

..}' Cq qngB ej i
X

산성비 원인물질 저감방안에 관한 연구Ⅲ
- 아황산가스 저감모형개발을 중심으로 -

1996. 12.

이동근
전성우
한화진

서 언

산성비는 종래 先進國問題로 인식되어왔지만, 근년 開發途上國의 급속한 工業化로 대기오염물질 배출량이 증가하였으며, 지역적 대기오염문제와 더불어 廣域的인 오염 문제로 대두되고 있습니다. 이와 같은 맥락에서 산성비 문제해결에는 한 국가만이 아니라 인접 국가들을 포함한 對策이 요구되나, 먼저 自國內의 산성비 원인물질을 저감시키는 것이 우선되어야 할 必要가 있습니다. 산성비 원인물질로는 아황산가스와 질소산화물이 대표적이며, 이중 비교적 低減對策樹立이 용이하고, 低減效果가 높은 아황산가스부터 저감대책을 수립하는 것이 일반적입니다.

본 연구는 아황산가스의 低減對策評價模型開發과 아황산가스 저감을 위한 具體的인 代案提示를 목적으로 하고 있습니다. 이를 위해 AIM/KOREA SULFUR모형을 개발하여 아황산가스 저감을 위한 다양한 시나리오를 선정하여 시뮬레이션을 하였습니다.

시뮬레이션 결과 본 연구에서는 部門別 특성에 따라 에너지 節約型 技術의 導入, 低黃 燃料의 사용, 淸淨燃料 使用 義務化 등이 適切하게 병행되면, 많은 부문의 아황산가스 저감이 가능할 것으로 나타났습니다. 가정부문에서 淸淨燃料에의 전환으로 BAU대비 약 27.6%의 아황산가스가 저감되는 것은 좋은 예가 될 것입니다. 그러나 아황산가스의 농도를 선진국 수준으로 낮추기 위해서는 위에서 제시한 대안과 함께 排煙脫黃施設의 도입이 必然的이라는 研究結果가 도출되었습니다.

그리고 본 연구가 정부에서 추진하는 산성비저감방안 정책수립은 물론이고, 산성비 문제로 심각성을 더해 가는 동북아 환경문제 해결을 위해 효율적으로 활용되었으면 하는 바램입니다.

끝으로 본 研究를 맡아 수행한 祥明大學校의 李 東根 博士, 본 원의 韓 和眞 博士, 全 性禹 研究員에게 感謝를 표합니다. AIM 모델을 사용토록 배려해 주신 日本 國立環境研究所의 森田恒辛 博士에게도 감사를 드립니다. 데이터작성에 도움을 준 에너지경제연구원, POSRI, 시멘트협회, 철강협회 등에도 감사를 드립니다. 그리고 바쁘신 가운데에도 불구하고 본 연구의 심사를 기꺼이 맡아주신 閔 丙承 博士의 노고에 깊은 감사를 드립니다. 아울러 본 報告書의 內容은 저희 開發院의 公式的인 입장과는 관계없는 연구자 개인의 私見임을 밝혀둡니다.

1996년 12월

韓國環境技術開發院
院長 金 鍾 基

목 차

I. 서론	1
1. 연구의 배경 및 목적	1
2. 연구의 범위	2
II. 아황산가스 저감 모형 구축	4
1. 기존연구 및 모형	4
2. AIM/KOREA SULFUR 모형의 개요	5
3. 모형의 시뮬레이션절차	8
3.1. 전체절차	8
3.2. 기술선택	10
4. 시뮬레이션 대상기간 및 입력자료 내역	12
4.1. 시뮬레이션 대상부문	12
4.2. 시뮬레이션 대상기간	12
4.3. 입력자료내역	13
III. 부문별 아황산가스 저감방안 비교·분석	17
1. 철강업	17
1.1. 철강업의 모형화	17
1.2. 철강업관련 주요입력자료 내역	23
1.3. 시뮬레이션	34

2. 시멘트공업	44
2.1. 시멘트공업의 모형화	44
2.2. 시멘트공업 관련 주요입력자료 내역	47
2.3. 시뮬레이션	52
3. 가정부문	59
3.1. 가정부문의 모형화	59
3.2. 가정부문의 주요입력자료 내역	60
3.3. 시뮬레이션	67
IV. 결론	76
참고문헌	79
부록 : 각국의 아황산가스 주요 저감정책	84

표목차

< 표 II-1 > AIM/KOREA SULFUR의 필요입력자료	13
< 표 II-2 > 산업별 유종별 황함량	14
< 표 II-3 > 아황산가스 배출계수	15
< 표 II-4 > 에너지 가격	16
< 표 III-1 > 코크 제조공정에 필요한 원재료 및 에너지 소비량	23
< 표 III-2 > 코크소화공정에 필요한 원재료 및 에너지 소비량	24
< 표 III-3 > 전로공정에 필요한 재료 및 에너지 소비량	24
< 표 III-4 > 고로공정에 필요한 원재료 및 에너지 소비량	25
< 표 III-5 > 소결로공정에 필요한 원재료 및 에너지 소비량	25
< 표 III-6 > 전기공정에 필요한 원재료 및 에너지소비량	26
< 표 III-7 > 용융환원로공정에 필요한 원재료 및 에너지 소비량	26
< 표 III-8 > 주조공정에 필요한 원재료 및 에너지 소비량	27
< 표 III-9 > 일차압연에 필요한 원재료 및 에너지 소비량	27
< 표 III-10 > 이차압연에 필요한 원재료 및 에너지 소비량	28
< 표 III-11 > 발전공정에 필요한 원재료 및 에너지	28
< 표 III-12 > 철강생산부문의 서비스 기술가격	29
< 표 III-13 > 일본 철강생산부문의 서비스 기술가격	30
< 표 III-14 > 철강생산부문의 기술자료	31
< 표 III-15 > 철강업의 기술도입현황	33
< 표 III-16 > 철강생산부문의 서비스량	35
< 표 III-17 > 철강생산부문의 생산량 시나리오-전기로 비중 증가	36
< 표 III-18 > 배연탈황시설도입을 가정한 아황산가스 배출계수	38
< 표 III-19 > 철강업의 BAU하에서의 사용원료별 아황산가스 배출량 전망	39
< 표 III-20 > BAU하에서의 철강업 기술별 점유율의 변화	40
< 표 III-21 > 철강업의 유행세 및 보조금 도입 시나리오하에서의 기술별 점유율 변화	42
< 표 III-22 > 철강업의 시나리오별 아황산가스 배출량 비교	43
< 표 III-23 > 시멘트종별생산량과 혼합재의 비율	47
< 표 III-24 > 분석에 관련된 시멘트의 혼합재 혼합비율	48
< 표 III-25 > 시멘트공업의 공정별 에너지소비량	49

< 표 III-26 > 시멘트공업의 단위서비스당 에너지소비량	49
< 표 III-27 > 시멘트공업의 서비스기술 가격표	50
< 표 III-28 > 시멘트생산부문의 기술자료	51
< 표 III-29 > 시멘트공업기술 도입현황	52
< 표 III-30 > 시멘트공업의 서비스량	53
< 표 III-31 > 시멘트공업의 전력소비량의 서비스량	53
< 표 III-32 > 시멘트공업의 BAU하에서의 사용원료별 아황산가스 배출량 전망 ·	55
< 표 III-33 > 시멘트공업의 BAU하에서의 기술별 점유율 변화	56
< 표 III-34 > 시멘트공업의 유향세 및 보조금도입 시나리오 하에서의 기술별 점유율 변화	57
< 표 III-35 > 시멘트공업의 시나리오별 아황산가스 배출량 전망	58
< 표 III-36 > 기준주택에 있어서 방의 면적	61
< 표 III-37 > 기준주택에 있어서 냉방분야의 단위서비스당 에너지소비량	61
< 표 III-38 > 기준주택에 있어서 난방분야의 단위서비스당 에너지 소비량	62
< 표 III-39 > 기준주택에 있어서 각방 하루 조명시간과 에너지 소비량	62
< 표 III-40 > 각 조명기기의 수명, 일 점등시간, 사용년수	65
< 표 III-41 > 기타 기기의 에너지소비량, 보급율	65
< 표 III-42 > 가정부문의 기술자료	66
< 표 III-43 > 가정부문 기술도입현황	67
< 표 III-44 > 가정부문에 있어서 각 서비스분야별 기준 년 서비스수요량	68
< 표 III-45 > 각 서비스 용도의 수요량 증가 요소	69
< 표 III-46 > 가정부문에 있어서 장래의 서비스량 시나리오	69
< 표 III-47 > 가정부문의 BAU하에서의 사용연료별 아황산가스 배출량 전망	72
< 표 III-48 > 가정부문의 BAU하에서의 기술별 점유율의 변화	73
< 표 III-49 > 가정부문의 시나리오별 아황산가스 배출량 전망	75
< 부표 1 > 대기배출시설 종별 분류 기준	85
< 부표 2 > 대기 처리부과금 산정기준	86
< 부표 3 > 저황연료 공급 확대 현황	87
< 부표 4 > 저황유 공급 및 시행시기	88
< 부표 5 > 중앙집중난방방식 공동주택의 연료사용규제대상 현황	90
< 부표 6 > 대안별 한계비용 추정치와 실제치	92
< 부표 7 > 2001년 대기오염감소 대안별 연간비용 추정치	93
< 부표 8 > 일본의 SO ₂ 부담금 요율	94
< 부표 9 > 노르웨이의 유향세 부과요율	96

< 부표 10 > 소비부문별 연료판매율	96
< 부표 11 > 네덜란드의 유황세 부과요율	98

그림목차

< 그림 I-1 > 연구의 흐름	3
< 그림 II-1 > 일본의 아황산가스 저감대책별 효과	6
< 그림 II-2 > AIM End-use Energy Demand Model의 구조	7
< 그림 II-3 > AIM/KOREA SULFUR 모형의 시뮬레이션 절차	8
< 그림 III-1 > 각 제강법에 의한 제철생산공정	18
< 그림 III-2 > 철강생산부문의 흐름	19
< 그림 III-3 > 철강업의 전력(ELI, ZEL), 유틸리티(ZUT)의 흐름	22
< 그림 III-4 > BAU하에서의 철강생산량 전망	40
< 그림 III-5 > 철강업의 시나리오별 아황산가스 배출량 비교	44
< 그림 III-6 > 시멘트 제조공정	45
< 그림 III-7 > 시멘트공업 각 공정의 생산량 산출 흐름	45
< 그림 III-8 > 시멘트생산부문의 흐름	46
< 그림 III-9 > 시멘트공업의 BAU하에서의 에너지원별 아황산가스 배출량 전망	56
< 그림 III-10 > 시멘트공업에서의 시나리오별 아황산가스 배출량 비교	59
< 그림 III-11 > 가정부문의 BAU하에서의 연료종별 아황산가스 배출량 전망	71
< 그림 III-12 > 가정부문의 시나리오별 아황산가스 배출량 비교	74

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

산성비는 산림을 황폐화하고 토양의 산성화를 촉진시키며 콘크리트 건축물을 부식시키는 것으로 알려져 있으며, 주로 선진국문제로 인식되어왔다. 그러나, 최근 개발도상국의 급속한 공업화로 대기오염물질의 배출량이 증가해 지역의 대기오염 문제에 첨가해 광역적인 오염문제로 대두되고 있다. 1992년 리우에서 개최된 UN 환경개발회의에서 채택된 『의제21』에서는 선진국을 포함한 개발도상국에서도 향후 산성비 등의 광역적 환경문제 해결 강화를 강조하고 있다.

산성비 문제해결에는 한 국가만이 아니라 인접 국가들을 포함한 대책이 요구되나, 먼저 자국내의 산성비 원인물질을 저감시킬 필요가 있다.

산성비 원인물질로는 아황산가스와 질소산화물이 대표적이며, 이중 비교적 저감 대책수립과 저감효과가 용이한 아황산가스의 저감대책을 수립하는 것이 일반적이다. 우리 나라의 아황산가스 오염도는 정부의 청정연료 보급의 확대에 계속 개선되는 추세이나, 일부 주요도시(예 : 울산, 대구)의 오염도는 계절에 따라서는 여전히 환경기준을 초과한 것으로 나타나고 있다. 또한 대부분 도시가 일본의 평균 아황산가스농도 0.01ppm보다 높은 수준으로 보다 효율적인 아황산가스 저감대책이 요구되어지고 있다. 아황산가스 저감대책 마련을 위한 최근의 연구로는 『아황산가스 저감대책과 비용분석』(에너지경제연구원, 1993), 『중유화력 황산화물 저감대책 연구』(에너지경제연구원·한국에너지기술연구소, 1995) 등이 있다. 기존의 연구에서는 아황산가스에 의한 환경오염 실태와 아황산가스 저감을 위해 어떠한 정책이 가장 효율적인가에 대한 경제적인 분석을 행하고 있다. 그러나 이러한 연구들은 정책적인 대안에 있어서 부분적인 대안은 비교적 자세하게 제시되나 종합적인 측면에서의 분석은 부족하고 구체적인 해결방안제시가 가능한 모형을 갖지 못하는데 그 한계성이 있다. 이에 따라 본 연구에서는 산성비 원인물질중 특히, 아황산가스 저감을 위한 모형개발을 위해 전년도부터 연구를 진행시켜 왔다.

전년도 연구는 Top-Down(상방하향)모형인 Manne & Richiels의 Global 2100모형을 우리 나라에의 아황산가스 저감대책용으로 개량한 모형을 이용하여 거시적 차

원에서 아황산가스 저감대안을 제시하였다.

시뮬레이션은 에너지 이용효율개선도(AEED)가 0.5를 기준으로 하여 0.8, 1.0 시나리오를 사용했다. 그리고 아황산가스 농도는 경제발전과 이에 따른 에너지 사용량 증가에 기초한 증가 시나리오, 아황산가스 배출량이 44만톤으로 저감되어 2001년에 0.01ppm수준으로 달성하는 시나리오이다. 또한 배연탈황시설의 도입가격에 대해서 이산화황 1톤 저감비용을 500\$와 1,000\$을 사용했다.

그 결과 첫째, 2001년 이후 이산화황 농도를 0.01ppm수준으로 유지하기 위해서는 연료전환만으로는 불가능하고 배연탈황장치의 도입을 추진하는 것이 필요하다. 그리고 2020년까지 매년 배연탈황장치를 위해 평균 2억달러의 투자가 필요하다. 둘째, AEED의 변화(0.5, 0.8, 1.0)에 의해 저황원유, 천연가스 등의 연료소비량이 변화해, 배연탈황장치의 투자비용이 다르나, AEED가 높아져도 배연탈황장치의 도입이 필요하다. 셋째, 배연탈황의 가격 즉 1톤의 아황산가스저감에 필요한 비용이 500~1,000\$로 높아지면, 저황원유, 천연가스 등 유황 함량이 낮은 연료의 사용량이 급속히 증가한다. 넷째, 배연탈황장치의 도입이 늦어지면 소비연료의 대부분이 천연가스로 변해야 2012년에 아황산가스 농도 0.01ppm을 달성할 수 있다는 것이 도출되었다.

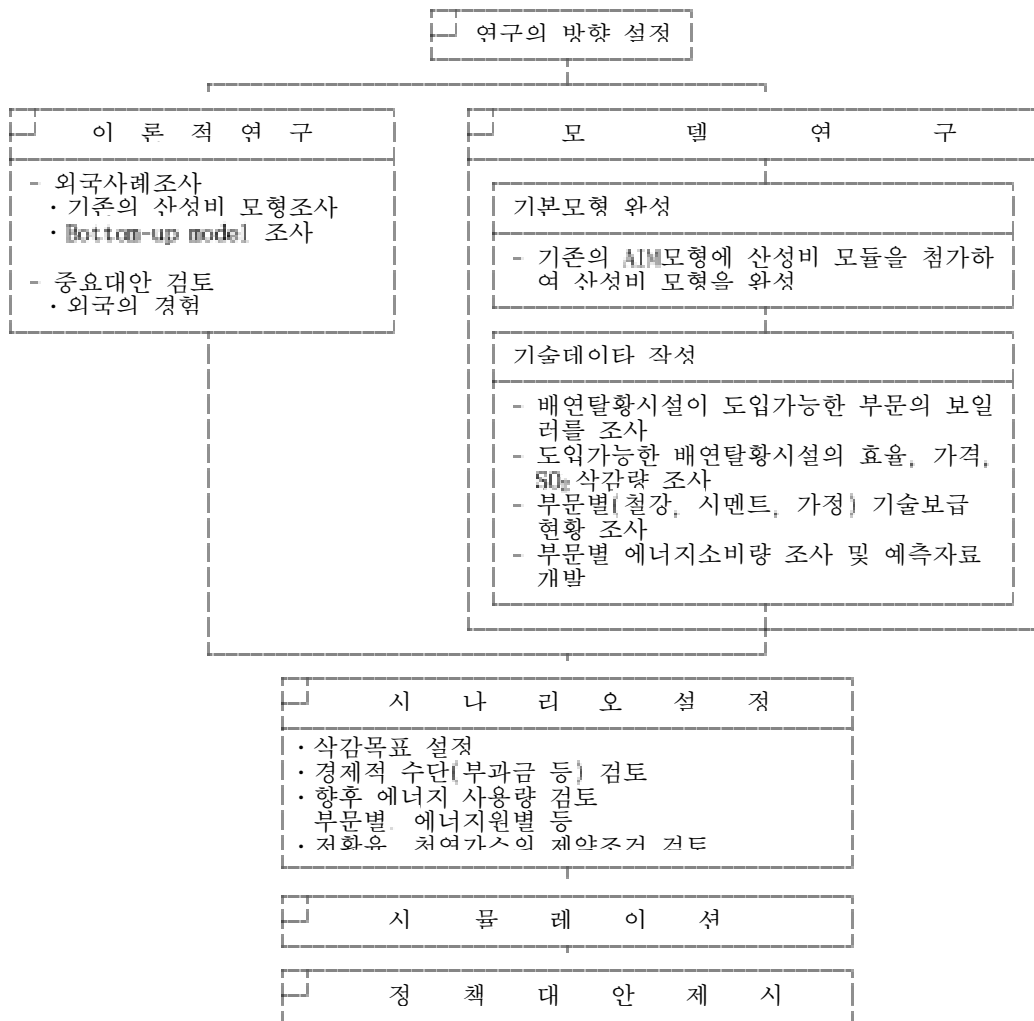
전년도 연구결과는 동적 최적화 모형인 Global 2100모형을 수정한 모형을 이용하여 거시적 측면에서의 아황산가스 저감방안을 제시하였으나, 부분별 구체적인 방안의 제시가 미흡하다. 따라서 거시적 판단에 기초한 구체적이며, 보다 현실적인 아황산가스 저감을 위한 Bottom-Up(하방상향)형태의 모형개발이 필요하다. 즉, Bottom-Up 모형은 현재 심각한 문제로 대두되는 지구온난화의 주요원인인 이산화탄소저감을 위해 개발된 모형과 통합되어 지구적 환경문제와 지역적 환경문제를 동시에 해결하기 위한 최적대안 도출에 용이할 것으로 보인다. 본 연구는 전년도 연구의 후속으로 산성비에 대한 구체적인 해결방안을 모색하기 위하여 산성비 원인물질인 아황산가스의 저감대책 평가 모형 개발과 아황산가스 저감을 위한 구체적인 대안제시를 목적으로 한다.

2. 연구의 범위

연구는 이론적 연구, 모형연구, 시나리오설정, 시뮬레이션, 정책대안제시의 5개

부분으로 이루어져 있다.

이론적 연구는 산성비와 관련된 일반적인 내용과 선진외국의 아황산가스 규제와 저감정책으로 정리하였다. 모형연구에서는 본 연구에 적합한 상방하향모형과 하방상향모형을 중심으로 조사하였다. 시나리오 설정은 각 분야별 BAU(Business As Usual)와 아황산가스 저감을 위한 경제적 수단을 포함한 시나리오설정을 다루었으며, 이러한 조사를 바탕으로 시뮬레이션을 하였고, 시뮬레이션 결과를 바탕으로 정책대안을 제시하는 것으로 이루어져 있다. 연구의 흐름은 < 그림 I-1 >과 같다.



< 그림 I-1 > 연구의 흐름

II. 아황산가스 저감 모형 구축

1. 기존연구 및 모형

산성비를 포함한 지구환경문제를 해결하기 위해서는 사회경제적, 과학적 대응방안 수립이 그 어느 때보다도 절실히 요구되고 있으며, 이러한 차원에서 외국에서는 물론이고, 우리 나라에서도 여러 정부출연 및 민간 연구기관과 기타 관련기관의 전문가들이 다양한 예방적 대응수단을 연구하고 있다.

예방적 대응수단으로서 경제적 수단이 고려될 때 가장 중요한 것이 각 수단의 비용효과성이며, 이러한 면에서 탄소세(유탄세)나 배출권 거래제도 등이 우선적으로 고려될 수 있다. 이러한 제도의 시행은 거시경제 및 국제무역에 미치는 영향을 줄 수 있으므로 최근에 많이 적용되고 있는 거시경제모형에 기초한 “상방하향 분석방법(Top down approach)”(Dean, 1993)이나 미시적 비용편익분석에 기초한 “하방상향 분석방법(Bottom up approach)”(Johansson, 1993), 그리고 에너지 보전과 이산화탄소배출감소를 촉진시키기 위해 사용되는 정책수단들의 묶음을 지칭하는 “혼합정책(Mixed Bag approach)”(Lenstra and Bonney, 1993) 등에 대한 연구를 확대하고 각 정책수단들의 우선 순위를 파악하여 선별적으로 정책을 시행하는 것이 바람직하다. 이같은 대응방안 수립을 보다 합리적이고 정책적으로 수용가능성이 높게 하기 위한 하나의 노력이 “통합평가모형(integrated assessment model)”의 개발과 적용이다.

통합평가모형은 시뮬레이션에 의해 각종 경제활동에 따른 온실가스 배출, 대기 중의 온실가스농도 증가에 의한 기후변화, 기후변화에 의한 자연환경·사회환경에의 영향 등 모든 과정을 통합해 각종 온난화대책효과를 종합적으로 평가하는 것이다. 이러한 모형으로는 미국 Battele연구소가 개발중인 Global Change Assessment Model(GCAM), 네덜란드 보건환경국립연구소(National Institute for Public Health and Environment; RIVM)가 개발중인 Integrated Model for the Assessment of the Greenhouse Effect 2(IMAGE2), 일본국립환경연구소(National Institute for Environmental Studies; NIES)가 개발중인 Asia-Pacific Intergated Model for Evaluating Policy Options to Reduce GHG Emission and Global Warming Impacts(AIM) 등 세계

적으로 몇 안된다(Morita, et al., 1994).

