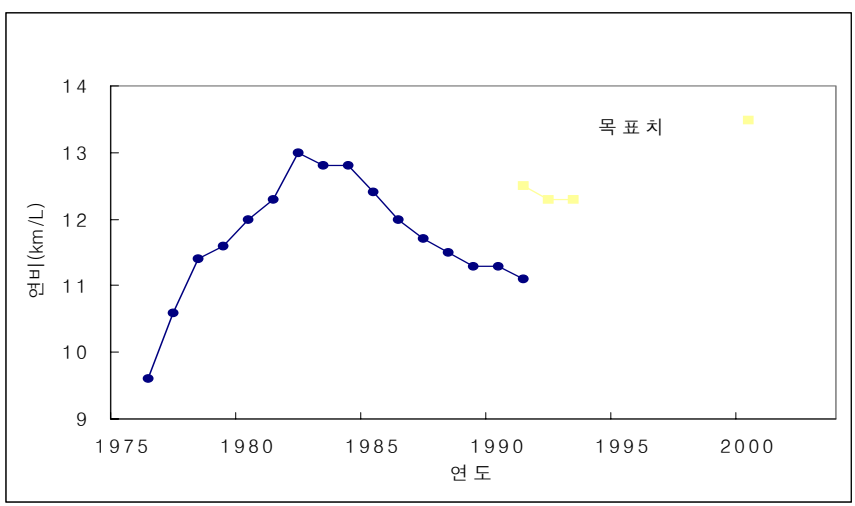
<그림 Ⅲ-4> 수송수단별 이산화탄소 배출비중



자료: 1995년도 운수관계 에너지 요람(평성 10년 판).

석유위기 이후 개개 자동차의 연비는 향상되고 있지만, 소화 57년(1983년)을 정점으로 그 이후부터는 조금씩 악화되고 있다(<그림 Ⅲ-5>). 그 원인으로는 가솔린가격의 하락과 함께 연비성능에 대한 관심이 저하되고, 대형차나 RV차 등에 대한 사용자들의 선호도가 높아지고 있으며, 또한 파워스테어링, 사륜구동, 에어백 등 편리성·안전성 확보를 위한 장비 부가에 따라 차량중량이 증가하기 때문으로 추정된다. 이동배출원인 승용차 등으로부터 CO_2 회수는 현실적으로는 불가능하기 때문에 수송부문으로부터의 CO_2 배출을 억제하기 위해서는 각각의 자동차로부터 CO_2 배출량을 감소시켜야 하지만 최근 신차의 평균적인 자동차연비 상황은 오히려 악화되고 있다.

<그림 Ⅲ-5> 일본 가솔린승용차(신차) 평균연비(가중조화평균)의 추이선



정부의 지구온난화대책 추진본부에서는, 2010년을 향해 긴급히 추진해야 할 지구온난화대책을 책정하고, 1998년 6월 「지구온난화대책 추진요강」을 발표하였는데, 여기에는 정부가 지방공공단체, 사업자

및 국민과 연계하면서 대책들을 추진할 것을 명기하고 있다. 수송부문과 관련하여 「지구온난화대책 추진요강」에서는 다음의 대책을 정해 놓고 있다.

- 자동차 연비기준을 강화하여 2010년도까지 1995년도 대비 15% 내지는 20% 향상
- 청정에너지 자동차, 저공해차 보급을 위한 충전설비, 가스충전설비, 메탄올충전설비 등의 연료공급시설 설치 촉진
- 철도·내항화물수송 등을 포함한 물류의 효율화
- 공공교통기관의 이용 촉진
- 교통정체 완화를 위한 시설 정비나 ITS(Intelligent Transport System: 지능형교통시스템) 관련기술개발
- 청정에너지 자동차, 저공해차의 도입·보급을 추진함과 동시에 새로운 청정에너지 자동차, 저공해차 개발을 추진하고 또한 차세대 저공해차에 대응되는 검사기준을 정비
- 지구온난화방지에 기여하기 위해 저연비자동차 보급을 촉진하고 이를 위해 자동차 관계세제를 포함하여 모든 정책수단에 대해 검토

3.3.2. 일본 수송부문에서의 온실가스 저감대책

일본에서는 이산화탄소 배출을 제어하는데 다양한 수단을 이용하여 노력하고 있는데 첫째, 자동차에 초점을 맞춘 신기술의 사용을 통하여 에너지 효율을 향상시키고, 저배출 차량의 도입을 장려하며, 둘째, 여객과 화물 수송 모두의 효율을 향상시키며, 셋째, 도로 교통 흐름을 개선하는 것 등이 해당된다. 이러한 노력과 병행하여 운전자들이 필요할 때만 운전하고 환경에 더욱 친화적인 방법으로 자동차를 다루도록 계몽프로그램을 이행하고 있다.

① 수송 수단들의 에너지 효율 개선

일본 수송부문에서 이산화탄소 배출의 대부분은 자동차에 의해 발생된다. 따라서 차량의 에너지 효율을 향상시키는 것은 이산화탄소 배출을 감소시키는 효과적인 방법이다. 기술적으로 직접-분사식 가솔린(GDI) 엔진, 린번(Lean-burn) 엔진 및 기타 에너지 효율적인 엔진들의 개발과 보급이 진행되고 있다. 또한 기차, 선박, 항공기 등에 에너지 효율적인 장비를 개발하고 도입하기 위한 노력도 진행중이다.

• 에너지의 합리적인 사용과 관련된 법규를 통한 자동차 연비의 개선(에너지 보존법) 등 — 에너지 보존법은 가솔린 차량(승용차와 소형차, 경량 및 중량(medium-duty) 트럭)을 "특정 장비(specified equipment)"로 지정하여 에너지 효율 개선을 위한 기준을 제시하고 제조업자들이 에너지 효율을 표시하도록 위임한다. 만약 제조업자들이 에너지효율 표시를 준수하지 못한다면 정부가 그러한 사례를 공개하고 명령을 내릴 수 있도록 법규화 되어 있다. 명령을 준수하지 못하는 제조업자들에게는 벌금이 부과된다. 가솔린 승용차에 대하여 현재 기준은 2000년 회계연도에 대한 목표연비를 1992 회계연도와 비교하여 평균 8.5%를 향상시키도록 설정하고 있다. 가솔린 트럭에 대하여 현재 기준은 2003 회계연도에 대한 연비목표를 1993년과 비교하여 차량 유형에 따라 평균 4.8%～5.8%를 향상시키도록 설정하고 있다. 고효율 차량의 도입을 장려하기 위하여 계획된 대책뿐만 아니라 디젤 차량을 "특정 장비"로 지정하는 것에 대한 것도 고려 중에 있다.

• 기타 수송 장비의 에너지 효율 개선 — 기차와 선박에서 에너지 효율적인 기술의 도입을 장려하기 위한 대책으로 '에너지 수요 및 공급 시스템의 구조적 개선을 위한 투자를 장려하기 위한 세금 인센티브' 프로그램을 통한 특별세 대책이 확립되어 있다. 이러한 대책들은 power controller 선박의 배기가스 보일러 등을 포함하여 다양한 유형의 에너지 효율적인 장비에 적용된다.

② 저배출차량 도입

저배출차량은 전기, 천연가스, 하이브리드 에너지 시스템 등으로 작동하는 차량들을 포함한다. 지구온난화를 저지하는 부수적인 목적과 함께 기술적인 개발과 이들 차량들의 도입을 장려하기 위한 지원 대책의 강화가 진행 중이다.

• **새로운 에너지 사용에 관한 특별 대책법** — 일본 정부는 전기 및 천연가스 차량 같은 청정에너지 차량을 포함하여 새로운 에너지원 사용에 관한 기본 정책을 공식화하여 공표하고 있다. 이러한 정책들을 기초로, 정부는 에너지 사용자(시민, 사업자 등), 에너지 공급자, 제조업자 및 수입업자들에게 새로운 에너지원의 사용을 장려하도록 요구한다. 더욱이 정부는 에너지 사용자들이 새로운 에너지원의 사용을 증진할 수 있도록 이에 대한 지침과 조언을 제공한다.

• **특정 지역에서 자동차로부터의 질소산화물 총배출저감을 위한 특별 대책 관련법(자동차 NOx 법)** — 저배출차량의 보급을 촉진하기 위한 대책들은 높은 우선 순위가 주어져 있으며, 자동차 배출가스 속의 총괄적인 질소산화물 저감과 관련하여 중앙 정부에 의해 확립되어 있는 기본 정책에 기초를 둔 배출저감 프로그램을 통하여 수행되고 있다.

• **정부 주도** — 정부가 사업운영자 및 소비자로서 환경보전을 위해 주도할 수 있는 협동 프로그램을 공식화하였다. 이 프로그램 하에서 정부의 통상적인 행정 서비스를 위한 차량군에서 저배출차량의 비율을 2000년까지 약 10%로 증가시키기 위해 노력하고 있다. 통상적인 행정 서비스와는 다른 환경에서 사용되는 차량에 대하여, 저배출 차량은 우편업무 부문에서 실제 시험이 진행중이다. 공보활동, 우체국에 의한 우편물 집배와 배달 등에서 저배출차량의 사용 실행가능성에 관한 연구가 수행되고 있다.

• **저배출 차량을 도입하는 지방의 공공단체와 민간 업체에 대한 보조금과 기타 원조** — 전기, 천연가스 또는 기타 저배출차량과 이들 차량에 연료를 공급하는 시스템을 도입하는 지역 공공단체 또는

민간업체에 대하여 국고에서 보조금을 제공한다. 지역 공공단체에 의한 저배출차량의 도입에 관하여, 특별 지역배달세 대책 또한 공식화되어 있다.

• **세금 특혜 시스템** — 전기, 천연가스 또는 기타 저배출차량에 대하여 자동차판매세가 감소되었고, 특별 고정자산과 기타 세금감면 대책들이 공식화되어 이들 차량에 연료를 공급하는 시스템의 비용을 감소시켰다. 또한 저배출차량의 구입과 천연가스 연료시설들에 대하여 '에너지 수요 및 공급 시스템의 구조적 개선을 위한 투자를 촉진하기 위한 세금 인센티브' 프로그램을 통하여 특별세금대책이 확립되었다.

• **기술개발의 장려** — 현재 더 나은 저배출차량의 개발을 수행하는 한편, 차세대 고에너지 효율 차량에 대한 연구 또한 수행되고 있다. 연료로 액화천연가스(LNG)를 사용하는 차량에 대한 개발이 장려되고 있으며, 이것은 연속적인 운행의 범위를 증가시키고 저배출차량의 활용 범위를 더욱 확대할 것이다.

③ 유통 효율의 개선

화물수송으로부터의 이산화탄소 배출을 저감하기 위해 다양한 단계가 수행되고 있다. 이들은 트럭의 에너지 효율을 개선하기 위한 대책, 유통 시스템의 효율을 개선하기 위한 대책 등을 포함한다. 유통중심지 사이의 중·장거리 간선도로 화물수송에 대하여 도로 대신에 철도 및 해상 수송을 이용하기 위한 활발한 노력이 진행 중에 있다. 도로 수송의 효율을 개선하기 위한 다양한 대책들이 수행되고 있는데 사업용 트럭의 활발한 사용 장려, 통합된 서비스 장려, 트럭과 기타 상업용 차량의 운영과 관리 지원, ITS의 이용, 귀로화물 정보 제공 등이 포함된다. 또한 유통 센터들도 건설되고 있다.

• **간선도로 화물수송을 위하여 철도와 선박 수송을 적극적으로 이용한다.** — 주요 간선에서 용량을 증가시키기 위하여 컨테이너 열차의 길이를 증가시키고, Corporation for Advanced Transport and

Technology는 무이자 대부와 화물 터미널 시설 및 강화된 전기 변전소 건설을 위한 기타 원조를 제공한다.

연안 선적에 대하여 간선 네트워크와 기타 요인들을 고려하는 한편, 국내의 수송기관을 통합한 수송터미널(결합된 수송 모드를 수용할 수 있는)이 건설되고 있다. 또한 해상수송을 강화하기 위하여 Corporation for Advanced Transport and Technology는 연안 컨테이너 선박과 연안 RORO(roll-on/roll-off) 선박을 건조하기 위해 노력하고 있다. 더욱이 육상수송 거리를 최소화하기 위하여 전략상 중요한 위치에 국제 컨테이너 선박터미널이 건설되고 있다.

• **트럭 수송 효율 개선** — 도시지역 유통은 필연적으로 트럭에 의존한다. 사업용 트럭의 사용을 적극적으로 권장하는 외에도, 정부는 적재량 효율을 개선하기 위한 다양한 대책을 채택하였는데, 도시와 지역간 통합된 서비스의 장려, 운행 횟수의 감소 등을 포함한다. 수송효율을 향상시키기 위한 지원도 제공되는데, ITS을 이용하여 트럭과 기타 상업용 차량을 운영하고 통제하는 것, 귀로화물 정보를 제공하는 것, 최적의 트럭 할당을 계획하는 것 등이다.

• **유통센터의 건설** — 유통사업센터 건설 관계법에 따라서 도로 교통이 혼잡하고 유통 기능이 감소된 도시 또는 그러한 상태가 발현될 것 같은 도시에서 유통시설을 건설하기 위한 기본 정책이 확립되었다. 이를 기초로 도시계획 속에 유통사업 구역이 지정되고, 유통복합단지가 건설된다. 더욱이 화물과 정보 처리 및 기타 복합 운영을 위한 설비가 갖추어진 다기능 유통센터뿐만 아니라 창고, 트럭 터미널, 유통 센터, 기타 전략적으로 위치한 시설들의 건설에 대하여 재정적인 지원과 세금 인센티브를 활용할 수 있다. 이런 식으로 그리고 정보 시스템을 가진 진보된 유통센터를 효과적으로 사용함에 의해서 유통은 조직적으로 더욱 효과적으로 된다. 또한 Japan Environment Corporation은 중앙집권화된 유통시설의 건설과 이전을 위한 프로그램을 수행하고 있다.

• **유통센터 진입로와 대단위 유통센터에 연결하는 도로의 건설**

— 공항, 항구 기타 주요한 유통센터에 대해 더욱 손쉬운 접근을 위하여 도로가 건설되고 있다. 또한 주요 유통노선 상에 있는 교량의 수선 및 보강을 통하여 더 큰 차량들을 수용할 수 있도록 도로망이 건설되고 있다. 더욱이 주요 간선도로 등의 인터체인지에 인접하여 도로 및 기타 시설들을 건설하는데 높은 우선순위가 주어져 있는데, 이는 광범위한 지역을 포괄하는 유통지점을 확립하기 위해서이다. 차량들이 짐을 내리기 위해 멈출 수 있게 하는 시설들 역시 설치되고 있다.

④ 승객수송에 있어서 대중수송 시스템의 사용을 장려

자동차는 승객수송을 위하여 소비된 에너지의 80% 이상을 차지한다. 따라서 질소산화물 배출을 감소시키기 위하여 운전자의 태도를 변화시키고, 대중 수송시스템, 걷기, 자전거의 이용을 장려하는 것이 중요하다. 구체적인 대책들로는 기차, 버스 등의 시설과 서비스를 개선하고, 서로 다른 수송 모드들 사이의 연결을 강화하며, 걷기와 자전거 사용을 장려하기 위한 도로 및 기타 시설들을 건설하는 것 등이 있다. 수행되고 있는 다른 대책들로는 통근시간에 시차제를 두는 것, 주차와 탑승 시스템, 기타 수송수요관리(TDM) 방식 등을 포함한다.

• **기차, 버스 등의 시설과 서비스의 개선** — 주요노선 상에서의 고속 주행을 촉진하기 위하여 고성능 철도망이 건설되고 있다. 도시철도 운행을 위하여 새로운 선로를 건설하고, 현재 선로를 4중으로 하며, 러시아워 외의 시간에 운행할 것을 장려함으로써 혼잡을 감소시켜 용량을 증대시키려는 노력이 이루어지고 있다. 또한 버스가 매우 중요한 역할을 하는 곳에서 지역 수송시스템을 마련하기 위하여 Omnibus Town Project가 수행되고 있다. 더욱이 street trolley의 부활 및 이용과 관련하여 도시 단궤철도와 기타 새로운 수송시스템을 설치하기 위하여 노력중이다.

• **Multimodal 수송의 장려** — Multimodal 수송정책이 수행되고 있

는데 주요 정책들로는 공항접근을 향상시키는 철도와 도로의 건설, 철도와 간선도로 버스 사이의 연계 강화, 환승역의 건설 그리고 서로 다른 수송 모드 사이의 연계 강화 등이 있다.

• 걷기 및 자전거타기를 장려하기 위한 도로 및 기타 시설들의 건설 — 걷기 및 자전거타기를 장려하기 위하여 더 넓은 보도, 보행자 도로, 자건거도로 및 자전거 주차시설 등의 건설이 진행중이며, 또한 교통안전과 자전거주차 대책의 중요성을 염두에 두는 한편 임대자전거 시스템을 도입하고 있다.

• 시차를 둔 통근 시간, 주차 및 탑승 시스템, 기타 수송수요관리 방식을 장려하기 위한 대책 — 수송수요관리정책은 운전자의 태도를 변화시키고, 도시지역에서의 승용차 운행을 감소시키기 위하여 이용되고 있다. 차량 공유와 시차를 둔 통근 시간을 장려하고, 주차 및 탑승 시스템을 위한 주차시설을 건설하는 등의 정책들이 검토되고 있다. 또한 외국에서 수행되는 HOV(High-Occupancy-Vehicle)시스템을 장려하는 방법에 대해 고려중이다.

⑤ 자동차 교통 소통개선

주로 대도시 지역에서 만성적인 교통혼잡은 차량의 평균 주행속도를 감소시키고, 따라서 에너지 효율을 감소시키고 있다. 이러한 문제를 완화하기 위하여 환상도로와 우회로를 통합하는 도로망을 건설하고, 병목현상을 완화시키기 위하여 교차점을 개선하며, 지능적인 수송 시스템(ITS)을 장려하고, 도로 건설과 주차된 차량에 의해 발생되는 혼잡을 감소시키는 방법으로 자동차 통행흐름을 용이하게 하기 위하여 노력하고 있다.

• ITS(Intelligent Transport Systems)의 장려 — 혼잡을 감소시키기 위하여 진보된 정보기술을 사용하고 사고를 최소화하며, 더 큰 운전 만족에 기여하는 새로운 교통관리시스템으로는 VICS(교통상황에 대하여 실시간 정보를 제공하는 차량 정보 및 통신 시스템), ETC(유료도로에서 혼잡을 감소시키는 멈춤 없는 자동화된 통행요금 징수소인

전자 통행료 징수), 대중 수송시스템 사용에 대한 정보제공을 통해 대중 수송의 지원, 운영 관리에 대한 지원을 통한 상업용 차량의 효율 향상 등이 있다.

·도로망의 건설과 병목현상 완화 — 활발히 수행되고 있는 다양한 수단들로는 도로 폭의 확장, 환상도로 및 우회로를 가진 도로망의 개발, 종종 혼잡의 원인이 되는 교차점 및 철도 건널목 개선에 의한 병목현상 완화 등을 포함한다.

·교통관리시스템의 향상 — 교통관리센터를 갱신하고, 교통신호 작동을 개선시키며, 교통정보를 수집하고 유포시키는 시스템의 설치 등과 같은 수단을 통하여 교통관리시스템을 향상시키기 위해 노력하고 있다. 더욱이 환경을 보호하고 교통오염을 감소시키기 위해 설계된 새로운 교통관리시스템인 UTMS(Universal Traffic Management Systems)의 개발이 진행 중에 있다. 이러한 혁신은 실제적인 교통 상황에 따라 도시지역 도로망에서의 교통흐름을 용이하게 하는데 도움을 줄 것이다.

·도시지역에서 교통흐름을 용이하게 하기 위한 포괄적인 계획의 이행 — 도시 중심지역에서 교통흐름을 용이하게 하기 위한 다양한 대책들을 결합하는 포괄적인 계획들이 공식화되어 이행되고 있는데, 주요 계획들로는 도시지역에서 교통패턴을 재평가하는 특정 목표를 설정하고, 교통 역량을 확장하며, 수송수요관리를 이행하고, multimodal 수송정책을 이행하는 것 등이 있다.

·도로 공간의 효율적인 사용 — 도로건설, 주차된 차량, 기타 장애물들이 유효한 도로의 폭을 제한하며 교통혼잡을 야기한다. 도로 공간을 더욱 효율적으로 사용하기 위하여 도로상의 건설 작업을 제한하고, 회계연도의 말 같은 특정 기간 동안에 그러한 작업이 집중하는 것을 피하기 위하여 노력하고 있다. 주차된 차량들의 문제에 대처하기 위하여 주차장을 건설하고 불법 주차를 방지하기 위하여 노력하고 있다.

⑥ 생활 양식의 변화

수송부문으로부터 이산화탄소 배출의 증가에 기여하는 인자들 중의 하나는 국민들의 자동차에 대한 의존도의 증가이다. 따라서 불필요한 자동차 사용을 자제하고, 환경에 대한 부담을 최소화하는 방식으로 운전하는 시민들을 격려함으로서 배출을 감소시키기 위한 많은 노력들이 이루어져야 한다. 교통 수요를 감소시키기 위한 수단으로서 도시의 재구성 및 기타 대책들이 연구되고 있다. 더욱이 정보기술의 도입으로 사람들이 작업장에 통근하거나 파견되기보다는 온라인 상으로 자신들의 업무를 처리함으로써, 그리고 고객들이 실제로 은행, 상점, 정부 관청에 찾아갈 필요성을 감소시킴으로써 이산화탄소 배출을 감소시키는데 도움을 줄 것으로 예상된다.

・환경친화적인 생활양식을 장려하기 위한 교육 프로그램 — 개인용 자동차의 불필요한 사용을 자제시키고 공공 수송시스템의 사용을 장려하기 위하여 “no personal car” 날의 설립, 짧은 거리는 운전보다는 걷거나 자전거를 사용하도록 장려하는 교육 프로그램 등과 같은 노력들이 이루어지고 있다. 사람들이 저배출/에너지 효율적인 차량을 구입하도록 장려하기 위하여 정보도 제공된다.

・Eco-driving(환경 친화적인 운전)의 장려 — 모든 운전자들은 반드시 환경・친화적인 운전을 해야 하는데, 이를 위해서는 공회전을 삼가고, 적절한 속도로 운전하며, 타이어를 적절히 팽창시켜서 유지하고, 불필요한 짐은 운반하지 않도록 해야한다.

・정보기술을 사용하여 교통수요를 감소시킨다.

3.3.3. 일본의 CO_2 배출억제기술 동향

수송부문에 있어서 CO_2 배출억제를 위한 중요한 기술분야는 연비개선 분야이다. 이러한 기술들로는 엔진 개량, 트랜스미션 개량 및 차체 개량 등이 있으며 일본에서 고려하는 구체적인 기술의 예는 아

래의 <표 Ⅲ-8>과 같다.