산성비 모형과 관련해서는 IIASA(International Institute for Applied Systems Analysis)의 RAINS(The Regional Acidification Information and Simulation) 7.0 모형이 유명하다. 그러나, 이 모형에서는 산성비 원인물질의 이용실태와 이에 따른 산성비 원인물질 배출량 전망 및 저감방안 등의 구체적인 방향 제시는 미흡하다.

우리 나라의 경우에는 이러한 경제적인 모형을 이용해 산성비 원인물질의 저감을 위한 구체적인 저감대책을 제시한 예가 거의 없다.

2. AIM/KOREA SULFUR 모형의 개요

산성비 원인물질의 배출저감정책으로는 우리와 입장이 비슷했던 일본의 경험에서 보면 배연탈황투자, 연료의 저황화, 에너지 절약, 생산구성의 변화를 들 수 있다. 이는 < 그림 II-1 >에 제시한 바와 같이 일본의 1990년판 환경백서에 의하면 1968년 제정된 『대기오염방지법』에 기초한 아황산가스 배출규제를 실시하여 유례 없는 대폭적인 아황산가스 배출 삭감이 가능하게 됐다는 일본의 보고에서 잘 알 수 있다.

따라서 본 연구에서는 이와 같은 저감대책이 구체적으로 가능하도록 하기 위해 지구온난화 저감대책 평가모형으로 일본의 국립환경연구소가 개발한 AIM (Asia-Pacific Integrated Model for Evaluating Policy Options to Reduce GHG Emission and Global Warming Impacts)을 기초로 하여 우리 나라에 적용가능한 AIM/KOREA SULFUR모형을 구축하였다. 즉, AIM의 에너지수요 모형을 산성비모형으로 개량하여 우리 나라의 경우에 수정·적용시키되, AIM의 배출모형(Emission Model)만을 대상으로 한다. 이렇게 하여 개발된 모형은 기술선택(고효율기기), 배연탈황시설, 에너지효율, 에너지서비스 수요, 관련 사회·경제적 변수, 에너지 소비량 및 아황산가스 배출량의 변수관계를 시뮬레이션 할 수 있는 “최종에너지소비모형(Energy End-use Model)”으로서 이를 본 연구에서는 AIM/KOREA SULFUR 모형으로 지칭한다.

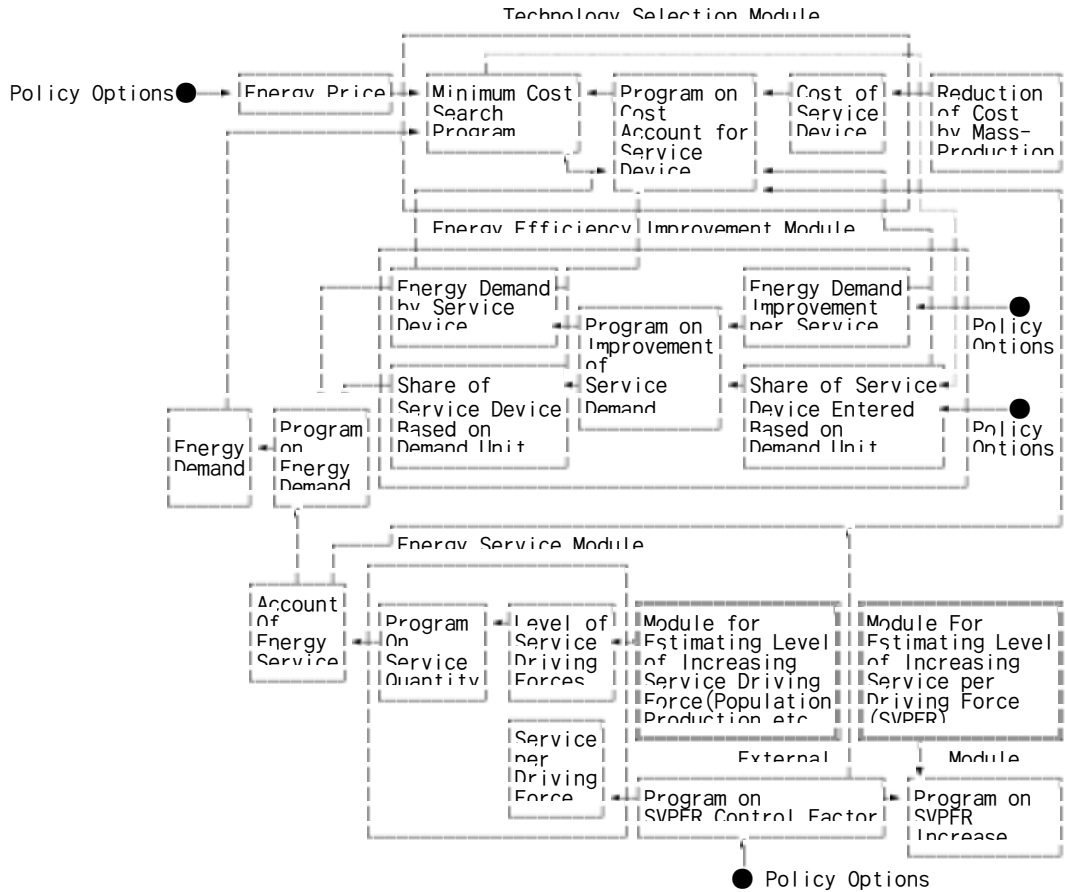


< 그림 II-1 > 일본의 아황산가스 저감대책별 효과

자료: 日本環境廳, 環境白書, 1990

주 : 괄호 안의 숫자는 1974년의 아황산가스 배출량을 100으로 했을 때 1986년의 삭감량 (97.6)의 비율임. 에너지 절약에 의한 아황산가스 배출삭감 (40.5), 탈황시설 증가에 의한 아황산가스 배출삭감 (34.5), 연료구성의 변화에 의한 아황산가스 배출삭감 (15.5), 생산구성의 변화에 의한 아황산가스 배출삭감 (7.1)

이 AIM/KOREA SULFUR는 < 그림 II-2 >에 나타난 것과 같이 3개의 모듈로 구성되어 있다. 첫 번째 모듈은 에너지소비량을 각종 수요(에너지 서비스)별로 산정하는 “에너지서비스량 산출 모듈”이다. 이 모듈은 경제사회의 제변수를 결정하는 외부모형 또는 소비행태의 변화, 경제활동실태, 생활방식, 그리고 기타의 주요경제변수를 반영하는 특정 시나리오에 의해서 에너지서비스 수요량(예를 들면 철강업 제품생산량)을 추정한다. 두번째는 에너지효율 개선정도를 산정하는 “에너지효율 산출모형”이다. 끝으로 여러 에너지절약기술중 가장 비용 효과적인 기술선택을 결정하는 “기술선택 모듈”이다. 세 가지 모듈 외에 부수적인 모듈로서 이 세가지 모듈을 통합해 부분적인 최적화계산을 하는 모듈도 AIM/KOREA SULFUR에 포함되어 있다.



< 그림 II-2 > AIM End-use Energy Demand Model의 구조

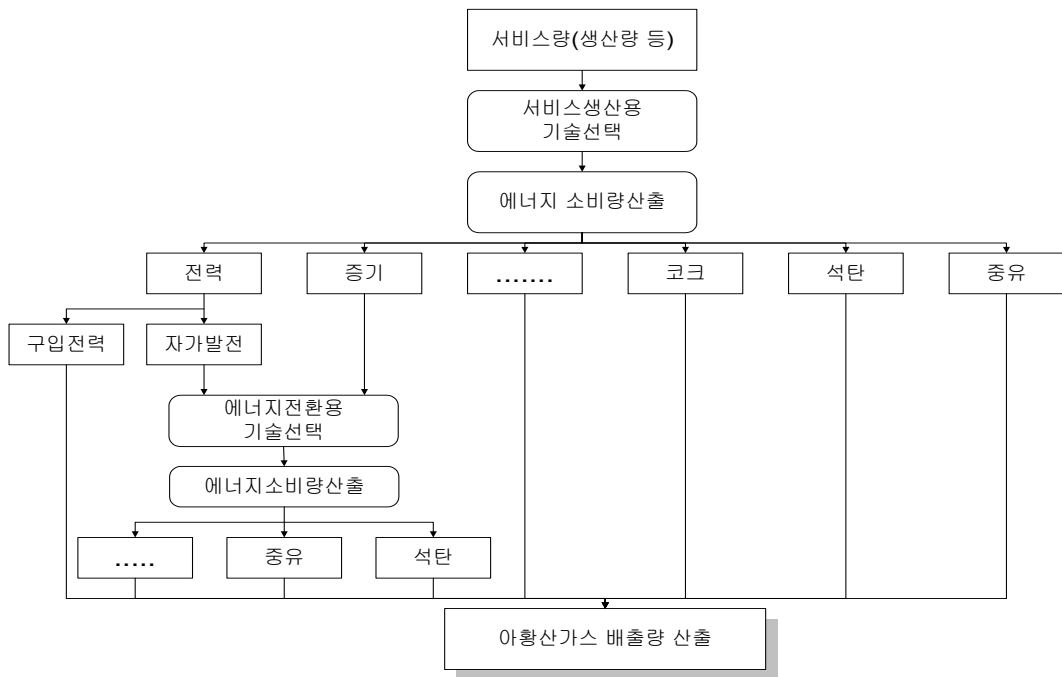
Source: Morita, T., Y. Matsuoka, M. Kainuma, K. Kai, H. Harasawa and D. K. Lee, 1994, *Asian-Pacific Integrated Model for Evaluating Policy Options to Reduce Greenhouse Gas Emissions and Global Warming Impacts*, p.4

AIM/KOREA SULFUR는 소위 “하방상향모형”으로서 에너지가격변화에 의한 기술대체와 이에 따른 에너지소비량 변화를 산정하여 아황산가스배출량을 추정한다. 따라서 아황산가스 배출저감을 위한 개별 정책의 유효성을 구체적으로 평가하는 것이 가능하다. 또 에너지수요모형에 에너지절약기술선택모형을 연결시켜 분석함으로써 개별 기술의 시장도입 정도와 에너지효율개선의 효과에 대한 예측을 가능하게 한다. 아울러 이 모형은 이미 완성되어 있는 AIM세계모형과 연결시킬 수 있으므로 앞으로 아황산가스 저감을 위해 동북아 환경협력을 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

3. 모형의 시뮬레이션절차

3.1. 전체절차

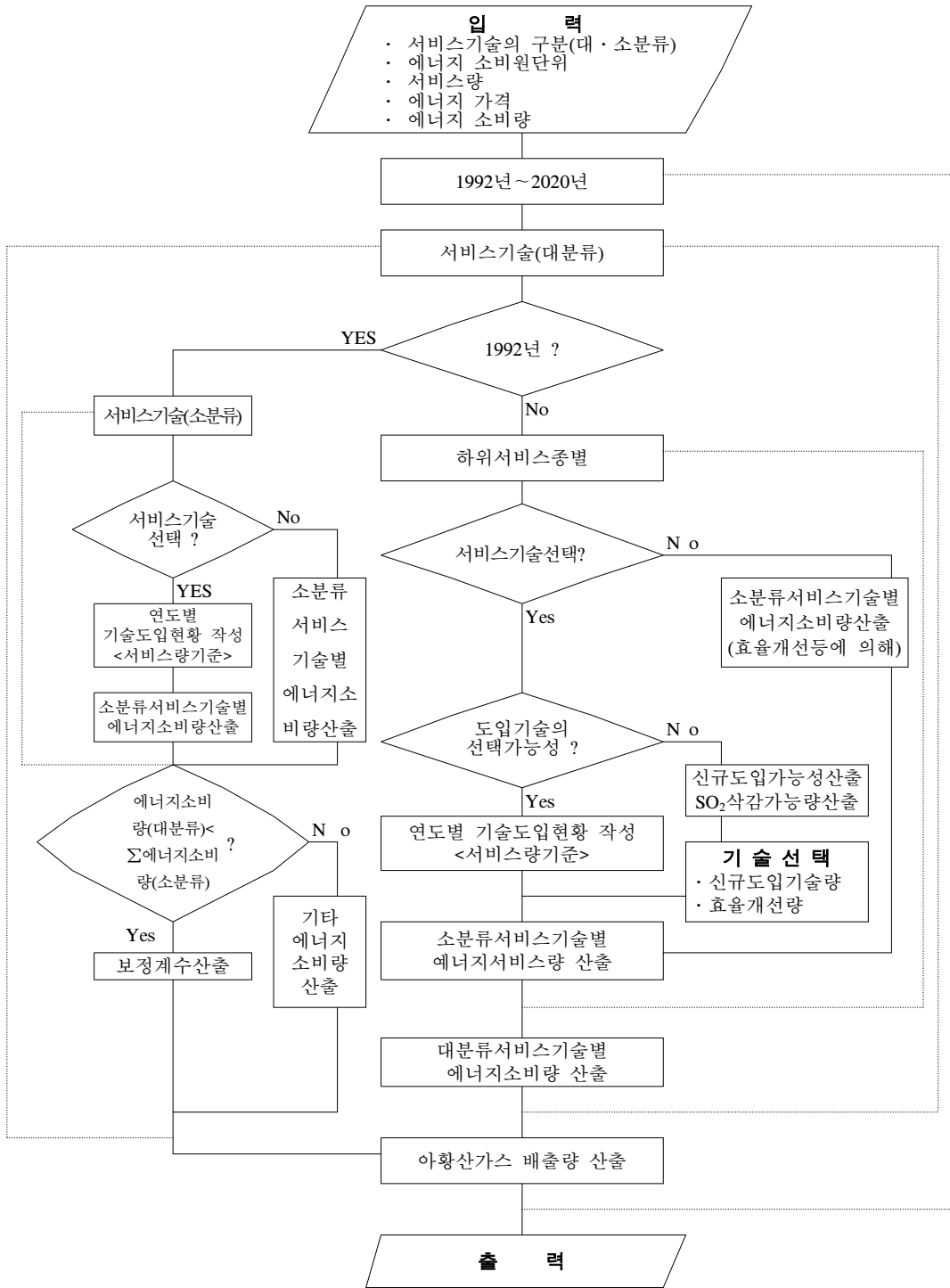
AIM/KOREA SULFUR의 전체적인 시뮬레이션은 다음의 절차에 따라 실행된다 (그림 II-3).



< 그림 II-3 > AIM/KOREA SULFUR 모형의 시뮬레이션 절차

AIM/KOREA SULFUR모형의 상세도는 < 그림 II-4 >에 나타내었다.

- ① 외부시나리오(국가전망치)에 의해 에너지서비스량을 산출한다: 기준 년도의 에너지서비스량은 실제의 에너지소비량에 의해 책정되고 미래의 에너지서비스량은 외부시나리오에 의해 결정된다.
- ② 에너지서비스를 충족시키기 위해 신규 또는 기존의 서비스기술이 선택된다. 이때 신규(아황산가스 저배출기기) 또는 기존 서비스기술의 선택은 최소비용원칙에 의한다.



< 그림 II-4 > AIM/KOREA SULFUR모형의 시뮬레이션 상세 흐름도

- ③ 선택된 서비스기술을 가동시키는데 필요한 에너지소비량을 계산한다.
- ④ 이상에서 구해진 연료종류별 에너지소비량을 기초로 아황산가스 배출량을 추정한다. 동시에 에너지절약형 기술의 도입현황, 즉 연도별 기존기술과 새로운 에너지절약형 기술의 도입상태를 수치로 계산한다.
- ⑤ 아황산가스 저감을 위한 시나리오를 도입해 BAU(기준경우)와 비교해 그 타당성을 검토한다.

3.2. 기술선택

다른 통합평가모형과 비교하였을 때 AIM/KOREA SULFUR의 주요 특성중의 하나는 구성모듈중 “기술선택모듈”의 존재이다. 기술선택의 기준은 그 시점에서 이용하고 있는 기술이 교체시기가 된 경우, 즉 내구년수가 종료된 경우와 교체시기가 아직 되지 않은 경우에 따라 상이하다. 이용되고 있는 기술의 내구년수가 종료되었을 때 소비자는 서비스수요를 충족시키기 위해 다시 기존기술을 도입할 것인지 아니면 가격은 비싸지만 에너지절약형(아황산가스 저배출형)인 기술을 도입할 것인지를 결정하게 된다. 이를 위해 기술도입의 초기비용(구입비용)과 연료·유지비용의 합을 기존기술과 에너지절약형 기술간에 비교하여 적은 비용의 기술을 선택한다. 한편 현재 이용되고 있는 기술의 교체시기가 아직 도달되지 않았을 때에는 기존의 기술을 전혀 새로운 기술로 전체 개량하는 경우와 기존기술과 동일한 기술로 부분 개량하는 경우를 생각할 수 있는데 어떠한 경우에도 기술개량에 필요한 비용이 기존기술에 의한 에너지절약비용보다 적은 경우만 기술이 교체되거나 개량된다. 더 구체적으로 각각의 경우들을 살펴보면 다음과 같다(Morita, et al., 1995).

3.2.1. 기술의 교체시기가 된 경우

이용되고 있는 기술이 교체시기가 된 경우에는 소비자는 다시 기존의 기술을 도입하거나 아니면 가격은 비싸나 에너지절약형인 기술을 도입할 것인가를 결정하여야 한다. 이를 위해 양기술간의 기술도입 초기비용의 차이와 에너지절약에 따른 연료비 절약규모를 비교해 경제성이 높은 것을 선택한다.

그리고 서비스수요량의 증대에 따라 신규로 기술을 추가 구입하는 경우에도 동일한 논리가 적용된다. 이상의 내용을 수식으로 간략히 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$(F_A + E_A) < (F_B + E_B) \rightarrow \text{기술 A를 선택}$$

$$(F_A + E_A) \geq (F_B + E_B) \rightarrow \text{기술 B를 선택}$$

F: 연간고정비용

E: 연간연료비용

A: 기존기술

B: 에너지절약형 기술

3.2.2. 기술교체시기가 도달하지 않은 경우

이 경우의 기술선택은 현재 가동중인 기술에 대한 대체기술이 1) 적용기술이 전혀 상이한 경우(기술 전체를 교체)와 2) 적용기술은 동일하나 부분적인 개량을 필요로 하는 경우로 구분할 수 있다.

3.2.2.1. 적용기술이 상이한 경우(기술전체를 교체)

현재 가동중인 기술의 연료비와 대체기술의 고정비용 및 연료비 합계를 비교하여 대체기술쪽이 경제성이 높은 경우 가동중의 기술은 대체기술로 교체된다.

$$E_A \leq (F_B + E_B) \rightarrow \text{기존기술을 계속해서 가동}$$

$$E_A > (F_B + E_B) \rightarrow \text{대체기술(에너지절약형 기술)}$$

3.2.2.2. 적용기술은 동일하나 부분개량이 필요한 경우

기존기술의 연료비와 대체기술의 고정비용증대분(개량비용)과 연료비의 합계를 비교해 비용이 적은 기술이 선택된다. 기존기술의 부분개량이 선택되는 경우 기존기술의 잔존사용년수는 변함이 없다.

$$E_A \leq (\Delta F_B + E_B) \rightarrow \text{현재가동중의 기술, 계속해서 가동}$$

$$E_A > (\Delta F_B + E_B) \rightarrow \text{대체기술로 교환}$$

ΔF_B : 개량비용

AIM/KOREA SULFUR에는 이와 같은 기술선택과정이 포함되어 있기 때문에 유

황세부과나 보조금지급을 모형에 도입하면 기술선택이 변화하고 그 결과로서 에너지소비량과 아황산가스배출량이 결정된다. 예를 들면 유황세가 도입되면 에너지가격이 상승하고 에너지절약에 의한 연료절약비용이 증가하기 때문에 비교적 가격이 높은 에너지절약기술이나, 청정연료사용 기술이 도입되게 된다. 그리고 보조금을 지급하면 에너지절약기술의 초기비용이 낮아지므로 이 기술의 도입이 촉진된다.

또한 에너지전환에 의해 아황산가스 저감가능성은 에너지전환을 포함한 기술선택으로 시뮬레이션이 가능하다.

4. 시뮬레이션 대상기간 및 입력자료 내역

4.1. 시뮬레이션 대상부문

본 연구에서의 시뮬레이션 대상부문은 1995년 현재 아황산가스 배출량의 47.8%¹⁾를 차지하는 산업부문중 에너지 다소비 업체인 철강업과 시멘트공업으로 하였고, 15.5%²⁾를 차지하는 난방과 발전의 일부를 포함하는 가정부문을 대상으로 하였다.

4.2. 시뮬레이션 대상기간

본 연구에서의 시뮬레이션은 자료의 이용가능성과 관련되는 에너지절약기술의 예측가능성을 고려하여, 1992년을 기준 년도로 하여 1년 단위로 2020년까지 시행하였다.

우선 1992년도를 기준 년도로 설정한 것은 자료의 이용가능성을 고려한 것이다. 우리 나라에서는 3년에 한번씩 에너지센서스 조사가 실시되고 있고, 가장 최근의 조사는 1992년을 대상으로 하였다. AIM/KOREA SULFUR에 적용시킬 수 있는 부

1) 환경부, 국립환경연구원(1996), 대기오염물질 배출량 자료에 의하면 산업부문의 SO₂배출량은 733,036톤, 전체는 1,532,320톤으로 나타나 있다.

2) 환경부, 국립환경연구원(1996), 대기오염물질배출량 자료에 의하면, 난방부분은 가정과 업무부분이 포함되어 있으나, 전기는 포함되어 있지 않다. 본 분석은 가정부분에 전기부분도 포함하여 새롭게 시뮬레이션을 한 결과 237,590톤으로 추정되었다.

문의 에너지소비량에 대한 자료로서는 에너지센서스 조사가 가장 자세한 정보를 제공하고 있다.

2020년까지의 기간설정은 관련 에너지절약기술의 발전정도와 사용기간 등을 고려하여 결정한 것이다. 현재 사용되고 있는 기술의 사용년수가 대부분 약 20~30년이므로, 현 수준의 기술과 다음 세대의 기술이 예측가능한 수준에서 대상기간을 2020년으로 한정하였다. 물론, 대상기간을 더 확대한 시물레이션도 가능하나, 현재로서는 그때 당시 도입될 기술에 대한 정보가 없으므로 시물레이션결과의 불확실성이 높아질 것이다.

따라서 현재 수집가능한 자료의 한계 내에서 현실적인 결과를 도출하기 위해서 1992년부터 2020년까지를 시물레이션 대상기간으로 설정하였다.

4.3. 입력자료내역

시물레이션하는데 있어서 필요한 자료는 < 표 II-1 >과 같이 요약된다.

< 표 II-1 > AIM/KOREA SULFUR의 필요입력자료

구 분	데이터 내역
에너지소비량	계층별 에너지 소비량
단위에너지서비스당 에너지소비량	에너지소비량/에너지서비스
에너지서비스기술	기기별 사용기간, 가격, 에너지효율, 에너지원
에너지서비스량	제품생산량
이산화황 배출계수	에너지원별 이산화황 배출계수

본 모형의 시물레이션에 입력되는 에너지원에 대한 자료는 대상이 되는 연료종류별 발열량, 가격, 아황산가스배출계수 등이다. 에너지서비스는 에너지소비에 의해 발생하는 물리적 효용을 나타내며, 그 단위는 에너지소비형태에 따라 정의된다.