<표 Ⅲ-8> 연비개선 요소기술의 예

엔진본체 개량	신형엔진	희박연소 가솔린엔진
		통내분사 가솔린엔진
		밀러사이클엔진
		엔진과 모터의 하이브리드화
	엔진제어의 최적화	공연비 제어정도 향상(멀티포트 인젝션(MPI))
		점화시기 제어정도 향상(전자점화시스템)
		감속시 연료 차단
		아이들링시 시동중지 장치
	저프릭션화 (마찰저감기술)	펌핑손실 저감(multi-valve 화)
		〃 저감(가변밸브타이밍기구)
		〃 저감(기통수 자동가변기구)
		운동부의 경량화(알루미늄 콘로드)
트랜스미션 개량	트랜스미션의 개선	시프트포인터 최적화(전자제어 AT)
		시프트포인터 최적화(시프트 지시 시스템)
		전달효율의 개선(전자제어식 록업기구)
		AT 다단화(3단→4단→5단 변속)
		무단변속기구(CVT)
차량본체 개량	보기류의 고효율화	파워스테어링의 고효율화
	차량중량 저감	차량 경량화(수지 바디, 알루미늄 바디)
	공기저항의 저감	스포일러
		flash·surface화
	구름저항 저감	저연비 타이어

자료: Makoto Akai, "Challenge Toward a Climate Change", *Engine Technology*, Vol. 1, No. 1, 1999.

자동차로부터의 CO_2 배출을 삭감하는 또 하나의 대책으로서 저공해차의 도입이 있다. 현재, 실용화단계에 있는 저공해차로서는 전기자동차, 천연가스자동차, 메탄올자동차 및 하이브리드자동차가 있고, 수소연료전지 자동차와 같은 혁신적인 기술개발도 이루어지고 있다. 종래의 가솔린차와 비교했을 때 저공해차는 일반적으로 주행거리, 가

속성능 및 기본적 성능의 상대적 열세, 비싼 가격, 연료공급시설 부족 등의 문제점을 가지고 있다. 저공해차의 단점을 해소하기 위해 국가에서는 저공해차의 보급시책으로서 각종 보조제도, 세제혜택, 실용화지원, 기술개발지원 및 홍보활동을 실시하고 있다(<표 Ⅲ-9>).

<표 Ⅲ-9> 일본의 저공해차 보급촉진시책의 현황

시 책	명 칭
차량에 대한 조성(연료공급시설에 대한 것을 포함)	저공해차보급추진사업
	공해패트롤차 구입조성
	공해건강피해보상 예방협의회기금에 따른 조성
	전기자동차 보급정비사업
	천연가스자동차보급촉진대책사업
	버스활성화시스템 정비비보조금
	저공해트럭 및 연료공급시설에 대한 조성
	폐기물시설비 국고보조금
	자동차소득세 경감조치
	저공해차에 대한 감가상각의 특례 또는 세액공제조치
	저공해차에 관계되는 低利財投融資
	지방교부세 지방책에 따른 재원조치
연료공급시설에 대한 조성	에코스테이션 2000계획
	연료공급시설에 대한 감가상각의 특례 또는 세액공제조치
실용화조사	전기자동차 보급방책에 관한 조사연구
	DPF 탑재버스의 실용화조사
	전기자동차보급 종합추진체계정비
	천연가스자동차 실용화조사
	메탄올자동차 개발보급
기술개발지원	고성능전기자동차 연구개발
	전지교환시스템의 개발
	분산형 전지전력저장기술개발
	천연가스자동차용 충전기 개발
	세라믹천연가스 엔진시스템개발
보급계발활동	저공해차페어
	각종 보급계발활동
공용차에의 도입	-

자료: 일본 환경백서, 1997.

3.4. 선진국의 자동차 CO_2 저감대책 종합

각국에서 수송부문 이산화탄소 배출저감을 위해 고려하고 있는 주요한 저감수단들을 앞에 제시한 미국, 일본, EU의 저감수단에 독일의 경우를 추가하여 아래 <표 Ⅲ-10>에 제시하였다[15].

온실가스 저감수단은 크게 탄소세, 이산화탄소세 도입, 정부의 보조금 등의 경제적 수단, 연비기준 및 CO_2 배출기준 제정등의 직접규제 및 지침, 자동차 제작사와의 자발적인 협정 및 대체연료 시장을 촉진하기 위한 지자체와 정부와의 협력, 정보전달 및 운전자 교육의 계몽대책, 연구개발(R&D)로 구분되어진다.

15) 저감수단은 1996년 ECMT(European Conference of Ministers of Transport)가 회원국들을 대상으로 각 나라에서 수행 또는 대책으로 고려하는 수송 관련 이산화탄소 저감 수단들에 대해 실시한 조사를 기본으로 하였고 기타 필요한 정보는 각국의 국가보고서를 참조하여 작성한 것이다.

구 분	언급된 정책/목표
경제적인 수단	· 탄소세 또는 이산화탄소세 · 도로자동차의 과도한 사용을 저감시키기 위한 연료세 · 정부보조금/기타 대중교통수단 이용을 장려하기 위한 지원/각종 수송기관의 통합/modal shifting/과도한 도로 운송 저감 · 교통관리시스템을 위한 보조금의 사용 · 대체연료를 동력으로 하는 자동차/새로운 기술사용을 장려하기 위한 보조금의 이용 · 도로세와 도로 가격 책정 · 더욱 연료 효율적인 자동차 판매를 촉진하기 위한 재정적인 대책 · 직장 통근자의 대중교통 이용을 장려하고 사업상 여행에 대한 인센티브를 감소시키기 위한 재정적인 대책
직접규제 및 지침	· 연료소비를 감소시키고 안전을 증가시키기 위해 속도제한 시행을 강화함. · 강제적인 차량검사 · 자동차 연료소비 기준 · 기후변화 및 수송과 환경에 대한 프로그램과 지침의 개발 · combined transport를 촉진하기 위한 대책 · 수송과 토지이용 계획을 통합하기 위한 노력 · 기타
자발적인 협정/협력	· 자동차 제작자와의 협정 · 대체 연료 시장 촉진을 위한 협력 · 기타
정보전달 및 계몽대책	· 정보전달 활동과 운전자 교육
연구개발	· 대체연료 또는 대체동력을 사용하는 자동차/새로운 기술 · 환경친화적인 운송수단과 장비

<표 Ⅲ-10>에 제시한 각 국가의 대책상황은 다음과 같이 표시된다.

- [I]: 정부가 승인하여 이행되는 대책, [A]: 정부가 승인하였으나 아직 수행하지 않는 대책, [P]: 정책 성명서에서 제안되었으나 협약은 미결상태, [E]: 가능성 있는 대책으로 고려는 되고 있으나 공식적인 대책 제안은 아님, [O]: 기타

<표 III-10> 각국의 자동차 CO_2 저감수단 종합

<경제적인 수단>

언급된 정책/목표	미국	EU	일본	독일
탄소세 또는 이산화탄소세		단계적으로 도입되고, 에너지 함량에 따라 50%, 연료의 탄소함량에 따라 50%가 조정되는 탄소세에 대한 제안(P:1992년에 제안됨; 1995년 말에 자발적인 CO_2/에너지세에 대한 협상이 회원국의 반대에 부딪쳤음.)		
도로 자동차의 과도한 사용을 저감시키기 위한 연료세		법규와 지침 참조: 재정상의 대책에 대한 전략적 요소)		1991년 광유세의 증가. 1994년 가연, 무연 및 디젤연료에 대해 광유세 상승(디젤에 대한 연료세 상승은 낮았으나, 디젤엔진 차량에 대한 자동차세가 그 보상으로 상승되었다.(I)
정부 보조금/기타 대중교통수단 이용을 장려하기 위한 지원/각종 수송기관의 통합/modal shifting/과도한 도로 수송 저감			도시 단궤철도/새로운 수송 체계의 건설을 위한 보조금(I:1992 회계연도에 11개 선이 건설됨) 화물수송을 위해 도로수송 이외에 선박과 철도 이용을 장려하기 위한 재정적인 유인제도: 철도수송을 위한 개인 컨테이너에 대해 고정 자산 세금의 저감 포함: 화물 처리, 저장, 선적과 하역, 컨테이너 저장과 트레일러를 보관하기 위한 컨테이너 동체 대기소 등을 위한 시설 제공을 원조하기 위해 일본 개발 은행으로부터의 대부(I)	-대중 교통수단 개발을 위한 연방 보조금(교외철도, 지하철, 시가 전차, 버스 체계).(I:1967년 이후로 이러한 목적을 위하여 500억DM이 소비되었다. -화물수송센터의 건설과 개발의 위한 연방정부의 원조:수송과 상품의 포장 및 유통과 관련된 서어비스를 제공하는 회사를 함께 가져 옮으로써 물품수송에 있어서 협력을 촉진하고 효율을 증가시키기 위함. -1992년 연방 교통 기반시설 계획: 철도망을 위해 1,180억DM을 필요로 하는 투자 계획; 1991-2012의 수송기반시설의 건설과 확장을 위한 총 2340억DM의 투자 중에서 장거리 고속 자동차도로를 위해 1,090억DM과 수로를 위해 160억DM(I).

(계속)

언급된 정책/목표	미국	EU	일본	독일
교통관리 시스템을 위한 보조금의 사용			• 새로운 버스 차선, 자동 신호체계, 신속한 서비스를 위한 우선순위 결정 시스템, 불법 주차통제의 확립. 교통관리, 버스 위치 및 일반 정보 시스템을 위한 보조금.(I: 16개 연구과제가 1992 회계연도에 수행됨) • 교통관리 시스템 설치을 위한 5년 연구과제(I: 1991 - 1995까지 2.015조엔: 교통통제센터와 신호기는 1993년에 업그레이드되었다.; 불법 주차 통제 시스템, 운행시간 측정 정보 시스템)	고속 자동차 도로를 위한 교통통제 대책에 대하여 연방 수송부에 의해 1993년 9,000만 DM이 소비됨: 현재 70개의 교통통제 시스템이 작동 중에 있음.(I: 프로그램은 사실상 계획된 60개의 새로운 시스템과 함께 1997년 이후로 효력을 발휘하도록 계획되어 있다.)
대체 연료를 동력으로 하는 자동차/새로운 기술 사용을 장려하기 위한 보조금의 이용	대체 연료를 사용하는 자동차에 대한 연방의 소득세 공제: 즉 청정 연료 차량의 구입/전환에 대하여 US$200에 달.; 경트럭에 대하여 $5,000, 중량 트럭과 버스에 대하여 $50,000, 연료 보급소/연료보급 장비에 대하여는 $100,000 ; 전기 자동차에 대한세액공제는 $4,000에 달함. 많은 주에서 추가적인 자동차세 공제, 환불 또는 대부(credits)를 제공함. 또한 특정 대체연료 및 재생가능한 자동차 연료에 대해 상당수의 연방과 주에서 세액 공제를 제공(I: 1992년 이후)		• 사기업 차량에서 저배출 자동차 이용을 증가시키는 것: 전기 자동차, 메탄올을 연료로 하는 자동차의 임대, 메탄올 급유소에 대해 오염에 의한 건강손상 보상 및 방지 협회로부터의 보조금(I: 1992 회계연도: 63대의 전기 자동차, 156대의 메탄올 연료 자동차(임대의 연장 포함), 한 개의 메탄올 급유소에 대해 보조금이 수여됨.) • CNG 연료 자동차, 혼합 연료 엔진 자동차, 연료 공급 장치의 획득/임대에 대한 보조금(I: 1994년 이후) • Eco-Station 2000 계획: 전통적인 연료 펌프와 함께 전기, CNG, 메탄올 연료 자동차를 위한 연료공급 장비를 설치한 가솔린 주유소에 대한 보조금(I: 1993 회계연도 이후부터 효력 있음)	
도로세와 도로 가격책정				1995.1.1. 이후로 베네룩스국가 및 덴마크와 연합하여 독일은 최소 총 12톤의 허용된 무게의 트럭에 대해 시간 위주의 고속 자동차 도로 사용 요금을 도입하였다.(I)

(계속)

언급된 정책/목표	미국	EU	일본	독일
더욱 연료 효율적인 자동차 판매를 촉진하기 위한 재정적인 대책	22.5mpg이하의 차량에 대하여 연료 소비 증가에 따라 US$1,000~7,700의 "Gas-guzzler" 세(I)(기후변화 활동계획의 일부가 아님)		• 환경 오염 감시 차량 같은 저배출 자동차의 도입을 위한 국가 보조금과 지방세 규정; 저배출 폐기물 수집차량과 시영(市營)버스의 도입을 위한 지방자치의 의무 융자와 지방세 규정(I: 1992년과 1993년 사이에 50대의 저배출차량이 우편배달을 위하여 운영 되었다.;62대의 저배출 환경오염 순찰 차량이 1992 회계연도에 도입되었다.;25대의 저배출 시영버스가 1992 회계연도에 도입되었다. • CNG 연료 자동차, 혼합연료 엔진과 메탄올 연료 자동차의 모든 소유자에 대해 매년의 자동차 소유권 세금과 취득세의 저감(I) • 경량 화물 자동차, 폐열을 이용하는 선박 보일러 등에 유용한 에너지 투자에 대해 재정적인 유인제도(I)	1단계: 현재 자동차 세(엔진 배기량을 목표로 함)를 허용된 총 무게 3.5톤을 초과하는 상업용 자동차를 목표로 하는 배출 위주의 세금으로 전환(I: 1994. 4.1이후로 효력) 2단계: 현재의 자동차세(엔진배기량을 목표로 함)를 상업용 경차, 개인 차량, 이륜차를 목표로 하는 배출 위주의 세금으로 전환(A: 1997. 4.1 현재로 효력이 있도록 계획되어 있음.)
직장 통근자의 대중교통 이용을 장려하고 사업상 여행에 대한 인센티브를 감소시키기 위한 재정적인 대책	운행방식 가운데서 《level the playing field》로 고용주가 제공하는 주차에 대한 연방세 보조금(US$65/월/주차공간)의 개정; 통근자들이 대중 교통 수단, 카풀 또는 통근을 위한 기타 수단을 이용하도록 장려한다.(P:《parking cash out》으로 알려진 메카니즘으로 근로자들이 과세대상 수입인 현금 $65 또는 주차장 중에 선택하도록 허용됨. 1993년 강제적인 parking cash -out 시스템에 대한 제안이 국회에서의 표결에 실패하였다: 자발적인 cash-out 시스템이 현재 제안되고 있음.)			

<직접규제 및 지침>

언급된 정책/목표	미국	EU	일본	독일
연료소비를 감소시키고 안전을 증가시키기 위해 속도제한 시행을 강화함.		HDV와 버스의 속도제한 장치에 대한 협의회 지령 92/6 EEC(1992. 10.2); 1994년 1월부터 신규 HDV와 버스에 대해 , 1995년 1월 현재 우선 1988년부터 1993년까지 등록된 HDV와 버스에 대해 소급하여 속도제한장치의 설치에 대해 규정함. 최대속도는 버스에 대하여 100㎞/h, HDV에 대하여는 85㎞/h로 설정함.국영수송에 이용되는 차량은 늦어도 1995년 1월 후에 이 규정의 적용을 받는다.(I)		
강제적인 차량 검사	연방 대기질기준을 충족시키지 못하는 지역에서는 자동차와 경트럭의 주기적인 검사와 유지보수(I/M)가 요구된다. 차량은 지역 대기질 문제의 심각성에 따라 "기본의"또는 "향상된" 성능 기준을 만족해야 한다. 각 주는 기준을 충족하기 위하여 자체 프로그램을 개발한다.(I)			
자동차 연료소비 기준	CAFE*기준(I: 1975년에 설정; 1978년형 모델 자동차와 1979년형 모델 경차에 대하여 효력이 발생되었다. 가장 최근 것은 1992년에 개정된 것임. 현재: 27.5 mpg, 기후변화 활동계획보다 앞섬)		• 2000년을 위한 연료효율 목표 설정: 1992 회계연도 수준에 대하여 평균 8.5% 향상(I: 1979년 기준은 1993년에 강화되었다.) • 가솔린 트럭에 대하여 평균 5%의 연료효율개선 목표(I)	

*CAFE: Corporate Average Fuel Efficiency

(계속)

언급된 정책/목표	미국	EU	일본	독일
기후변화 및 수송과 환경에 대한 프로그램과 지침의 개발	자동차 운행 증가를 제한하는 대책을 주에서 채택하도록 장려하기 위한 수송체계효율전략을 채용한다. 내용: R/G: 주 청정대기 수행계획이 주 수송 기반시설 계획과 양립한다는 것을 보장하기 위한 수송 조화규정; EI:청정대기법하에서 배출저감을 위한 credits; ISTEA 융자; 연방 출장소. 주는 다음의 대책을 사용할 것이다; 운전 감소를 장려하기 위한 시장메카니즘; parking cash out; 전환 보조금(I)	승용차로부터의 이산화탄소 저감을 위한 전략; Commission communication COM 95(689) final, 20.12.1995; 25.6.1996에 대한 협의회 결정. VA를 포함하는 전략; EI, IN: 모니터링과 연료 절약 분류표시에 대한 제안(1997년 위원회에 의해 제시됨), 재정적인 대책(1996년 연구중). 위원회는 1997년 수송부문에서 이산화탄소 저감을 위한 다른 대책에 대하여 보고할 것을 협의회에 의해 요청받았다. 목적은 2005년까지 신규 차량에 대하여 평균 120g/㎞ 이산화탄소 배출(가솔린에 대하여 약 5.1l/100㎞연료 소비, 디젤차량에 대하여 4.5l/100㎞에 해당하는 값)을 달성하는 것이다. (A: 전체 목적과 방법에 대한 협의회와 위원회 사이의 정치적인 협약; 1996-1997에 수행될 전략		
combined transport를 촉진하기 위한 대책			유통사업센터의 건설과 관련된 법; 합동배달 시설의 설립, 조정 및 운영을 위하여 일본개발은행으로부터의 저리의 대부와 담보를 규정한다.; 다기능 유통센터를 위한 JDB로부터의 세액공제와 저리 대부 및 기타(I:1992 회계연도 현재 2개의 건설계획 진행중. 1993년 시스템은 추가의 도시에 대하여 검토되고 확장됨.	
수송과 토지이용 계획을 통합하기 위한 노력	위의 수송조화규정참조			

(계속)

언급된 정책/목표	미국	EU	일본	독일
기타	'car talk': 1995년 multi-stakeholder 자문위원회가 수송으로부터 온실가스를 감소시키는 방법을 탐구하기 위하여 설립됨.(I: 그룹 내에서는 합의에 도달되지 않았으나 상당한 양의 분석이 이루어졌다; 기후변화 활동계획의 일부)			철도 성능과 경쟁력 향상을 위한 체제를 창조하기 위해 철도구조를 재편성하고 철도 수송을 더욱 융통성 있게 한다. 레일에 대한 modal shift를 장려한다. Deutsche Bundesbahn(독일 연방 철도)와 Deutsche Reichsbahn (ex-GDR 철도 시스템)의 민영화 (I: 1994년 1월 1일 이후로 효력 있음) 주유소에서 증기회수장치를 요구하는 법규(I: 1993년 이후로 모든 주유소는 자동차 주유시에 배출을 저감하는 장치를 가지도록 개조되어야 한다.)

<자발적인 협정/협력>

언급된 정책/목표	미국	EU	일본	독일
자동차 제작자와의 협정		(규제와 지침 참조:자동차로부터의 이산화탄소 배출에 대한 전략 구성요소)		연료 절약에 대한 국내 자동차 제작사와의 협정: 1990년과 2005년 사이에 차량의 평균 연료 소비를 25% 삭감하도록 요구함. -- 1.9%/년 의 비율
대체 연료	• 가솔린과 디젤에 대한 대체연료 사용을 확대하기 위해 설계된 "청정도시"프로그램이 미국 에너지부에 의해 시행됨. 실행 가능한 대체연료 시장을 촉진하기 위한 지방사업체와 정부와의 협력			
기타	• "수송 공동경영자" 프로그램: 자동차 운행거리의 증가를 보여줌으로써 수송부문에서의 온실가스배출의 증가를 감소하기 위해 설계되었고, 미국 EPA에 의해 실행됨. VM를 저감하기 위한 정책/연구계획을 촉진하기 위하여 비정부단체, 지방정부, 시민단체와의 협력			

<정보전달 및 계몽 대책>

언급된 정책/목표	미국	EU	일본
정보전달 활동과 운전자 교육	• 타이어에 대한 연료 절약 분류표시 기후변화 활동계획은 경량차량에 대하여 새로운 타이어와 교환 타이어에 대한 의무적인 타이어 연료 효율 분류표시 프로그램을 요구한다. 중량 트럭과 버스에 대한 자발적인 프로그램이 수송부에 의해 제안되었다.(P:(HDVs)프로그램을 수행하기 위한 규정(LVs)/시험이 미해결인 채로 있음.) • 연료 절약 지침: 미국 에너지부는 신규 모델로 만들어진 각각의 신규 차량에 대하여 매년 연료절약과 연료 비용 산정에 대한 소비자를 위한 지침서을 발행하도록 요구하였다. 미국내 모든 신규 차량과 경트럭 판매자는 이 지침서의 사본을 활용할 수 있고 눈에 띌 수 있게 비치하여야 한다.(I: 1975년 이후) • 신규 차량에 대한 연료절약 분류 표시 1976년형 모델부터 시작하여 미국에서 판매된 각각의 신규차량과 경트럭에 대하여 소비자 정보 연료절약 분류를 표시하여야 한다. 현행의 분류표시는 같은 등급 크기에 있는 다른 신규 차량 모델에 대한 연료절약 등급의 범위뿐만 아니라 주어진 차량에 대한 연료 절약과 연료비용 평가를 제공한다.(I: 1975년 이후)	(위의 규정과 지침 참조: 연료 절약 분류표시에 대한 전략 요소)	벌금이 부과되는 강제적인 연료 절약 분류표시 (I: 1993년에 강화됨)

<연구 개발>

언급된 정책/목표	미국	EU	일본	독일
대체 연료 또는 대체 동력을 사용하는 자동차/새로운 기술	차세대 자동차를 위한 협력. 정부와 미국 자동차 연구 협의회와의 협력. 목표: 조업에 있어서 국가적인 경쟁력을 향상하고, 연구로부터 상업적으로 실행 가능한 기술혁신을 이행한다, 현재 자동차의 연료효율을 3배로 증가시키는 자동차를 개발한다 (1993년에 시작됨; 기후변화 활동계획과 그밖에 미국의 장기 기후변화 전략의 중요한 구성요소로써 승인됨).	파일롯실험과 실증 실험 연구를 통하여 새로운 에너지 기술을 촉진하기 위한 THERMIE 프로그램. 1992년: 21개의 수송 관련 연구(주로 도시지역 수송); 전체 연구자금지원의 5%(I: 1978년 이후) 에너지 효율 향상에 있어서의 연구를 촉진하기 위한 JOULE 프로그램. 내연기관에서의 에너지효율 향상; 전기 자동차에서 있어서 전지로 운전되는 시스템/연료전지 개발; 수송 모델링(I) 산업원료와 청정제조기술, 특히 진보된 내연기관/대체 추진력 기술(혼합연료 자동차, 가스 터빈, CNG)에서의 연구를 촉진하기 위한 BRITE 프로그램 (I: 1991년 이후) 재생가능한 에너지원의 거래를 촉진하기 위한 ALTENER 프로그램. 전체 자동차 연료소비 시장의 5%를 생물체 연료시장에 할당할 수 있도록 보장하는 것을 목표로 한다.(I: 1993년 이후)	다음 항목에 대하여 성능과 상업화 가능성을 향상시키기 위한 기술을 개선한다: 납전지에 대한 대안; 전지 교환 시스템; 전극 기술(고효율 모터); CNG연료차량; 혼합연료 엔진 차량; 메탄을 연료 차량, 수소를 동력원으로 하는 차량 (기본 연구) (I).	
환경 친화적인 수송 수단과 장비		SAVE프로그램 : 수송과 교통관리 분야에서 13개의 파일롯 연구; 2개의 파일롯 연구는 총 약 210만ECU를 공동체로부터 지원 받는다.(I: 1993년 이후)		

3.5. 선진국의 수송부문 연구・개발 프로그램 운용 동향

앞절에 제시한 바와 같이 자동차 수송분야의 온실가스 저감을 위해 각국은 기존차량의 연비개선에 의한 CO_2 배출저감, 온실가스 배출이 적은 대체연료 자동차의 보급, 차세대 초저연비 자동차의 개발・보급 등 제반 연구개발 및 실용화 보급을 활발히 추진 중에 있다.

기존차량의 연비개선에 의한 CO_2 배출저감기술로는 엔진효율의 향상, 경량화, 주행저항의 저감, 동력전달효율의 향상 등이 해당되며 이러한 기술들이 개발 또는 상용화되고 있다. 엔진효율의 향상 기술로는 희박연소엔진, 실린더내 직접분사 가솔린엔진, 밀러사이클엔진, 가변배기량엔진, 연속가변 밸브타이밍기구엔진 등이 현재 상용화되고 있으며 소형 DI(Direct Injection, 직접분사) 디젤엔진의 실용화도 활발히 추진 중에 있다. 차량중량의 10% 경감시 3~8%의 연비개선이 가능한데 경량화기술로서 설계의 합리화 및 경량재료의 사용 등이 추진되고 있다.

이외에도 타이어 구름저항의 저감, 공기저항의 저감, 트랜스미션의 다단화나 전자제어 슬립제어 록업시스템 및 무단변속기 등 동력전달효율의 향상기술, 제동과 가감속이 많은 시내버스의 제동에너지를 회수・이용하는 축압식 하이브리드 또는 전기식 하이브리드 버스 등도 상용화되고 있다.

천연가스자동차[16], 전기자동차 등 대체연료 자동차는 기존 가솔린 또는 디젤자동차에 비해 CO_2 배출량이 적어 온실가스 저감에 유망한데 현재 보급된 천연가스 자동차의 대부분은 가솔린/천연가스 겸용의 바이퓨얼 CNG자동차로 고효율・저공해인 CNG전소 차량의 보급확대가 기대된다.

---

16) 천연가스 자동차는 CO_2 이외의 온실가스중에서 주요 성분인 메탄 배출을 최소화하는 것이 중요한 과제로 남아있다.

전세계적으로 현재 약 4만대가 보급된 전기자동차의 경우 성능상의 제약극복을 위해 기존엔진과 전기자동차를 조합한 하이브리드 전기자동차나 연료전지를 탑재한 전기자동차도 실용화 개발중이고 수소자동차에 대한 연구개발도 활발히 추진되고 있다.

미국, 유럽, 일본 등 자동차선진국들은 연비개선과 CO_2 저감을 위해 연비가 뛰어난 소위 Super Car 또는 3 Liter Car(3ℓ의 연료로 100km 주행가능)를 21세기 초에 실용화보급함을 목표로 연구개발중이다. 미국의 경우 군사 및 우주항공용 최첨단 연구결과뿐만 아니라 저배기기술, 경량화와 리사이클을 고려한 신소재기술, 기존 내연기관의 개량기술(희박연소엔진, 2스토로크엔진, 디젤엔진 등), 대체연료적용기술, 컴퓨터기술, 축전지, ultra capacitor, 전기자동차, 하이브리드 자동차, 가스터빈, 연료전지, fuel reformer 등 거론되어온 자동차 관련 기술을 종합하여 장기적으로 추진할 계획으로 있으며 유럽과 일본 또한 현재 세계 유수의 자동차메이커에서 미국과 유사한 차량개발을 추진중이다.

3.5.1. 미국

미국내 석유소비량의 60%이상을 점유하는 수송분야의 R&D 프로그램은 크게 하드웨어 측면과 소프트웨어측면으로 구성되어 있다. 하드웨어 측면은 다시 차량시스템, 부품 및 하부시스템 과 연료개발 부분으로 나누어지는데 차량시스템 부분에서는 2004년에 연비가 80 mpg(mile per gallon)인 자동차개발을 목표로 한 차세대자동차개발협동프로그램(PNGV: Partnership for a New Generation Vehicle), 전기자동차 및 하이브리드 차량개발, 대체연료차량의 개발 및 보급, 重부하 차량시스템의 개발 등이 있고, 부품 및 하부시스템 부분에서는 연료전지 및 기타 동력원의 개발, 가스터빈 및 디젤엔진용 고온세라믹과 같은 신재료 개발 등에 관한 연구가 있다. 연료개발 부분에

서는 바이오매스나 기타 재생에너지원에서 추출한 대체연료와 연관된 기술개발이 연구된다.

소프트웨어 측면으로는 정보제공 및 입법에 관한 사항으로 대체연료차량의 성능에 관한 데이터베이스 구축이나 보급확대 등이 이루어진다.

1993년 9월에 클린턴대통령이 Big 3(Ford, GM, Chrysler)와 합의하여 출범시킨 Super Car개발사업을 위해 자동차업계는 USCAR(U.S. Council for Automotive Research)를, 정부는 PNGV를 구성하였으며, 이 프로젝트의 목표는 10년 후인 2004년에 초저공해이면서 연비가 현재의 3배(80mpg : 34.5km/ℓ)인 차세대차량을 개발하고자 하는 것으로 △ 설계, 제조, 생산기술의 향상, △ 연비, 성능향상 및 배기저감기술의 개발, △ 소비자의 요구에 부응하고 환경친화적인 고효율 차량의 개발 등을 목표로 한다.

아래 <표 Ⅲ-11>은 미국에서 추진하고 있는 수송분야 R&D 프로그램을 나타낸 것이다.

<표 Ⅲ-11> 미국의 수송분야 R&D 프로그램

프로그램명		추 진 내 용
차량시스템	PNGV	- 2004년까지 연비가 80마일/갤런인 차량개발을 위한 '차세대 자동차 개발 협동프로그램(Partnership for a New Generation of Vehicle)'
	하이브리드 차량기술	- 생산가능한 하이브리드 전기자동차 개발
	전기자동차 기술	- 현장운전 프로그램, 미국 전기자동차(EV America)프로그램, 전기자동차용 에너지저장시스템에 대한 연구실內 평가, 그리고 선도 밧데리 컨소시움(USABC)을 통해 경쟁력 있는 전기자동차 개발
	대체연료 차량	- 기존 차량에 비해 가격경쟁력이 있는 대체연료(압축천연가스, 에탄올, 디메칠에테르, 프로판, 메탄올 등) 사용차량 개발, 대체연료공급용 기반시설 구축, 엔진시스템 및 부품개발, 연료조성 및 품질표준 개발
	차량군 시험운행	- 경부하 대체연료차량, 重부하차량 및 버스 운전자를 대상으로 한 4년간의 운행데이터 수집 및 평가 프로그램, 관련 차량개발에 활용
	중부하차량 시스템 기술	- 중부하차량의 에너지소비절약 기술, 센서 및 제어기 기술, 경량재료 기술개발, 픽업트럭 및 통근버스의 전체적인 시스템 기술 평가 등
부품 및 하부시스템	엔진 개선	- 가스터빈엔진, 압축점화엔진 및 스터링엔진의 설계 및 분석 (PNGV와 하이브리드 프로그램 관련)
	부품 개선	- 차량중량감소를 위한 경량부품의 비용효과적인 생산공정 및 제조기법 개발(PNGV 프로그램 관련)
	연료전지 시스템 기술	- 순수 수소나 개질 화석연료를 사용하는 연료전지 시스템 기술 개발
	고출력 에너지 저장	- 고比출력 및 고출력밀도의 밧데리와 極超캐퍼시터를 포함한 에너지 저장 시스템 개발(하이브리드 전기자동차에 응용)
	重부하차량 엔진기술	- 중부하차량 엔진기술 연구개발 - 디젤엔진 기술, 중부하차량용 터빈기술, 배기배출물 제어 및 후처리 기술, 출력시스템 재료(세라믹)기술, 고온재료 개발
연료개발	대체연료 및 윤활유 기술	- 대체연료엔진 및 시스템의 최적화, 대체연료 사용기술, 윤활유 기술, 대체연료 사용에 미치는 기후영향 분석 - '중차량 배기배출물 테스트 프로그램'과 '대체연료의 트럭응용 프로그램(미국내에 에너지자원이 있는 중차량용 청정연료의 사용 촉진을 목적으로 함)' 추진
	원료개발	- '바이오연료용 연료개발 프로그램' 추진 중 - 저가 고품질의 바이오매스 원료를 대량 생산하기 위한 환경친화적인 농작물/경작 시스템의 개발 및 시범화 사업
	에탄올전환	- 2000년까지 세제상의 인센티브가 없이도 가솔린 대비 가격경쟁력이 있는 에탄올 생산기술 개발
	바이오디젤	- 바이오디젤 생산가격 저하를 위한 高油함량의 식물 및 고脂質함량의 말류 생산기술 개발 - 고지질의 말류와 고유함량의 식물을 이용한 바이오 디젤전환 기술개발
	지역 바이오매스 프로그램	- 미국내의 5개 지역을 대상으로 바이오매스 에너지 생산과 이용을 제고하기 위한 연방정부 지원프로그램

(표 계속)

프로그램명		추 진 내 용
정보/입법	청정도시	- 가솔린과 디젤 대체연료 사용을 확대하기 위한 정부/산업체 지역 협력 프로그램 - 지역정부와 정책결정과 산업체의 자발적 협력을 통해 전국규모의 대체연료 시장을 형성하기 위한 지역차원의 계획수립 및 시행
	EPAct 대체연료 요구사항	- 1997회계년도부터 정부와 대체연료 공급자들이 경부하차량을 구입할 때 일정부분을 대체연료 차량으로 구입토록 규정 - 대체연료차량의 초기구입 및 추가 구입시 보조금 제공
	대체연료 데이터 센터	- 대체연료차량법에 따라 지원받는 프로그램에 참여하는 대체연료 차량의 운행정보 수집 및 배포

자료 : 『기후변화협약과 연계된 에너지 원천기술 기획』, 한국에너지기술연구소, 과학기술부, 1998. 6.

3.5.2. EU

EU는 1992년에 기후변화협약에 서명한 이후 1997년에는 CO_2배출량을 2010년까지 1990년 수준 대비 15% 감축시키겠다는 보다 강화된 정책목표를 채택하고 있다. EU의 CO_2대책중 하나인 에너지기술 개발 R&D프로그램은 1984년 이래 유럽차원에서 수행해 온 R&D종합프로그램(Framework Program: FWP)하에서 추진중으로 FWP에는 연구개발 및 시범사업성격의 18개 특별프로그램이 있다. 이중 온실가스 배출 저감기술과 관련이 있는 것은 ④ 산업 및 재료, ⑥ 환경 및 기후, ⑩ 농업, ⑪ 비핵에너지, 그리고 ⑭ 수송 특별프로그램이다. Joule-Thermie 프로그램으로 불리워지는 ⑪ 비핵에너지 프로그램이 에너지분야의 원천기술 개발사업을 종합적으로 다루고 있다. Joule-Thermie 프로그램이란 EU가 CO_2배출목표를 달성하기 위해 사용하는 기술적 대안으로 이 프로그램의 기술은 대부분 기존기술에 바탕을 두며, 신기술에 대한 연구개발은 극히 제한적으로 이루어져 경쟁력이 없는

에너지신기술의 비용을 낮추는데 한정되어 있다. Joule은 연구개발사업성격을, Thermie는 주로 시범사업성격을 갖는다.

수송부문과 관련하여 추진하고 있는 EU의 연구개발 프로그램 현황을 아래 <표 Ⅲ-12>에 제시하였다.

<표 Ⅲ-12> EU의 에너지 합리적 이용 및 화석연료 기술 분야(수송부문)

기술 분야	부문	사업구분	추 진 내 용
EU의 에너지의 합리적 이용	수송	Joule	- 화학적, 동력학적 전기에너지 저장시스템 - 다양한 연료 사용이 가능한 내연기관 개발 - 트랜스미션 - 연료전지 및 하이브리드 동력시스템 - 재생가능 브레이크 - 에너지소비 및 환경관련 모델
		Thermie	- 청정, 고효율 차량 - 공해물질 저배출형 연료 - 교통관리와 제어기술, 사용자용 정보제공시스템, 도시 대중교통차량의 최적 운행방안
EU의 화석연료	수송용 신연료	Joule	- 촉매전환에 의한 천연가스의 액화, 중유의 경유화 - 연료의 특성과 조성이 오염물질 배출에 미치는 영향 연구 - 가솔린, 디젤 및 대체 연료용 첨가제 개발 - 배출물의 사전처리법 개발 - 연료의 특성 평가법 개발

자료 : 『기후변화협약과 연계된 에너지 원천기술 기획』, 한국에너지기술연구소, 과학기술부, 1998. 6.

3.5.3. 일본

일본은 1990년 '지구온난화방지 행동계획'을 통해 2000년의 1인당 CO_2배출량을 1990년 수준에서 안정화시킨다는 목표를 설정하고 차량 에너지효율 제고와 저공해차량 도입확대를 꾀하고 있다.

휘발유 승용차에 연비효율 목표를 설정하여 준수토록 하고 자동차

연비를 2000년까지 '90년 대비 평균 8.5%, 최고 13.9% 개선을 목표로 하고 있으며, 저공해자동차 보급확대를 목적으로 한 "ecostation 2000 계획", 자전거 이용확대를 위한 관계법령을 1980년에 제정하였다.

4. 항공에서의 온실가스 배출저감 대책[17]

각국의 항공부문의 에너지소비는 앞으로 점차 증가하여 수송수단의 온실가스 배출저감에서 중요한 부분을 차지할 전망이다. 이에 따라 항공(선박 포함)의 국제연료를 대상으로 하는 온실가스 배출규제 움직임이 국제적으로 이슈화되기 시작하였다. 이에 대한 국제적 동향은 [부록 Ⅱ]에 수록하였으며 본 절에서는 항공에서의 배출저감대책을 중심으로 제시하였다.

항공부문 배출의 영향을 감소시키기 위한 일련의 대책들로는 항공기 및 엔진 기술의 변화, 연료, 운행상의 대책, 규제적·경제적 대책 등이 있다. 이들은 단독으로 또는 공공 및 민간부문과의 협력에 의해 이행될 수도 있다. 규제적, 경제적 및 기타 옵션들의 타이밍과 범위는 개선의 도입에 영향을 줄 수 있고, 항공수송의 수요에 영향을 미칠 수도 있다.

새로운 항공기의 구입, 가능성 있는 공학 또는 운영상의 변화를 평가할 때 운영의 안전성, 운영상의 성과와 환경적인 성과, 그리고 비용이 항공산업에 대한 지배적인 고려사항이다. 항공기의 전형적인 예상 수명은 25~30년이다. 이러한 인자들은 기술 발전과 기술과 관련된 정책대안들이 항공배출을 감소시킬 수 있는 비율을 평가할 때 고

17) 본 절의 내용은 참고문헌 ① Summary for Policymakers *Aviation and the Global Atmosphere*, IPCC, 1999, ② *Emissions Resulting from Fuel used for International Transportation*, SBSTA tenth session, FCCC/SBSTA/1999/INF.4, ③ *Detailed Information on Electricity Trade and International Bunker Fuel*, SBSTA Third Session, FCCC/SBSTA/1996/9/Add.2 의 내용을 정리·요약한 것이다.

려되어져야 한다.

① 항공기 및 엔진 기술 대책 - 기술 발전은 실질적으로 승객-㎞당 배출을 많이 감소시켰지만 아직도 더 많은 개선의 가능성은 있다. 오늘날 생산되는 음속 이하 항공기들의 연료효율 개선의 대부분은 엔진개선을 통하여 달성되었고, 나머지 일부는 기체(機體) 설계 개선을 통하여 달성되었다. 엔진효율의 개선은 연료소비량과 대부분의 유형의 배출을 감소시킨다. 그러나 비행운이 증가될 수 있으며, 연소기술의 발전이 없으면 질소산화물 배출 또한 증가될 수 있다.
국제적으로 많은 엔진 연구 프로그램이 진행 중에 있는데, 예를 들면 착륙과 이륙 사이클(LTO)의 NOx 배출을 현재의 규제기준에서 70%까지 감소시키고, 2010년경까지 가장 최근에 생산된 엔진에 대하여 8-10%까지의 연료 연소효율 개선을 목표로 하는 프로그램 등이다. 그 목표가 달성될 수 있다고 가정할 때, 이러한 기술들이 신규로 생산된 상당수의 항공기로 이전되기 위해서는 오랜 시간-전형적으로 10년 정도-이 걸릴 것이다. 초음속 항공기로부터의 NOx 배출을 다루기 위한 연구 프로그램도 진행 중에 있다.

② 연료 대책 - 다가오는 수십년 동안에 상업용 제트 항공기의 등유-기반 연료를 실제적으로 대체할 수 있는 어떠한 대안도 나타나지 않을 것으로 보인다. 등유의 황함량을 감소시키는 것이 황산화물 배출과 황산염 입자의 형성을 감소시킬 것이다.
제트 항공기는 특히 장거리 비행 동안에 고에너지밀도 연료를 필요로 한다. 수소 같은 다른 연료 대안이 장기적으로 가능성이 있을 수도 있지만, 새로운 항공기 설계와 공급을 위한 새로운 하부 시설을 필요로 할 것이다. 수소 연료는 항공기로부터 이산화탄소 배출을 제거하기는 하지만 수증기의 배출을 증가시킬 것이다. 수소나 다른 대체연료의 생산과 사용에 따른 총체적인 환경적 영향과 환경적 지속성은 확인되지 않았다.

항공기 배출로부터 황산염 입자의 형성은 엔진과 plume 특징에 의존하며, 연료의 황함량 감소에 따라 감소되어진다. 실질적으로 연료로부터 모든 황을 제거할 수 있는 기술이 존재하기는 하지만, 그러한 제거는 결과적으로 윤활성(lubricity)의 감소를 초래할 것이다.

③ 운영상의 대책 - 항공교통관리(ATM)와 기타 운영절차들은 8~18% 사이의 항공연료 연소를 저감할 수 있다. 이들 저감의 대부분(6~12%)은 다음 20년 동안에 완전히 이행될 것으로 예상되는 ATM 개선으로부터 오며 결과로서 모든 엔진 배출이 감소될 것이다.
항공교통관리시스템은 안내, 분리, 조정, 항공기 이동의 제어 등을 위하여 사용된다. 현재의 국가 및 국제 항공교통관리시스템은 착륙대기선회(착륙 허가를 기다리며 정해진 패턴으로 항공기가 비행하는 것), 비효율적인 노선, 차선의 비행 profile(sub-optimal flight profile)로 귀착되는 한계를 가진다. 이러한 한계는 과도한 연료 연소를 발생시켜 결과적으로 과도한 배출을 유발한다.
현재의 항공기 fleet과 운영에 대하여 항공교통관리시스템에서 위에 언급된 한계를 극복함으로써 연료 연소를 6-12% 정도 감소시킬 수 있다. 필요한 제도적·규제적 합의가 때맞추어 제시된다는 가정 하에서 이러한 연료연소 저감을 위해 필요한 개선은 다음 20년 내에 완전히 이행될 것으로 예상된다.
승객-km당 연소되는 연료의 양을 감소시키기 위한 다른 운영상의 대책들로는 부하인자의 증가(주어진 항공기에서 더 많은 승객 또는 화물의 수송), 불필요한 무게의 제거, 항공기 속도의 최적화, 보조 동력 사용의 제한(예: 난방, 통풍을 위한 동력), 비행기의 육상 활주 감소 등이 있다. 이러한 운영상의 대책에서 가능성 있는 개선은 연료 연소 및 배출을 2~6% 범위에서 감소시킬 것이다.

④ 규제적, 경제적 및 기타 대책 - 항공기 및 엔진 기술의 개선과 항공교통시스템의 효율개선이 환경적 이익을 가져온다 할지라도, 이들

은 항공에서 예상되는 성장으로부터 발생하는 배출 증가의 효과를 완전히 상쇄하지는 못할 것이다. 배출을 더 많이 저감시키기 위한 정책적 대안으로는 더욱 엄격한 항공기 엔진 배출규정, 환경에 좋지 않은 결과를 미치는 보조금과 인센티브의 제거, 환경적 부과금(부담금과 세금)과 배출거래 같은 시장에 기초한 대책, 자발적인 협정, 연구프로그램, 항공기를 철도나 버스로 대체하는 것 등이 있다. 이들 대안들의 대부분은 정기항공 비용과 운임을 증가시킬 것이다.

엔진배출 검증은 특정 배출을 감소시키기 위한 하나의 수단이다. 현재 항공 당국은 일산화탄소, 탄화수소, 질소산화물 및 연기 배출을 규제하기 위하여 이 방법을 사용한다. 국제 민간항공기구는 질소산화물과 기타 배출에 대한 현행 LTO 기준을 보완하기 위하여 순항고도에서 항공기 배출에 대한 기준의 필요성을 평가하는 연구를 시작하였다.

환경적 부과금(부담금과 세금)과 배출거래 같은 시장에 기초한 옵션들은 기술적인 혁신을 촉진하고 효율을 개선할 가능성을 가지고 있으며, 항공 여행의 수요를 감소시킬 수도 있다. 환경적 부과금은 더욱 효율적인 항공기의 개발과 사용을 자극함에 의해서, 그리고 항공수송에 대한 수요 증가를 감소시킴에 의해서 항공기 배출의 증가를 감소시킬 수 있는 한가지 수단이 될 수 있다. 배출거래는 참여자들에게 협력적으로 배출저감의 비용을 최소화하도록 할 수 있는 시장에 기초한 방법이다. 배출거래는 미국에서 아황산가스에 대하여 사용되었고, 몬트리올 의정서에서 오존층 파괴 물질에 대하여 가능성이 있기는 하지만 아직 항공기에서 시험되지는 않았다. 이 방안은 부속서 B 당사국들에게 적용되는 교토의정서 규정 중의 하나이다.

자발적인 협정 역시 현재 항공 부문의 배출저감을 달성하기 위한 한 가지 수단으로써 연구되고 있다. 그러한 협정들은 온실가스 배출을 감소시키고 sinks를 강화하기 위하여 다른 부분에서 사용되고 있다.

철도 및 버스의 대용은 승객-km당 이산화탄소 배출의 저감을 달성할 수 있을 것이다. 이 저감의 범위는 버스 또는 철도와의 연계를 가질

수 있는 고밀도, 단거리 노선에 제한된다. 추정에 의하면 유럽에서 여행자들 중 10%에 이르는 사람들이 항공기에서 고속 철도로 이동될 수 있을 것으로 보인다. 앞으로의 분석에서 광범위한 환경적 효과(예를 들면, 소음 노출, 지역 대기질, 지구의 대기에 대한 효과)들 사이의 교환을 포함하는 것이 대용의 가능성을 탐구하기 위하여 필요하다.

□ 앞으로의 주요 논쟁사항

일부 유형의 항공기 배출의 효과는 잘 이해되고 있지만 나머지의 효과들은 그렇지가 못하며, 이는 수많은 과학적 불확실성에 기인한 것이다.

항공이 기후와 오존에 미치는 영향을 예측하고자 하는 우리의 노력을 제한하는 수많은 과학적 불확실성들 중에서 중요한 영역은 아래와 같다.