여기에서 에너지 서비스라고 하는 것은 에너지 소비에 의해 기대되는 효용을 말하며, 단위는 에너지 목적에 따라 정의된다. 예를 들면 공업생산의 경우에는 제품생산량, 난방의 경우에는 난방 칼로리로 나타낼 수 있다.

서비스 기술은 에너지서비스를 충족시키기 위한 기술로 기존 기술은 물론이고 향후 개발될 에너지 절약 기술도 대상이 된다. 예를 들면 철강업에 있어서 조강생

산을 위해 현재 시범적으로 도입된 COREX기술도 서비스기술이다.

4.4. 에너지가격, SO₂배출계수

산업별 유종별 연료중에 포함되어 있는 황(S)의 함량은 다음의 < 표 II-2 >와 같다.

< 표 II-2 > 산업별 유종별 황함량

유종	S비율(%)	운수	난방	산업	발전
휘발유		6.6S			
등유			17S		
경유	1.0	16.5S	17S	17S	17S
	0.2	16.5S	17S	17S	17S
B-A	4.0			19S	
	1.6			19S	
	1.0			19S	
B-B	4.0			19S	
	1.6			19S	
	1.0			19S	
B-C	4.0		19S	19S	
	1.6		19S	19S	
	1.0		19S	19S	
	0.3		19S	19S	
무연탄	0.55		10.3S	19.5S	
유연탄(발전)	0.7			19.5S	
유연탄(제철)	0.59			19.5S	
유연탄(시멘트)	1.0			19.5S	
유연탄(일반)	0.65			19.5S	
LNG			0.02S	0.02S	0.02S
LPG				0.02S	0.02S
로가스				2.47S	
코크스				3.013S	
제트유		3.2S			

주 : 미국 EPA와 에너지경제연구원 내부자료를 이용하여 작성

코크스 및 철광석의 유황분 함계는 $(8.9/6 * S + 0.774) * 2$ 를 이용하여 구했음.

SO₂배출계수(발열량당 SO₂무게)와 에너지가격을 < 표 II-3 >와, < 표 II-4 >에 각각 나타내었다.

여기서 SO₂배출계수는 다음의 식을 이용하여 구하였다.

$$SO_2 \text{ 배출계수} = \frac{\text{연료별 S 함량} \times \text{연료중 황 비율}}{\text{발열량}}$$

< 표 II-3 > 아황산가스 배출계수

	연료종	배출계수(톤/kcal)		연료종	배출계수(톤/kcal)
1	Anthracite-industry	2.3833E-09	19	Bunker-B-4	7.8351E-09
2	Bituminous-power	2.0152E-09	20	Bunker-B-1.6	3.1340E-09
3	Bituminous-steel	1.7432E-09	21	Bunker-B-1	1.9588E-09
4	Bituminous-cement	2.9545E-09	22	Propane-general	1.6667E-12
5	Bituminous-general	1.9205E-09	23	Propane-town gas	1.6667E-12
6	Cokes	4.6354E-10	24	Butane-general	1.6667E-12
7	Furnace Gas	3.8000E-10	25	LNG-power	1.9048E-12
8	Gasoline	7.9518E-10	26	LNG-res-com	1.9048E-12
9	Kerosene	1.9540E-09	27	LNG-ind	1.9048E-12
10	Diesel-1-general	1.8478E-09	28	Elec-resi	2.0040E-09
11	Diesel-0.2-general	3.6957E-10	29	Elec-com	2.0040E-09
12	Bunker-C-4	7.6768E-09	30	Elec-indu	2.0040E-09
13	Bunker-C-1.6	3.0707E-09	31	Steam	0.0000E-00
14	Bunker-C-1	1.9192E-09	32	Jet oil	3.6782E-10
15	Bunker-C-0.3	5.7576E-10	33	Naphtha	0.0000E-00
16	Bunker-A-4	8.0851E-09	34	CaCO ₃	0.0000E-00
17	Bunker-A-1.6	3.2340E-09	35	waste heat	0.0000E-00
18	Bunker-A-1	2.0213E-09			

주 : 에너지경제연구원 내부자료를 이용하여 작성.

전기의 경우 발전소에서 사용하는 연료를 가중 평균하여 구하였다. 에너지 가격은 각 연도의 발열량당 평균가격으로 표시하였으며, 1995년부터 가격은 일정한 것으로 가정하였다(표 II-4).

< 표 II-4 > 에너지 가격

	연료종	년도	원/kcal	년	원/kcal	년	원/kcal	년	원/kcal
1	Anthracite	1993	0.01061	1994	0.01061	1995	0.01061	2020	0.01061
2	Bituminous-power	1993	0.00550	1994	0.00550	1995	0.00550	2020	0.00550
3	Bituminous-steel	1993	0.00667	1994	0.00608	1995	0.00578	2020	0.00578
4	Bituminous-cement	1993	0.00498	1994	0.00470	1995	0.00446	2020	0.00446
5	Bituminous-general	1993	0.00274	1994	0.00259	1995	0.00245	2020	0.00245
6	Cokes	1993	0.00678	1994	0.00617	1995	0.00587	2020	0.00587
7	Furnace_Gas	1993	0.00678	1994	0.00617	1995	0.00587	2020	0.00587
8	Gasoline	1993	0.07369	1994	0.07361	1995	0.07205	2020	0.07205
9	Kerosene	1993	0.02920	1994	0.02900	1995	0.03007	2020	0.03007
10	Diesel-1	1993	0.02104	1994	0.02337	1995	0.02370	2020	0.02370
11	Diesel-0.2	1993	0.02150	1994	0.02424	1995	0.02457	2020	0.02457
12	Bunker-C-4	1993	0.00875	1994	0.01015	1995	0.01061	2020	0.01061
13	Bunker-C-1.6	1993	0.01033	1994	0.01260	1995	0.01246	2020	0.01246
14	Bunker-C-1	1993		1994	0.01345	1995	0.01312	2020	0.01312
15	Bunker-C-0.3	1993	0.00848	1994	0.00735	1995	0.00889	2020	0.00889
16	Bunker-A-4	1993	0.01586	1994	0.01641	1995	0.01608	2020	0.01608
17	Bunker-A-1.6	1993		1994	0.01691	1995	0.01650	2020	0.01650
18	Bunker-A-1	1993	0.01613	1994	0.01742	1995	0.01684	2020	0.01684
19	Bunker-B-4	1993	0.01172	1994	0.01296	1995	0.01309	2020	0.01309
20	Bunker-B-1.6	1993		1994	0.01444	1995	0.01414	2020	0.01414
21	Bunker-B-1	1993	0.01288	1994	0.01505	1995	0.01461	2020	0.01461
22	Propane-general	1993	0.07077	1994	0.07308	1995	0.07534	2020	0.07534
23	Propane-town-gas	1993	0.02860	1994	0.03860	1995	0.03025	2020	0.03025
24	Butane-general	1993	0.02576	1994	0.02576	1995	0.02669	2020	0.02669
25	LNG-power	1993	0.00656	1994	0.00742	1995	0.00758	2020	0.00758
26	LNG-res-com	1993	0.01081	1994	0.01050	1995	0.01050	2020	0.01050
27	LNG-ind	1993	0.00197	1994	0.00223	1995	0.00223	2020	0.00223
28	Elec-Resi	1993	0.06040	1994	0.05771	1995	0.05642	2020	0.05642
29	Elec-Comm	1993	0.05434	1994	0.03914	1995	0.04969	2020	0.04969
30	Elec-Indu	1993	0.03292	1994	0.03145	1995	0.03037	2020	0.03037
31	Steam	1993	0.02758	1994	0.02758	1995	0.02758	2020	0.02758
32	Jet_Oil	1993	0.03232	1994	0.03232	1995	0.03232	2020	0.03232
33	Naphtha	1993	0.00289	1994	0.00289	1995	0.00289	2020	0.00289
34	CaCO3	1993	0.00000	1994	0.00000	1995	0.00000	2020	0.00000
35	waste_heat	1993	0.00000	1994	0.00000	1995	0.00000	2020	0.00000

주: 에너지경제연구원 내부자료를 이용하여 작성.

Ⅲ. 부문별 아황산가스 저감방안 비교·분석

1. 철강업

1.1. 철강업의 모형화

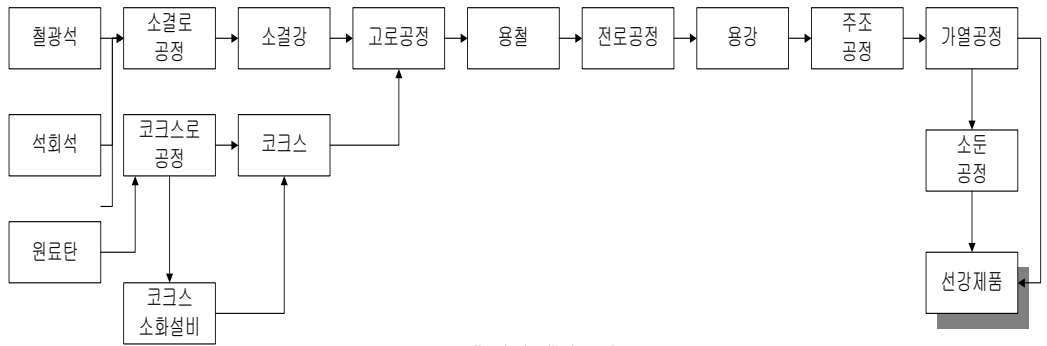
1.1.1. 개요

우리 나라의 제강법은 현재 고로(高爐)법과 전기로(電氣爐)법으로 나눌 수 있다. 그 이외에 평로(平爐)법이 있지만, 이 방법에 의한 조강 생산은 하고 있지 않다.

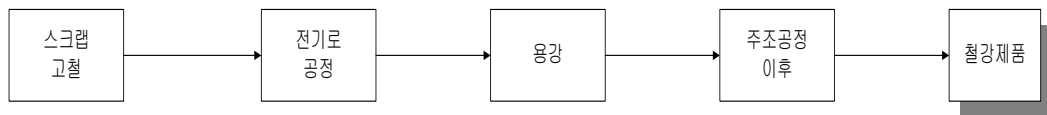
고로에 의한 제철에서는 원료의 철광석은 소결로(燒結爐)에서 부연료의 석회석과 소결된 환원제 코크(coke)와 함께 고로로정에 투입되어 진다. 소결광(燒結鑛)과 코크는 고로내에서 로저(爐底)에서 공기와 반응해 용철과 불순물을 분리해낸다. 고로에서 생산한 선철(銑鐵)은 전로(轉爐)에 이동되어 석회석 등의 부원료를 첨가해 성분 조정해 산소를 흡수하여 선철중의 탄소를 산화시켜 조강으로 된다. 전로에서 생산된 조강은 주조장치(鑄造裝置)에 의해 적당히 큰 슬라브(slav)가 되며, 열간압연설비(熱間壓延設備)에 의해 각종 열연제품이 된다. 고품질 고강도의 강판을 제조할 경우에는 열간압연 후 냉간압연(冷間壓延)이나 소결처리를 하여 냉연제품을 제조한다.

전기로에 의한 제철은 전기로중의 높은 전압의 아크에 의해 용해된 철스크랩을 성분 조정해 주조설비에 보낸다. 그 후 공정은 고로에 의한 제철과 동일하다.

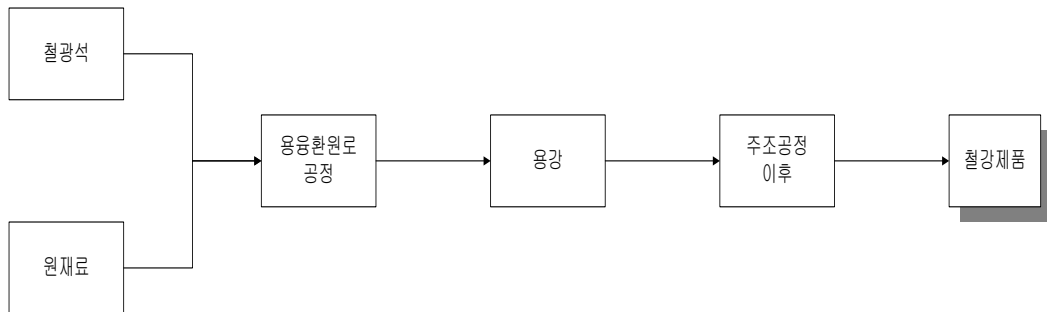
고로법을 대체하는 제강법인 용융환원제철(COREX)은 포항제철에서 시험적으로 도입하였는데, 용융환원제철의 특징으로는 철광석을 환원해 선철을 만드는데 있어 코크가 아닌 가격이 가장 저렴한 일반탄으로 환원하는 점을 들 수 있다(그림 III-1).



1. 고로에 의한 제철과정



2. 전기로에 의한 제철과정



3. 용융환원로에 의한 제철과정

< 그림 III-1 > 각 제강법에 의한 제철생산과정

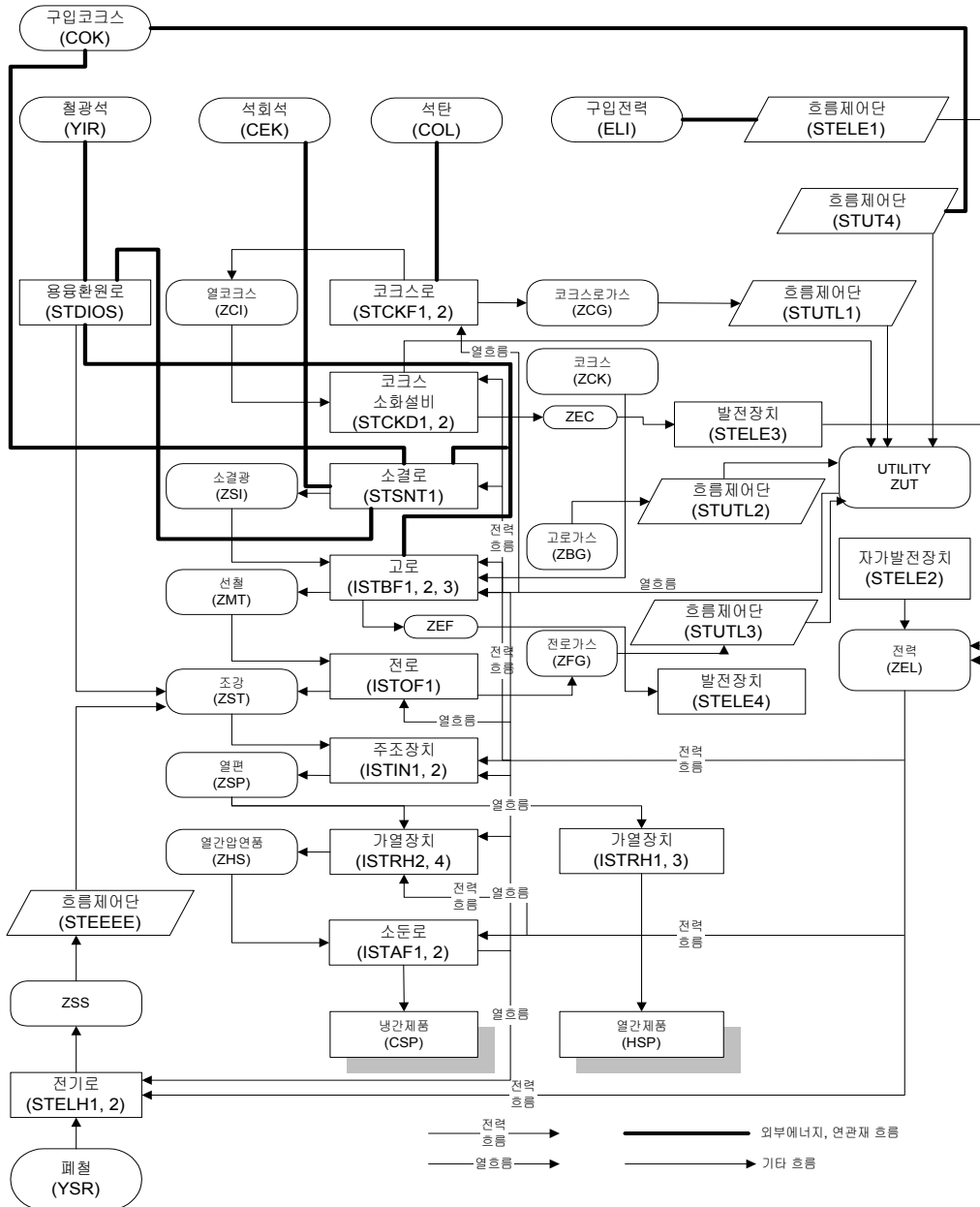
1.1.2. 제조공정과 에너지 흐름

본 분석에서는 앞으로의 공정을 < 그림 III-2 >와 같이 모형화 하였다.

제강에는 다양한 연료가 사용되지만 주요연료이외에는 Utility(ZUT)로서 일괄 다루었다. 또한 구매전력(ELI)은 가상의 자가발전장치(흐름제어단)에 투입해 내부전력(ZEL)으로 변환되는 것에 의해 구매전력과 자가발전력의 비율을 설정하였다.

조강(ZST)생산에 관한 이용기술의 비율은 공정별(전로, 전기로, 용융환원로)로 설정하였다. 그러나 전기로에는 두 가지의 서비스기기(STELH1, 2)가 존재함으로 각각에 대하여 조강생산 비율을 설정할 필요가 있다. 여기에서는 에너지를 소비하지

않는 가상의 서비스기기 흐름제어단(STEEEE)을 전기로의 하단에 설정해 기기의 조강 비율 한계를 설정함으로써 전기로 전체에서 조강생산에 대한 비율을 설정하는 것이 가능하게 되었다.



< 그림 III-2 > 철강생산부문의 흐름

1.1.2.1. 외부발생에너지 및 관련재

< 그림 III-2 >에 나타난 철강부문의 외부발생에너지는 석탄(COL), 석회석(CEK), 구입코크스(COK), 구입전력(ELI), 및 철광석(YIR), 폐철(YSR)이다. 이 중에서 철광석과 폐철은 관련재로 취급하였다. 다음은 각 외부발생에너지종 및 관련재의 특성에 대해서 기술한 것이다.

가) 석탄(COL) : 제철용 유연탄

주요에너지종이면서 원재료종이다. 아황산가스 배출원단위는 $1.7432 \times 10^9 \text{t/kcal}$ 로 높으며, 에너지가격은 $5.78 \times 10^7 \text{원/kcal}$ 로 일정하다. 고로제철의 코크스로, 소결로, 고로 등 각 공정에 있어 에너지로서 사용되며, 또한 용융환원로공정에서도 사용된다.

나) 석회석(CHK)

석회석은 고로제철의 소결공정에서 관련재로서 취급한다. 본 연구에서는 석회석으로부터 배출되는 SO_2 는 고려하지 않는다.

다) 구입코크스(COK)

고로제철에 있어서 코크스소화설비공정으로부터 생산되는 코크스(ZCK)와 함께 고로공정에서는 구입코크스도 투입한다. 또한 내부발생에너지(ZUT)를 생산하기 위해 Utility기술에 투입되는 외부발생에너지로서도 취급한다. 구입코크스의 아황산가스배출원단위는 $4.6354 \times 10^{10} \text{t/kcal}$ 이고, 구입가격은 $5.87 \times 10^7 \text{원/kcal}$ 로 일정하다. 외부발생에너지인 코크스(ZCK)의 가격은 0원으로 하며, 이 공급이 수요에 대해 부족한 경우 구입코크스(COK)가 외부발생에너지로서 부여된다.

라) 구입전력(ELI)

구입전력은 직접, 각 생산공정에서 소비되는 것이 아니고, 자가발전분과 합산한 후에 각 공정에 투입된다. 아황산가스 배출원단위는 $2.0040 \times 10^9 \text{t/kcal}$ 로 한다. 이것에 의해 에너지전환부문에 있어서 화석연료소비에 의한 아황산가스배출이 결정된다. 산업부문에 있어서 1995년 현재 구입전력가격은 $3.037 \times 10^5 \text{원/kcal}$ 이다.

마) 철광석(YIR)

고로제철의 소결로공정 및 용융환원로제철의 용융환원로고정에서 사용되는 관련재이다.

바) 스크랩, 폐철(YSR)

전기로제철의 전기로공정에서 사용되는 관련재이다.

1.1.2.2. 최종서비스

제강부문에 있어서 최종서비스는 열연제품(HSP)과 냉연제품(CSP)의 2품목이며, 서비스수요량은 서비스수요량표에서 외생적으로 결정되어진다. 예를 들면 1992년도 실적에서 HSP는 1.661×10^7 (톤), CSP는 1.018×10^7 (톤)이다.

1.1.2.3. 내부발생에너지/중간서비스

최종서비스(HSP혹은 CSP)가 생산되어지기까지의 중간배출, 로가스류, 폐열전력 등은 내부발생에너지/중간서비스로서 취급된다. < 그림 III-2 >에 나타내었듯이 코크스로에서 생성되는 열코크스(ZC1)는 코크스로에 제공되는 중간서비스인 동시에 다음공정인 코크스소화설비에서 소비되는 발생에너지이기도 하다.

각 공정에서 발생하는 가스류(코크스로 가스, 고로가스 및 전로가스) 및 구입코크스(COK)는 일단 STUTL라고 이름 붙여진 제어단(본 모형에서는 에너지기로서 취급함)을 통과한 후 중간서비스/내부발생에너지인 유틸리티(ZUT)로서 취급된다. 이 유틸리티(ZUT)는 자가발전장치에서 소비되는 이외에 각공정의 열원으로서 소비된다.

코크스 소하설비공정에서의 폐열(ZEC) 및 고로공정에서의 폐열(ZEF)은 발전장치(STELE3, STELE4)를 매개로 하여 내부발생전력(ZEL)으로 변환된다.

1.1.2.4. 자가발전장치

자가발전장치는 유틸리티(ZUT) 등을 소비해 내부발생전력(ZEL)을 생산한다. 에

너지 전환효율을 40%로 한다. 시스템내부에서 소비되는 전력은 내부전력(ZEL)으로 다루며, 구입전력(ELI)은 일단 내부발생전력(ZEL)에 투입된다.

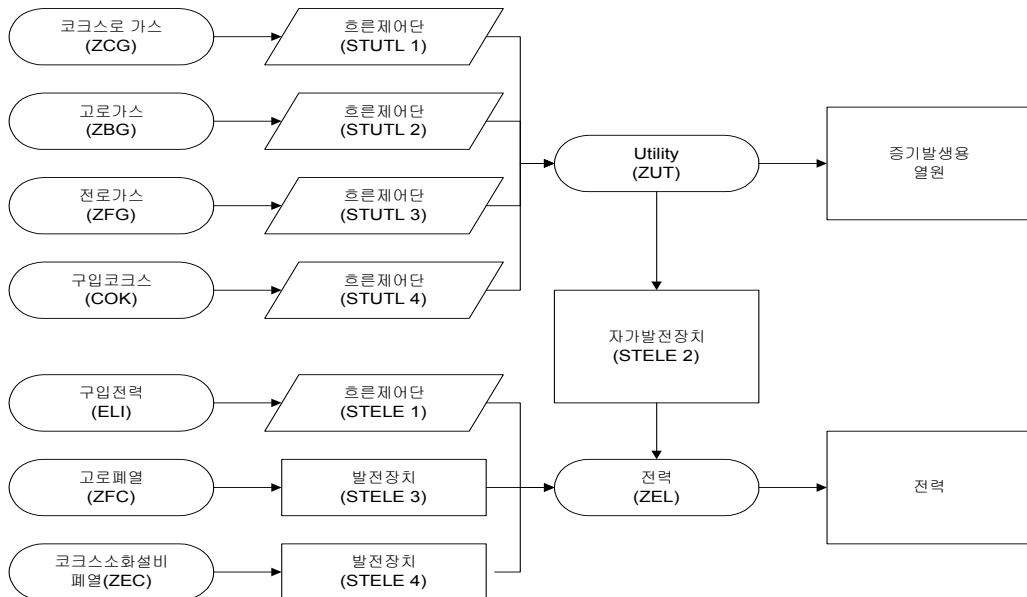
1.1.2.5. 시스템흐름 제어단

본 시스템에 있어서 전력, 유틸리티흐름을 < 그림 III-3 >에 나타내었다.

< 그림 III-3 >에서 평행사변형으로 나타낸 것은 시스템흐름제어단으로 지칭되며 계산의 편리를 위해 에너지기와 동일하게 취급된다. < 그림 III-3 >에서는 STELE1, STEEEE 및 STUTL1-4이 시스템흐름제어단이다.

STUTL1-4는 각 공정에서 발생하는 로가스류인 코크스로가스(ZCG), 고로가스(ZBG), 전로가스(ZFG), 및 외부발생구입코크스(COK)를 내부발생에너지인 페에너지(ZUT)로 변환하는 역할을 한다.

STEEEEE설정은 다음과 같은 이유에서이다. 전기로에서 장래의 조강생산비율은 전기로 전체에 부여하는 경우를 고려해 기종별로 제한을 두지 않는다. 이 제약조건을 실행하기 위해 전기로의 밑에 전기로 흐름제어단(STEEEEE)을 설정해 전기로로부터의 조강생산비율로부터 서비스1단위가 제공되어지는 것으로 한다.



< 그림 III-3 > 철강업의 전력(ELI, ZEL), 유틸리티(ZUT)의 흐름

1.2. 철강업관련 주요입력자료 내역

1.2.1. 기술데이터

1.2.1.1. 에너지소비량 및 서비스량

가) 고로공정(철광석+석탄→조강)

1) 코크제조공정(석탄→열코크)

철강석은 산화철이므로 철을 제조하기 위해서는 먼저 철강석을 환원하여야만 한다. 이 공정은 환원제로서 대량으로 소비되는 코크를 석탄으로부터 제조하는 공정이다. 석탄을 분쇄·정립하여 강점결탄(強點結炭)에 다소 약점결탄(弱點結炭)을 배합하여 코크로에 넣으면, 수시간 경과후 코크가 생긴다.

다음 < 표 III-1 >은 코크제조공정에 있어서 고로법에 의해 조강 1톤을 생산하기 위해 필요한 원재료투입량과 에너지소비량을 나타내었다.

< 표 III-1 > 코크 제조공정에 필요한 원재료 및 에너지 소비량(1992년)

원료		에너지 소비량
열코크스생산		$31.75 \times 10^2 \text{Mcal}$
석탄소비		$45.33 \times 10^2 \text{Mcal}$
Utility 소비	코크로	$4.257 \times 10^2 \text{Mcal}$
	코크 조습장치	$4.054 \times 10^2 \text{Mcal}$
전력소비		$0.226 \times 10^2 \text{Mcal}$
코크로가스회수		$8.100 \times 10^2 \text{Mcal}$

주 : 열코크 $31.75(10^2 \text{Mcal})$ (조강 1톤)생산당

2) 코크消化공정(열코크→코크)

코크로에 있어서 생산된 코크(Coke)를 냉각하는 공정이다. 종래에는 물을 사용해 냉각하는 것이 일반적이었지만 최근에는 물을 사용하지 않고 질소나 알코올 등의 불활성가스로 소화·냉각해 불활성가스의 열을 회수하여 발전 등에 이용한다.

다음 < 표 III-2 >은 코크(Coke)소화공정에 있어서 고로법에 의해 조강 1톤을 생산하기 위해 필요한 원재료 투입량과 에너지 소비량을 나타낸 것이다.

< 표 III-2 > 코크소화공정에 필요한 원재료 및 에너지 소비량(1992년)

원료		에너지 소비량
열코크생산		$31.71 \times 10^2 \text{Mcal}$
열코크소비		$31.71 \times 10^2 \text{Mcal}$
전력회수	습식	$0.00 \times 10^2 \text{Mcal}$
	건식	$0.242 \times 10^2 \text{Mcal}$
Utility회수	습식	$0.00 \times 10^2 \text{Mcal}$
	건식	$0.633 \times 10^2 \text{Mcal}$

주 : 열코크 $31.75(10^2 \text{Mcal})$ (조강 1톤)생산당

3) 轉爐공정(銑鐵→粗鋼)

전로공정은 고로공정에 있어서 제조되어지는 선철(pig)을 성분 조정해 산소를 흡수해 선철 중의 탄소를 산화시켜 조강으로 하는 공정이다.

다음 < 표 III-3 >은 코크(Coke)소화공정에 있어서 고로법에 의해 조강 1톤을 생산하기 위해 필요한 원재료 투입량과 에너지 소비량을 나타낸 것이다.

전로공정, 고로공정, 소결로공정은 실제의 제조공정을 고려하면 여기에서의 기술 순서와는 역으로 기술해야하지만 조강 1톤당 원재료투입량과 에너지소비량을 파악하기 위해서 지금과 같은 순서로 서술하였다.

< 표 III-3 > 전로공정에 필요한 재료 및 에너지 소비량(1992년)

재료·연료	에너지 소비량
조강생산	1.00 톤
선철소비	0.841톤
선철투입	0.069톤
Utility 소비	$0.177 \times 10^2 \text{Mcal}$
전력소비	$0.822 \times 10^2 \text{Mcal}$
전로가스회수	$1.800 \times 10^2 \text{Mcal}$

주 : 조강 1톤(선철 0.841톤) 생산용

4) 高爐공정(燒結爐→銑爐)

고로공정은 소결로에서 생산된 燒結鑛(sinter)에 포함되어 있는 산소를 코크를 환원제로서 선철(pig)을 제조하는 공정이다.

다음 < 표 III-4 >는 고로공정에 있어서 고로법에 의해 조강 1톤을 생산하기 위해 필요한 원재료 투입량과 에너지 소비량을 나타낸 것이다.

< 표 III-4 > 고로공정에 필요한 원재료 및 에너지 소비량(1992년)

재료·원료	에너지 소비량
선철생산	0.841톤
선철소비량	0.941톤
코크스소비(구입분)	$0.00 \times 10^2 \text{Mcal}$
코크스소비(코크스로)	$27.43 \times 10^2 \text{Mcal}$
석탄소비	$5.95 \times 10^2 \text{Mcal}$
Utility 소비	$0.412 \times 10^2 \text{Mcal}$
전력소비	$0.262 \times 10^2 \text{Mcal}$
고로가스회수	$12.97 \times 10^2 \text{Mcal}$
로정압발열량(습식)	$34.40 \times 10^2 \text{Mcal}$
로정압발열량(건식)	$40.13 \times 10^2 \text{Mcal}$

주 : 조강 1톤 생산용

5) 燒結爐공정

소결공정은 철광석을 粉코크(Coke), 粉석회 등과 혼합하여 소결광으로 하는 공정이다.

다음 < 표 III-5 >는 소결로공정에 있어서 고로법에 의해 조강 1톤을 생산하기 위해 필요한 원재료 투입량과 에너지 소비량을 나타낸 것이다.

< 표 III-5 > 소결로공정에 필요한 원재료 및 에너지 소비량(1992년)

재료·원료	에너지 소비량
소결광생산	1,325톤
철광석소비	1,393톤
석회석	0.183톤
코크스	$3.41 \times 10^2 \text{Mcal}$
석탄	$1.13 \times 10^2 \text{Mcal}$
전력	$0.407 \times 10^2 \text{Mcal}$

주 : 조강 1톤(소결광 1.325톤) 생산용

나) 전기로공정

전기로공정은 전기의 아크를 이용해 스크랩(scrap)을 용해, 정련하여 조광을 생산하는 공정이다.

다음 < 표 III-6 >은 전기로공정에 있어서 전기로법에 의해 조강 1톤을 생산하기 위해 필요한 원재료 투입량과 에너지 소비량을 나타낸 것이다.

< 표 III-6 > 전기공정에 필요한 원재료 및 에너지소비량(1992년)

재료·연료	에너지 소비량
조강생산	1.00톤
스크랩철	0.96톤
Utility소비	$0.676 \times 10^2 \text{Mcal}$
전력	
교류식 전기로	$3.94 \times 10^2 \text{Mcal}$
직류식 전기로	10^2Mcal

주 : 조강 1톤(선철1.057톤) 생산용

다) 용융환원로(COREX)공정

용융환원로는 현재 개발중인 제강법으로 2000년에 도입이 가능한 기술이다. 이 방법은 고로, 소결, 코크 각 공정이 필요 없기 때문에 설비 투자가 소액으로 가능하다. 또한 고로법과 비교해 석탄의 투입량을 1할 정도 저감할 수가 있다.

다음 < 표 III-7 >은 용융환원로공정에 있어서 용융환원로법에 의해 조강 1톤을 생산하기 위해 필요한 원재료 투입량과 에너지 소비량을 나타낸 것이다.

< 표 III-7 > 용융환원로공정에 필요한 원재료 및 에너지 소비량(1992년)

재료·연료	에너지 소비량
조강생산	1.00톤
철광석소비	1.393톤
석탄소비	$48.51 \times 10^2 \text{Mcal}$

라) 鑄造공정 이후

1) 주조공정

주조공정은 조강으로부터 鑄片을 제조하는 공정이다.

다음 < 표 III-8 >은 전기로공정에 있어서 전기로법에 의해 조강 1톤을 생산하기 위해 필요한 원재료 투입량과 에너지 소비량을 나타낸 것이다.

< 표 III-8 > 주조공정에 필요한 원재료 및 에너지 소비량(1992년)

재료·연료		에너지 소비량
조강투입량		1톤
열편생산량		1톤
Utility	분괴법	$1.930 \times 10^2 \text{Mcal}$
	연속주조법	$0.126 \times 10^2 \text{Mcal}$
전력	분괴법	$0.422 \times 10^2 \text{Mcal}$
	연속주조법	$0.141 \times 10^2 \text{Mcal}$

주 : 조강 1톤(열편 1톤)생산당

2) 一次壓延공정

이 공정은 열간압연공정으로 가열한 康片을 압연기에 의해 鋼板, 形鋼, 棒鋼, 線材 등의 다양한 형태로 가공하는 공정이다.

다음 < 표 III-9 >는 일차압연공정에 있어서 조강 1톤으로부터 생산되는 제품량과 이를 위해 필요로 하는 에너지 소비량을 나타낸 것이다.

< 표 III-9 > 일차압연에 필요한 원재료 및 에너지 소비량(1992년)

재료·연료		에너지 소비량
열간압연제품/냉간중간제품생산 열편투입		0.955톤 1톤
전력소비		$0.818 \times 10^2 \text{Mcal}$
Utility 소비	종래가열	$3.63 \times 10^2 \text{Mcal}$
	열편장입	$2.18 \times 10^2 \text{Mcal}$

주 : 열간제품(HP)0.955톤(조강1톤)생산당

3) 二次壓延공정

이차압연공정에서는 열간압연한 강관을 상온에 의해 보다 얇고 균등하게 압연하여 강관의 성능을 높이는 공정이다. 냉간압연한 후 강관 표면의 깨끗함, 강함, 가공하기 쉽게 하기 위한 등의 성질을 갖게 하기 위해서 燒鈍처리나 열처리를 한다.

다음 < 표 III-10 >은 일차압연공정에 있어서 조강 1톤으로부터 생산되는 제품량과 이를 위해 필요로 하는 에너지 소비량을 나타낸 것이다.

< 표 III-10 > 이차압연에 필요한 원재료 및 에너지 소비량(1992년)

재료·연료		에너지 소비량
냉간압연제품생산		0.310t
냉간중간제품투입		0.310t
전력		0.601 10 ² Mcal
Utility	종래소둔	1.343 10 ² Mcal
	연속소둔로	1.002 10 ² Mcal

주 : 냉간제품(CP) 0.310톤(조강1톤)생산당

마) 발전공정

철강업의 전력은 로가스 및 석탄을 연료로 하는 자가발전과 코크 건식 소화설비, 高爐爐調壓發電設備에 의해 회수열을 이용한 자가발전과 발전소에 의한 구매전력이 있다.

< 표 III-11 > 발전공정에 필요한 원재료 및 에너지(1992년)

재료·연료	소비량
구입 전력	전력생산 전력소비
증기 터빈	전력생산 Utility 소비
컴바인드 발전	전력생산 Utility 소비
컴바인드 발전(장래)	증기생산 Utility 소비

1.2.1.2. 기술가격

< 표 III-12 >는 철강생산부문의 서비스기술가격을 나타낸 것이다. 단 < 표 III-12 >에 기술되지 않은 가격자료는 < 표 III-13 >의 일본가격을 1992년 환율(100¥=722.49원)로 계산한 값을 사용하였다.

< 표 III-12 > 철강생산부문의 서비스 기술가격

제조공정	서비스 생산용 기술	총투자비(억원)	총투자액(원/톤/년)
COKE로	COKE	0	0
	COKE로 조습장치	300	10,700
소결로공정	소결로	0	0
	절약형 산업용 요로대체	29	700
일관제철소 고로공정	고로공정	0	0
	고로+미분탄 취입설비	198	6,850
일관제철소 주조공정	주조공정	920	45,785
	연속주조공정	1,150	57,230
일관제철소 가열공정	종래형 가열장치	168	11,390
	직송압연/열편장치	210	14,240
에너지회수용 기술	COKE습식 소화설비	0	0
	COKE건식 소화설비	730	39,970
	고로설비	0	0
	습식 로정압 발전장치	41	5,390

주 : - 에너지 절감량, 에너지소비량은 연료환산기준임.

- 고로미분탄설비(100kg/T-P취입시)는 원가절감 및 탄소배출량감소효과 (18.5kg-c/T-P)

- 투자비는 기투자설비의 현재가치로 보정한 추정투자임.

< 표 III-13 > 일본 철강생산부문의 서비스 기술가격

기술명	가격	단위	출전
코크로	5,000	¥/steel	
코크조습장치	450	¥/steel	
코크습식소화설비	3,720	¥/steel	
코크건식소화설비	4,650	¥/steel	
소결로 절약형 산업용 요로대체	5,000	¥/steel	
고로	5,826	¥/steel	
습식고로로조압발전설비	670	¥/steel	
건식고로로조압발전설비	700	¥/steel	
전로	13,439	¥/steel	
교류식전기로	864	¥/steel	
직류식전기로	1,080	¥/steel	
용융환원식	22,500	¥/steel	
주조장치	3,804	¥/steel	
연속주조장치	3,170	¥/steel	
종래형가열로	928	¥/steel	
열편방입 · 직송압연	1,160	¥/steel	
소둔로	3,256	¥/steel	
연속소둔로	4,070	¥/steel	
종래형자가발전장치	1,453	¥/10 ² Mcal	
컴바인드사이클발전	1,817	¥/10 ² Mcal	

1.2.1.3. 기술자료 요약

철강업과 관련하여 지금까지 설명한 기술데이터를 집약하여 < 표 III-14 > 에 나타내었으며, 철강기술도입현황은 < 표 III-15 >에 나타내었다.

< 표 III-14 > 철강생산부문의 기술자료

공정명	기술명	Output	Input	가격 (원)	수명 (년)	Output (서비스)	Input (서비스)		
코크 제조 공정	코크로	열코크 열코크 열코크 코크로가스	석탄 Utility 전기 석탄	36,125	30	31.75 31.75 31.75 8.1	45.33 4.257 0.226 45.33		
	코크로+코크 조습장치	열코크 열코크 열코크 코크로가스	석탄 Utility 전기 석탄			46,825	30	31.71 31.71 31.71 9	45.33 4.054 0.226 45.33
코크 소화 공정	습식코크 소화설비	코크	열코크	26,877	20	31.71	31.71		
	건식코크 소화설비	회수전력 회수열 코크	열코크 열코크 열코크	33,596	20	0.242 0.633 31.71	31.71 31.71 31.71		
소결 공정	소결로	소결강 소결강 소결강 소결강 소결강	철광석 석회석 코크 석탄 전력	36,125	20	1.325 1.325 1.325 1.325 1.325	0.183 1.393 3.41 1.13 0.407		
	절약형 산업용 요로대체	소결강 소결강 소결강 소결강 소결강	철광석 석회석 코크 석탄 전력			36,285	20	1.325 1.325 1.325 1.325 1.325	0.183 1.393 3.07 1.02 0.367
고로 공정	고로	선철 고로가스 선철 선철 선철 선철 선철	소결강 소결강 코크 구입코크 석탄 Utility 전력	42,092	20	0.914 10.9 0.914 0.914 0.914 0.914 0.914	1.325 1.325 27.43 0.00 5.95 0.412 0.262		
	고로+습식 로로정압 전	선철 고로가스 회수발전 선철 선철 선철 선철	소결강 소결강 소결강 코크 구입코크 석탄 Utility 전력			47,482	20	0.941 10.8 0.611 0.941 0.941 0.941 0.941 0.941	1.325 1.325 1.325 27.43 0.00 5.95 0.412 0.262
	고로+건식 로로정압 전	선철 고로가스 회수발전 선철 선철 선철 선철	소결강 소결강 소결강 코크 구입코크 석탄 Utility 전력			47,699	20	0.841 15.2 0.715 0.941 0.941 0.941 0.941 0.941	1.325 1.325 1.325 27.43 0.00 5.95 0.412 0.262

공정명	기술명	Output	Input	가격 (원)	수명 (년)	Output (서비스)	Input (서비스)
전로 공정	전로	조강	선철	97,075	20	1	0.841
		조강	철중			1	0.069
		조강	Utility			1	0.177
		조강 전로가스	전력			1	0.822
			선철			1.800	0.941
전기로 공정	교류식 전기로	조강	선철	6,242	20	1	0.96
		조강	전력			1	3.94
		조강	Utility			1	0.676
	직류식 전기로	조강	선철	7,803	20	1	0.96
		조강	전력			1	3.75
		조강	Utility			1	0.676
용융환 원로	용융환원로	조강	철광석	162,560	20	1	1.39
		조강	석탄			1	48.51
주조 공정	주조장치	열편	조강	45,785	20	1	1
		열편	Utility			1	1.93
		열편	전력				0.422
	연속 주조장치	열편	조강	57,230	20	1	1
		열편	Utility			1	0.126
		열편	전력				0.141
1차 압연 공정 (열간 제품)	가열장치 (열연 제품분)	열연제품	열편	11,390	20	0.955	1
		열연제품	Utility			0.955	3.63
		열연제품	전력			0.955	0.818
	직송압연 (열연 제품분)	열연제품	열편	14,240	20	0.955	1
		열연제품	Utility			0.955	2.18
		열연제품	전력			0.955	0.818
가열 공정 (냉간 중간 제품)	가열장치 (냉연중간 제품분)	냉연중간제품	열편	11,390	20	0.955	1
		냉연중간제품	Utility			0.955	3.63
		냉연중간제품	전력			0.955	0.818
	직송압연 (냉연중간 제품분)	냉연중간제품	열편	14,240	20	0.955	1
		냉연중간제품	Utility			0.955	2.18
		냉연중간제품	전력			0.955	0.818
소둔 공정	소둔로	냉연제품	냉간중간	23,524	20	0.58	0.58
		냉연제품	Utility			0.58	2.57
		냉연제품	전력			0.58	2.94
	연속소둔로	냉연제품	냉간중간	29,405	20	0.58	0.58
		냉연제품	Utility			0.58	1.93
		냉연제품	전력			0.58	2.94
전력	구입전력	전력	구입전력	0	1	1	1
	자가발전	전력	Utility	8,670	20	1	3.22

< 표 III-15 > 철강업의 기술도입현황 (단위 : %)

공정명	기술명	1985	1990	1993
코크제조공정	코크로			100
	코크로+코크조습장치			0
코크소화공정	습식코크소화설비			71
	건식코크소화설비			29
소결공정	소결로			92
	절약형 산업용 요로대체			8
고로공정	고로	8	4	9
	고로+습식고로로정압발전	92	96	97
	고로+건식고로로정압발전	0	0	0
주조공정	주조장치	49	2	1
	연속주조장치	51	98	99
1차압연공정(열연제품)	가열장치(열연제품분)		89	34
	직송압연(열연제품분)		11	66
가열공정(냉연중간제품)	가열장치(냉연중간제품분)		89	34
	직송압연(냉연중간제품분)		11	66
소둔공정	소둔로			6
	연속소둔로			94
전력	구입전력			44
	자가발전			56

1.2.1.4. 에너지최대공급량

철강업부문에 있어서 에너지 최대 공급량의 설정은 하고 있지 않다.

1.3. 시뮬레이션

1.3.1. 시나리오 설정

1992년 철강업에서의 아황산가스 배출량은 25.2만톤으로 산업부문에서의 아황산가스 배출량의 32%, 전 아황산가스 배출량의 16%를 차지하고 있다.³⁾ 시뮬레이션은 표준시나리오(BAU), 전기로 증가 시나리오, 자가발전기술선택 시나리오, 유황세 및 보조금 도입시나리오, 배연탈황장치 도입시나리오의 5개 시나리오에 대하여 실시하였다.

1.3.1.1. 표준시나리오 설정

표준시나리오(BAU : Business As Usual)는 경제성에 관한 합리적인 판단하에 기본적으로 기술선택이 행하여지는 것을 전제로 한 것이나, 전력부문에 있어서 현재 기술선택의 비율(구입전력과 자가발전)을 그대로 이용하였다.

철강업에 있어서 표준시나리오는 철강협회와 포철에 의한 자료를 기초로 작성하였다(표 III-16).