- 권운에 대한 비행운과 에어로졸의 영향
- 오존과 메탄 농도의 변화에 있어서 질소산화물의 역할
- 대류권 상부/성층권 하부에서 대기중의 기체와 입자들의 이동
- 지역적 forcing과 성층권의 혼란에 따른 기후 반응

더욱 명확한 정의를 필요로 하는 수많은 중요한 사회-경제적 기술적 문제점들은 다음과 같다.

- 공항 및 항공로 하부구조 한계, 관련기술의 변화, 상업용 항공 사업에 대한 수요 등의 특성 규명
- 규제적 및 시장에 기초한 대안들의 외적 비용과 환경적 이익을 평가하기 위한 방법
- 저감 대책으로부터 유발될 수도 있는 항공산업에서의 배출저감에 따른 거시 경제적 효과의 평가
- 비행운의 형성과 운량의 증가를 유발하는 배출을 저감하기 위한 기술의 가능성과 운영상의 실행

- 항공기로부터의 배출을 저감시키기 위한 대책, 다른 수송모드의 상대적인 환경적 영향 같은 문제점들을 포함하여, 가능성 있는 안정화 시나리오를 충족하는 경제적·환경적 효과의 이해

Ⅳ. 우리나라 수송부문 CO_2 배출저감 대응 개선방안

본 장에서는 지금까지 살펴본 우리나라 자동차의 차종별 CO_2 배출 비중을 토대로 배출저감 수단중에서 효과가 있는 것으로 평가된 수단들을 단계별로 이행할 경우 가능한 저감량을 추정하고 저감시나리오를 작성, 제시하였다. 이를 기초로 배출저감 달성을 위한 국내 대응방안을 기술적인 대책과 비기술적인 대책으로 구분하여 제시하였다.

1. 저감수단 이행시 저감잠재량 분석

본 연구에서 산정한 우리나라 차종별 CO_2 배출량 전망에 의하면(<표 Ⅱ-17>) 자동차 CO_2 배출은 상당부분이 휘발유 승용차 사용에 의한 것으로 나타났다(1997년도 33%). 이러한 경향은 선진외국과 유사한데 예를 들어 일본의 경우는 자가용 승용차로부터의 배출비중이 1995년도 53%를 차지하였고 미국은 1996년도 36.6%가 승용차에서 배출되는 것으로 나타났다. 이것은 바로 이산화탄소 배출문제에 있어서는 연료효율이 경유보다 낮은 휘발유자동차가 크게 기여한다는 것을 시사한다. 또한 우리나라는 대형트럭에서의 배출이 25%로 큰 비중을 차지하고 있다[18]. 따라서 비용효과적인 자동차에서의 이산화탄소 배출저감대책은 주로 승용차부분과 트럭의 화물수송부문에 초점이 맞추어지게 된다. 본 절에서는 지금까지 살펴본 자동차의 온실가스 배출저감수단중 실현가능한 효과적인 방법을 조합하여 중기, 장기로 구분하고 저감잠재량을 분석하였다.

---

18) 일본의 경우에는 자가용 화물차 13%, 영업용 화물차 17%이다.

1.1. 중기적 대응수단

실현 가능한 중기대책으로 차량의 연비개선, 화물유통효율의 개선 및 환경친화적 교통문화의 정착을 포함시켰다.

1) 차량의 에너지 효율 개선(연비 개선)

기술적으로 차량의 연비를 10% 개선할 경우 CO_2 배출량은 약 8% 정도 저감이 가능한 것으로 알려져 있다. 이를 위해서는 직접분사식(GDI)엔진, Lean Burn 엔진을 비롯하여 에너지 효율적인 엔진의 기술개발 보급이 가장 중요하며 제작사로 하여금 기술개발을 유도할 수 있는 인센티브(동기부여)의 제도적인 장치의 마련 또한 필요하다. 아울러 소비자로 하여금 연비가 향상된 자동차를 구매하도록 제도화하는 것도 한 방안이다[19].

기술적으로는 경유엔진이 가솔린에 비해 약 20% 이상 연비가 유리하여 승용차용 직접분사식 고속디젤엔진(HSDI)을 개발하고 2-행정 디젤엔진을 개발하는 추세인데 유럽이 이러한 기술개발에 주력, 상용화하고 있다. 그러나 디젤의 주요 대기오염물질 배출항목인 PM과 NOx를 비롯하여 소음의 저감기술 확보가 중요한 변수로 작용하고 있다. 특히 우리나라와 같이 현재 경유자동차가 대기오염의 주요 원인인 상황에서 경유자동차의 기술개발로 현재의 대기오염물질이 충분이 저감될수 있다는 홍보와 인식전환이 우선되어야 할 것이다. EU의 경우 2010년에는 1995년보다 30% 연비개선을 목표로, 일본의 경우는 2010년까지 1995년 대비 15%～20%의 연비향상 목표를 설정하고 있다.

---

19) 대표적인 제도로 feebate 제도가 있으며 캐나다의 온타리오주에서는 1991년 6월부터 동제도를 시행하고 있다. 이 제도는 승용차와 sports utility vehicle에 대해 적용되며 연비가 6.0ℓ/100㎞ 이하인 승용차에 대해서 C$ 100의 리베이트가 부여되고 그밖의 모든 승용차에 대해서는 연비에 따라서 최대 C$75～C$7,000의 차등세금이 부과된다(이영재, 1999년 7월).

우리나라의 경우 1997년과 비교하여 2005년과 2010년에 운행되는 모든 차량의 연비가 각각 10%와 20% 저감될 경우 CO_2 배출저감은 최대치를 적용하여 각각 8%와 16%으로 가정하였다. 아래의 <표 Ⅳ-1>는 tier 2방법에 의해 산정한 1997년도 기준배출량과 자동차대수 및 주행거리를 예측하여 산정한 2005년과 2010년의 미래의 배출량과 연비개선에 따른 배출량을 나타낸 것이다. 연료효율 개선시 저감잠재량과 이에 따른 CO_2 배출변화를 <표 Ⅳ-2>와 <그림 Ⅳ-1>에 각각 나타내었다.

<표 Ⅳ-1> 연비개선시 도로부문(자동차)의 CO_2 배출 전망(Tier 2방법)

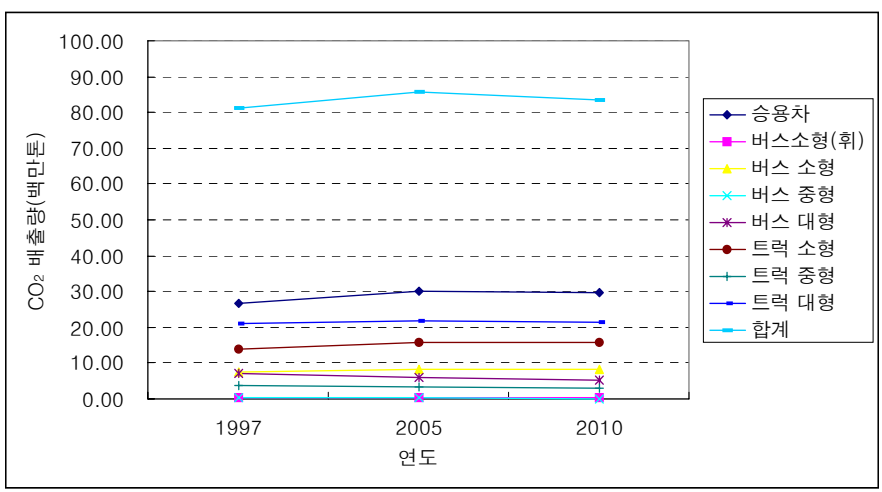
		휘발유		경유						합계
		승용차	버스 소형	버스 소형	버스 중형	버스 대형	트럭 소형	트럭 중형	트럭 대형	
CO_2 배출계수	현재(g/km)	217	250	350	600	900	350	600	1000	
	목표치	연비개선에 따른 CO_2 저감 목표치 2005년 8% 저감, 2010년 16% 저감								
1997	대수(만대)	721.7	11.1	87.1	1.8	8.7	156.6	18	36.2	1041.2
	주행거리(km/day)	47	47	69	59	245	70	95.2	160	
	CO_2(현재)(백만톤)	26.82	0.48	7.68	0.23	7.00	14.00	3.75	21.14	81.11
2005	대수(만대)	1090.0	16.3	126.7	2.1	9.9	229.8	20.7	49.9	1545.5
	주행거리(km/day)	38	38	55	47	198	58	80	130	
	CO_2(현재)(백만톤)	32.76	0.57	8.90	0.22	6.45	17.03	3.63	23.68	93.23
	CO_2(목표치)(백만톤)	30.14	0.52	8.19	0.20	5.93	15.67	3.34	21.79	85.77
2010	대수(만대)	1272.5	20.3	145.7	2.3	10.5	264.4	21.6	56.4	1793.6
	주행거리(km/day)	35	35	52	44	188	55	73	123	
	CO_2(현재)(백만톤)	35.22	0.65	9.68	0.22	6.46	18.58	3.45	25.32	99.58
	CO_2(목표치)(백만톤)	29.59	0.54	8.13	0.18	5.43	15.61	2.90	21.27	83.65

<표 Ⅳ-2> 연료효율 개선시 저감잠재량 추정

(단위: 백만톤)

	1997년 기준 배출량	2005년 잠재량 추정	2010년 잠재량 추정
승용차	26.82	2.62	5.64
버스 소형(휘발유)	0.48	0.05	0.10
버스 소형	7.68	0.71	1.55
버스 중형	0.23	0.02	0.03
버스 대형	7.00	0.52	1.03
트럭 소형	14.00	1.36	2.97
트럭 중형	3.75	0.29	0.55
트럭 대형	21.14	1.89	4.05
합계	81.11	7.46	15.93

<그림 Ⅳ-1> 연비개선에 따른 CO_2 배출량 전망



2) 화물유통효율의 개선

우리나라는 1997년도 자동차 CO_2 배출량 중 대형트럭이 26%로 큰 비중을 차지하고 있는데(<표 Ⅱ-17> 참조) 특히 대형트럭의 효율 개선은 현재 국내에서 문제시되고 있는 경유자동차로 인한 대기오염 개선에도 기여할 수 있을 것이다. 저감수단으로는 ①트럭수송 효율개선, ②도로 화물수송에서 철도와 선박수송으로의 modal shift[20]가 해당되며 트럭의 에너지 효율을 개선하기 위한 유통시스템의 정비 또한 중요하다.

2010년에 중·대형트럭 화물수송수단의 효율개선으로 CO_2 배출이 약 2% 저감된다고 가정할 경우 화물유통효율의 개선에 따른 저감량은 아래 <표 Ⅳ-3>과 같다. 여기서 2% 저감은 단순히 일본의 자료를 인용한 것으로 상당히 보수적으로 추정한 수치이며 일본보다 경유의 연료가격이 낮아 경유차량 운행비중이 상대적으로 큰 국내상황에서는 효율개선으로 더 높은 배출저감 효과를 기대할 수도 있다. 그러나 2010년경에는 최근 추진하려 하는 에너지가격 구조의 합리화가 진행된 후로서 경유가격이 현재보다 높을 것이며 철도 및 선박 물류 모드로의 전환 등이 진행되어 대형트럭의 운행정도에 불확실성이 있다고 판단되어 2%로 가정하였다.

<표 Ⅳ-3> 화물유통효율의 개선시 저감잠재량

	2010 예상배출량(백만톤)	2%저감시 저감량(백만톤)
트럭 중형	3.45	0.07
트럭 대형	25.32	0.51

20) 이것은 토지이용계획 및 국가 교통망구축사업과 연계하여 추진되어야 한다.

3) 환경친화적 교통문화의 정착

연비개선 및 화물유통효율의 개선은 기술개발 및 시설설치 등에 비용이 크게 수반되는 문제점이 있어 비용면에서는 불리한 대책일 수 있다. 반면, 대중교통의 이용활성화, 경차의 이용등 환경친화적 교통관리시스템의 활용은 비교적 비용효과적으로 이산화탄소 배출을 저감할 수 있다는 장점이 있다. 이에 따라 유럽등 선진외국에서는 단기적으로 이산화탄소를 줄일 수 있는 가장 비용효과적인 방법으로 운전습관의 개선 등 환경친화적 교통문화실천을 꼽고 있다. 환경친화적 교통문화 정착에 포함될 수 있는 주요 항목과 항목별로 휘발유와 경유의 배출계수를[21] 이용하여 연료절감시 CO_2 배출저감잠재량을 계산한 결과는 다음과 같다.

- 불필요한 차량운행 자제로 주행거리 감소: 1997년 기준 1,040만대의 차량이 주행거리를 2005년 15%, 2010년 30% 줄일 경우 CO_2 저감잠재량은 각각 930만톤, 1,860만 톤으로 계산되었다.
- 승용차의 운행자제: 출퇴근시 카풀제를 활성화하고 버스나 지하철 등 대중교통의 이용활성화로 이산화탄소 저감이 가능하다. 예를 들어 10부제로 하루 100만대의 승용차가 운행을 자제하면 544만톤의 CO_2 저감이 가능하다.
- 경자동차 보급확대: 경자동차 보급율을 현재 4.9%에서 2010년 15%로 확대할 경우 CO_2 배출량은 172만톤 정도 줄일 수 있다[22].
- 운전자의 공회전 자제: 1000만대의 차량이 하루 1분만이라도 공회전을 자제하면 CO_2 배출량은 33만 6천톤 정도 줄일 수 있다.

위에 제시한 환경친화적 교통문화를 정착시켜 행동할 경우 2010년에는 최대 총2,610만톤(26.1 백만톤)의 저감이 가능한데 이는 2010년

---

21) 휘발유의 CO_2 배출계수: 2.36 kg/ℓ, 경유 배출계수: 2.8 kg/ℓ를 사용하였다.

22) 제 2차 에너지이용합리화기본계획에 따르면 2003년까지 경승용차 보급율을 10%까지 제고하고 있다.

예측배출량(99.58백만톤)의 약 25%에 해당된다. 그러나 이러한 저감율은 과다하게 평가된 값으로 개개인의 실천이 부족할 경우 저감율은 10% 이하로 떨어질 수도 있으며 심지어는 negative한 효과를 나타낼 수도 있다. 네덜란드의 에너지·환경부가 수행한 연구결과는 실제 운전 습관과 자동차 연료 절감 기술(내장된 절감 장치등)정보 및 교육 프로그램 강화로 약 15%의 연료절약이 가능함을 보여준 바 있다.

본 연구에서는 위의 항목들이 절반 정도 행동에 옮겨졌다고 가정하여 환경친화적 교통문화의 실천으로 13백만톤의 CO_2가 저감 가능한 것으로 추정하였다. 이상의 중기대책 이행시 가능한 CO_2 저감잠재량은 2010년에 29.5백만톤이며 이는 2010년 자동차 배출량의 29.6%에 해당된다(<표 Ⅳ-4>).

<표 Ⅳ-4> 중기 저감대책 이행시 저감잠재량 추정

(단위: CO_2 백만톤)

			1997년	2010년
기준년도 CO_2 배출량			81.11	99.58
저감대책 이행시 저감잠재량	20% 연비개선		-	15.93
	화물유통효율개선		-	0.58
	환경친화적 교통문화 정착	주행거리감소 10부제 활용 경자동차 보급 공회전자제	-	13 (negative~26.1)
저감잠재량 총계				29.5

1.2. 장기적 대응수단

□ 대체연료 자동차의 보급

앞의 <표 Ⅲ-1>에서 알 수 있듯이 기존의 휘발유, 경유보다 탄소함량이 보다 적어 CO_2 배출이 작은 청정연료를 사용하는 자동차 개발 보급 또한 장기적으로는 CO_2 저감의 중요한 수단이다.

<표 Ⅲ-1> 연료별 CO_2 배출량의 상대적 비교(휘발유 100)

연료	휘발유	경유	CNG	LPG	알콜
최적엔진조건	100	88	66	80	82

자료: 한국기계연구원 내부자료

기후변화협약 이행과 연계하여 선진국의 자동차업계에서는 대체연료 자동차 개발 움직임이 활발히 진행되고 있다. 국제 자동차시장에서는 2005년경 대체연료 자동차의 시장점유율이 10% 이상을 차지할 것으로 전망하고 있다[23]. 대체연료자동차 보급 확대는 기술개발에 시간이 소요되므로 장기적으로 추진하되 △기존연료(휘발유, 경유)에 대한 세금 인상 △대체연료 구입에 대한 재정적인 유인책(낮은 세금) △대체연료자동차 구입에 대한 재정적인 지원과 △지속적인 연구개발 등의 제도적인 장치가 수반되어야 한다.

우리나라는 '99년 4월 기존의 시내버스를 천연가스버스로 교체할 수 있도록 「대기환경보전법」을 개정하여 천연가스버스 보급근거를 마련하였다. 2000년부터 수도권 및 광역시급 이상 대도시의 시내버스를 천연가스버스로 단계적으로 교체하도록 추진하며, 월드컵 개최도시를 중심으로 2002년까지 5,000대의 천연가스 버스 보급을 목표로

23) 그러나 여전히 기존 휘발유와 경유자동차의 연비 개선을 통한 것이 주를 이룰 것이다.

하고 있다.

결국 차종별로 보급이 정착되기 이전까지는 대체연료자동차의 보급율은 낮을 수밖에 없고 보급대수에 대한 계획이 불확실한 상황에서 CO_2 저감잠재량을 추정하기는 무리가 따른다. 따라서 본 연구에서는 대체연료자동차 보급으로 인한 저감잠재량추정은 생략하였다.

2. 저감시나리오별 CO_2 배출량 분석

지금까지 살펴본 수송부문의 온실가스 배출 저감수단 중 실현가능한 효과적인 방법을 조합하여 2010년을 최종목표로 다음과 같이 저감시나리오를 작성하고 배출량을 분석하였으며 기준년도인 1997년과 비교하였다.

기준: 1997년과 비교하여 추가저감대책이 이행되지 않는 경우
시나리오 1: 2010년 환경친화적인 교통문화 정착을 위한 대책 마련으로 불확실성을 고려하여 실천항목들이 절반가량 이행된다고 가정한 경우
시나리오 2: 2010년 연비가 10% 개선된 차량들만이 도로에서 운행된다고 가정한 경우(최대 CO_2 저감 8%로 가정)
시나리오 3: 시나리오 1과 시나리오 2 이행 & 화물유통효율 개선시

아래 <표 Ⅳ-5>와 <그림 Ⅳ-2>는 저감시나리오별로 계산한 CO_2 배출량을 나타낸 것이다. 환경친화적 교통문화 정착이 CO_2 배출저감에 가장 효과가 있는 것으로 나타났으며 시나리오 3의 종합적인 저감수단 이행으로 2010년 자동차의 CO_2 배출량을 1997년 수준으로 충분히 유지가능한 것으로 나타났다[24].

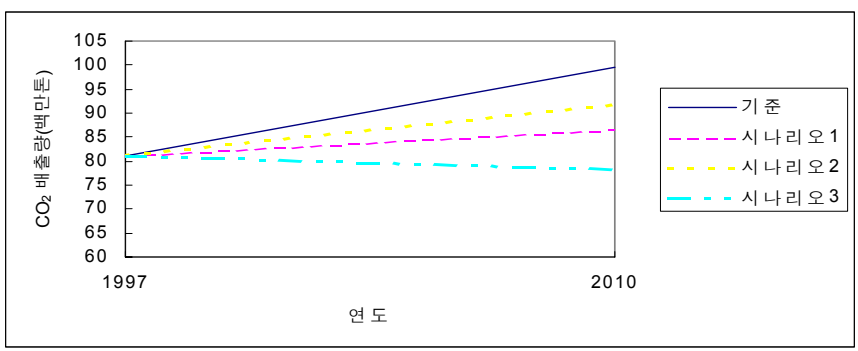
---

24) 그러나 이러한 결과는 이미 언급한 바와 같이 상당한 불확실성이 내재되어

<표 Ⅳ-5> 저감시나리오별 CO_2 배출량 (단위: CO_2 백만톤)

	기준	시나리오 구분		
		시나리오 1	시나리오 2	시나리오 3
1997년	81.11	81.11	81.11	81.11
2010년	99.58	86.58 (△ 13)	91.62 (△ 7.96)	78.04 (△ 21.54)

<그림 Ⅳ-2> 시나리오별 CO_2 배출량



3. 국내 자동차 업계의 대응방안

'97년부터 EU집행위는 EU자동차업계(ACEA)와 협상을 추진하여 2008년까지 '95년 수준(186g/km)대비 25% 감축한 140g/km의 목표를 달성하도록 하고, 2003년에는 2012년까지 120g/km로 감축하는 방안을 검토하도록 하는 자발적인 협정인 「신차로부터의 CO_2 배출감축을 위한 협약」을 '98년 12월 체결하였다. ACEA는 자발적인 협정

있음을 인식하여야 한다.

의 전제조건으로 EU로 자동차를 수출하는 일본, 한국 등도 동일한 CO_2 감축노력을 기울일 것을 요구하였다. 이에 따라 EU집행위는 한국자동차공업협회(KAMA)와 CO_2 감축 협상을 벌여 '99년 6월 양국간의 승용차 CO_2 감축협정을 체결하였다. 협정내용은 우리나라의 감축목표치는 ACEA와 동일하게 하되 감축 목표 년도를 1년씩 유예시키고, 감축목표치를 EU내 신규 판매되는 승용차 전체평균으로 관리하는 것 등을 포함하고 있다.

<표 Ⅳ-6> ACEA와 KAMA의 협정내용 비교

감축목표	ACEA 협정내용	KAMA 협정내용
일부업체 120g/km 모델출시	2000년	2000년 이후 가능한 빠른 시기
165~170 g/km	2003년	2004년
140 g/km	2008년	2009년
2012년 추가 감축 (120 g/km) 검토	2003년	2004년

우리나라 자동차의 수출현황은 아래 <표 Ⅳ-7>과 <그림 Ⅳ-3>과 같이 1990년 이후 급격히 증가하는 추세에 있으며 1998년의 경우 유럽에의 수출이 47.9%, 북미 18.7%를 차지하였다. 차종별로는 승용차의 수출이 84%이상을 차지하고 있다(<표 Ⅳ-8>과 <그림 Ⅳ-4>).

<표 Ⅳ-7> 주요 지역별 자동차 수출 현황

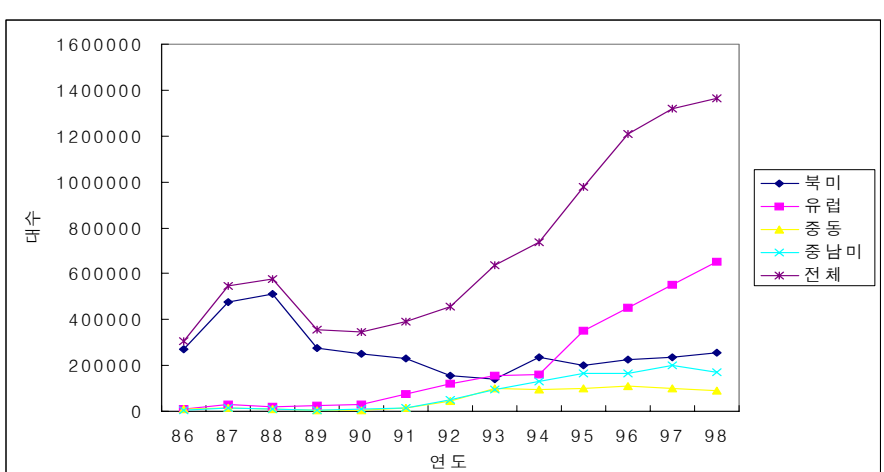
(단위: 대)

	북미	유럽	중동	중남미	전체*
1986	268,485	12,028	11,332	6,451	306,369
1987	474,400	28,327	12,630	12,672	546,310
1988	513,415	21,104	11,717	8,406	576,134
1989	277,232	25,185	5,723	6,868	356,040
1990	251,183	28,869	6,442	8,206	347,100
1991	228,945	73,495	14,223	13,177	390,362
1992	154,171	120,310	44,672	50,062	456,155
1993	140,708	157,836	100,898	95,100	638,557
1994	234,904	159,828	94,389	129,077	737,943
1995	202,786	352,614	100,296	165,601	978,688
1996	223,509	450,199	108,155	166,716	1,210,157
1997	237,690	549,692	102,286	200,748	1,316,891
1998	254,887	652,881	91,708	168,965	1,362,164

*전체 수출 대수는 표에 제시된 지역과 아프리카, 아시아, 태평양 지역에 대한 수출 대수를 합계한 수치임.