3) Korea Environmental Technology Research Institute(1996), Integrated Environmental and Economic Accounting for the Republic of Korea의 보고서에 의하면 산업분류의 1차 금속에서 배출되는 SO₂배출량을 347,830톤으로 추정하고 있으나, 본 분석에서는 철강부문만 시뮬레이션한 결과이다.

< 표 III-16 > 철강생산부문의 서비스량

	조강생산 (천톤)	전기로 비중	고로생산 (천톤)	전기로 (천톤)	냉연생산 (천톤)	열연생산 (천톤)
1992	28,054.5	0.30	15,430.0	8,416.4	10,181.0	16,611.1
1995	36,444.6	0.35	20,044.5	12,755.6	13,921.8	20,882.8
1996	37,177.9	0.36	20,447.8	13,384.0	14,966.0	22,448.9
1997	41,920.4	0.37	23,056.2	15,510.5	16,013.6	24,020.4
1998	44,645.2	0.38	24,554.9	16,965.2	17,054.5	25,581.7
1999	47,323.9	0.39	26,028.1	18,456.3	18,077.7	27,116.6
2000	49,926.8	0.40	27,459.7	19,970.7	19,072.0	28,608.1
2001	54,423.1	0.41	29,932.7	22,313.5	20,025.6	30,038.4
2002	54,782.1	0.42	30,130.2	23,008.5	20,926.8	31,390.1
2003	56,973.4	0.43	31,335.4	24,498.6	21,763.8	32,645.8
2004	58,967.5	0.44	32,432.1	25,945.7	22,525.6	33,788.4
2005	60,736.5	0.45	33,405.1	27,331.4	23,201.3	34,802.0
2006	62,558.6	0.45	34,407.2	28,151.4	23,897.4	35,846.1
2007	64,435.4	0.45	35,439.5	28,995.9	24,614.3	36,921.5
2008	66,368.4	0.45	36,502.6	29,865.8	25,352.7	38,029.1
2009	68,359.5	0.45	37,597.7	30,761.8	26,113.3	39,170.1
2010	70,410.3	0.45	38,725.7	31,684.6	26,896.7	40,345.1
2011	70,410.3	0.45	38,725.7	31,684.6	26,896.7	40,345.1
2012	70,410.3	0.45	38,725.7	31,684.6	26,896.7	40,345.1
2013	70,410.3	0.45	38,725.7	31,684.6	26,896.7	40,345.1
2014	70,410.3	0.45	38,725.7	31,684.6	26,896.7	40,345.1
2015	70,410.3	0.45	38,725.7	31,684.6	26,896.7	40,345.1
2016	70,410.3	0.45	38,725.7	31,684.6	26,896.7	40,345.1
2017	70,410.3	0.45	38,725.7	31,684.6	26,896.7	40,345.1
2018	70,410.3	0.45	38,725.7	31,684.6	26,896.7	40,345.1
2019	70,410.3	0.45	38,725.7	31,684.6	26,896.7	40,345.1
2020	70,410.3	0.45	38,725.7	31,684.6	26,896.7	40,345.1

1.3.1.2. 전기로 비중 증가 시나리오

철강업에 있어서 시나리오는 전기로 비중을 증가시켜 에너지 저감을 유도하며, 이를 통한 아황산가스 저감 가능성을 검토하였다. 전기로 비중을 2005년 이후 45%에서 50%로 5% 증가하는 것으로 고려하였으며, 이는 철강협회의 인터뷰자료에 기초하였다.

< 표 III-17 > 철강생산부문의 생산량 시나리오-전기로 비중 증가

	조강생산 (천톤)	전기로 비중	고로생산 (천톤)	전기로 (천톤)	냉연생산 (천톤)	열연생산 (천톤)
1992	28,054.5	0.30	19,687.3	8,367.2	10,181.0	16,611.1
1995	36,444.6	0.35	23,689.0	12,755.6	13,921.8	20,882.8
1996	37,177.9	0.36	25,073.9	14,104.0	14,966.0	22,448.9
1997	41,920.4	0.37	26,409.9	15,510.5	16,013.6	24,020.4
1998	44,645.2	0.38	27,680.0	16,965.2	17,054.5	25,581.7
1999	47,323.9	0.39	28,867.6	18,456.3	18,077.7	27,116.6
2000	49,926.8	0.40	29,956.1	19,970.7	19,072.0	28,608.1
2001	54,423.1	0.41	30,929.6	21,493.5	20,025.6	30,038.4
2002	54,782.1	0.43	31,225.8	23,556.3	20,926.8	31,390.1
2003	56,973.4	0.45	31,335.4	25,638.0	21,763.8	32,645.8
2004	58,967.5	0.47	31,252.8	27,714.7	22,525.6	33,788.4
2005	60,736.5	0.48	31,583.0	29,153.5	23,201.3	34,802.0
2006	62,558.6	0.50	31,279.3	31,279.3	23,897.4	35,846.1
2007	64,435.4	0.50	32,217.7	32,217.7	24,614.3	36,921.5
2008	66,368.4	0.50	33,184.2	33,184.2	25,352.7	38,029.1
2009	68,359.5	0.50	34,179.8	34,179.8	26,113.3	39,170.1
2010	70,410.3	0.50	35,205.2	35,205.2	26,896.7	40,345.1
2011	70,410.3	0.50	35,205.2	35,205.2	26,896.7	40,345.1
2012	70,410.3	0.50	35,205.2	35,205.2	26,896.7	40,345.1
2013	70,410.3	0.50	35,205.2	35,205.2	26,896.7	40,345.1
2014	70,410.3	0.50	35,205.2	35,205.2	26,896.7	40,345.1
2015	70,410.3	0.50	35,205.2	35,205.2	26,896.7	40,345.1
2016	70,410.3	0.50	35,205.2	35,205.2	26,896.7	40,345.1
2017	70,410.3	0.50	35,205.2	35,205.2	26,896.7	40,345.1
2018	70,410.3	0.50	35,205.2	35,205.2	26,896.7	40,345.1
2019	70,410.3	0.50	35,205.2	35,205.2	26,896.7	40,345.1
2020	70,410.3	0.50	35,205.2	35,205.2	26,896.7	40,345.1

1.3.1.3. 자가발전기술선택 시나리오

현재의 철강업에 필요로 하는 전력은 한전으로부터 구입하는 구입전력과 자가발전으로 이루어져 있다. 구입전력과 자가발전의 비율은 각각 44%와 56%이다.

여기에서는 전력선택을 경제성에 관한 합리적인 판단에 기초하여 할 수 있도록 하였다. 즉 전력을 한전으로부터 구입하는 것보다 자가발전에 의한 비용이 낮으면 자가발전을 선택할 수 있는 것을 의미한다.

1.3.1.4. 유황세 및 보조금 도입 시나리오

유황세는 1998년부터 스웨덴, 노르웨이 등 이미 유황세를 부과하고 있는 국가를 참고로 하여 유황1톤당 10만원의 유황세를 부과한 경우 아황산가스 저감효과를 추정하였다. 또한 유황세로 거둔 세금을 재원으로 하여 1999년부터 아황산가스 저감에 최적인 기술도입을 촉진하기 위해 보조금으로 사용하였다.

1.3.1.5. 배연탈황시설 도입시나리오

배연탈황시설 도입에 따른 효과를 시뮬레이션 하기 위해서는 본 분석모형을 한번 더 최적화시키는 작업이 필요하다. 즉, 각 공정별 아황산가스 저감비용 및 에너지 전환에 따른 아황산가스 저감비용과 모든 공정이 진행된 후 마지막에 탈황시설을 도입한 효과를 비교하는 프로그램을 작성해야 한다.

본 연구에서는 마지막 단계의 최적화 프로그램이 아직 완성되지 못하였기에 현재 배연탈황시설 도입으로 아황산가스 저감에 성공한 대표적인 국가인 일본의 아황산가스 배출계수를 참고하여 작성한 배연탈황시설이 도입되었다는 가정하에 아황산가스 배출계수(표 III-18)를 사용하여 시뮬레이션 하였다.

< 표 III-18 > 배연탈황시설도입을 가정한 아황산가스 배출계수

	연료종	배출계수 (톤/kcal)		연료종	배출계수 (톤/kcal)
1	Anthracite	2.4077E-10	19	Bunker-B-4	7.9135E-10
2	Bituminous-power	2.0359E-10	20	Bunker-B-1.6	3.1653E-10
3	Bituminous-steel	1.4964E-10	21	Bunker-B-1	1.9784E-10
4	Bituminous-cement	2.9926E-10	22	Propane-general	1.6667E-13
5	Bituminous-general	1.9453E-10	23	Propane-town gas	1.6667E-13
6	Cokes	4.6354E-10	24	Butane-general	1.6667E-13
7	Furnace Gas	3.8000E-11	25	LNG-power	1.9255E-13
8	Gasoline	7.9518E-10	26	LNG-res-com	1.9255E-13
9	Kerosene	1.9735E-10	27	LNG-ind	1.9255E-13
10	Diesel-1-general	1.8663E-10	28	Elec-resi	2.1842E-10
11	Diesel-0.2-general	3.7327E-10	29	Elec-com	2.1842E-10
12	Bunker-C-4	7.7536E-10	30	Elec-indu	2.1842E-10
13	Bunker-C-1.6	3.1014E-10	31	Steam	0.0000E+00
14	Bunker-C-1	1.9384E-10	32	Jet oil	3.6782E-10
15	Bunker-C-0.3	5.8152E-11	33	Naphtha	0.0000E+00
16	Bunker-A-4	8.1660E-10	34	CaCO ₃	0.0000E+00
17	Bunker-A-1.6	3.2663E-10	35	waste heat	0.0000E+00
18	Bunker-A-1	2.0415E-10			

1.3.2. 시뮬레이션 결과

1.3.2.1. 표준시나리오(BAU)하에서의 아황산가스 배출량 추이

표준시나리오하에서는 1992년도의 철강업에서의 아황산가스배출량은 25.2만톤이었던 것이 2020년도에는 58.6만톤으로 약 2.3배 증가할 것으로 나타났다(표 III-19, 그림 III-4).

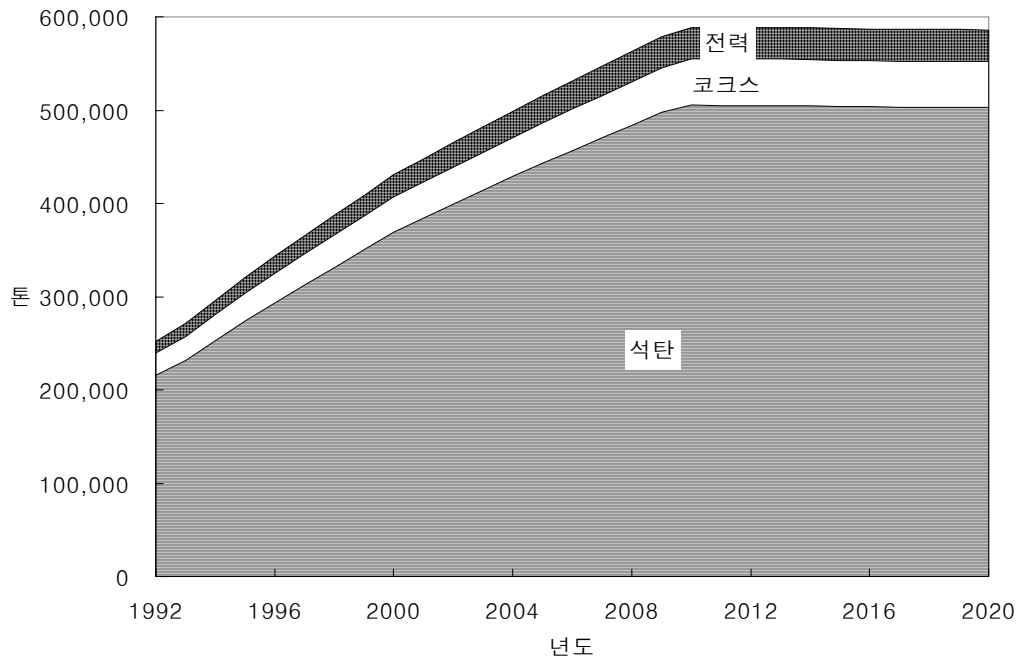
이와 같은 높은 증가율은 에너지 절약형 기술에 의한 배출저감보다 조강생산량 증가에 의한 배출량 증가가 더 크기 때문이다. 특히 전력사용에 의한 아황산가스 배출량 증가가 1992년 12,615톤에서 34,008톤으로 약 2.7배가 증가할 것으로 전망된다. 이는 필요한 전력공급을 위한 기술선택이 일어나지 못하도록 현재의 구입전력과 자가발전 비율을 철강협회 등의 인터뷰에 의해 2020년까지 일정하다고 가정

하였기 때문이다.

BAU하에서의 철강업 기술별 점유율을 살펴보면 점유율에 제한을 두지 않는 경우 에너지 절약형 기술이 점차적으로 그 비율이 증가되고 있음을 알 수 있다. 예를 들면 소결공정에서 절약형 산업용 요로대체 기술이 1992년에 5.3%에 불과하던 것이 2020년에 79.8%까지 증가할 것으로 전망된다(표 III-20).

< 표 III-19 > 철강업의 BAU하에서의 사용원료별 아황산가스 배출량 전망
(단위 : 톤)

년도	석탄	코크스	전력	합계
1992	215,969	23,716	12,615	252,300
1993	231,427	25,774	14,108	271,310
1994	252,659	28,139	15,402	296,200
1995	274,091	30,169	16,689	320,950
1996	293,170	31,926	18,194	343,290
1997	312,468	33,622	19,369	365,460
1998	331,640	34,869	20,921	387,430
1999	350,301	36,831	22,098	409,230
2000	369,230	37,914	23,696	430,840
2001	384,290	38,966	24,634	447,890
2002	398,841	39,977	26,032	464,850
2003	413,823	40,949	26,978	481,750
2004	428,762	41,879	27,919	498,560
2005	443,158	42,770	29,372	515,300
2006	456,798	44,086	30,276	531,160
2007	470,437	45,403	31,180	547,020
2008	484,085	46,720	32,085	562,890
2009	497,725	48,036	32,989	578,750
2010	505,311	49,471	34,159	588,940
2011	505,276	49,468	34,156	588,900
2012	505,233	49,463	34,153	588,850
2013	505,182	49,458	34,150	588,790
2014	504,616	49,403	34,112	588,130
2015	504,126	49,355	34,078	587,560
2016	503,766	49,320	34,054	587,140
2017	503,483	49,292	34,035	586,810
2018	503,268	49,271	34,020	586,560
2019	503,140	49,258	34,012	586,410
2020	503,080	49,253	34,008	586,340



< 그림 III-4 > BAU하에서의 철강생산량 전망

< 표 III-20 > BAU하에서의 철강업 기술별 점유율의 변화(단위 : %)

공정명	기술명	1992	2000	2010	2020
코크제조공정	코크로	100.0	100.0	100.0	100.0
	코크로+코크조습장치	0.0	0.0	0.0	0.0
코크소화공정	습식코크소화설비	72.6	71.0	71.0	71.0
	건식코크소화설비	27.4	29.0	29.0	29.0
소결공정	소결로	94.7	68.5	33.4	20.2
	절약형 산업용 요로대체	5.3	31.5	66.6	79.8
고로공정	고로	3.3	3.0	3.0	3.0
	고로+습식고로로정압발전	96.7	97.0	97.0	97.0
	고로+건식고로로정압발전	0	0.0	0.0	0.0
주조공정	주조장치	1.3	0.6	0.0	0.0
	연속주조장치	98.7	99.4	100.0	100.0
1차압연공정(열간제품)	가열장치(열연제품분)	52.3	24.9	12.0	9.5
	직송압연(열연제품분)	47.7	75.1	88.0	90.5
가열공정(냉간중간제품)	가열장치(냉연중간제품분)	52.3	24.9	12.0	8.7
	직송압연(냉연중간제품분)	47.7	75.1	88.0	91.3
전력	구입전력	44.4	44.4	44.4	44.4
	자가발전	55.6	55.6	55.6	55.6

1.3.2.2. 전기로 비중 증가 시나리오

위에서 제시한 < 표 III-17 >과 같이 전기로 비중을 2005년 이후 BAU보다 5% 높은 50%로 설정하면, 2020년의 아황산가스 배출량은 58만톤으로 BAU의 58.6만톤에 비해 약 1% 저감이 가능하다(표 III-21, 그림 III-5).

1.3.2.3. 자가발전 기술선택 시나리오

철강업에서 사용하는 전력을 시장메카니즘하에서 자유롭게 선택하도록 하면 자가발전이 증가되어 2020년의 아황산가스 배출량은 49.8만톤으로 BAU의 58.6만톤에 비해 약 11.6% 저감이 가능하다(표 III-21, 그림 III-5).

1.3.2.4. 유향세 및 보조금 도입 시나리오

유향 1톤당 10만원수준의 유향세율하에서는 아황산가스 배출저감이 이루어지지 않았다. 아울러 기술(철강업)선택 구조에도 전혀 영향을 주지 못하였다. 이것은 톤당 10만원의 유향세는 철강업 기술의 구입비용과 연료비용에 비해 매우 낮은 수준이기 때문이다. 그러나 이 유향세에 기초한 보조금 도입시나리오에서는 53.5만톤으로 BAU에 비해 8.7%의 아황산가스저감이 가능하다(표 III-21). 이는 아황산가스저감이 가장 가능한 기술에 보조금을 지불함으로써 BAU에 비해 에너지절약형 기술 보급이 촉진되었기 때문이다.

특히 < 표 III-22 >를 BAU의 < 표 III-20 >과 비교해 보면 코크스공정의 에너지절약기술인 코크로+코크조습장치가 BAU하에서는 전혀 도입되지 않았지만, 보조금에 의해 도입이 증가하여 2020년에는 81.7%까지 확대됨을 알 수 있다. 또한 소결공정의 절약형 산업용 요로대체기술도 BAU보다 보조금에 의해 기술보급이 촉진되었다.

< 표 III-21 > 철강업의 유향세 및 보조금 도입 시나리오하에서의 기술별 점유율 변화

(단위 : %)

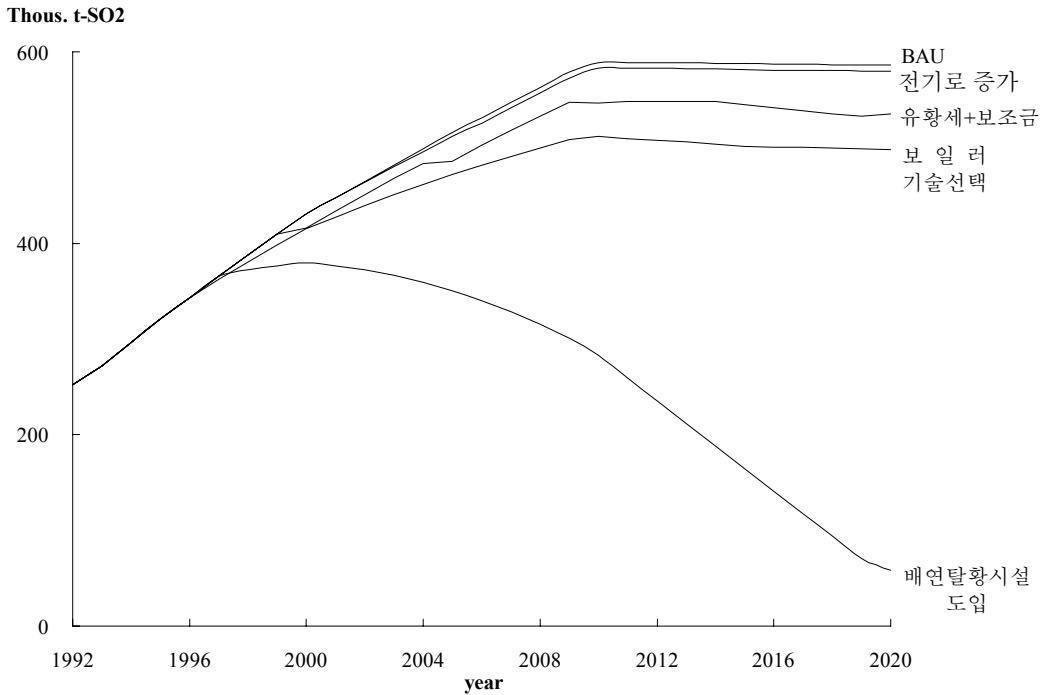
공정명	기술명	1992	2000	2010	2020
코크제조공정	코크로	100.0	73.8	36.4	18.3
	코크로+코크조습장치	0.0	26.2	63.6	81.7
코크소화공정	습식코크소화설비	72.6	71.0	71.0	71.0
	건식코크소화설비	27.4	29.0	29.0	29.0
소결공정	소결로	94.7	67.9	33.4	12.5
	절약형 산업용 요로대체	5.3	32.1	66.6	87.5
고로공정	고로	3.3	0.0	0.0	3.0
	고로+습식고로로정압발전	96.7	98.0	98.5	98.5
	고로+건식고로로정압발전	0	2.0	1.5	1.5
주조공정	주조장치	1.3	0.4	0.0	0.0
	연속주조장치	98.7	99.6	100.0	100.0
1차압연공정(열간제품)	가열장치(열연제품분)	52.3	24.9	12.0	5.0
	직송압연(열연제품분)	47.7	75.1	88.0	95.0
가열공정(냉간중간제품)	가열장치(냉연중간제품분)	52.3	24.9	12.0	5.2
	직송압연(냉연중간제품분)	47.7	75.1	88.0	94.8
전력	구입전력	44.4	44.4	44.4	44.4
	자가발전	55.6	55.6	55.6	55.6

1.3.2.5. 배연탈황시설도입 효과

시뮬레이션 결과 2000년 이후 배연탈황시설이 도입되기 시작하여 2020년에 철강 부분에 현재의 일본과 같은 수준으로 배연탈황시설이 도입되면 약5.9만톤으로 BAU와 비교해 아황산가스 배출량이 1/10로 저감가능하다. 즉 배연탈황시설이 도입된다면 1992년의 약 23%의 아황산가스만이 배출되는 것을 의미한다(표 III-22).

< 표 III-22 > 철강업의 시나리오별 아황산가스 배출량 비교(단위 : 천톤)

년도	BAU	전기로 증가 시나리오	자가발전 기술선택 시나리오	탄소세+ 보조금 시나리오	배연탈황도입 시나리오
1992	252	252	252	252	252
1993	271	271	271	271	271
1994	296	296	296	296	296
1995	321	321	321	321	321
1996	343	343	343	343	343
1997	365	365	362	365	365
1998	387	387	381	387	372
1999	409	409	398	409	376
2000	431	431	415	416	379
2001	448	447	418	434	376
2002	465	464	439	451	372
2003	482	480	451	468	366
2004	499	496	462	483	359
2005	515	512	472	486	350
2006	531	526	481	503	340
2007	547	541	491	518	328
2008	563	557	500	533	315
2009	579	573	508	547	301
2010	589	583	511	547	283
2011	589	583	509	548	259
2012	589	583	508	548	236
2013	589	583	506	548	212
2014	588	582	503	548	188
2015	588	581	501	545	165
2016	587	581	500	542	141
2017	587	581	500	539	117
2018	587	580	499	536	94
2019	586	580	499	532	70
2020	586	580	498	535	59



< 그림 III-5 > 철강업의 시나리오별 아황산가스 배출량 비교

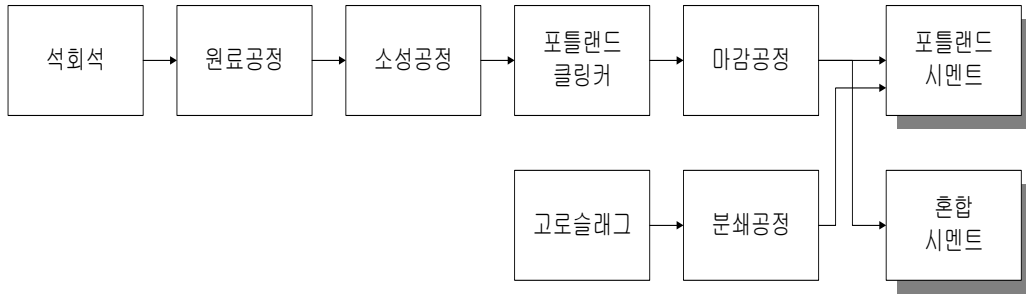
위의 < 표 III-21 >과 < 그림 III-5 >에 나타난 것과 같이 철강업에서 배연탈황시설을 도입하는 것이 가장 효과적으로 아황산가스를 저감시키는 방법으로 나타났다.

2. 시멘트공업

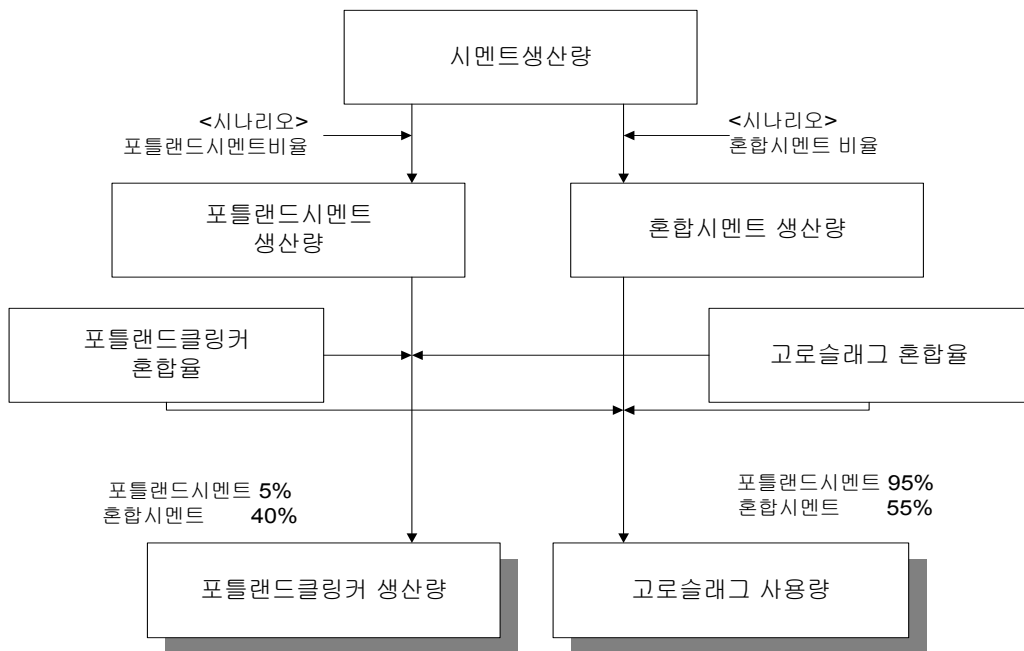
2.1. 시멘트공업의 모형화

2.1.1. 개요

시멘트제품의 종류는 포틀랜드시멘트, 혼합시멘트가 있다. 이것은 석회석 등을 분쇄해 제조되는 포틀랜드클링커(clinker)와 고로슬래그(slag) 등의 혼합재 함유율에 의해 결정된다(그림 III-6, 그림 III-7).



< 그림 III-6 > 시멘트 제조공정



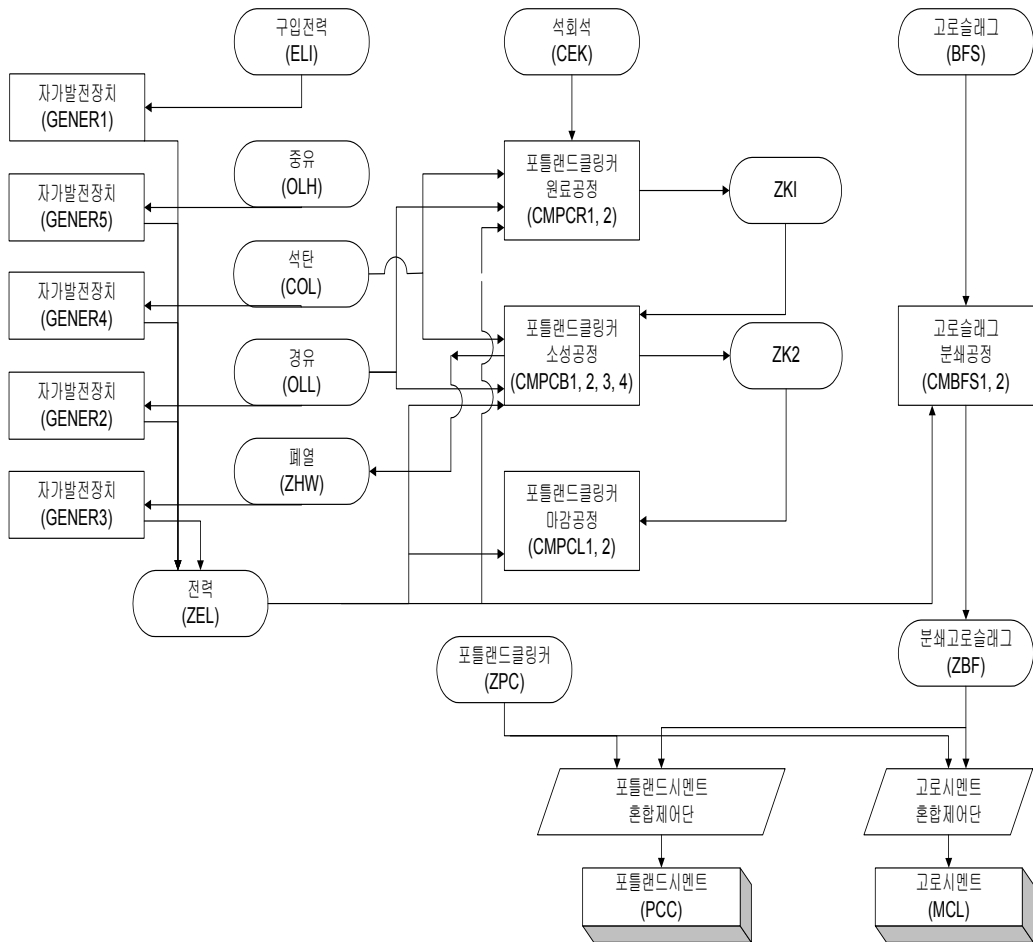
< 그림 III-7 > 시멘트공업 각 공정의 생산량 산출 흐름

포틀랜드시멘트에는 혼합재의 함유율이 5%이하인 것이 8할을 점하고 있다. 특히 토목, 건설구조물의 건설용, 몰탈로서 사용하고 있다.

혼합시멘트는 상당량의 혼합재가 혼합된 시멘트로 고로슬래그, 실리카(silica)질 혼합재가 혼합재로서 정해져 있으나, 우리 나라에서는 고로슬래그를 이용한 고로시멘트 만이 생산되고 있다. 혼합재의 혼합율은 시멘트 종류에 따라 다르며 고로시멘트에서는 5~70%로 되어 있다.

2.1.2. 제조공정 및 에너지 흐름

본 분석에서는 시멘트생산공정을 그림과 같이 모형화 하였다. 최종서비스는 포틀랜드시멘트(PCC), 고로시멘트(MCL)로 하였다.



< 그림 III-8 > 시멘트생산부문의 흐름

혼합시멘트는 앞에서 설명한 바와 같이 포틀랜드클링커 마감공정(CMPL 1, 2)의 포틀랜드클링커를 분쇄할 때 고로슬래그 등을 투입하여 분쇄, 혼합하는 것에 의해 제조된다. 모형의 작성은 포틀랜드클링커, 고로슬래그, 분쇄 공정은 별도로 분리하였다. 이를 위해 포틀랜드클링커 마감공정, 고로슬래그 분쇄공정(CMBFS1,

2), 분쇄공정(CMFRAS)의 다음공정에 에너지를 소비하지 않는 혼합제어기 (PCLMIX, MCLMIX, FRYMIX)를 설정하여 각종 시멘트 성분을 조정하였다.

2.2. 시멘트공업 관련 주요입력자료 내역

2.2.1. 기술데이터

2.2.1.1. 에너지소비량 및 서비스량

가) 작업1

< 표 III-23 >은 시멘트제품별 혼합재의 비율을 에 나타낸 것이다.

< 표 III-23 > 시멘트종별생산량과 혼합재의 비율(1995년)

포틀랜드시멘트			
제품종별		생산량(천톤)	혼합재(%)
보 통		51,135	5이하
조 강		42	5이하
중용열		5	5이하
내황산염		339	5이하
기 타		0	-
계		54,770	
혼합시멘트			
제품종별		생산량(천톤)	혼합재(%)
고로시멘트	A	-	-
	B	3,609	30~60
	C	-	-
실리카시멘트	A	-	-
	B	-	-
	C	-	-
규격외		-	-
계		3,609	

본 분석의 제품은 혼합재의 비율과 각각 생산량을 고려해 포틀랜드시멘트와 고로시멘트를 대상으로 하였으며, 각종 제품의 생산량을 고려해 혼합재의 비율을 < 표 III-24 >과 같이 설정하였다.

< 표 III-24 > 분석에 관련된 시멘트의 혼합재 혼합비율

제품종별	혼합재의 혼합율
포틀랜드시멘트	5%
고로시멘트	40%
실리카시멘트	-

나) 작업2

본 작업에서는 시멘트 생산량과 작업1에서 설정한 혼합재의 비율에 의해 포틀랜드클링커 생산량과 혼합재 혼합량의 추계를 하였다.

다) 작업3

본 작업에서는 시멘트제조에 있어서 각 공정별 에너지소비량이 기재되어 있다. 모형의 입력데이터를 작성하기 위해서는 에너지소비량을 단위서비스당 에너지소비량의 데이터를 작성할 필요는 없으나 여기에서는 데이터 상호의 비교가 용이하도록 단위서비스당 에너지소비량을 작성하였다.

< 표 III-25 >의 에너지소비량중 원료공정, 燒成공정은 포틀랜드클링커용과 혼합재용을 고려하였다. 기술데이터를 작성하기 위해서는 마감공정의 에너지소비량을 포틀랜드클링커용과 혼합재용으로 나눌 필요가 있다.

먼저 마감공정의 전력을 포틀랜드클링커용과 혼합재용으로 분리한다. 혼합재는 전부 고로슬래그이다. 마감공정에 소비되는 석탄·석유는 전부가 분쇄된 고로슬래그의 건조용으로 소비된다고 설정하였다.

다음으로 마감공정이외의 단위서비스당 에너지소비량을 추계하였다. < 표 III-26 >에 나타난 에너지소비량은 마감공정이외는 다른 공정이 존재하지 않는다. 따라서 각 공정의 에너지소비량을 서비스량으로 나누는 것에 의해 에너지소비량의 추계가 가능하다. 이와 같은 방법을 통해 단위서비스당 에너지소비량을 < 표 III-26 >에 나타내었다.

< 표 III-25 > 시멘트공업의 공정별 에너지소비량(1995년)

공정	연료	에너지소비량	공정	연료	에너지소비량
원료공정	석탄	0만톤	마감공정	석탄	0만톤
	중유	0만kl		중유	0만kl
	전력	1,946백만kWh		전력	1,983백만kWh
	기타	0만kl		기타	0만kl
소성공정	석탄	570만톤	기타	석탄	0만톤
	중유	20.9만kl		중유	0만kl
	전력	1,518백만kWh		전력	178백만kWh
	기타	21.2만kl		기타	0만kl

< 표 III-26 > 시멘트공업의 단위서비스당 에너지소비량

제품	공정	연료	고유단위	칼로리환산
포틀랜드클링커 51,893.8천톤	원료공정	석탄	0.00kg/톤	0kcal/톤
		중유	0.00l/톤	0kcal/톤
		전력	35.97kWh/톤	30,934kcal/톤
		기타	0.00l/톤	0kcal/톤
	소성공정	석탄	110kg/톤	710,600kcal/톤
		중유	4.027l/t톤	37,515kcal/톤
		전력	28.55kWh/톤	24,553kcal/톤
		기타	4.09l/톤	37,351kcal/톤
	마감공정	석탄	0.00kg/톤	0kcal/톤
중유		0.00l/톤	0kcal/톤	
전력		41.80kWh/톤	35,096kcal/톤	
기타		0.00l/톤	0kcal/톤	
고로슬래그 3,609.2천톤	분쇄·건조	석탄	1.00kg/톤	6,460kcal/톤
		중유	1.00l/톤	9,316kcal/톤
		전력	45.90kWh/톤	39,474kcal/톤
		기타	0.00l/톤	0kcal/톤

2.2.1.2. 기술가격

<표 III-27 >은 인터뷰, 문헌조사 등에 의해 얻은 서비스기술의 가격에 관한 데이터를 나타낸 것이며, 이 가격을 기초로 하여 기술데이터를 작성하였다.

< 표 III-27 > 시멘트공업의 서비스기술 가격표

제조공정	기술명	Unit Size (톤/일)	총투자액 (백만원)	총투자액 (원/톤·년)	출전
포틀랜드클링커 원료공정	튜브밀	3,500	30	2,860	
	건형밀	6,000	170	9,400	
포틀랜드클링커 소성공정	NSP/SP이외	400	35	29,200	
	NSP/SP	3,500	450	43,000	
	고효율클링커				
	유동상소성로				
포틀랜드클링커 마감공정	튜브밀	1,800	18	3,300	
	예비분쇄기	2,800	40	4,760	
고로슬래그 분쇄공정	튜브밀	1,300	24	6,150	
	건형밀	1,500	70	15,500	

2.2.1.3. 기술자료 요약

이상의 작업에 의해 작성된 시멘트공업의 기술 데이터는 다음과 같다(표 III-28). 그리고 시멘트 공업의 주요기술도입현황을 < 표 III-29 >에 나타내었다.

< 표 III-28 > 시멘트생산부문의 기술자료

공정명	기술명	Output	Input	가격 (원)	수명 (년)	Output (서비스)	Input (서비스)
포틀랜드 클링커 원료공정	튜브밀	클링커(소성전)	석회석	2,860	30	1	1.150
		클링커(소성전)	전력			1	0.271
	클링커(소성전)	석탄	1			0.000	
	클링커(소성전)	중유	1			0.000	
전형밀	클링커(소성전)	석회석	9,400	30	1	1.150	
	클링커(소성전)	전력			1	0.231	
	클링커(소성전)	석탄			1	0.000	
포틀랜드 클링커 소성공정	NSP/SP 이외	클링커(마감전)	클링커(소성전)	29,200	26	1	1
		클링커(마감전)	석탄			1	9.438
		클링커(마감전)	중유			1	3.043
		클링커(마감전)	전력			1	0.176
	NSP/SP	클링커(마감전)	클링커(소성전)	43,000	26	1	1
		클링커(마감전)	석탄			1	7.234
		클링커(마감전)	중유			1	0.467
		클링커(마감전)	전력			1	0.242
	고효율 클링커	클링커(마감전)	클링커(소성전)	48,687	26	1	1
		클링커(마감전)	석탄			1	6.751
		클링커(마감전)	중유			1	0.375
		클링커(마감전)	전력			1	0.246
유동층 소성로	클링커(마감전)	클링커(소성전)	64,500	26	1	1	
	클링커(마감전)	석탄			1	5.685	
	클링커(마감전)	중유			1	0.375	
	클링커(마감전)	전력			1	0.246	
포틀랜드 클링커 마감공정	튜브밀	P클링커	클링커(마감전)	3,300	30	1	1
		P클링커	전력			1	0.350
	예비분쇄	P클링커	클링커(마감전)	4,760	30	1	1
전형밀	P클링커	전력	1	0.298			
	클링커	클링커(마감전)	10,700	30	1	1	
고로 슬래그 분쇄공정	튜브밀	고로슬래그(후)	고로슬래그	6,150	30	1	1
		고로슬래그(후)	전력			1	0.562
전형밀	고로슬래그(후)	고로슬래그	15,500	30	1	1	
	고로슬래그(후)	전력			1	0.304	
포틀랜드 시멘트 제조공정		포틀랜드시멘트	포틀랜드클링커	-	-	1	0.95
		포틀랜드시멘트	포틀랜드고로슬래그	-	-	1	0.05
고로 시멘트 제조공정		고로시멘트	포틀랜드클링커	-	-	1	0.60
		고로시멘트	고로슬래그	-	-	1	0.40

< 표 III-29 > 시멘트공업기술 도입현황 (단위 : %)

공정명	기술명	73	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	
포틀랜드 클링커 원료공정	튜브밀	100														70	64	59	54	51	50
	견형밀	0														30	36	41	46	49	50
포틀랜드 클링커 소성공정	NSP/SP이외		16	14	7	4	4	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	NSP/SP		84	86	93	96	96	97	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
	고효율 클링커쿨러															0					0
	유동상 소성로															0					0
포틀랜드 시멘트 마감공정	튜브밀										100	94	88	80	70	64	60	57	54	51	47
	예비분쇄기										0	6	10	16	23	28	30	33	35	37	38
	견형밀										0	0	2	4	7	8	10	10	11	12	15
고로슬래그 분쇄공정	튜브밀										100	100	100	54	54	44	44	44	44	44	35
	견형밀										0	0	0	46	46	56	56	56	56	56	65

2.2.1.4. 에너지최대공급량

시멘트부문에 있어서 에너지 최대 공급량의 설정은 하고 있지 않다.

2.3. 시뮬레이션

2.3.1. 시나리오 설정

1992년 시멘트공업의 이산화황 배출량은 10.6만톤으로 산업부문의 아황산가스배출량의 약 13%, 전 아황산가스배출량의 약 7%를 점유하고 있다.4) 시뮬레이션은 표준시나리오(BAU), 고로시멘트증가 시나리오, 저황중유사용 시나리오, 유황세·보

4) Korea Environmental Technology Research Institute(1996), Integrated Environmental and Economic Accounting for the Republic of Korea의 보고서에 의하면 산업분류중 비금속 광물제품제조업 156,841톤으로 추정하고 있으나, 본 분석에서는 이중 시멘트 부분만 시뮬레이션한 결과이다.

조금 도입시나리오, 배연탈황 도입 시나리오의 5개 시나리오에 대하여 실시하였다.

2.3.1.1. 표준시나리오 설정

시멘트공업에 있어서 표준시나리오(BAU : Business As Usual)는 시멘트공업협회에 의한 자료를 기초로 작성하였다(표 III-30, 표 III-31).

< 표 III-30 > 시멘트공업의 서비스량

서비스량	년도	생산량
시멘트 년 생산량	1985	20,498(천톤)
	1990	33,575(천톤)
	1995	55,130(천톤)
	2000	66,200(천톤)
	2010	89,000(천톤)
	2020	89,000(천톤)
시멘트 총생산량에 대한 혼합시멘트 비율	1985	3.7%
	1990	6.1%
	1995	6.2%
	2000	8.0%
	2010	11.0%
	2020	11.0%
포틀랜드시멘트에 대한 포틀랜드클링커 비율	2000	90%
	2010	90%
	2020	90%
혼합시멘트에 대한 포틀랜드클링커 비율	2000	55%
	2010	55%
	2020	55%

< 표 III-31 > 시멘트공업의 전력소비량의 서비스량

구매전력	전력총수요량의 98%(1985년)
자가발전량	전력총수요량의 2%(1985년)

2.3.1.2. 고로시멘트 비율의 증가 시나리오

시멘트공업에 있어서 에너지 절약을 기대할 수 있는 고로슬래그를 이용한 혼합

시멘트 비율의 증가를 설정하였다. 혼합시멘트 비율의 증가는 현재 일본에 있어서 고로시멘트 비율인 18.5%를 참고로 하여 2020년까지 11.0%에서 18.5%까지 비율이 증가하는 것으로 하였다.

2.3.1.3. 저항연료의 도입

현재 사용되고 있는 중유는 황함유량 4.0%와 1.6%를 사용하고 있으나, 1997년 이후 정부의 저항연료공급확대의 정책에 의해 중유 1.0%사용을 설정하였다.

2.3.1.4. 유황세 및 보조금 도입시나리오

철강업과 동일하다.

2.3.1.5. 배연탈황 도입시나리오

철강업과 동일하다.

2.3.2. 시뮬레이션

2.3.2.1. BAU하에서의 아황산가스 배출량 전망

1992년도의 시멘트공업에서의 아황산가스 배출량은 10.6만톤이었던 것이 2020년도에는 21.9만톤으로 약 2.1배 증가할 것으로 전망된다(표 III-32).

이와 같은 높은 증가율은 에너지절약형 기술에 의한 배출저감보다 시멘트 생산량증가에 의한 배출량 증가가 더 크기 때문이다. 특히 중유사용에 의한 아황산가스 배출량 증가가 1992년 1.48만톤에서 2020년 3.06만톤으로 약 2.1배가 증가할 것으로 전망된다.