자료: http://www.kama.or.kr

<그림 Ⅳ-3> 지역별 자동차 수출 현황



자료: http://www.kama.or.kr

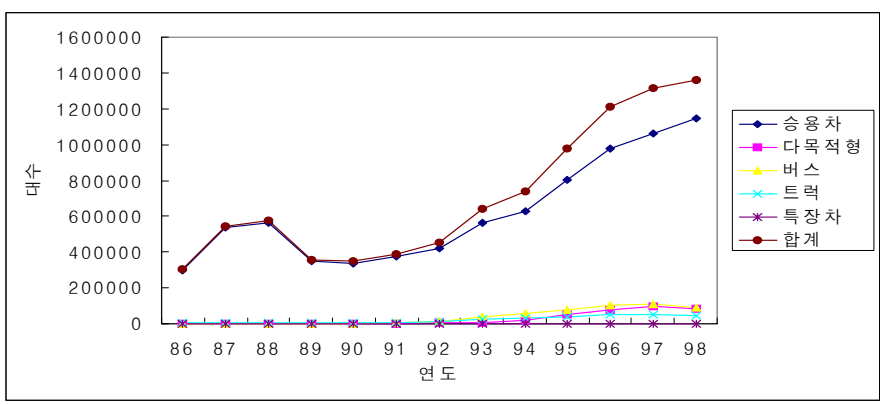
<표 Ⅳ-8> 차종별 수출 현황

(단위: 대)

	승용차	다목적형	버스	트럭	특장차	합계
1986	298,702	177	605	6,695	190	306,369
1987	534,837	394	2,312	8,457	310	546,310
1988	563,978	533	2,878	8,074	671	576,134
1989	346,835	438	1,104	6,774	889	356,040
1990	338,968	704	1,891	4,731	806	347,100
1991	376,646	1,954	4,392	6,292	1,078	390,362
1992	423,209	4,306	15,151	13,156	333	456,155
1993	566,013	6,389	40,531	25,375	249	638,557
1994	629,778	18,607	58,554	30,094	910	737,943
1995	803,742	52,626	79,322	41,555	1,443	978,688
1996	976,937	79,463	102,773	50,409	575	1,210,157
1997	1,059,586	96,307	107,067	53,640	291	1,316,891
1998	1,147,006	81,138	89,726	43,080	1,214	1,362,164

자료: http://www.kama.or.kr

<그림 Ⅳ-4> 차종별 수출 현황



자료: http://www.kama.or.kr

EU와의 신차협정의 체결이 우리나라에 시사하는 바는 매우 크다. 자동차부문에서 배출되는 이산화탄소는 온실가스 배출의 상당부분을

차지하고 있고 배출증가속도가 에너지부문에서 가장 빠르기 때문에 이 부문에서의 배출감축은 자동차산업에 큰 영향을 미칠 것이며 기술개발의 중요성이 보다 부각될 것이다. 다시 말하면, 우리 자동차업계가 EU 집행위와의 승용차 CO_2 감축협정을 체결하게 됨으로써 국산승용차의 지속적 대 EU 수출의 확대 가능성을 열었고, 협상의 원만한 타결로 향후 EU와의 통상문제 예방에 기여한 점을 긍정적인 측면으로 들 수 있으나, 한편으로 향후 CO_2 감축을 위한 기술개발에서 R&D 투자부담이 가중될 것으로 예상된다.

기후변화협약이 환경문제의 핵심이 되어 가는 상황에서 자동차에서의 CO_2 배출규제는 수출산업의 주체인 국내 자동차업계에서 보다 자발적으로 준비해야 할 주요한 과제이다. 특히 EU는 우리나라 자동차 총수출의 상당부분을 차지하고 있는 주요 시장이므로 지속적인 수출확대를 위해서는 CO_2 감축 협정내용을 필히 달성해야 할 것이다. '80년대 자동차 배출가스 규제가 자동차의 중요한 무역장벽으로 작용한데 이어 CO_2 배출가스 규제는 제2의 자동차 무역장벽으로 작용할 가능성이 높다. 현재 국내 승용차 CO_2 배출량은 평균 220g/km 수준으로 유럽의 평균 186g/km와 비교하면 상당히 높은 실정이며 특히 EU와의 협정내용을 달성하기 위해서는 기술개발에 상당한 노력이 요구되어진다. 따라서 자동차 제작업계에서는 단기적으로는 연비개선의 기술개발과 장기적으로는 대체연료 자동차 개발에 기초한 자동차 산업구조개선이 이루어져야 할 것이다.

4. 배출저감 달성을 위한 국가 대응방안

앞에 제시한 저감수단중 환경친화적 교통문화 정착은 비용 효과적인 대책임이 분명하나 국민 개개인의 실천이 뒷받침되어야 한다는 전제하에 불확실한 요소가 많으므로 저감잠재량을 추정하는데도 어

려움이 따른다. 때문에 이를 기초로 장기적인 국가의 저감전략을 수립하기에는 어려움이 있다. 결국 불확실성을 최소화하고 효과를 기대할 수 있는 대책은 기술개발을 통한 연비개선과 기술개발을 유도하고 연비가 개선된 차량을 보급할 수 있는 제도적인 장치마련이다.

4.1. 기술개발 강화

연비관련 기술개발은 대규모의 기술개발 투자가 필요한 사업이기 때문에 선진외국에서는 자국의 자동차 업계의 경쟁력을 유지할 수 있도록 정부 지원하에 업계와 컨소시움 형태로 공동개발이 추진되고 있다. 우리 정부는 G7 프로젝트나 기타 지원책 등을 통하여 자동차 연비기술과 관련된 연구를 진행할 수 있는 여건을 조성하고 있으나 규모 면에서 선진국과 비교하여 영세성을 면치 못하고 있는 실정이다.

차량의 연료소모는 공기저항, 구름저항 및 브레이크 손실의 차량부분과 엔진 및 보기류 손실, 동력전달 손실 및 아이들 손실로 크게 구분할 수 있다. 차량의 연비 향상 기술개발은 이러한 손실을 감소하는 방안을 마련하는 것으로서 각 부분의 손실 개선으로 차량 전체의 연비개선 여력을 예측할 수 있다.

차량 연비기술 개발의 대전제 조건은 현재 승용차의 차량 성능을 유지하면서 연비 향상을 추구하는 것이다. 연비의 향상은 차량의 중량 감소와 밀접한 관련을 갖고 있는데, 3배의 연비 달성을 위해서는 엔진 효율이나 재생 브레이크의 획기적인 효율을 전제로 한다고 해도 차량 중량을 20-40% 정도 줄여야 하며 이를 위해서는 경량재질의 개발이 동시에 진행되어야 한다(한상명, 1999).

1995년 유럽 차량의 연비를 기준으로 2005년에 시장에서 실용화가 예상되는 기술 및 차량별 시장에서의 적용 정도를 근거로 예측된 CO_2의 감축 효과는 연소 효율 향상으로는 약 7%, 엔진 성능 향상으로는 약 4.4% 정도를 기대하고 있다.

다음 <표 Ⅳ-9>는 연료 소비율 및 CO_2 감축에 미치는 인자 및 효과를 유럽 시험 모드를 기준으로 예측한 것이다. 엔진의 연료 소비율 감소는 직접적으로 차량 연비에 영향을 미치고 있으며, 공기저항이나 구름 저항보다는 차량 중량의 감소가 더욱 효과적인 것으로 나타나고 있다.

<표 Ⅳ-9> 연료소비율 및 CO_2 감축에 미치는 인자 및 효과

10% 감소 항목	연비 및 CO_2 개선 효과
차량 중량	3.5 - 5 %
공기 저항 계수	1.5 - 2 %
마찰 저항	2 %
전달 마찰 손실	6 %
엔진 연소 소비율	10 %

자료: 한상명,「승용차의 CO_2 저감기술」, 자동차공학회지, 1999. 10.

그러나 차량의 안전도와 배출가스 규제는 CO_2 감축 기술의 확대에 큰 걸림돌로 작용하고 있으며, 이러한 관점에서 북미에서는 연비 향상을 위한 노력을 비판적인 시각으로 평가하기도 한다. 또한 현재의 가솔린 엔진에 대한 기술만으로는 가능한 CO_2의 감축량이 제한되어 있다.

실제 저연비 자동차로 널리 주목받는 기술은 연료전지와 하이브리드 차량의 개발이다. 연료전지 차량은 현재 연구 초기 단계이나 하이브리드 차량은 양산 중이거나 양산을 앞두고 있다.

CO_2 배출 규제에 대응하기 위한 기술적인 대안을 요약하면 아래와 같다.

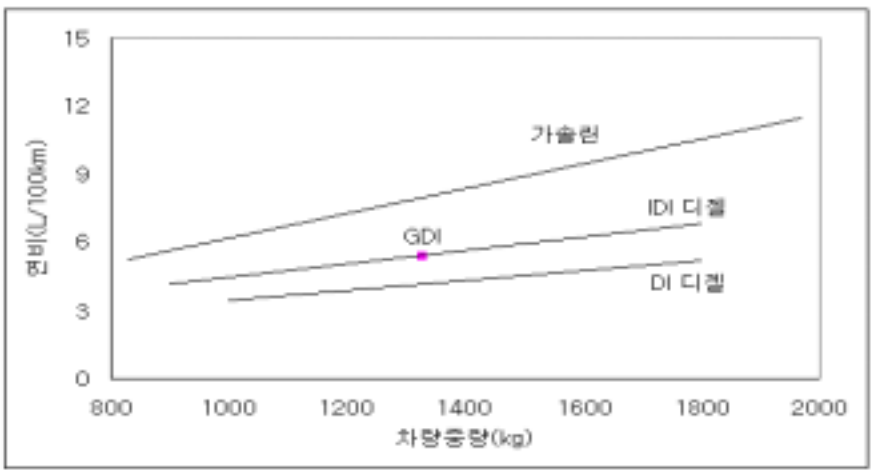
<표 Ⅳ-10> CO_2 배출저감 기술요약

차량측면의 연비개선 기술	· 경량화 기술: 설계기술 향상, 전륜구동화, 경량재료로의 대체 등 · 공기저항 감소: 차체 형상개선(설계의 최적화) 등
엔진 본체의 연비개선 기술	· 가솔린직접분사(GDI)엔진 기술 · 초희박엔진기술 · 고압축비화 기술, 전자제어에 의한 최적화 엔진제어 기술 등
대체연료자동차 기술 개발	· 전기(연료전지), 하이브리드, 수소자동차 개발 등

선진외국에서는 고도의 연비향상 기술개발을 21세기 자동차산업의 최우선 역점사업으로 보고 있으며, 이에 따라 자동차 연료소비효율을 현재의 1/3 수준인 3ℓ/100㎞로 향상시키기 위한 자동차기술 개발사업을 계속적으로 진행시키고 있는데, 예를 들면 미국의 Super Car Project, 유럽의 3ℓ Car 프로그램이 대표적이다.

CO_2 규제에 대응하여 앞으로 세계 자동차시장에서 경유자동차 수요가 증가할 것으로 예상되는데 이것은 디젤엔진 사용이 증가할 것이라는 것을 의미한다. 그러나 현재까지 승용차부문에서 가장 많은 시장 수요를 점유하고 있는 가솔린엔진 또한 연료의 경제성이 거론되면서 디젤엔진과 같은 희박연소를 구현하기 위한 연구가 진행되고 있으며 이에 따라 직접분사식 엔진기술이 대중화될 것으로 예측하고 있다. <그림 Ⅳ-5>는 가솔린과 디젤의 차량 중량별 연비를 나타낸 것으로 동일한 중량 차량의 경우 DI 디젤엔진이 연비면에서 훨씬 유리함을 알 수 있다.

<그림 Ⅳ-5> 엔진별 연료소비율 비교



석유계 연료의 고갈과 함께 천연가스자동차, 전기자동차 및 하이브리드자동차 같은 저공해 대체연료자동차의 개발·보급을 위한 연구도 활발히 진행되고 있는데, 이들의 사용은 향후 자동차시장의 약 10%를 점유할 것으로 예상되고 있다. 현재 우리나라 승용차의 평균 CO_2 배출량은 약 220g/km 수준으로 현 기술능력으로는 EU와 체결한 감축목표 달성은 어려울 것으로 예상된다. 따라서 직접분사방식엔진, 하이브리드엔진, 디젤 승용차 개발 및 기타 연비향상 기술개발 등에 주력해야 할 것이며 장기적으로는 대체연료 자동차 기술개발에 노력해야 할 것이다.

4.2. 제도적인 대응책

자동차 제작사로 하여금 앞에 제시한 연비개선이나 대체연료 자동차의 기술개발에 투자할 수 있도록 정부에서 제도적인 대책을 마련하는 것 또한 중요하다. 우리나라는 단순효율표시의 연비제도가 정착된 '93년이래 자동차의 연비는 개선을 보이고 있지 않다(자동차회보,

1999). 이에 따라 현행 연비제도를 생산관리를 수반하는 연비제도로 전환하여 일정기준 미달차량에 대해 기술개발 등의 의무부과나 연비 개선 자동차에 대한 지원방안 등이 필요하다. 또한 자동차 제작사와 자동차 운전자들이 더욱 연료 효율적인 차량을 개발하고 선택하는데 영향을 미칠 수 있는 시장 지향적인 대책을 수립하여야 한다. 제도적인 대응방안을 아래에 몇 가지로 제시하였다.

① Feebate 제도 도입 검토

더욱 연료효율적인 자동차 판매를 촉진하기 위한 재정적인 대책으로 (대부분 국가에서 활용) 기준연비를 초과 또는 하회하는 수준에 비례하여 차량판매가격등에 fee(세금) 또는 rebate(환불)를 부여하는 feebate제도 도입을 고려한다[25].

② 소비자 연비정보 계획 수립-환경친화적 교통문화 실천

양산되는 차량의 연비(공인연비)가 아무리 높아도 운전자의 운전습관에 따라 도로상의 실주행연비가 크게 달라진다는 것은 이미 알려진 사실이다. 따라서 연비에 대한 소비자의 인식을 향상시키도록 친환경적 교통문화 정착을 위한 홍보 & 교육프로그램이 강화되어야 할 것이다. 특히, 트럭운전자들에게 연료 효율적인 운전기술을 훈련시키는 것과 적절한 시간관리가 병행될 때 트럭회사는 상당한 절약효과를 거둘 수 있다는 것도 권장할 만한 홍보 사항이다.

③ 저연비 차량에 대한 세제혜택 등 인센티브 제공

제작사에서 막대한 비용을 투자하여 고성능연비 자동차를 개발해도 현재 국내에서는 지속적인 개발의 동기부여나 판로가 확실하지 않다.

---

25) 요금감면 계획은 현재 캐나다 온타리오주에서 시행되고 있는데 그곳에서는 6ℓ/100㎞ 기준을 초과하는 모든 차량에 대하여 75C$~4,400C$의 연료 소비와 관련된 세금이 부과된다. 이러한 기준 하에서 연료 효율 등급을 가진 자동차 구입자들은 100C$에 이르는 환불로부터 이익을 얻을 수 있다

따라서 자동차업계에서 계속적으로 연비가 우수한 차량을 개발할 수 있도록 세제혜택과 같은 각종 인센티브 부여 방안을 강구하여야 할 것이다.

④ 기술개발 R&D의 체계화

자동차에서의 이산화탄소 배출규제 문제는 국제적인 협상에의 대응과 함께 우리나라 자동차의 연료절약과 환경보전측면에서도 매우 중요하다고 하겠다. 따라서 자동차산업의 육성 및 수출전략과 연계하여 R&D에 효율적인 투자가 이루어져야 하므로 2001년에 종료되는 G7 사업과 산업자원부의 G7 차세대자동차 사업을 연계하여 체계적으로 지원할 필요가 있다.

⑤ 기술개발 자금지원 확대

현재의 기술능력으로는 감축목표 달성이 곤란하고, 목표 달성을 위해서는 막대한 투자비가 소요되므로 제작사 자체능력으로는 대응에 어려움이 많다. 따라서, 자동차 CO_2 배출저감을 정부의 정책과제로 선정하여 자금지원을 확대할 필요가 있는데 예를 들면 환경부의 환경개선부담금중 일부를 CO_2 기술개발 자금으로 지원하는 것도 한 방법이다.

⑥ 에너지가격(연료가격)의 구조 합리화

일본에서 휘발유 가격의 하락으로 휘발유 차량에의 연비개선 노력이 부족했던 사례나, 서유럽에서 고유가 정책을 유지함으로써 차량연비가 소비자의 구매에 크게 영향을 미쳐 소형 승용차의 강세와 경유승용차 시장의 지속적인 발전이 유지된 사례는 연료가격이 기술개발과 소비행태에 중요한 영향을 미친다는 것을 시사한다. 따라서 선진외국의 사례를 교훈으로 연료의 환경성을 고려하여 앞으로 에너지가격이 합리적으로 조정되어야 할 것이다.

⑦ 자동차 제작사와의 CO_2 배출저감 협정체결

우리나라 자동차 제작사들이 차량 기술 개선을 통하여 자동차로부터의 CO_2 배출을 감소시킬 것을 약속하는 협정을 정부와 체결(유럽과 유사한 제도 도입)함으로써 제작사가 자발적으로 저감할 수 있는 제도적인 장치를 마련하도록 한다. 이의 한 방안으로 경유승용차의 개발·보급에 대한 정부의 입장을 자동차 제작사와 합의하여 설정하고 필요시 국가의 장기계획을 수립하여야 할 것이다. 현재 제작사에서는 경유승용차 개발이 유럽에의 승용차 수출에 필수적이라는 입장이다. 그러나 자동차로 인한 대기오염의 주요원인이 경유자동차라는 인식이 국가 전체를 통해 팽배되어 있을 뿐만 아니라 경유자동차의 보급확대정책은 지금까지의 정부 정책기조에 상충되므로 내수시장에서 경유승용차를 보급하기에는 어려움이 예상된다. 따라서 자동차 제작사는 기술개발을 통해 경유자동차가 더 이상의 오염차량(dirty vehicle)이 아니라는 것을 정책 결정자들에게 납득시키고 궁극적으로 일반국민들을 인식시키는 홍보에 많은 노력을 기울여야 할 것이다.

⑧ 수송부문 배출량조사 체계 개선

본 연구에서는 수송부문중 자동차에 국한하기는 하였으나 처음으로 tier 2방법을 이용하여 차종별 CO_2 배출량을 산정하고 이에 따라 저감방안을 제안하였다. 그러나 tier 2방법으로 배출량을 산정하는데는 우리나라의 많은 기초 통계자료가 필요하고 통계자료의 신뢰성 여부에 따라 배출량 산정결과도 의미를 갖는다. 이러한 관점에서 본 연구에서 처음으로 시도한 tier 2방법은 계속 보완할 필요가 있는데 이를 위해 차종별 CO_2 배출계수를 비롯하여 tier 2 방법의 산정에 필요한 신뢰할 만한 기초자료가 국가차원에서 확보되어야 한다. 또한 장기적으로는 보다 정교한 tier 3 방법으로 자동차를 비롯한 수송부문 전체의 온실가스 배출량이 산정될 수 있도록 연구와 제도가 마련되어야 할 것이다.

Ⅴ. 결론

앞서 살펴본 바와 같이 우리나라 수송부문 CO_2 배출은 전체 CO_2배출량중 약 21%로 높은 비율을 차지하고 있다. 또한 도로부문의 배출량이 2000~2010년 동안 약 84% 이상을 차지할 것으로 전망되어 수송수단중 자동차의 위치가 점차 커질 것으로 예상된다. 자동차에서의 이산화탄소 감축문제는 전세계 선진국의 공통된 사항으로 급기야는 EU의 신차협정이라는 국제적인 규제로까지 발전해가고 있으며 이에 따라 각국마다 구체적인 대책들이 개발되어 이행되고 있다. 또한 최근 국제사회에서는 비도로 수송수단인 항공과 선박의 국제연료에 대한 배출규제 움직임과 대책들의 필요성이 거론되고 있어 수송부문의 온실가스 저감대책은 기후변화협약 대응에서 중요한 이슈가 될 전망이다.

본 연구결과에 의하면 1997년 우리나라 자동차의 차종별 CO_2 배출비중은 승용차가 약 33.1%로 차종중 가장 높은 것으로[26] 나타났으며 대형트럭이 그 다음으로 26.1%를 차지하였다[27]. 이것은 바로 이산화탄소 배출문제에 있어서는 연료효율이 경유보다 낮은 휘발유자동차가 크게 기여한다는 것을 시사한다. 또한 우리나라는 대형트럭에서의 배출이 25%로 큰 비중을 차지하고[28] 있는 것으로 나타나 효과적인 자동차에서의 이산화탄소 배출저감대책은 주로 승용차부문과 트럭의 화물수송부문에 초점이 맞추어지게 된다.

자동차 CO_2 배출저감을 위한 실현가능한 대책으로는 연비개선과 환경친화적인 교통문화정착이 대표적이며, 이러한 대책들로 저감잠재량을 산정한 결과, 2010년에 우리나라 도로에서 운행되는 모든 차량의 연비가 10% 개선되고 소비자들의 환경친화적인 교통문화가 어느

---

26) 이러한 경향은 선진외국과 유사한데 일본의 경우는 자가용 승용차로부터의 배출비중이 1995년 53%를 차지하였고 미국은 1996년 36.6%로 나타났다.
27) 2010년에는 승용차 배출비중이 35%, 대형트럭은 25%로 예측되었다.
28) 일본의 경우에는 자가용 화물차 13%, 영업용 화물차 17%이다.

정도 정착되는 경우에는 2010년의 배출량을 1997년 수준으로 유지할 수 있는 것으로 나타났다. 이를 달성하기 위해서는 앞으로 많은 노력이 필요한데 연비개선의 기술개발 및 다음에 제시한 제도적인 개선책들이 마련되어야 할 것이다.