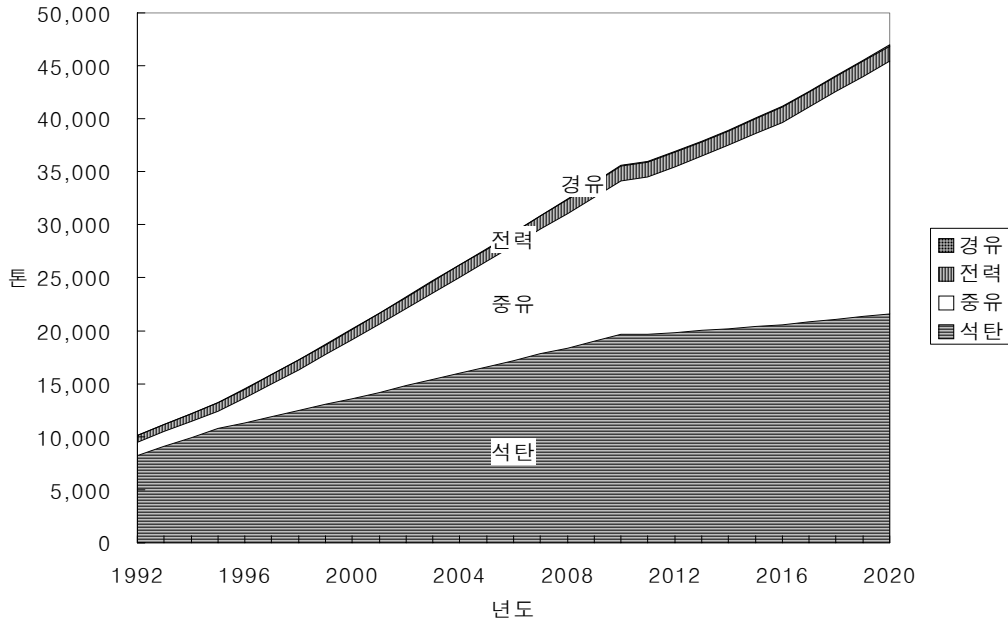
BAU하에서의 시멘트공업 기술별 점유율을 보면 포틀랜드시멘트 마감공정을 제외하고는 큰 변화가 없음을 보여주고 있다(표 III-33).

< 표 III-32 > 시멘트공업의 BAU하에서의 사용원료별 아황산가스 배출량 전망
(단위 :톤)

년도	석탄	중유	전력	경유	합계
1992	84,071.3	14,805.0	6,556.5	317.3	105,750.0
1993	92,625.5	16,311.4	7,223.6	349.5	116,510.0
1994	101,179.7	17,817.8	7,890.7	381.8	127,270.0
1995	109,725.9	19,322.8	8,557.2	414.1	138,020.0
1996	113,955.3	20,067.6	8,887.1	430.0	143,340.0
1997	118,192.7	20,813.8	9,217.5	446.0	148,670.0
1998	122,422.1	21,558.6	9,547.4	462.0	153,990.0
1999	126,659.4	22,304.8	9,877.8	478.0	159,320.0
2000	130,888.8	23,049.6	10,207.7	493.9	164,640.0
2001	135,205.7	23,809.8	10,544.3	510.2	170,070.0
2002	139,522.5	24,570.0	10,881.0	526.5	175,500.0
2003	143,831.4	25,328.8	11,217.0	542.8	180,920.0
2004	148,148.3	26,089.0	11,553.7	559.1	186,350.0
2005	152,465.1	26,849.2	11,890.4	575.3	191,780.0
2006	156,774.0	27,608.0	12,226.4	591.6	197,200.0
2007	161,090.9	28,368.2	12,563.1	607.9	202,630.0
2008	165,407.7	29,128.4	12,899.7	624.2	208,060.0
2009	169,716.6	29,887.2	13,235.8	640.4	213,480.0
2010	174,033.5	30,647.4	13,572.4	656.7	218,910.0
2011	174,033.5	30,647.4	13,572.4	656.7	218,910.0
2012	174,033.5	30,647.4	13,572.4	656.7	218,910.0
2013	174,033.5	30,647.4	13,572.4	656.7	218,910.0
2014	174,025.5	30,646.0	13,571.8	656.7	218,900.0
2015	174,025.5	30,646.0	13,571.8	656.7	218,900.0
2016	174,025.5	30,646.0	13,571.8	656.7	218,900.0
2017	174,025.5	30,646.0	13,571.8	656.7	218,900.0
2018	174,025.5	30,646.0	13,571.8	656.7	218,900.0
2019	174,025.5	30,646.0	13,571.8	656.7	218,900.0
2020	174,025.5	30,646.0	13,571.8	656.7	218,900.0

< 표 III-33 > 시멘트공업의 BAU하에서의 기술별 점유율 변화(단위 : %)

공정명	기술명	1992	2000	2010	2020
포틀랜드클링커 원료공정	튜브밀	50.1	50.1	50.1	50.1
	견형밀	49.9	49.9	49.9	49.9
포틀랜드클링커 소성공정	NSP/SP이외	1.0	1.0	1.0	1.0
	NSP/SP	99.0	99.0	99.0	99.0
	고효율클링커쿨러	0.0	0.0	0.0	0.0
	유동상소성로	0.0	0.0	0.0	0.0
포틀랜드시멘트 마감공정	튜브밀	57.1	47.1	47.1	47.1
	예비분쇄기	33.0	41.0	44.7	46.5
	견형밀	9.9	11.9	8.2	6.4
고로슬래그 분쇄공정	튜브밀	44.0	35.0	35.0	35.0
	견형밀	56.0	65.0	65.0	65.0



< 그림 III-9 > 시멘트공업의 BAU하에서의 에너지원별 아황산가스 배출량 전망

2.3.2.2. 고로시멘트비율 증가 시나리오

고로시멘트비율이 2020년에 11%에서 현재 일본수준인 18%로 증가되면 BAU의 21.9만톤보다 약 2.7%저감이 가능한 21.3만톤으로 예상된다(표 III-35, 그림 III-10).

2.3.2.3. 1.0% 중유 사용 시나리오

1997년 이후 1.0% 중유 사용이 의무화될 예정이므로 1.0% 중유 사용으로 2020년의 아황산가스 배출량은 19.1만톤으로 BAU보다 약 9% 저감이 가능하다(표 III-35, 그림 III-10).

2.3.2.4. 유황세 및 보조금 부과 효과

유황 1톤당 10만원 수준의 유황세율하에서는 아황산가스 배출저감이 이루어지지 않았다. 아울러 기술(시멘트공업)선택 구조에도 전혀 영향을 주지 못하였다. 이것은 톤당 10만원의 유황세는 시멘트공업 기술의 구입비용과 연료비용에 비해 매우 낮은 수준이기 때문으로 분석된다. 그러나 이 유황세에 기초한 보조금 도입시나리오 하에서는 21.3만톤으로 BAU에 비해 2.7%의 이산화황 저감이 가능하다(그림 III-10). 이는 철강업과 동일하게 가장 아황산가스 저감이 가능한 기술에 보조금을 지불함으로써 BAU에 비해 에너지 절약형 기술 보급이 촉진되었기 때문이다. < 표 III-34 >에서 보여지듯이 BAU와 비교해 포틀랜드클링커 마감공정에서 예비분쇄기 도입이 촉진되고 있다.

< 표 III-34 > 시멘트공업의 유황세 및 보조금도입 시나리오 하에서의 기술별 점유율 변화

(단위 : %)

공정명	기술명	1992	2000	2010	2020
포틀랜드클링커 원료공정	튜브밀	59.0	50.1	50.1	50.1
	건형밀	41.0	49.9	49.9	49.9
포틀랜드클링커 소성공정	NSP/SP이외	1.0	1.0	1.0	1.0
	NSP/SP	99.0	99.0	99.0	99.0
	고효율클링커쿨러	0.0	0.0	0.0	0.0
	유동상소성로	0.0	0.0	0.0	0.0
포틀랜드시멘트 마감공정	튜브밀	57.1	47.1	47.1	47.1
	예비분쇄기	33.0	41.0	44.7	46.5
	건형밀	9.9	11.9	8.2	6.4
고로슬래그 분쇄공정	튜브밀	44.0	35.0	35.0	35.0
	건형밀	56.0	65.0	65.0	65.0

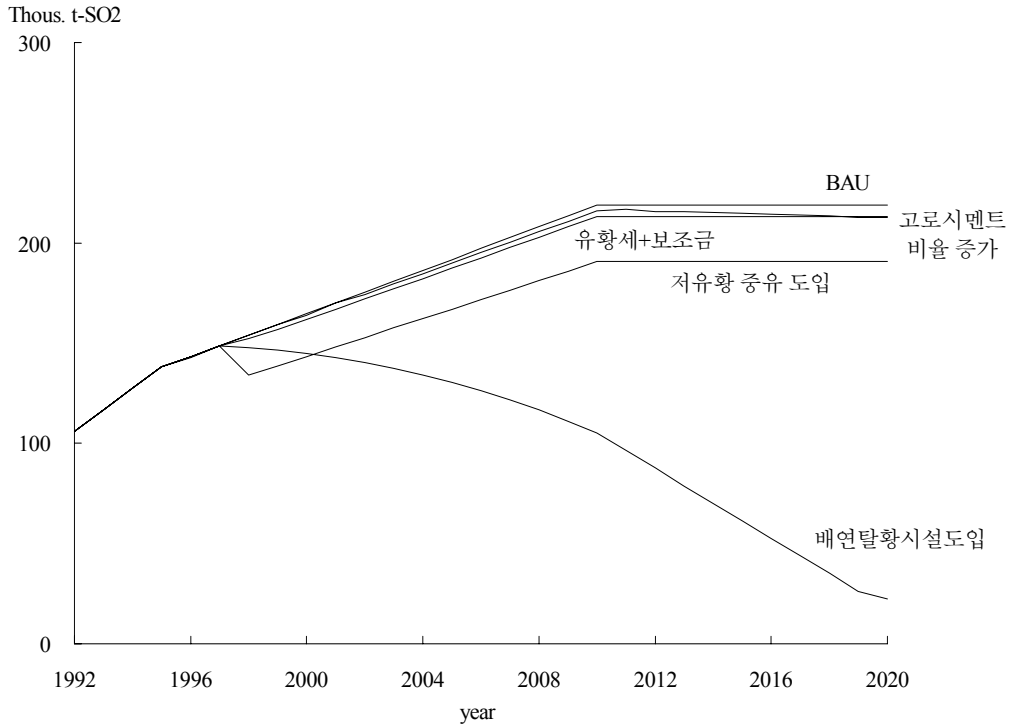
2.3.2.5. 배연탈황시설 도입효과

철강업과 동일한 아황산가스 배출계수를 사용하여 시뮬레이션 하였다. 2000년이 후 배연탈황시설이 도입되기 시작하여 2020년에 시멘트부문에 일본과 같은 수준으로 배연탈황시설이 도입되면 약 2.2만톤으로 BAU와 비교해 아황산가스 배출량이 1/10로 저감 가능하다. 즉 배연탈황시설이 도입된다면 1992년의 약 21% 수준의 아황산가스만이 배출되는 것을 의미한다.

< 표 III-35 > 시멘트공업의 시나리오별 아황산가스 배출량 전망

(단위 : 천톤)

년도	BAU	유황세+ 보조금 도입 시나리오	고로시멘트 증가 시나리오	저유황 중유 도입 시나리오	배연탈황시설 도입 시나리오
1992	106	106	106	106	106
1993	117	117	117	117	117
1994	127	127	127	127	127
1995	138	138	138	138	138
1996	143	143	143	143	143
1997	149	149	149	149	149
1998	154	154	152	134	148
1999	159	159	157	139	147
2000	165	164	162	143	145
2001	170	170	167	148	143
2002	176	174	172	153	140
2003	181	180	177	158	137
2004	186	185	182	162	134
2005	192	190	187	167	130
2006	197	195	193	172	126
2007	203	200	198	176	122
2008	208	205	203	181	117
2009	213	211	208	186	111
2010	219	216	213	191	105
2011	219	217	213	191	96
2012	219	216	213	191	88
2013	219	215	213	191	79
2014	219	215	213	191	70
2015	219	215	213	191	61
2016	219	214	213	191	53
2017	219	214	213	191	44
2018	219	213	213	191	35
2019	219	213	213	191	26
2020	219	213	213	191	22



< 그림 III-10 > 시멘트공업에서의 시나리오별 아황산가스 배출량 비교

3. 가정부문

3.1. 가정부문의 모형화

가정부문은 서비스분야별(용도별)로 분류해 각 분야의 서비스제공량과 에너지소비량과의 관계를 도출해내어 장래의 서비스수요량의 시나리오하에서, 최적기술의 조합에 의한 에너지소비량을 시뮬레이션하였다.

서비스분야로서는 냉방, 주난방·온수, 보조난방, 취사, 조명, TV, 냉장, 세탁, 청소, 오븐, 정보, 기타를 설정하였다. 또한 가정부문에서는 하나의 서비스기기가 하나 이상의 서비스원으로부터 하나 이상의 서비스를 동시에 제공하고 있다. 예를 들면, 석유팬히터는 보조난방의 서비스를 제공하며, 전력과 등유를 에너지원으로 하고 있다. 따라서 가정부문에서는 2가지의 선택이 항상 가장 적합하다고 볼 수는

없다. 여기에서는 기술이 가장 효율 좋게 복수서비스를 제공할 수 있도록 기술의 선택을 결정하게 하는 선형계획법을 이용한 기술의 적합서비스모듈을 사용하였다.

서비스량은 모형주택을 기준으로 산정하였다. 즉, 모형주택에 있어서 기준 년도의 각 서비스는 분야의 에너지소비량이 해당분야의 『단위서비스량』에 해당한다. 국내 가정부문의 서비스량은 단위서비스량에 세대수를 곱하여 구하였다.

3.2. 가정부문의 주요입력자료 내역

3.2.1. 기술데이터

3.2.1.1. 가정부문에 있어서 『서비스량』의 개념

가정부문의 모든 계산은 세대단위에서 설정한 『서비스량』을 기준단위로 하였다. 『단위서비스량』은 모형주택 1세대에 있어서 기준 년의 에너지-소비량에 해당하고, 『서비스량』은 세대수에 비례한다고 가정하였다.

여기에서 『서비스』는 에너지소비의 결과로서 나타나는 (또는 기대되는)효용을 말한다. 가정부문에 있어서 서비스단위는 서비스분야(용도:냉방, 난방 등)에 따라 정의된다.

가) 에너지의 용도

에너지사용방법이며, 이것에 의해 어떤 효용을 얻는 것이 기대된다. 모형에서는 냉방, 난방, 급탕, 조명, TV, 냉장, 세탁, 청소, 렌지 등으로 분류하였다.

나) 단위서비스량

기준 년에 있어서 기준주택 1세대의 서비스수요량을 단위서비스량(1서비스)으로 하였다. 기준 년은 1992년이고, 기준주택의 설정은 다음과 같다(표 III-36).

< 방수와 바닥면적 > 방 3개, 거실 1개, 주방 1개로 총 86.5m²

< 1세대 구성인수 > 3-4인

< 표 III-36 > 기준주택에 있어서 방의 면적

	방1	방2	방3	거실	주방	합계
면적(m ²)	13.77	9.13	8.61	18.78	15.71	66.0

3.2.1.2. 각 분야별 단위서비스량의 산정 : 기준 년, 기준주택의 에너지소비량

가) 냉방

기준주택에 있어서 단위서비스당 에너지소비량을 < 표 III-37 >에 나타내었다. 기준주택에 있어서 냉방용도의 에너지소비량에 관계하는 추정식은 다음과 같다.

$$\text{에너지소비량} = \text{단위면적} \cdot \text{단위시간당 냉방용 소비에너지} \times \text{기준주택의 면적} \\ \times \text{냉방일수} \times \text{1일당 냉방시간}$$

< 표 III-37 > 기준주택에 있어서 냉방분야의 단위서비스당 에너지소비량

	바닥면적 (m ²)	냉방시간 (시간/일)	냉방기간 (7/1-9/15)	냉방용 에너지 (Mcal)
거실, 주방	34.45	7	69	1,287.9
침실 A	13.77	3	69	220.6
침실 B	9.13	3	69	146.3
침실 C	8.61	3	69	137.9
계	66.00			1,792.7

여기에서 산정한 기준주택 1세대의 연간에너지소비량을 단위 서비스에 해당하는 에너지소비량으로 정의한다.

나) 주난방과 온수

기준주택에 있어서 단위서비스당 에너지소비량을 < 표 III-38 >에 나타내었다. 기준주택에 있어서 난방용도 에너지소비량에 관한 추정식은 다음과 같다.

$$\text{에너지소비량} = \text{단위면적} \cdot \text{단위시간당 난방용 소비에너지} \times \text{기준주택의 면적} \\ \times \text{난방일수} \times \text{1일당 난방시간}$$

< 표 III-38 > 기준주택에 있어서 난방분야의 단위서비스당 에너지 소비량

	바닥면적 (m ²)	난방시간 (시간/일)	난방기간 (10/1-3/31)	난방용 에너지 (Mcal)
거실, 주방	34.45	11	182	13,642.0
침실 A	13.77	2	182	991.4
침실 B	9.13	3	182	986.0
침실 C	8.61	3	182	929.9
계	66.00			16,549.3

여기에서 산정한 기준주택 1세대의 년간에너지소비량을 단위 서비스에 해당하는 에너지소비량으로 정의하였다.

다) 조명

조명면적, 조명시간과 단위시간당의 에너지소비량으로부터 기준주택의 조명에 소비되는 에너지 량을 산출하였다(표 III-39).

< 표 III-39 > 기준주택에 있어서 각방 하루 조명시간과 에너지 소비량

	바닥면적(m ²)	조명시간	에너지소비량(Ah/일)
거실, 주방	34.45	17.5-22.5(6-9, 12-14, 16-22) : 11시간	1,629.5
침실 A	13.77	21.5-23.5(21-23) : 2시간	118.4
침실 B	9.13	18.5-22.5(20-23) : 4시간	157.0
침실 C	8.61	18.5-22.5(20-23) : 4시간	148.1
계	66.00		2,053.0

기준주택에 있어서 조명용도의 년간에너지소비량, 즉 『1서비스량』에 해당하는 에너지소비량은 각방의 조명시간, 바닥면적과 단위면적당의 필요전력량으로부터 산정했다. 여기에서 얻어진 2,053(Wh/day/세대)을 년간 필요 칼로리로 환산하면 1,765.6(Mcal/년 · 세대)이다.

$$\text{거실, 주방}) 4.3(\text{W/m}^2) \times 34.45(\text{m}^2) \times 11(\text{시간/일}) \times 365(\text{일/년}) = 1,629.5(\text{Wh/년})$$

$$\text{침실 A}) 4.3(\text{W/m}^2) \times 13.77(\text{m}^2) \times 2(\text{시간/일}) \times 365(\text{일/년}) = 118.4(\text{Wh/년})$$

$$\text{침실 B}) 4.3(\text{W/m}^2) \times 9.13(\text{m}^2) \times 4(\text{시간/일}) \times 365(\text{일/년}) = 157.0(\text{Wh/년})$$

$$\text{침실 C}) 4.3(\text{W/m}^2) \times 8.61(\text{m}^2) \times 4(\text{시간/일}) \times 365(\text{일/년}) = 148.1(\text{Wh/년})$$

산정식) $2,053(\text{Wh/일} \cdot \text{세대}) \times (860 \times 10^{-3}(\text{Mcal/kWh})) \times 365(\text{일/년}) = 1,765.6(\text{Mcal/년} \cdot \text{세대})$

라) 기타 : TV, 냉장고, 세탁기, 청소기, 전자렌지

1세대에 해당서비스기술관계의 모든 기기(하나 혹은 복수)가 가져다주는 전효율을 그 서비스기술의 『1서비스』로 한다. 예를 들면 1세대에서 TV로 소비되는 전체 에너지량이 TV의 『단위서비스』에 해당된다.

3.2.1.3. 각 용도별 각 기기의 소비에너지량과 서비스(제공)량

다음에는 각 에너지용도(냉방, 주난방·온수, 취사 등)별로 선정대상이 되는 기기에 관한 정보를 집계하였다. 집계하는 정보는 각 기기의 에너지소비량과 그 효율, 가격 및 사용년수이다. 현재 가정에 사용되는 각 기기의 비율을 고려한 평균치를 산정하는 것이 바람직하지만, 자료조사의 난이도 등에 의해 그 기기의 대표적인 모형의 자료를 사용하였다.

각 용도별로 대표기기의 에너지소비량, 서비스제공(공급)량, 가격, 사용년수를 나타내었다. 단, 가격에 대해서는 『표시가격』을 사용해, 실제의 판매가격과 틀릴 수가 있다. 단, 기술선택이 없는 서비스 중의 기술로 가격자료를 얻을 수 없는 기기에 대해서는 가상의 값을 이용하였다.

또한 『서비스제공(공급)량』이라고 하는 것은 각 기기서비스수요를 어느 정도 만족하는 가를 나타내는 것으로 예를 들면 1대의 에어컨이 1년간에 제공하는 냉방칼로리량이 기준 년, 기준주택 1세대가 연간 필요로 하는 냉방칼로리량(1,792.7Mcal)의 93.7%에 해당한다면 이 석유팬히터 서비스량은 0.937이다.

가장 점유율이 큰 회사의 대표적모형을 대표모형으로서 선정하였다.

가) 냉방 - 에어컨

대표기기의 냉방능력으로부터 소비에너지량을 산정한다. 또한 소비에너지량의 기준주택 1세대서비스량(즉, 『단위서비스량』)에 대한 비율로부터 대표기기 서비스제공량을 산정했다.

산정예) 1. 대표기기 소비에너지량

$$= \text{표시되어있는 냉방능력} \times \text{기기의 연간사용시간}$$

$$= 4,800(\text{kcal/hr}) \times 350(\text{hr/년}) = 1,680,000(\text{kcal/년})$$

2. 대표기기의 서비스(제공)량

$$= \text{대표기기의 소비에너지량/기준 년, 기준주택 1세대 관련 소비에너지량}$$

$$= 1,680,000(\text{kcal/년}) / 1,792,700(\text{kcal/년}) = 0.937(\text{서비스})$$

위의 계산은 냉방전용 에어컨의 대표기기로 선정된 삼성전자의 AS-1267제품에 표시된 값이다.

나) 주난방·온수

대표기기에 표시되어 있는 난방능력으로부터 소비에너지량을 산정하였다. 또한 이 소비에너지량의 기준주택 1세대서비스량(즉 『단위서비스량』에 대한 비율로부터 대표기기의 서비스제공량을 산정했다. 산정방법은 냉방에 관한 산정과 동일하다.

다) 조명

백열등, 형광등 소비전력은 백열등(60w), 형광등(20w), 서크라인 형광등(30w), 콤팩트 형광등(15w)으로 계산하였다.

$$\text{백열등} : 0.06(\text{kw}) \times 365(\text{일/년}) \times 7.23(\text{시간/일}) \times 0.860(\text{Mcal/kWh})$$

$$= 136.1698(\text{Mcal/년})$$

$$\text{형광등} : 0.015(\text{kw}) \times 365(\text{일/년}) \times 7.23(\text{시간/일}) \times 0.860(\text{Mcal/kWh})$$

$$= 45.390(\text{Mcal/년})$$

$$\text{서크라인형광등} : 0.030(\text{kw}) \times 365(\text{일/년}) \times 7.23(\text{시간/일}) \times 0.860(\text{Mcal/kWh})$$

$$= 68.0849(\text{Mcal/년})$$

$$\text{콤팩트 형광등} : 0.015(\text{kw}) \times 365(\text{일/년}) \times 7.23(\text{시간/일}) \times 0.860(\text{Mcal/kWh})$$

$$= 34.0425(\text{Mcal/년})$$

조명기기의 사용년수는 수명시간을 하루당 사용할 시간으로 나눈 것에 의해 산정하였다. 수명시간은 백열등 1,000시간, 형광등과 장미전국조명 10,000시간을 사용할 때 시간을 평균점등시간인 3.98시간을 사용하였다(표 III-40).