① Feebate 제도 도입 검토
② 소비자 연비정보 계획 수립-환경친화적 교통문화 실천
③ 저연비 차량에 대한 세제혜택 등 인센티브 제공
④ 기술개발 R&D의 체계화 및 자금지원 확대
⑤ 에너지가격(연료가격)의 구조 합리화
⑥ 자동차 제작사와의 CO_2 배출저감 협정체결
⑦ 수송부문 배출량조사 체계 개선

앞으로 우리나라는 EU와의 신차협정 체결로 자동차 CO_2 배출저감이 21세기 자동차 산업에서 또 다른 진통으로 작용할 전망이다. 이에 따라 자동차 업계에서는 직접분사방식엔진, 하이브리드엔진, 디젤승용차 개발 및 기타 연비향상 기술개발 등에 주력해야 할 것이며 장기적으로는 대체연료자동차 기술개발에 노력해야 할 것이다. 또한 정부는 자동차 제작사가 연비개선과 대체연료자동차의 기술개발에 투자하도록 동기를 부여하고 소비자가 이러한 차량을 선택할 수 있도록 보다 시장지향적인 대책을 수립하여야 할 것이다. 이러한 맥락에서 연료효율적인 경유승용차의 개발·보급에 대한 국가의 장기계획 수립이 필요한 시점이다.

참고문헌

건설교통부, 『기후변화협약 범정부 대책기구 제12차 실무대책회의』, 에너지・산업대책반, 1999. 5.

과학기술부, 『기후변화협약과 연계된 에너지 원천기술 기획』, 한국에너지기술연구소, 과학기술부, 1998. 6.

국무조정실, 『기후변화협약세부추진과제 모음집』, 1999. 8.

김성익, 「EU와의 CO_2 감축협정 체결 의의와 과제」, 자동차회보, 8월호, 통권제125호, 자동차공업협회, 1999. 8.

산업자원부, 『기후변화협약관련 국가보고서 작성 및 대응방안 연구』, 1995. 12.

산업자원부, 『기후변화협약 대응 실천계획 수립을 위한 연구: 1차년도』, 산업자원부・에너지경제연구원, 1997. 12.

산업자원부, 『기후변화협약 대응 실천계획 수립을 위한 연구: 2차년도』, 산업자원부・에너지경제연구원, 1998. 12.

이영재, 「공인연비와 실주행연비」, 자동차회보, 6월호, 통권제123호, 자동차공업협회, 1999. 6.

이영재, 「국내・외 자동차 연비제도 현황」, 자동차회보, 7월호, 통권제124호, 자동차공업협회, 1999. 7.

한상명, 「승용차의 CO_2 저감기술」, 자동차공학회지, Vol. 21, No. 5, 한국자동차공학회, 1999. 10.

현충헌외, 「대형 디젤엔진의 연료 소비율 및 유해 배출가스 저감기술」, 자동차공학회지, Vol. 21, No. 5, 한국자동차공학회, 1999. 10.

환경부, 『자동차 배출가스 종합대책』, 1995. 11.

환경부, 한국환경정책・평가연구원, 『지구온난화 알고 대처합시다』, 1999.

환경부, 『환경백서』, 1997.

Car Lines, "Recent Trends in US Greenhouse Gas Emission", *Car Lines*, December, 1998.

ECMT, *CO_2 Emissions From Transport*, European Conference of Ministers of Transport, OECD, 1997.

FCCC/SBSTA/, "Detailed Information on Electricity Trade and International Bunker Fuel", SBSTA Third Session, FCCC/SBSTA/1996/9/Add.2

FCCC/SBSTA/, "Emissions Resulting from Fuel used for International Transportation", SBSTA tenth session, FCCC/SBSTA/1999/INF.4.

http://www.kama.or.kr

http://www.petronet.org

IPCC, "Summary for Policymakers Aviation and the Global Atmosphere", IPCC, 1999.

Japan, *1995년도 운수관계 에너지 요람*, 평성10년.

Japan, *Japan's Second National Communication Under the United Nations Framework Convention on Climate Change*, The Government of Japan, 1997.

Japan, *일본 환경백서*, 평성9년.

Makoto Akai, "Challenge Toward a Climate Change", *Engine Technology,* Vol. 1, No. 1, 1999.

US, *Climate Action Report*, 1997.

[부록 Ⅰ] 외국의 수송부문 이산화탄소 저감대책

수송부문이 온실가스, 특히 이산화탄소의 주배출원이며, 기후변화에 상당한 기여를 하고 있다는 것을 인식함으로서, EMCT(European Conference of Ministers of Transport)가 1996년 회원국들에 대하여 수행한 각 나라들의 수송 관련 이산화탄소 저감 문제 대응책을 아래에 제시하였다[29]. 질문서에 대한 응답에서 각국 정부들이 수송체계의 조직, 운영 및 이용 방식에 있어서의 변화가 필요함을 인식하고 있다는 것을 보여준다.

CO_2의 저감 대책으로는 정부주도의 규제적인 대책 또는 경제적인 수단 이외에도 산업분야에서의 자발적인 주도 등이 있다. 각 나라마다 자국의 특수한 경제적·규제적 상황을 가지고 있기 때문에 정책들은 나라마다 다를 것이다. 그러나 일반적으로 이산화탄소 배출 저감을 위하여 가장 빈번하게 목표로 삼고 있는 정책 범주로는 다음의 대책들이 있다.

▲수송 체계의 구조와 운영을 개선한다.
▲차량의 연료 효율을 증가시킨다.
▲운전자의 태도를 변화시킨다.
▲대체연료에 대한 가능성을 개발한다.

1) 수송 체계의 구조와 운영개선

교통관리의 개선, 대중 교통수단 개선을 비롯하여 토지이용과 수송

29) 부록 Ⅰ은 참고문헌 'EMCT, *CO_2 Emission From Transport*, European Conference of Ministers of Transport, OECD, 1997.' 의 내용을 요약·정리한 것이다.

계획의 통합 등은 장기적인 면에서 환경친화적인 수송체계 개발의 중요한 요소이며 또한 이산화탄소의 저감에도 기여할 수 있다.

교통관리의 개선은 무엇보다도 도로상에서 자동차수를 줄이는 것, 더욱 효과적인 주차 정책, 활용 가능한 교통관리 기술의 이용 등을 들 수 있다.

가) 교통관리 개선

(1) 도로상에서 자동차수를 줄이기 위한 시책

▪ 자동차 나누어 타기

각 개인들과 단체들이 자동차를 나누어 타는 기회를 마련하도록 장려하는 것은 특정 지역에서 도로상의 자동차 수를 줄이고 특히 러시아워에 교통을 개선하는데 있어서 효과적인 것으로 보인다. 사실 대부분의 도시에서 자동차의 평균 승차인원(occupancy)은 1.5 이하이다(ECMT/OECD, 1995). 이것은 자동차 소유 비율과 수입수준의 증가, 여성 노동 인력의 증가, 가사 일을 하는 여성의 수 감소 등이 그 원인이 된다. 자동차 승차인원이 낮다는 것은 자동차 운행의 증가 및 에너지소비와 배출의 증가를 의미한다(US DOE, 1996).

'자동차 나누어 타기'는 주로 자동차 수의 감소에 따른 이익이 가장 명백히 나타나는 혼잡한 지역에서 이행된다. 다른 수많은 교통관리 수단과 마찬가지로 이산화탄소 배출에 대한 자동차 나누어 타기의 효과는 생산능력(capacity) 증가에 의해 박차가 가해진 보이지 않는 거대한 수요에 의해 감소될 수 있다(US DOE, 1996). 최근 몇 년간 특히 미국에서 카풀에 대한 수많은 실험이 수행되었고, 다양한 결과들이 나왔다. 개개인에 대하여는 이러한 대책을 체계화시키는데 요구되는 시간과 노력의 투자에 비해 얻을 수 있는 이익은 많지 않은 것으로 보인다. 고용주들에게 대책을 계획하고 관리하는 책임을 부과할 때 이러한 대책이 교통관리 수단으로써 더욱 효과적일 수 있다

(ECMT/OECD, 1995). 1998년 캘리포니아에서 시행한 대책은 고용주들이 운행 감소 프로그램을 시행하도록 요구하는 규정이었는데, 카풀이 14.1%에서 19.9%의 완만한 증가를 보였고, 프로그램 시행 첫해에 혼자 운전하여 출근하는 종업원의 비율이 5.2% 감소하였다. 그 후 2년 동안의 연구조사 결과 혼자 운전하는 사람의 수가 6% 정도 감소하였고, 카풀은 40% 정도 증가하였다. 반면에 대중교통이용과 기타 걷기와 자전거타기 같은 방법들은 각각 4.3%와 6.9% 감소하였다. 직장으로 그리고 직장에서의 통근 운행량은 미국의 보통 가정의 자동차 운행량의 1/3 이하라는 것에 주목할 필요가 있다(1994 Cambridge Systematics study cited in US DOE, 1996).

이러한 경험은 고용주와 일반가정 모두에게 자동차 나누어 타기를 장려하는 정책이 더 나은 결과를 유도할 수도 있다는 것을 입증한다. 고속도로 HOV(high-occupancy vehicles) 전용 차선제와 탑승자 수를 토대로 한 도로 사용료 부과를 결합한 정책이 '자동차 나누어 타기' 프로그램의 성공을 더 용이하게 할 수도 있다.

▪ 컴퓨터를 이용한 재택근무

재택근무의 기회를 장려하는 것 역시 특히 통행량이 최대가 되는 시간에 통근 차량 교통량을 줄일 수 있다. 최근 몇 년 동안에 원격통신(즉, 팩시밀리, 전자메일, 데이터 베이스 관리 시스템)의 주목할 만한 발전과 함께 근로자들은 근무장소에 대하여 더 많은 유연성을 가지게 된다. 자신의 가정에서 회사로 통신연결을 통하여 성공적으로 일하는 근로자의 수가 점점 증가하고 있다.

1992년 미국 내 조사에서 노동인구의 3.3%에 해당하는 420만명의 근로자가 컴퓨터로 재택근무를 하고 있었는데 이것은 그 전해 보다 27% 증가한 수치였다. 미국 수송연구부는 재택근무자의 수가 2000년경에는 1,000만명, 2010년에는 3,000만명 이상, 2020년에는 5,000만명 정도까지 증가할 것으로 보고 있다(US DOT, 1993).

그러나 '자동차 나누어 타기' 계획과 마찬가지로 이산화탄소 저감

에 대한 재택근무의 효과는 그렇게 크기 않은 것으로 평가된다. 미국 에너지부에 따르면 혼잡시간 대에 속도가 향상되어지면 더 많은 통근자들이 도로를 이용할 것으로 예상된다. 더욱이 통근 비용의 절감으로 도시 거주민들의 분산이 증가될 것으로 예상된다. 이러한 상쇄적인 효과들이 재택근무자 증가에 의한 긍정적인 영향을 반으로 경감시킬 것으로 예상된다. 그럼에도 불구하고 DOE 보고서는 예상되는 재택근무자 수의 증가는 아래와 같은 장점이 있다고 설명한다.

- 통근자들이 허비하는 시간을 년간 1억 6천만시간 정도 줄일 수 있다.
- 도시 고속도로와 도로 건설에 소비되는 비용을 약 150억불 저감할 수 있다.
- 연료는 15억 갤런 절약하고, 이산화탄소는 1,000만 톤 정도 저감할 수 있다.

(2) 더욱 효율적인 주차 정책

주차용량의 효율적인 관리를 장려하기 위한 정책은 혼잡과 환경에 대한 영향을 감소시키는데 도움이 될 수 있다. 주차경비는 OECD 국가들이 교통량 억제를 위해 가장 광범위하게 사용하는 대책이다.

주차관리 대책은 예상치 않은 효과가 발생할 수 있기 때문에 신중하게 설계되어야 한다. 공급과 수요의 균형이 민감한 문제이다. 용량을 증가시키는 것은 더 많은 수요(더 큰 혼잡)를 촉진시키는 위험을 가져온다. 1992년 네덜란드 에너지·환경청에 의해 수행된 연구에 의하면 운행자들이 주차장소를 발견하는데 따른 어려움 때문에 장거리 운행자들보다 단거리 운행자들에게 훨씬 더 설득력이 큰 것으로 나타났다. 이 연구에서 단거리 운행 교통량이 줄어들면 장거리 운행을 위한 주차용량이 새로이 만들어지게 되고 따라서 교통량-억제 목적은 의미를 잃게 될 수도 있다는 사실이 밝혀졌다.

미국에서는 “parking cash out" 이라는 혁신적인 시스템이 캘리포니아 주에서 운영되고 있으며, 종업원들을 위하여 회사가 보조금을

지급하는 주차제도를 수정하기 위하여 연방차원에서 토의가 진행 중에 있다. parking cash-out 체제하에서 고용주들은 모든 근로자들에게 주차 보조금과 동등한 가치의 면세 허용의 선택권을 제공하도록 요구되며, 이것은 대중교통수단과 카풀을 포함한 다양한 수송수단 선택에 이용될 수 있다. 이러한 방법으로는 보조금의 효과(즉 본질적으로, 일터로 개인 차량을 가지고 오는 종업원에 대한 유인책이 됨)가 감소된다. 이 시스템은 캘리포니아에서는 강제적이지만, 연방차원에서는 가능성 있는 임의의 방책으로서 더 조사가 진행되고 있다. 이 대책의 시행으로 직장으로 혼자 운전해 가는 근로자의 수가 70%에서 55%로 감소된 것으로 평가된다(ECMT/OECD, 1995).

(3) 교통관리에 대한 활용 가능한 기술의 이용

혼잡과 지역 및 지구전체 환경에 대한 그 효과를 완화시키는데 도움을 줄 것으로 기대되는 다양한 기술적 장비들의 활용 가능성이 높아지고 있다(특히 telematic motorist information systems과 개선된 교통 신호 체계). 때를 맞추어 가정이나 직장 컴퓨터로 telematics를 통해 유포된 정확한 정보는 운전자들이 활용 가능한 주차장과 대안적인 여행 경로에 주목하면서 가장 효율적인 운행계획을 세우는데 도움을 줄 수 있다. 추가로 교통신호 타이밍을 최적화하기 위한 혼잡 및 사고 감지기 시스템을 사용하고 운행중인 대중 교통 차량에 우선순위를 주는 통합된 실시간 컴퓨터 프로그램은 교통 관리에 도움이 될 수 있다. 일본, 미국, EU는 도로 수송에 활용할 수 있는 정보기술의 연구 개발에 상당한 자원을 투자하였다. 향후 10년 이내에 이러한 개발이 교통 관리자와 수송 이용자들에게 활용 가능한 정보를 상당히 개선시길 것으로 기대되며, 따라서 더욱 효율적인 운전과 더 많은 연료 절약으로 이끌어 갈 것이다(ECMT/OECD, 1995).

최근에 디지털 화상과 번호판 판독 기술에 기초한 자동 차량 확인법을 이용하여 바르셀로나와 볼로냐 중심 시가지에 대한 접근 통제가 시험되었다. 바르셀로나의 "특별 사고" 지역에 대한 시험 결과는

다음과 같다.

- 그 지역내에서 운행시간이 평균 18% 감소
- 그 지역으로 들어가는 통행량이 33% 감소
- 도시 내에서 대중 교통수단을 이용한 이동이 55% 증가

다른 혼잡 감소대책과 마찬가지로 진보된 정보기술을 이용한 교통관리의 개선은 실제로 더 큰 수용력으로 이어지고 그 결과 운행 수요의 증가 및 에너지 이용과 배출의 증가로 이어질 수도 있다(NRC, 1995. 1996, US DOE에서 인용). 그러나 연료가격 책정과 도로사용료 및 혼잡료 체계를 통하여 개인 차량 사용의 증가를 제한하는 것이 수요 증가로 인한 상쇄효과를 제거하는데 도움을 줄 수도 있다.

▪ 도로 사용료 부과

진보된 기술을 이용하는 수송체계에 대한 해결책은 특히 도로 사용료 부과를 용이하게 하는 문제에 관심을 두고 있다. 차량의 도로 이용에 대한 정확한 추적(위치, 시각)이 정확한 도로 사용료 부과 대책을 위하여 필요하다.

도로 사용료 부과는 도로 유형에 따라 설정된 킬로미터당 운임과 각 도로 유형에 대하여 운전한 킬로미터 수가 전자공학적으로 기록되는 시스템을 포함한다. 지불은 정확한 요금 액수가 차변에 기입되는 선불 카드의 형태로 처리될 수 있다. 그 수입은 각각의 기반시설 소유자(예: 자치 단체)에게 할당된다.

일반적인 전자 도로사용료 부과 시행을 준비하기 전에 도로 사용료에 대한 기술적, 행정적인 양상 모두에 대한 계속적인 조사가 필요할 것이다. 도시지역에서의 도로 사용료 책정은 당면한 선택사항이 될 수도 있다. 오스트리아에서는 5가지 핵심 프로그램의 일부로서 도로 사용료 부과를 적용할 계획으로 있다. 네덜란드는 2000년 이후 도로 사용료 부과의 도입을 검토하고 있다. 스웨덴 역시 도로 사용료 부과에 대한 가능성을 조사하고 있다. 도로 사용료 부과 대책에 따른

개인의 사생활 문제가 표면화될 수 있다(Wachs, M., 1994, 1996 US DOE에서 인용). 그러나 운전자의 익명성을 보장하는 자동 지불 체계 같은 옵션이 사생활 문제를 완화시킬 수도 있다.

교통관리를 용이하게 하고 개선시키기 위한 기술은 현재 활용의 초기단계일 뿐이다. 따라서 이들이 혼잡을 상당히 완화시킬 것이라는 것을 증명할 수는 없을 것이다. 그러나 사회적 및 기타 장애들이 극복될 수 있다면 이러한 기술이 혼잡문제를 완화시키는 열쇠가 될 수도 있다.

나) 대중 교통체계의 개선

대중 교통 체계 하나만을 개선하는 것은 운전자들이 대량 수송을 위하여 자신의 차를 포기하는데 대한 충분한 인센티브를 제공하지는 않을 것이다. 그러나 대중교통 발달은 지속 가능한 일괄 수송정책의 본질적인 부분이다. 신뢰할 수 있고, 효율적인 대중 교통기관의 유용성을 보장하는 것은 자동차 운행의 필요를 최소화시킬 수 있다. 고품질의 대중교통은 도시 중심지역에서의 직업과 상업적 활동을 유지하고 도시 거주민들의 장거리 운행의 필요성을 감소시키는데 도움을 줄 수 있다. 그러한 대중교통 체계 없이는 지속 가능한 수송정책에 있어서 중요한 요소인 modal switching은 아마 불가능할 것이다. 보다 개선된 대중교통 서비스에 대응하여 자동차 사용에 있어서의 감소가 수반되지 않는다면, 교통혼잡과 배출은 거의 개선되지 않을 것이다.

1996년 질문서의 응답에서 보여진 것처럼 ECMT 국가들은 수송수단으로부터 이산화탄소를 저감시키기 위한 계획의 중요한 일부로서 대중 교통체계의 개선을 검토하고 있다. 1996년 조사에 대한 응답에서 ECMT 국가들에 의해 보고된 대책은 보조금의 이용 또는 다른 형태의 정부투자를 통하여 대중 교통수단에 대해 우선적으로 지원하는 것이었다. 많은 국가들이 보조금과 투자 패키지는 고품질의 수송체계와 서비스를 보장하는데 근본적 요소라는 것을 믿고 있기는 하

나, 승객을 끌어들이고 유지하는데 충분하지 않을 수도 있다. 대중교통기관의 경쟁 역시 승객 요구, 비용 회수, 전체 시스템의 효율성에 대해 더 나은 대응을 필요로 한다. 운전자들이 가능하다면 대중교통수단을 선택하도록 장려하는 홍보운동 역시 대중교통 이용을 증가시키는데 도움이 될 수도 있다.

다) 토지이용과 수송계획의 통합

수송체계의 장기적인 효율의 열쇠는 토지이용 계획자와 수송체계 개발을 설계하고 이행하는 의무를 가진 사람들 사이의 의미있고 지속적인 대화이다. OECD 국가들은 이러한 견해에 대해 협정을 성립시키는데 어려움이 있었는데, 이것은 도시 중심지역에서의 심각한 혼잡과 가끔씩 발생하는 무질서한 도시 스프를 현상에 의해 입증되었다. 그러나 이들 나라들은 계획하고 있는 전략에 이러한 방식을 통합하기 시작하고 있다. 토지와 수송계획을 통합된 방식으로 개선하기 위하여 계획하거나 구상하고 있는 활동에 대한 설문응답에서 많은 EMCT 국가들은 여러 가지 예들을 인용하였다. 사람들이 생활하고 활동하는 장소를 고려함으로써 토지이용 정책은 운행의 종류, 운행거리, 이용하는 수송기관의 형태에 긍정적인 영향을 가질 수 있다.

토지이용정책과 수송에 관련된 온실가스 배출 사이의 연계성은 교통관리 대책과 이들 배출사이의 관계보다는 덜 직접적이다. 그럼에도 불구하고 토지이용정책의 중요성이 명백하게 나타난다. 효과적인 장기 토지이용계획은 자동차 운행의 필요성을 감소시킴으로써, 즉 운행중인 자동차 수를 감소시킴으로써, 그리고 대중 교통수단의 수용력을 최대화시킴으로써 수송과 관련된 배출의 수준에 영향을 미칠 수 있다.

토지이용계획은 여러 가지 방식으로 운행의 필요성을 제한할 수 있다. 이것은 주거, 근무지, 상업적 또는 기타 활동장소 사이의 거리를 최소화함으로써 가능하다. 특히 지난 50년 동안 OECD 국가들의 교통성장은 운행횟수의 증가보다는 운행거리의 증가에 더 많이 기인

되어질 수 있다는 사실에 적절하게 들어맞는다. 또한 토지이용계획은 운행중인 자동차 수를 줄인다는 관점에서 대중 교통수단이 제공하는 장점을 강화할 수 있다. 이것은 필요한 활동이 대중 교통수단에 의해 쉽게 접근할 수 있는 위치에 집중되어 있어야 한다는 것과, 새로운 주거, 상업적 및 사업 개발을 위하여 대중 교통수단에 의해 잘 지원되는 지역을 설정하는 것을 포함한다(ECMT/OECD, 1995).

보다 나은 교통관리, 대중 교통수단의 개선 및 토지이용과 수송계획의 통합은 자동차이용, 연료소비, 자동차 배출감소를 용이하게 함으로써 전체 수송체계의 효율을 강화한다. 이러한 방식에서, 그들은 지속 가능한 수송체계의 개발을 보장하는데 있어서 중요하다. 그러나 연구자료에 따르면, 이산화탄소 저감에 대한 이러한 정책의 직접적인 효과는 다소 제한되어 있는 것으로 보인다.

2) 자동차 연료효율과 연료가격 책정

자동차 연료효율은 이산화탄소와 다른 기체의 배출에 있어서 결정적인 요소이다. 현재 자동차 연료효율의 10% 개선은 온실가스 배출의 7~8% 감소를 가져올 수 있다. 연료절약은 차량의 크기, 무게, 동력 대 무게 비율을 감소시킴으로써 상당히 개선될 수 있으며, 뿐만 아니라 동력전달 계통 장치(엔진, 전동장치, 차축)의 효율을 증가시키고, 자동차를 움직이기 위하여 필요한 일(work)을 감소시키고, 타이어 압력을 증가시키는 것으로도 연료를 절약할 수 있다(ECMT, 1993a). 현재 활용가능한 기술의 이용과 더 나은 자동차 및 엔진 설계는 구체적인 이산화탄소 배출에 있어서 상당한 감소를 가져올 수도 있다. 그러나 일정 수준 이상에서는 차량 성능의 감소를 감수해야 한다. 최대 이용 가능 기술이 차이가 있을 수 있으나, 현재까지 이산화탄소에 대한 '기술적인 상태(technological fix)'에 대해서는 알려져 있지 않다는 것을 염두에 두고 있어야 한다.

가격책정과는 별도로 신규 자동차 연료절약 개선을 장려하기 위한 주요한 메카니즘은 기준, 목표, 요금할인 및 산업부문에서의 자발적

인 주도이다. 이러한 대책들의 효과, 특히 비용-효과를 둘러싼 적지 않은 논란이 이루어지고 있다. 사실 이들은 다양한 유용한 효과들을 제공하지만 수많은 불확실성을 가져올 수도 있다. 예를 들면 그들은 새로운 기술을 개발하려는 자동차 제작사에게 동기를 제공할 수 있고 성능 개선, 편안함, 안전성에서 보다 나은 연료절약으로 연구노력의 방향을 전환시킬 수 있는 반면에, 그들 효과의 장기적인 특성과 연구 결과를 확인하는 것이 힘들다. 이 대책들은 제조업자에게는 더욱 에너지 효율적인 소형차를 판매하도록 장려하고, 소비자들에게는 더욱 에너지 효율적인 소형차를 구입하도록 장려할 수 있다. 그러나 이러한 효과들은 대책이 적절할 경우에만 가능하다. 더욱이 자동차 연료절약을 향상시킬 수 있는 대책은 "반동효과(rebound effect)"로 알려져 있는 현상으로 유도될 수 있다. 자동차효율 증가는 총체적인 운전비용의 저하를 만들어내고 따라서 이에 따른 차량 주행거리의 증가와 자동차 구입에 있어서의 잠재적인 물결을 만들어냄으로써 원하는 총체적인 배출저감 효과에 반대되는 현상이 발생할 수도 있다 (Michaelis, 1996).

주로 자동차와 엔진 기술의 진보에 기인하여 자동차는 1975년부터 1990년대 초반까지 OECD를 통하여 연료효율이 많이 증가하였다. 유럽자동차제작사협회(ACEA: European Automobile Manufacturers Association)에 따르면 유럽에서 새로운 차량의 평균 연료소비량은 1980년 8.3ℓ/100㎞에서 1995년 7.1ℓ/100㎞로 약 15% 정도 감소되었다. 대부분의 OECD 국가에서 운행중인 차량의 평균 연료소모량은 대략 8~12ℓ/100㎞ 이고, 2.5~3ℓ/100㎞의 연료소모량을 가진 차량은 prototype형태로 생산되고 있다(IEA/OECD, 1993). 그러나 소비자들이 더 크고, 더 강력한 자동차를 구하려고 하는 경향이 계속되고 있어서, 제작사들이 연료를 더욱 절약할 수 있는 모델을 생산하는 것을 어렵게 만들고 있다. 이러한 이유 때문에 자동차 제작사와 소비자의 양쪽 부분에서 연료효율을 향상시키려는 노력을 촉진시키기 위하여 더욱 강력한 규제에 의한 수단과 경제적 수단의 결합이 필요할

수도 있다.

가) 새로운 자동차 연료효율에 대한 기준

연료효율에 대한 기준을 확립하는 것은 어떤 경우에 있어서는 연료절약에 긍정적인 효과를 줄 수 있으며, 이러한 장점은 설정된 기준이 연료가격 책정 정책 또는 더욱 연료 효율적인 자동차 구입을 장려하기 위해 설계된 자동차 세금/환불 대책과 함께 수행될 때 더욱 강화될 수도 있다. 1996년 조사에 대한 응답에서 체코 공화국과 러시아는 자동차 연료효율 기준을 설정하기 위하여 구상중인 계획을 언급하였다. 일본은 자동차 연료효율에 대한 더욱 강화된 목표를 언급하였다. 스위스는 새로운 1996년 연료절약 목표를 보고하였다.

미국은 현재 강제적인 자동차 연료효율 기준을 가지고 있는 유일한 ECMT 국가이다. 실질적으로 미국에서 새로운 자동차군의 효율은 1978년 18 mpg(13.2ℓ/100㎞)의 CAFE(Corporate Average Fuel Efficiency)기준의 설정 및 더 높은 가격 책정과 함께 1974년부터 1985년 사이에 2배가 되었다. CAFE기준은 이어서 1985년 27.5 mpg(8.6ℓ/100㎞)로 증가되었으나, 그 이후로 미국 내에서의 연료가격 저하는 소비자들이 이러한 더욱 효율적인 자동차를 구입하도록 조장하지는 못하였다(Nadis and Mackenzie, 1993). 실제로 더 크고, 더욱 강력한 자동차를 선호하는 경향이 중단되었던 유일한 기간은 1970년대 중반이었고 그때는 연료의 가격이 높았다. 또한 그 당시에 차체와 엔진을 소형화하는 것이 개선된 엔진 및 차체 기술의 유용성과 동시에 일어났다. 현재, CAFE와 멀어진 소형화는 효과가 없는 것으로 보인다. 더 크고 더 빠른 자동차를 선호하는 경향은 계속해서 우세하고 있다. CAFE-유형 기준은 산업개발을 지도하는 역할을 할 수 있다. 이 기준은 소비자 행동에 영향을 미치는 강력한 가격 책정 대책과 병행하여 수행될 때 가장 효과가 있는 것으로 보인다.

이 문제에 대한 논쟁은 계속되고 있다. 미국 에너지부에서의 분석에 따르면 만약 연료기준이 적절한 시간의 틀 내에서 수행되고, 기술

적 변화에 의해 충족될 수 있고, 자동차 설비에 영향을 미치지 않으며, 연료효율 기술비용의 증가와 동등한 연료절약의 효과가 있는 수준에서 설정된다면 이것은 효과가 있고 소비자들에 의해 잘 수용될 수도 있다(US DOE, 1996).

나) 자동차 세금/환불 시스템

신규자동차 연료효율에 대한 또 다른 정책방안은 연료절약 기준을 만족하지 못하는 자동차에 대해 요금을 부과하고 만족하는 자동차에 대해서는 환급하는 것이다. 소위, "요금감면(feebate)" 체제하에서는 새로운 연료효율적인 자동차는 ℓ/100㎞ 또는 mpg 비율에 따라서 세금이 부과된다. 그러한 과세에 의해 얻어진 세입은 기금으로 모여지고, CAFE-유형 기준을 만족하는 더욱 연료효율적인 자동차 구입에 대한 환불로 제공하기 위하여 사용된다. 요금감면 계획은 현재 캐나다 온타리오주에서 시행되고 있는데 그곳에서는 6ℓ/100㎞ 기준을 능가하는 모든 차량에 대하여 75C$~4,400C$의 연료 소비와 관련된 세금이 부과된다. 이러한 기준 하에서 연료 효율 등급을 가진 자동차 구입자들은 100C$에 이르는 환불로부터 이익을 얻을 수 있다(Canada, 1994).

CAFE-유형 기준에 있어서 연료절약을 개선하는데 대한 유인책의 크기는 제작사들 사이에 차이가 있고 따라서 경쟁적인 공정함과 거래에 대한 의미를 수반하는 반면에, 요금감면은 모든 제작자들에게 연료소비량 감소에 대하여 자동차 모델당 최저가격으로 동일한 유인책을 제공한다. 이러한 방식으로 요금감면은 기준에 대하여 바람직하게 될 수도 있다. 그러나 요금감면이 효과가 있도록 하기 위해서는 영향을 미치는 자동차 디자인에 대해 충분한 규모의 자동차 시장을 필요로 한다. 유럽의 각 나라와 북미 지역 및 주에서 자동차 시장은 결정적인 연료절약의 장점을 발생시키기에 충분한 규모가 아닐 수도 있다. 그러나 EU, 일본 또는 미국 시장과 같은 relative consequence의 시장이 적절할 수도 있다.

다) 오래된 차량을 제거하기 위한 프로그램

오래되고 연료효율성이 떨어지고, 오염을 일으키는 자동차를 제거하는 것은 전체 차량 연료절약을 개선하는데 도움을 줄 수 있다. 미국의 에너지부는 도로상에서 200만대의 구형모델 자동차를 제거하는 것이 연간 1억5천만~2억3천만 갤런의 연료절약 효과를 거둘 수 있다고 평가하였다(Nadis and Mackenzie, 1993). ECMT 국가들은 질문서에 대한 응답에서 수많은 car-scrapping 프로그램을 보고하였다. 1994년~1995년 동안에 프랑스 정부는 자동차 소유자들이 적어도 10년 이상 된 구형모델을 자진해서 폐기하고 신형 차를 구입하도록 하는 FF5000을 제안하였는데 이것은 프랑스에서 쇠퇴하고 있는 자동차 산업에 대한 경제적인 자극으로써 우선 제시된 발의였다. 이 대책에 기인하여 40만대의 자동차가 유통에서 회수되었다(France, 1995). 스페인은 마찬가지로 1994년 이후 2종류의 차량재생 계획에 착수하였다. 헝가리는 1993년 자동차 재생프로그램에서 구형의 Trabant 자동차의 교환에 대하여 30,000 포린트에 해당하는 대중 교통기관 티켓을 제공하였다. 이 제안의 결과로 10,000대의 자동차가 거래되었다.

이와 같은 car-scrapping 프로그램은 오래되고 오염을 일으키는 자동차로부터의 잠재적인 배출을 감소시켜서, 전체 대기에 대해 긍정적인 효과를 가질 수 있다. 더욱 최근의 자동차모델이 더 연료효율적이라는 가정에서 차량의 총체적인 연료절약은 이러한 제안들로부터 향상될 수 있다. 그러나 그 장점들이 기준오염물질 배출에 대하여 달성된 장점보다 덜 중요할 수도 있다. Car scrapping 계획은 단지 아주 오래된 모델과 저개발된 차량을 목표로 할 때 유리할 수 있다. 미국 에너지부에 의해 언급된 분석은 이러한 프로그램들이 단지 배출이 최대인 차량에 적용되고 구형차량에 대하여 지불된 가격이 적당하고, 등록된 차량만 구입된다면 비용효과적일 수 있고, 연료절약과 이산화탄소 배출 장점을 제공할 수 있다는 것을 보여준다(US DOE, 1996). 그러나 이러한 장점은 전체적인 윤곽이 미국의 형태와는 상대적인

더 소형인 자동차로 이루어져 있는 유럽의 자동차 시장에서는 같은 방식으로 적용되지 않을 수도 있다.

라) 자발적인 행동

일부에서는 새로운 기술을 개발하고 적용하는데 대한 제작자들의 비용과 운전비용이 더 낮아진데 대한 반응으로 더 많은 운행을 하는 운전자들의 경향에 기인한 비용을 가정한다면 연료 효율 기준과 요금감면 같은 규제대책이 바람직하지 않다고 주장한다. 산업체 대표자들 대부분은 자동차 연료효율을 개선시키기 위한 자발적인 발의를 선호한다. 자발적인 활동은 정부와 산업단체 간의 의견차이를 최소화하는 메카니즘을 제공할 수 있다(Michaelis, 1996).

지금까지 FCCC에 제공된 부속서 Ⅰ(Annex Ⅰ) 국가의 보고서에서 수송과 관련된 온실가스 배출을 다루는 대책은 규제와 연료세 같은 경제적 수단에 큰 비중을 두는데 초점을 맞춘다. 자발적인 발의는 상대적으로 그 수가 적은 상태이다. 최근 OECD 국가들의 자발적인 활동에 대한 국제 에너지청의 조사에서 수송분야에 있어서 자발적인 발의는 보고된 200개의 자발적인 발의의 10% 이하였다.

국제적인 수준에서, 몇가지 자발적인 발의를 언급한다. 1995년 6월 회원국 수송부문 장관들과 ACEA와 OICA(International Organization of Motor Vehicle Manufacturers)에 의해 대표되는 자동차 제조업체로 구성된 ECMT 위원회는 여객차량(passenger car)으로부터의 이산화탄소 배출저감에 대한 공동 성명에 서명하였다. 이것의 목적은 "ECMT 국가에서 판매되는 신규차량의 연료소모량을 실질적이면서 계속적으로 저감시키고, 이산화탄소 배출에 있어서 현실적이면서도 꾸준한 저감을 달성할 수 있도록 자동차 사용을 관리하는 것"이다(ECMT, 1995). 그 성명에서 당사자들은 car-labelling 시스템, 개선된 연구개발의 조정, 자동차에서 정보기술에 대한 기준을 확인하는 것, 그리고 자동차 이용자, 판매자, 수입자들을 대상으로 한 정보/교육 캠페인을 개발하는 것 등에 대한 기회를 연구하는 것에 동의한다. 합의의 일부

로서 ECMT는 배출저감을 위하여 국가적으로 도입된 정책과 대책뿐만 아니라 현재 매년 등록되는 새로운 차량에 대한 특정 연료소모량과 이산화탄소 배출 모두에 대해 모니터링하고 있다. EU 협의회는 최근 유럽위원회에게 유럽 자동차 제작자 및 수입업자들과 자동차 평균 연료 소모량 목표로서 신규 가솔린 차량에 대해서는 5ℓ/100㎞, 신규 디젤 차량에 대해서는 4.5ℓ/100㎞의 값에 대하여 협상을 시작할 것을 위임하였다. 이러한 목표는 1990년과 2005년 사이에 30%-35% 개선인 이산화탄소 120g/㎞ 에 해당하는 값이다.

자발적인 활동은 일반적인 새로운 자동차의 연료절약의 개선을 고무시키는 상당한 잠재력을 제공한다. 정부와 산업체간의 협정에서 자동차 제작자들은 집단으로 연료절약 목표를 달성하는 것에 동의하였다. 따라서 목표를 충족시키기 위한 책임은 각각의 회사들 사이에 분배된다. 중요한 단계는 ECMT 국가들 간에 자발적인 일치에 도달하도록 만들어져 있다. 이러한 협정이 전체 자동차 연료효율을 개선시키는데 얼마나 효과가 있을지는 지켜보아야 할 것이다.

마) 연료가격 책정

이산화탄소 배출저감에 있어서 연료가격의 역할은 많은 연구와 논쟁의 초점이 되어왔다. 그 목적이 연료소비량을 감소시키는 것이라고 한다면 자동차 연료절약을 향상시키거나 운행 주행거리를 낮추고, 연료가격을 상승시키는 것으로 더욱 연료효율적인 차량을 생산하고 구입하거나 단순히 운전을 줄이기 위한 유인책으로서 작용할 수 있다. 그들은 또한 독립적으로는 운전 성향 증가를 자극할 수 있는 CAFE 기준의 잠재적인 비용효과 상쇄를 벌충할 수 있다. 실제로 연료세는 전체 운전자의 행동에 영향을 미쳐서 교통혼잡과 자동차 배출에 영향을 미치는데 강력한 도구가 될 수 있다.

경제적인 관점에서, 연료세는 연료소비량을 감소시키는 가장 효율적인 수단으로 평해진다. 독일과 네덜란드에서의 연구는 과세정책-이 경우에는 실질적인 세금 증가를 포함하여-이 수송과 관련된 온실가

스 배출을 감소시키기 위한 많은 대책들 중에서 가장 효과적이었다고 제시한다(ECMT 1993a). 단기, 중기 및 장기에 있어서 다른 과세 수준에 관하여 소비자 선택의 융통성에 대한 의문이 격렬하게 논쟁되고 있는 주제이다.

게다가 상당한 가격인상이 국민의 저항으로 이어 질 수 있다고 가정하면 꽤 많은 세금인상에 대한 정치적 실행가능성이 문제가 된다. 이것을 피하는 한가지 방법은 실제 연료가격에 있어서 점진적이고 연속적인 상승을 통하여 가격상승의 영향을 희석하는 것이다. 이 방법에서 소비자들은 가격변화에 대해 점진적으로 행동을 적응해 갈 수 있다(ECMT, 1993a). 다른 지역에서 과세를 감소시킨 것에 의한 세금과 관련된 곡해를 피하는 것 역시 전체적인 시장의 효율을 보장하기 위하여 중요하다.

1996년 조사에 대한 응답에서 수많은 ECMT 국가들은 더욱 효율적인 연료사용과 보다 나은 자동차 연료절약을 위한 유인제도를 제공하는 것으로서 세금 대책을 보고하였다. 예를 들면 오스트리아에서는 더 큰 엔진 자동차 용량에 대한 선호가 1992년 기준 연료 소비세와 1993년 엔진에 기초한 세금의 결과로써 1993년 처음으로 주춤해진 것으로 보인다. 한 번만의 광유세금 증가는 자동차 성능의 증가 동향을 제한하는 수단으로써 고려되어 왔다. 이러한 세금 증가로부터 나온 수입은 대략 연간 56억 ATS에 달할 것으로 기대되며, 지역 철도 기본시설의 확장을 위하여 별도로 모아진다(Austria, 1994). 영국은 1993년 인플레이션 비율 이상인 연간 평균 5% 정도 연료세를 인상할 것을 결정하였다(ECMT/OECD, 1995). 도로세가 수요에 영향을 줄 수도 있다는 것을 시사하면서, 1991년 이후 처음으로 1995년 도로 연료의 수요가 감소하였다(Cambridge Econometrics, 1996).

3) 운전자 행태 변환

운전자들이 자신의 자동차를 사용하는 방법이 자동차 연료소비와 배출에 상당히 영향을 미칠 수 있다는 것은 널리 인식되어 있다. 네

덜란드 에너지·환경부(NOVEM)가 수행한 연구에서 운전방식에 있어서의 차이가 같은 차를 사용하는 운전자들 사이에 자동차 연료소비량에 있어서 50%에 이르는 변화량를 설명할 수 있다는 것을 보여주었다. 운전자 교육과 간단한 내장된 장비(econometer와 cruise controls)의 이용으로 달성 가능한 절약은 대략 15% 정도이다. 연료소비량 개선에 중요한 역할을 하는 요소는 다음과 같다.

- 엔진을 과도하게 헛돌리지 말 것
- 부드럽게 운전할 것(격렬한 회전은 피할 것)
- 과속운전을 자제할 것(일반적으로, 연료소비와 오염은 80㎞/h에서 상당히 증가하고 100㎞/h 이상에서는 두드러지게 증가함.)
- 타이어 압력을 적당하게 유지할 것
- 불필요한 무게의 원인이 되는 것은 제거할 것

교육과 정보는 운전자들이 자동차를 더욱 연료효율적으로 사용하는 방법을 배우는 것을 돕는데 아주 중요하다. 운전자 교육에 관하여는 정규 운전자 훈련과정의 교과과정 속에 연료효율을 통합시키는 것이 그들이 비효율적인 운전습관을 만들기 전에 초보운전자들을 바로 잡을 수 있다. 이미 길들여진 운전자들에게 연료절약을 위하여 운전습관을 바꾸는 방식에 관하여 알려주는 것 역시 효과적일 수 있다. 만약 운전자들이 더욱 더 효율적으로 운전함에 따라 얻어지는 절약의 가능성을 깨닫는다면 빈번히 운전습관을 적절하게 바꿀 것이다. 트럭 운전자들에게 연료효율적인 운전기술을 훈련시키는 것과 적절한 시간관리가 병행될 때 트럭회사는 상당한 절약을 얻을 수 있다. 개인운전자보다 경영결정에 있어서 최대한으로 비용을 고려하는 경향이 있는 상업적 차량 운영자들이 더욱 연료효율적인 운전훈련에서 더 크게 이익을 얻을 수 있다. 운전자 습관을 개선시키기 위한 대책의 성공의 열쇠는 정보이다. 연료효율에 있어서 더 나은 운전의 중요성에 대한 대중들의 자각을 증진시키기 위한 운동이 많은 수의 운전자들의 습관을 변화시키고 전체적인 연료소비량을 개선시키기 위해

필수적인 요건이다.

운행할 때 운전자들에게 그들의 자동차가 연료를 사용하고 있는 방식을 알려주는 econometer와 기타 자동차에 관련된 기술정보 및 교육 프로그램을 강화할 수 있다. 이러한 장치를 위한 시장을 발전시키기 위한 가능한 유인제도가 구상되어질 수 있다. 예를 들면 현재보다 더 강화된 규제-특히 속도 제한에 대해서-가 필수적이다.

많은 ECMT 국가들은 연료효율을 향상시키고 배출을 감소시키기 위한 대책으로써 속도제한의 더 엄격한 강화, 운전자 교육과 운전자들의 습관에 영향을 주기 위하여 설계된 정보의 홍보활동을 언급하였다. 예를 들면 네덜란드는 온실가스 배출관리 전략의 중요한 부분으로써 운전습관의 개선과 차량 속도를 더 낮춤에 의해 달성되는 10% 연료절약과 이산화탄소 배출저감의 목표를 설정하였고, 연료 효율적인 운전습관과 자동차 구입 실천에 관한 행동 프로그램을 개발하였다. 캐나다 역시 특정 부문과 차량에 대하여 자동차 연료절약과 연료효율적인 운전의 인식을 향상시키는 것을 목적으로 하는 몇 가지 포괄적인 정보와 교육 프로그램을 시행하고 있다.

4) 대체연료와 전기자동차

정부와 산업체는 수년동안 수송부문의 화석연료에 대한 과도한 의존을 완화시키기 위한 방법을 모색하고 있다. 안정적인 공급과 환경 두 가지 모두에 대한 이유 때문에 적지 않은 자원이 대체연료 선택의 개발에 투여되었다. 위에서 설명한 자동차 연료효율 대책과 연료세가 상대적으로 짧은 시간의 틀 내에서 구상될 수 있었던 반면에, 수송을 위한 비석유 에너지원의 광범위한 사용은 최근의 실질적인 기술의 발전과 제한된 성공에도 불구하고 아직은 해결점이 멀리 떨어져 있다. 다른 연료로의 전환 비용이 더욱 경쟁적이 되고, 대체 연료 자동차의 작동이 성능과 range에서 상당한 개선이 이루어진 후에야 많은 수의 자동차 이용자들이 대체연료 자동차로 교체하게 될 것이다.

대체연료 이용을 다루기 위한 대책은 다음을 포함한다.

- 가솔린과 디젤연료에 대한 과세 인상
- 대체연료 구입에 대한 재정적인 유인책(전통적인 연료보다 더 낮은 과세 포함)
- 전기/천연가스 자동차 구입에 대한 재정적인 지원
- 연구 개발

다음에는 연구가 진행되고 있는 몇 가지 대체연료에 대한 간단한 설명과 그들의 이용을 다루고 있는 ECMT 국가의 예를 제시하였다.

LPG(Liquid petroleum gas)는 부탄과 프로판이 있으며 원유와 천연가스의 정제로부터 만들어진다. 가솔린과 비교한 이들의 주요한 장점은 높은 에너지함량과 상대적으로 낮은 비용이다. 전체 연료 사이클을 기초로 할 때, LPG를 동력원으로 하는 자동차는 석유에 비하여 온실가스를 20% 저감할 수 있다.

CNG(Compressed natural gas)는 주로 메탄으로 이루어져 있어 온실가스와의 투쟁에서 유망한 연료인 CNG의 효과에 있어서의 중요한 요소는 메탄 배출을 최소화하는 것이다. 이러한 배출이 통제될 수 있다면, 가솔린에 비교되는 잠재적인 온실가스 저감은 대략 20% 이다(주로 이산화탄소 배출)(ECMT, 1993a). CNG의 한가지 단점은 연료의 안전한 저장을 보장하기 위하여 가솔린보다 더 강하고 큰 연료탱크를 사용해야 한다는 것이다. 결과적으로 자동차 무게와 range가 영향을 받게 된다. 세계적으로 CNG 자동차의 수는 지난 5년 동안에 어림잡아 50% 정도 증가한 100만 대 이상에 이른다. LPG 자동차 수 역시 세계적으로 100만대 이상이다. 일본정부는 1994년 이후로 CNG를 연료로 사용하는 자동차의 구입과 CNG 연료를 공급하는 시설에 보조금을 지급하고 있다(Japan 1994). 이들 차량에 대하여 세금이 저감되고, 뿐만 아니라 전기, 혼합연료(hybrid), 메탄을 연료로 하는 자동차에 대해서도 세금이 저감된다. 공익사업부(Public service

administrations)에서도 저배출차량의 이용에 대하여 자금을 지원 받는다. 프랑스는 CNG, LPG 및 전기 자동차의 사용에 대하여 세금 면제를 도입하였는데 이것은 1997년 1월부터 효력을 발휘하게 된다. 다른 나라들 중에서도 이탈리아와 네덜란드는 LPG의 사용에 대하여 강력한 세금 유인제도를 이행하고 있는데, 이들 국가는 LPG 자동차가 상당한 수를 차지하고 있다. 비엔나는 1976년부터 LPG를 연료로 사용하는 버스를 운행하고 있다. 설문에 대한 응답에서 슬로바키아 공화국은 LPG와 CNG 자동차에 대해 50%의 도로세 삭감을 보고하였다.

액체 생물체 연료(Liquid biofuels) : 캐나다와 벨기에는 지난 4년 동안 생물체연료 혼합물의 전부 또는 일부에 대해 과세를 면제하는 조치를 취해 오고 있다. 캐나다 정부는 상업적으로 실행 가능한 에탄올 산업의 관점에서 에탄올 사용의 경제적, 환경적 영향의 평가와 함께 에탄올 생산기술의 연구개발에 중점을 둔 "활동계획(Action Plan)"을 확립하였다(Canada, 1994 and Belgium, 1994). 최근의 대기오염법규의 일부로서, 프랑스 정부는 2000년까지 연료에서 에탄올과 같은 생물체 연료의 사용을 의무화하기 위한 의지를 발표하였다.

전기자동차 : 전기자동차와 관련된 배출은 자동차가 아니고 에너지원으로부터 나온다. 만약 자동차를 위해 생성되는 전기가 석탄연소 발전소로부터 온다면 이산화탄소 배출은 가솔린 자동차보다 더 많아질 것이다. 그러나 만약 전기가 수력 또는 원자력 발전소로부터 나온다면 배출은 가솔린 자동차에 비해 상당히 줄어들 것이다(Nadis and Mackenzie 1993).

이미 가솔린차량에 대한 실행 가능한 선택사항으로서 전기자동차를 탐구하고 개발하는 많은 연구가 수행되고 있다. 그러나 현재까지는 그들의 성능과 range 용량-주로 전지기술에 기인한-이 가솔린자동차에 비하여 제한되어 있으며, 비용 또한 높은 상태이다. 이들은 현재 제한된 범위로 도시 대중 교통수단과 공익사업 차량에서 이용되고 있고, 도시에서의 사용에 대해서만 2차적으로 가정용에 대하여 고

려되고 있다. 미국에서 실행가능한 전기자동차의 개발은 주로 캘리포니아에서 1990년부터 적용되고 그 후로 12개 다른 주와 워싱턴D.C.에서 적용된 엄격한 청정대기 기준에 의해 주도되고 왔다. 1990년 규정은 1998년까지 주 내에서 팔려진 자동차의 2%가 무배출자동차이어야 하며 2001년부터는 5%가 무배출차량이어야 한다고 요구하였다. 그러나 1995년 말 캘리포니아 대기자원국은 필요한 기술이 목표 년도까지 활용 가능할 것이라는 것에 대한 산업체의 회의적인 태도를 토대로 이 요구조건을 완화하려는 의도를 발표하였다.

혼합연료 자동차는 운전 조건을 최대한 활용하기 위한 2차 동력원을 가진 내연기관을 겸비하고 있다. 기본 동력원이 연료이기 때문에 차내에 탑재한 에너지 저장소는 전기자동차보다 문제가 적다. 이 방법에 있어서 혼합연료는 단지 내부연소 자동차에서 전기자동차로의 과도기적 해결책을 제공할 수도 있다.

다능(versatility), 효율, 크기의 관점에서 가장 실행가능성이 있는 것으로 고려되는 대제연료는 전지나 플라이휠 같은 에너지 저장구조로 이루어진 전기시스템이다. 그러나 이들은 일차 동력원으로서 화석연료에 의존하기 때문에 혼합연료가 무배출 상태를 달성하지는 못할 것이다.

5) 종합정책의 중요성

기후변화에 대한 수송부문의 기여를 감소시키기 위한 노력에서 상호 보완적인 규제의 중재를 수반하는 시장에 기초한 유인제도의 도입이 최상의 방법인 것으로 보인다. 기술적·경제적 대책은 연구 개발 발의와 총괄적인 수송계획과 운영의 향상을 수반해야 한다. 더욱이 자동차 사용자들에게 이러한 활동의 중요성을 설득하고 시장이 효율적으로 기능 하는데 필요한 정보를 제공하기 위하여 교육과 정보전달 프로그램이 개발되어야 한다. 운전자의 습관을 바꾸도록 장려하는 것은 수송부문으로부터 단기 및 중·장기 온실가스 저감의 성공을 위하여 아주 중요한 부분이다. 정책의 올바른 혼합과 강도를 정

하는 것이 ECMT 국가에 대한 지금의 과제이다. 리오에서 만들어진 공약을 충족시키기 위하여 정부, 산업체, 자동차 사용자에 의해 더욱 단호한 조치가 수행될 필요가 있다는 것은 명백하다. 아무도 종합적인 정책을 추천하지 않고 있다. 각국의 정부들이 선택사항들을 조사하고, 다른 국가와의 공동 발의에 있어서 적절하고 필요한 올바른 혼합 정책을 선택해야 한다.

[부록 Ⅱ] 국제 수송연료에 대한 온실가스 배출규제 동향

1. 국제 수송연료(international bunker fuel)의 정의

국제 수송연료란 국제민간항공이나 국제 수송에 이용되는 원양 항해 선박에 사용되는 연료를 의미한다. IPCC 지침에 따르면 이들 연료로부터의 배출은 판매된 연료, 즉 출발하는 각각의 항공기 또는 선박에 실려진 연료를 기초로 산정 되어야 한다. 그것은 운행 동안에 소비된 연료로부터 나온 배출과는 구별되어야 한다는 것이다. 국제 수송연료 사용으로 인한 배출량은 1990년 전세계 모든 배출원으로부터 발생한 CO_2 배출량의 약 2%에 해당된다.

2. 국제 수송연료 사용에 의한 온실가스 배출

1) 항공기

항공 교통은 관례적으로 세 개의 범주로 나뉘어지는데, 승객이나 화물의 상업적 수송을 제공하는 민간항공, 국가 군대의 통제하에 있는 군용 항공, 오락용 및 소형 법인 항공기로 구성되는 경량 항공(light aviation)이 그것이다. 국제 수송연료 배출은 오로지 민간 항공에만 관련되어 있다. 가장 일반적으로 사용되는 연료의 유형은 항공등유이며, 이 연료에 대해서 국제적으로 승인된 명세서는 없다. 그러나 국가 및 산업 명세서가 전세계적으로 그 품질과 균일성을 보증한다. 세계적으로 약 70~100개의 항공연료 제조업체가 있다.

항공기의 연료주입이 반드시 출발하는 국가에서 이루어지는 것은

아니다. 과도한 양의 연료를 운반하는 것은 항공기의 무게를 증가시키고 따라서 다음 공항에 도착하기 위해 필요한 연료의 양이 증가되기 때문에 장거리 비행을 하는 항공기는 보통 다음 공항에 도착하는데 필요한 만큼의 연료만 주입한다. 단거리 비행에서는 연료가격과 다른 고려사항에 의존하여 여러 번의 착륙에 충분한 연료를 운반할 수도 있다.

항공기의 주요 배출물질은 온실가스인 이산화탄소와 수증기가 있고, 기타 주요 배출물질은 질소산화물, 일산화탄소, 휘발성유기화합물, 황산화물, 그을음 등이다. 연료 1kg이 연소하면 연료의 조성에 따라 약간의 변동이 있기는 하지만 이산화탄소 3,155g과 수증기 1,237g이 발생한다. SOx 배출량은 전적으로 연료의 황함량에 의존한다. 연소된 연료 1kg당 질소산화물, 일산화탄소, VOC의 배출은 일정한 범위 내로 알려져 있는데, 이들은 제트 엔진, 비행의 특징, 비행의 단계, 연료의 유형 등에 의존한다. NOx 배출의 대부분은 순항 비행 동안에 발생하지만, 그러한 조건하에서 직접적으로 측정하는 것은 어렵다. CO와 VOC는 불완전연소의 산물이며, 이들의 배출은 주로 착륙과 이륙동안에 발생하는데, 이는 동력 조절이 감소되어진 상태에서 엔진이 작동하기 때문이다.

이산화탄소와 질소산화물은 항공교통 배출로 인한 온실효과의 주요 기여물질로 간주되고 있다. IPCC는 '*기후변화 1994*'에서 항공기 질소산화물 배출의 간접적인 효과는 개략적으로 항공기 이산화탄소 배출의 직접적인 효과와 동일한 것으로 평가하였다.

1990년 국제 민간 항공에서 사용한 총 연료의 양은 약 138 Mt인 것으로 산정되었으며, 이것은 이산화탄소 435Mt에 해당된다. IPCC(1994)는 1990년 모든 배출원으로부터 전세계의 이산화탄소 배출이 약 26,000Mt에 달했다고 산정하고 있다. 이것은 1990년 전세계 모든 배출원으로부터 발생한 이산화탄소 배출량의 약 2%에 해당하는 양이 국제 항공으로부터 배출되었다는 것을 의미한다.

질소산화물의 효과는 실제적인 배출고도에 의존한다. 순항고도에서

음속이하 항공기의 질소산화물 배출은 오존의 형성에 기여하는데 그 고도에서 오존의 온실효과가 가장 강력하게 나타난다. 초음속 항공기의 순항고도는 오존층 내 또는 그 근처이고 따라서 음속 이하 항공기의 순항고도보다 더 높다. 그 고도에서 NOx 배출은 오존층 파괴에 기여한다.

오존은 온실가스이고 지구의 표면을 유해한 자외선으로부터 보호하며 일반적인 대기오염물질이다. 항공기에서 배출된 질소산화물은 오존의 화학적 과정에 참여한다. 음속이하의 항공기는 대류권 상부와 성층권 하부에서 비행(고도 약 9~13㎞)하는 반면에, 초음속 항공기는 수 킬로미터 더 높은 성층권(약 17~20㎞)에서 순항한다. 대류권 상부와 성층권 하부에서 오존은 질소산화물 증가에 따라 증가할 것으로 예상되고, 메탄은 감소할 것으로 예상된다. 더 높은 고도에서 NOx의 증가는 성층권 오존층의 감소를 유발할 것이다. 이들 지역에서 오존전구물질(질소산화물)의 체류시간은 고도에 따라 증가하고, 따라서 항공기에 의한 오존 혼란은 NOx 배출의 고도에 의존하며, 대류권의 지역적 규모에서부터 성층권의 전지구적 규모에 이르기까지 변한다. 수증기, 황산화물(황산염 입자를 형성함), 그을음은 기후변화와 오존의 화학적 과정에 직·간접적으로 기여를 한다.

2) 선박

선박연료로는 대부분 두 가지 유형 즉, 경유와 연료유가 사용되고 있는데, 이는 그들이 상대적으로 비용이 적게 들고 취급이 용이하기 때문이다. 1990년에 선박을 운행하기 위하여 4,000만 톤의 경유와 1억 톤의 연료유가 소비되었다. 선박연료는 반드시 항해의 시작부터 적재될 필요는 없으며, 오히려 선박의 운행 계획에 맞추어 편리한 시간에 적재될 수도 있다.

연료비용은 선박 운영비용에서 상당한 부분을 차지할 수 있는데, 어떤 경우에는 50%를 초과할 수도 있어서, 이 연료 시장은 특히 가격에 민감하다. 석유가격은 항구에 따라 상당히 변화가 심하며, 같은

항구 내에서도 시간에 따라 변한다. 적재되는 연료의 양은 무엇보다도 선박의 크기와 그 선박이 속해 있는 시장에 의존한다.

UN의 통계에 따르면, 일부 국가가 제외되기는 했지만 전세계적으로 총 선박연료 판매량은 1990년에 약 100Mt에 달하였다. 모든 국가들 포함하는 또 다른 자료는 더 많은 양인 150Mt을 제시하였는데 이것은 전세계 모든 배출원 배출의 약 2%에 해당한다.

디젤 엔진은 선박산업에서 사용되는 동력 장치의 탁월한 형태인데, 이는 전형적으로 약 45%에 이르는 상대적으로 높은 연료효율 때문이다. 동력 요구조건은 다양한 선박 특징 및 주변 환경에 의해 규정된다. 예를 들면 석유연료 소비량과 속도 사이의 세제곱 법칙 관계에 기인하여 속도가 매우 중요한데, 속도가 25% 증가하면 연료 소비량은 두 배로 될 수도 있다. 그러나 에너지 단위당 중량 톤-km의 관점에서 해운산업의 에너지소비량은 다른 수송 모드에 비하여 상대적으로 낮은 편이다.

선박으로부터 배출되는 기체들은 이산화탄소, 수증기, 메탄, 이산화질소, 일산화탄소, 질소산화물, 비메탄휘발성유기화합물(NMVOCs), 황산화물 등이다. 선박수송연료 1kg의 연소에 의해 약간의 변동은 있지만 약 3,150g의 이산화탄소와 1,000g의 수증기가 발생한다. 황산화물 배기량은 연료의 황함량에 의존한다. 질소산화물의 생성은 주로 극단적인 온도와 높은 부하가 걸리고 따라서 매우 연료 효율적인 디젤 엔진의 특징에 의존한다. 일산화탄소와 VOC배출은 불완전 연소의 결과이고, 그들의 수준은 이산화탄소 배출과 비교하여 작은 편이다. 이산화탄소는 해양 선박으로부터 배출되는 주요한 온실가스 이다. 항공과 비교하면 선박으로부터 배출되는 NOx의 지구온난화 효과는 상대적으로 작은 편인데 이는 그 배출이 지상에서 일어나기 때문이다. 그러나 이들이 산성화와 지상 오존에 기여하기 때문에 NOx 배출을 저감시키는데 관심을 두고 있다.

3. 기후변화에의 영향

항공기는 대류권 상부와 성층권 하부 속으로 직접 기체 및 입자들을 배출하여 대기 조성에 영향을 미친다. 이들 기체와 입자들은 이산화탄소, 오존 및 메탄 등과 같은 대기중의 온실가스 농도를 변경시키고, 비행운(contrails) 형성을 유발하며, 권운을 증가시킬 수도 있다. 이 모든 것들이 기후변화에 기여하게 된다. 지구의 평균 기후변화는 지구의 평균 radiative forcing[30]에 의해 합리적으로 잘 표현되는데, 예를 들면 전 지구적으로 평균 온도 또는 해수면의 상승에 대한 항공기의 기여를 평가할 때이다.

비행결과로써 배출되고 형성되는 기체 및 입자들의 기후에 대한 영향은 배출보다 더 정량화하기 힘들지만, radiative forcing의 개념을 사용하여 서로 서로에 대하여 그리고 다른 부문의 기후변화 효과에 대하여 비교 될 수 있다. 이산화탄소는 대기중 체류시간(≈100년)이 길고 대기 중에서 잘 혼합되기 때문에 항공기로부터의 배출에 의한 효과는 다른 배출원으로부터 배출된 동일한 양의 이산화탄소의 효과와 구분할 수가 없다. 다른 기체(질소산화물, 황산화물, 수증기 등)와 입자들은 대기 중에서의 체류시간이 더 짧고 주로 북부 중위도에서 비행 경로 근처에 집중되어 남아있다. 이러한 배출은 전 지구적으로 혼합되는 배출(이산화탄소, 메탄 등)과는 대조적으로 일부 성분(오존, 비행운 등)에 대하여 지역적으로 비행 경로 근처에 위치된 radiative forcing으로 유도될 수 있다.

서로 다른 인간활동에 의한 배출이 기후변화에 미치는 영향은 radiative forcing의 개념을 사용하여 비교될 수 있다. 1992년 항공기에 의한 radiative forcing의 최적 산정은 $0.05W^{-2}$ 또는 모든 인간활

30) Radiative forcing은 가능성 있는 기후변화 메커니즘의 중요한 척도이다. 이것은 지구-대기 시스템의 에너지 균형에 대한 혼란이나 변화를 Wm^{-2}(watts per square meter)의 단위로 나타낸다. Radiative forcing의 양의 값은 온난화를 의미하고, 음의 값은 냉각을 의미한다.

동에 의한 총 radiative forcing의 약 3.5%였다.

모든 다른 인간 활동으로부터 항공부문(또는 유사한 radiative forcing을 가진 다른 부문)이 지구의 기후변화에 미치는 영향을 분리하는 것은 불가능하다. 항공기는 대략 radiative forcing에 대한 그들의 기여에 비례하여 지구적 변화에 기여한다.

4. 국제적인 대응 현황

1) IPCC의 연구

IPCC의 대기와 항공에 대한 특별보고서는 항공기가 기후와 대기 중 오존에 미치는 효과를 평가하고, 영향 및 예상되는 배출 증가, 그들을 제한하거나 감소시키기 위한 대책 등을 제공한다.

1992년 항공기에 의해 유발된 radiative forcing의 최적 산정은 $0.05Wm^{-2}$ 또는 모든 인류 활동에 의해 유발된 전체 복사의 약 3.5%이다.

항공기에 의한 이산화탄소 배출의 효과는 다른 배출원에서 방출된 같은 양의 이산화탄소와 구별할 수 없지만, 항공기로부터의 다른 배출물질들은 높은 고도에서의 배출에 기인하여 기후에 더 큰 영향을 미친다. 1992년부터 2050년까지의 기간에 걸쳐서 항공기에 의한 총 radiative forcing은 항공기 이산화탄소 하나에 의해 유발된 것보다 2-4 배정도 더 크다. 모든 인간활동에 대한 총 radiative forcing은 이산화탄소 하나에 의한 것보다 기껏해야 1.5 배 더 큰 것으로 평가된다.

배출과 영향을 감소시키기 위한 옵션들로는 항공기와 엔진 기술대책, 연료대책, 운영상의 대책, 규제적·경제적 대책들이 있으며, 규제적·경제적 대책들은 엔진 배출 검정, 환경 부과금(charge, 세금)과 배출권 거래, 자발적인 협정 같은 시장경제에 기초한 대책들로 구성

된다.

2) ICAO

ICAO는 국제 민간 항공 협정에 의해 설립되었고(1994), UN의 전문기관 중의 하나가 되었다. 1981년 ICAO는 엔진검정 계획을 통하여 항공기 배출규제를 위한 기준을 확립하였다. 이들 기준은 새로운 엔진으로부터 세 가지 오염물질(NOx, CO, HC)에 대한 제한을 설정한 것으로 ICAO는 그 기준을 계속 검토하고 있다. 1993년 3월 ICAO 평의회는 허용된 NOx의 양을 20% 감소시키는 것에 동의하였다. 전문가 위원회인 항공 환경보호위원회가 ICAO의 정책 결정 단체를 위하여 환경정책에 관한 추천을 제안하는 책임을 지고 있다.

제 32차 ICAO 총회(1998. 9.22～10.2)는 교토협약의 중요성을 강조하였고, ICAO 평의회에게 IPCC의 항공과 지구대기에 대한 특별보고서의 결과와 교토협약의 요구조건을 고려하여 민간 항공기로부터 배출되는 온실가스를 제한하거나 감소시키기 위한 정책적 대책들을 연구하도록 하고, 그 결과는 2001년 다음 정기 총회에서 보고할 것을 요청하였다.

온실가스 배출과 관련된 ICAO의 연구는 세 가지 범주로 나뉘어지는데 첫째, 엔진 개선과 항공기 설계를 포함하는 기술과 기준, 둘째, 인공위성에 기반을 둔 통신, 항해술, 감독 및 항공교통관리(CNS/ATM)시스템을 통한 더욱 직접적인 노선 같은 운영상의 대책, 셋째, 배출관련 부과금(부담금, 세금), 배출권거래 같은 시장거래에 기초한 대책들이다. 더욱이 ICAO총회는 ICAO가 UNFCCC 사무국과 계속적으로 협력할 필요성이 있다는데 동의하였고, SBSTA에 의해 제안된 다양한 대책들의 효과에 대해 ICAO가 즉시 더 많은 연구를 수행하도록 승인하였다. 그러한 활동들은 할당을 위한 적당한 방법론을 제안하기 위하여 SBSTA(Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice)와 긴말한 연계를 가질 것이다.

3) IMO

대부분의 국제적인 해양 규정은 UN의 기술 조직인 IMO (International Maritime Organization)에 의해 작성된다. IMO는 국제 규약, 추천 및 협정을 개발하는데 그 중의 한가지가 MARPOL (International Convention for the Prevention of Pollution from ships)이다. IMO 협정은 이것이 회원국가들의 특권을 유지하기 때문에 법적 효력을 갖지는 않는다. 그러나 대부분의 중요한 IMO 협정은 세계 선박 용적 톤수의 98%를 차지하고 있는 회원국들에 의해 널리 수용되고 있다. MARPOL의 부속서는 현재 대기오염에 대하여 고려중인데, 오존층 파괴 냉각제의 사용을 단계적으로 감소시키고, 소각로의 사용을 규제하며, SOx와 NOx의 배출을 제한하는 것이 그 내용이다. 부속서는 1997년 3월 IMO 정기총회에서 논의될 것이다.

IMO의 MEPC(Marine Environment Protection Committee)는 제42차 회의(1998. 11.2-6)에서 IMO의 사무국에게 선박으로부터 배출되는 온실가스와 관련된 연구를 수행할 것을 권하였다. 이 연구는 선박으로부터의 온실가스 배출현황, 배출저감을 위한 단기 및 장기 대책을 포함할 것이다. 연구 결과는 선박으로부터의 온실가스 배출에 대한 MEPC의 정책 자료의 연구·개발에 대한 기초를 형성할 것이다.

5. 온실가스 배출량 산정

국제수송연료로부터의 이산화탄소 배출을 개별적으로 보고한 부속서 I 당사국은 25개이고, 이 중 22개 당사국에서 1990년부터 최근에 보고된 연도(1994, 1995, 1996 또는 1997)까지 국제수송연료 배출이 증가되었다. 1990년 각 당사국의 총 국가 이산화탄소 배출에 대하여 국제수송연료로부터의 이산화탄소 배출이 차지하는 비율은 5~25%의 범위였다.

국제수송연료로부터의 배출을 일관되게 보고하는데 있어서 중요한 장애는 국내 및 국제 수송연료 사이의 분리를 위해 필요한 자료의 입수가능성, 국내 및 국제 수송연료 정의의 일관된 사용, 그리고 배출을 평가하기 위한 방법의 일관적인 사용 등이다.

배출에 관하여 서로 다른 정의의 사용은 현재 활용할 수 있는 자료를 이용하여 배출을 평가하는 것이 어렵다는 것을 의미한다. 보고 당사국에 대하여 국내와 국제 배출 사이의 분리는 서로 다른 정의의 사용을 함축적으로 지시하는 것일 수도 있다.