< 표 III-40 > 각 조명기기의 수명, 일 점등시간, 사용년수

	수명(시간)	사용시간(시간)	사용년수(년)
백열등	1,000	7.23	0.38(약 1)
형광등	8,000	7.23	3.03(약 8)
서크라인 형광등	8,000	7.23	3.03(약 8)
컴팩트 형광등	8,000	7.23	3.03(약 8)
장미전구	8,000	7.23	3.03(약 8)

라) 기타

전력구성비는 『가전기기 보급율 조사』에 있어서 기준 년의 구성비에 의해 구하였다. 또한 에너지소비량은 『가전기기보급율 조사』에서 보유율을 사용해 1대당 에너지소비량(원단위)을 계산하였다(표 III-41).

$$\text{에너지소비량} = \text{기준 년의 에너지소비량} \times \text{전력구성비}$$

$$\text{원단위(1대당에너지소비량)} = \text{에너지소비량} / \text{보유율}$$

< 표 III-41 > 기타 기기의 에너지소비량, 보급율

기기명	에너지소비량 (Mcal/년)	기기보유율 (대/백세대)	원단위 (Mcal/년)
냉장고	488.0	113	410.6
세탁기	69.9	89	78.6
청소기	53.5	45	118.9
컴퓨터	29.4	21	140.1
TV	279.4	124	225.3

TV, 냉장고, 세탁기, 컴퓨터 등의 서비스량은 기준 년의 기기보유율을 고려하여 구하였다.

예를 들면 기준 년인 1992년 현재 TV보유율은 124.0(대/백세대)이다. 1세대의 TV에 관한 에너지소비량이 TV의 단위서비스량이기 때문에 이 서비스가 약 1.24대의 TV로 이루어지므로 1대의 TV는 0.81서비스(1서비스/1.24대)를 제공하고 있는 것이다.

3.2.1.4. 기술자료 요약

< 표 III-42 >는 가정부문에서 지금까지 추계한 자료를 집약하여 나타낸 것이며, 각 기술의 도입현황을 < 표 III-43 >에 나타내었다.

< 표 III-42 > 가정부문의 기술자료

용도	기기명	연료	가격 (만원)	수명 (년)	서비스량 (서비스)	에너지소비량 (10 ³ Mcal)
냉방	에어컨	전기	135	4	0.94	1.68
	선풍기	전기	50	6	0.07	0.12
주 난 방, 온수	석유보일러	등유	60	10	1	13.62
	석탄보일러	석탄	30	10	1	13.62
	도시가스보일러	도시가스	75	10	1	13.62
	LPG보일러	LPG	75	10	1	13.62
보 조 난 방	석유팬히터	석유 전기	35.6	5	3.67	10.81 0.04
	도시가스히터	도시가스 전기	44.5	5	3.67	10.81 0.04
	LPG히터	LPG 전기	44.5	5	3.67	10.81 0.04
	전기히터	전기	8.9	5	0.33	0.973
	전기장판	전기	9.0	5	0.36	1.071
취사	도시가스곤로	도시가스	19	6	1	1.2378
	LPG곤로	LPG	19	6	0	1.2378
조명	백열등	전기	0.06	1	0.05	0.136
	형광등	전기	0.15	8	0.05	0.005
	서크라인형광등	전기	0.3	8	0.05	0.007
	컴팩트형광등	전기	1.2	8	0.05	0.003
TV	TV	전기	36.8	5	0.81	0.279
냉장	냉장고	전기	107.8	4	0.89	0.464
세탁	세탁기	전기	87.8	5	1.12	0.070
청소	청소기	전기	16.4	4	2.22	0.054
오븐	오븐	전기	26.8	5	2.78	0.028
정보	컴퓨터	전기	214.5	3	4.76	0.029
기타전기	-	전기	-	6	1	0.163

< 표 III-43 > 가정부문 기술도입현황 (단위 : %)

용도	기기명	1992년
냉방	에어컨	93.08
	선풍기	6.92
주난방, 온수	석유보일러	46.04
	석탄보일러	38.96
	도시가스보일러	8.65
	LPG보일러	6.35
보조난방	석유팬히터	99.00
	도시가스히터	0.0
	LPG히터	0.0
	전기히터	0.5
	전기장판	0.5
취사	도시가스곤로	17.55
	LPG곤로	82.45
조명	백열등	40.40
	형광등	59.60
	스크라인	0.0
	컴팩트	0.0

3.2.2. 기술도입제한

각 서비스기술기기가 각 서비스분야에 정하는 것이 가능한 최대비율을 다음과 같이 설정했다. 예를 들면 BAU시나리오하에서는 주난방·온수용으로 도시가스 보일러를 배관망 등의 현실적인 제약으로 에너지경제연구원의 『기후변화협약 관련 국가보고서 작성 및 대응방안 연구』의 자료를 이용하여 2020년의 최대도입가능성을 56.7%로 하였다. 2010년 제약이 없는 서비스기기에 대해서는 100을, 제약조건이 있는 서비스기기에 대해서는 그 제약조건을 사용하였다.

3.3. 시뮬레이션

3.3.1. 시나리오 설정

1992년 가정부문에서의 아황산가스 배출량은 27.6만톤으로 전 아황산가스 배출량의 약 17%를 점하고 있다. AIM/KOREA SULFUR모형은 End-Use모형임으로 가정

부분에서의 전력소비량은 가정부문에서 집계하였다.

시뮬레이션은 표준시나리오(BAU), 청정연료 무제한 도입 시나리오, 유향세 시나리오, 보조금 시나리오, 배연탈황시나리오의 5개 시나리오에 대하여 실시하였다.

3.3.1.1. 표준시나리오 설정

가정부문에 있어서 에너지소비량은 모두 기준 년, 기준세대에 있어서 에너지서비스량(단위서비스)을 기초로 하였다. 따라서 냉방, 주난방, 온수 등 각 서비스용도의 서비스수요량이 세대수에 비례한다고 가정해, 먼저 기준 년에 있어서 국내 전 서비스수요량을 산정하였다(표 III-44).

< 표 III-44 > 가정부문에 있어서 각 서비스분야별 기준 년 서비스수요량

용도	1세대에너지소비량 전국평균 (Mcal/세대/년)	COP	기준세대의 에너지소비량 (Mcal/세대/년)	세대수 (천세대)	기준 년의 총서비스수요량 (서비스)
냉방	38.5	3	1,792.7	12,047	776,160
주난방·온수	10,275.1		13,615.3	12,047	9,091,540
보조난방	2,214.2		2,934.0	12,047	9,091,540
취사	1237.7		1,237.7	12,047	12,047,000
조명	419.9		419.9	12,047	12,047,000
기타	1090.4		1,090.4	12,047	12,047,000
계	15,275.8				

주 : COP(Coefficient of Performance)

다음에는 서비스수요량의 장래치의 시나리오를 작성하였다. 서비스수요량의 증가 요인으로서는 세대수증가, 주거면적확대, 냉난방 및 취사수요의 증가, 가전제품의 보급대수 증가, 제품자체의 중형화와 고성능화 등이 있다. 아래는 각 서비스용별 서비스수요량의 변화요인과 산정식을 정리하였다(표 III-45).

< 표 III-45 > 각 서비스 용도의 수요량 증가 요소

서비스 용도	서비스수요량의 변화요소, 산정식
냉방	세대수 × 바닥면적 × 냉방강도
주난방·온수	세대수 × 바닥면적 × 주난방, 온수강도
보조난방	세대수 × 바닥면적 × 보조난방강도
취사	세대수 × 취사강도
조명	세대수 × 조명강도
TV	세대수 × 기기보유율 × 기기고성능화
냉장고	세대수 × 기기보유율 × 기기고성능화
세탁기	세대수 × 기기보유율 × 기기고성능화
청소기	세대수 × 기기보유율 × 기기고성능화
오븐	세대수 × 기기보유율 × 기기고성능화
정보	세대수 × 기기보유율 × 기기고성능화
기타	세대수

여기에서 서비스수요량의 산정에 사용한 각 변수의 GNP탄성률 등의 값을 표에 나타내었다. 1992년의 서비스량을 1로하면, 장래의 서비스량 추정식을 다음과 같이 나타낼 수 있다(표 III-46).

< 표 III-46 > 가정부문에 있어서 장래의 서비스량 시나리오(단위 : 서비스)

	1992	2000	2010
냉방	1	4.326	26.008
주난방·온수	1	1.225	1.8106
보조난방	1	1.225	1.8106
취사	1	1.282	2.067
조명	1	1.608	5.608
TV	1	1.405	3.364
냉장	1	1.531	2.872
세탁	1	1.527	2.895
청소	1	1.454	2.750
오븐	1	1.407	2.533
정보	1	1.592	3.177
기타	1	1.282	5.989

3.3.1.2. 청정연료 도입 시나리오

청정연료인 도시가스, LPG가 BAU에서 설정한 도입년도보다 더 빨리 보급되는 시나리오이다. 통상산업부·에너지경제연구원(1995)의 『기후변화협약 관련 국가보고서 작성 및 대응방안 연구』에 의하면 2020년에 청정연료가 약 56.7% 보급되는 것으로 가정하고 있으나, 현재의 가격메카니즘하에서 일반가정에서 자유롭게 난방기기를 선택할 수 있도록 보급율에 제한을 두지 않는 시나리오이다. 즉 가격경쟁력이 있으면 청정연료를 주난방 등에 100% 사용할 수 있도록 하는 것이다.

3.3.1.3. 유황세 도입 시나리오

철강업과 동일하나 유황 1톤당 10만원의 유황세만 부과하는 시나리오이다.

3.3.1.4. 보조금 도입 시나리오

1998년 유황세 10만원으로 확보한 재원으로 1999년부터 최적 아황산가스 저감기술 촉진을 위해 보조금을 사용하는 시나리오이다.

3.3.1.5. 배연탈황시설 도입 시나리오

철강업과 동일하다.

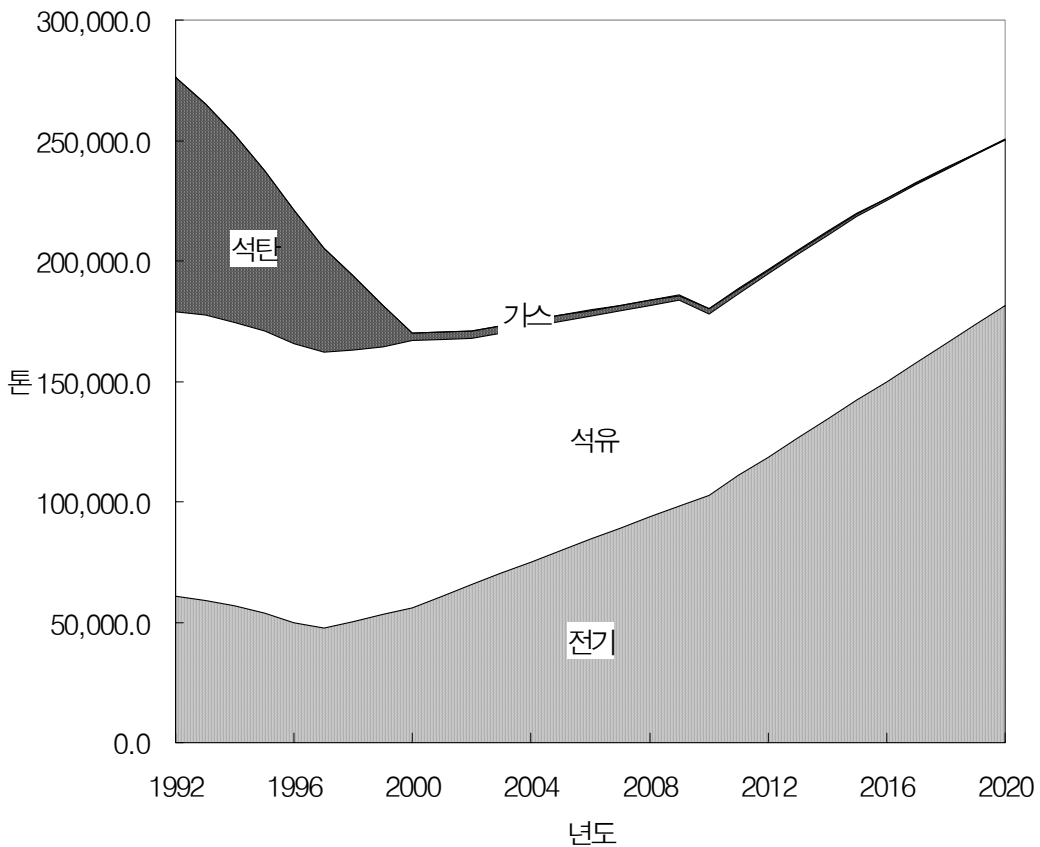
3.3.2. 시뮬레이션 결과

3.3.2.1. BAU하에서의 아황산가스 배출량 추이

1992년도 가정부문에서의 아황산가스배출량은 27.6만톤이었던 것이 2020년도에는 25.1만톤으로 저감될 것으로 전망된다(표 III-47). 특히 2000년에서의 아황산가스 배출량은 17만톤으로 1992년과 비교하면 아황산가스 10만톤이 저감될 것으로 나타났다. 이것은 가정부문에서의 아황산가스 배출량 증가보다 석탄 및 석유 연료로부

터 천연가스로의 전환으로 인한 아황산가스의 저감이 높기 때문이다. 그러나 전력 사용에 의한 아황산가스 배출량 증가가 1992년 6.1만톤에서 18.1만톤으로 약 3배가 증가할 것으로 전망된다. 이는 에어컨의 보급확대와 더불어 가전기기에 대한 서비스강도가 더욱 높아졌기 때문이다.

BAU하에서의 가정부문 기술별 점유율을 보면 에너지 절약형 기술이 점유율에 제한을 두지 않으면 점차적으로 그 비율이 증가되고 있음을 알 수 있다(표 III-48). 예를 들면 형광등의 경우, 2020년에는 거의 100%까지 보급이 확대됨을 알 수 있다. 또한 도시가스 보일러도 1992년에 8.6%였던 것이 2020년에 56.7%로 증가하는 것으로 나타났다.



< 그림 III-11 > 가정부문의 BAU하에서의 연료종별 아황산가스 배출량 전망

< 표 III-47 > 가정부문의 BAU하에서의 사용연료별 아황산가스 배출량 전망
(단위 : 톤)

년도	석탄	가스	석유	전력	합계
1992	97,211.8	0.0	118,200.8	60,757.4	276,170.0
1993	87,751.4	0.0	118,239.1	59,119.5	265,110.0
1994	77,696.1	0.0	117,553.2	57,010.8	252,260.0
1995	66,762.8	0.0	116,894.3	53,932.9	237,590.0
1996	55,501.1	0.0	115,645.8	49,973.1	221,120.0
1997	43,309.9	0.0	114,535.1	47,415.1	205,260.0
1998	30,623.6	193.8	112,609.4	50,393.2	193,820.0
1999	17,057.2	181.5	111,053.5	53,167.8	181,460.0
2000	3,061.3	170.1	110,715.6	56,123.1	170,070.0
2001	2,900.2	170.6	106,625.0	60,904.2	170,600.0
2002	2,905.8	170.9	102,216.1	65,637.1	170,930.0
2003	2,770.9	173.2	99,924.9	70,311.1	173,180.0
2004	2,631.2	175.4	97,528.0	75,075.5	175,410.0
2005	2,663.4	177.6	95,172.2	79,546.9	177,560.0
2006	2,515.0	179.6	92,514.6	84,430.8	179,640.0
2007	2,362.1	181.7	90,123.2	89,033.0	181,700.0
2008	2,204.8	183.7	87,639.2	93,702.3	183,730.0
2009	2,042.8	185.7	85,240.9	98,240.6	185,710.0
2010	1,983.3	180.3	75,365.4	12,771.0	180,300.0
2011	1,695.0	188.3	75,520.3	110,926.4	188,330.0
2012	1,570.4	196.3	75,968.1	118,565.2	196,300.0
2013	1,429.6	204.2	75,973.6	126,622.6	204,230.0
2014	1,272.9	212.2	76,161.9	134,503.1	212,150.0
2015	1,098.9	219.8	76,260.2	142,191.2	219,770.0
2016	904.8	226.2	75,095.1	149,964.0	226,190.0
2017	697.3	232.4	73,680.3	157,820.0	232,430.0
2018	477.1	238.6	72,048.1	165,806.2	238,570.0
2019	244.6	244.6	70,692.3	173,428.5	244,610.0
2020	0.0	250.6	68,906.8	181,412.7	250,570.0

< 표 III-48 > 가정부문의 BAU하에서의 기술별 점유율의 변화 (단위 : %)

용도	기기명	1992	2000	2010	2020
냉방	에어컨	93.1	95.1	97.5	100.0
	선풍기	6.9	4.9	2.5	0.0
주난방, 온수	석유보일러	46.0	60.4	49.7	43.3
	석탄보일러	39.0	1.0	0.5	0.0
	도시가스보일러	8.6	37.5	49.8	56.7
	LPG보일러	6.3	1.1	0.0	0.0
보조난방	석유팬히터	99.1	62.5	50.2	35.0
	도시가스히터	0.0	37.5	49.8	56.7
	LPG히터	0.0	0.0	0.0	8.3
	전기히터	0.4	0.0	0.0	0.0
	전기장판	0.5	0.0	0.0	0.0
취사	도시가스곤로	17.6	48.2	59.2	68.8
	LPG곤로	82.5	51.8	40.8	31.2
조명	백열등	40.4	0.0	0.0	0.0
	형광등	59.6	71.1	85.6	99.0
	서크라인	0.0	15.7	14.4	1.0
	컴팩트	0.0	13.1	0.0	0.0

3.3.2.2. 청정연료 적극 도입에 따른 아황산가스 배출량 추이

청정연료 도입에 제한을 두지 않는 시나리오하의 시뮬레이션 결과를 < 표 III-49 >에 나타내었다. 그 결과 2020년의 아황산가스 배출량은 18.2만톤으로 BAU에 비해 약 27.5%저감이 가능하다. 이는 주난방·온수 및 보조난방에 청정연료인 도시가스 및 LPG가 2020년에 100%보급되어 아황산가스 배출량을 저감시켰기 때문이다.

3.3.2.3. 유황세 도입 시나리오

유황세는 스웨덴, 노르웨이 등 이미 유황세를 부과하고 있는 국가를 참고로 하여 유황 1톤당 10만원의 유황세를 부과시 아황산가스 저감효과를 추정하였다.

이같은 수준의 유황세율은 철강업이나 시멘트공업에서는 기술의 구입비용과 연료비용에 비해 낮은 수준이므로 아황산가스 배출저감이 이루어지지 않았으며, 기술(가정부문)선택 구조에도 전혀 영향을 주지 못하였다. 그러나 가정부문에서는 기

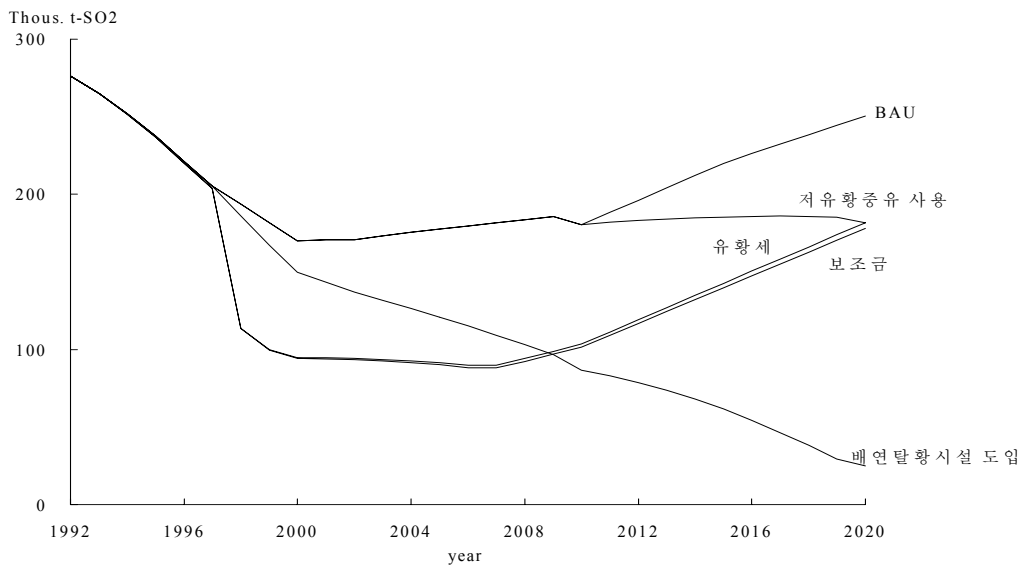
술의 구입비용이 낮기 때문에 10만원의 유향세에도 18.2만톤으로 27.5%의 아황산가스 저감이 가능함을 나타냈다(표 III-49, 그림 III-12).

3.3.2.4. 보조금 도입 시나리오

3.3.2.3.에서의 유향세를 보조금으로 환원할 때에는 17.8만톤으로 0.3만톤이 더 저감되는 것으로 나타났다(표 III-49). 보조금의 효과가 낮은 것은 연료전환, 유향세 등에 의해 현재의 아황산가스 저감 기술이 대부분 선택되었기에 선택의 폭이 거의 없음을 의미한다.

3.3.2.5. 배연탈황시설 도입효과

철강업과 동일한 아황산가스 배출계수를 사용하여 시뮬레이션하였다. 2000년이후 배연탈황이 도입되기 시작하여 2020년에 가정부문에 일본과 같은 수준으로 도입되면 약 5.9만톤으로 BAU와 비교해 아황산가스 배출량이 1/5로 저감가능하다. 즉, 배연탈황시설이 도입된다면 1992년의 약 21%의 아황산가스만이 배출되는 것을 의미한다.



< 그림 III-12 > 가정부문의 시나리오별 아황산가스 배출량 비교

< 표 III-49 > 가정부문의 시나리오별 아황산가스 배출량 전망(단위 : %)

	BAU	저유황중유사용	보조금	유황세	배연탈황도입
1992	276	276	276	276	276
1993	265	265	265	265	265
1994	252	252	252	252	252
1995	238	237	237	238	238
1996	221	220	220	221	221
1997	205	204	204	205	205
1998	194	114	114	194	186
1999	181	100	99	181	167
2000	170	95	94	170	150
2001	171	95	94	171	143
2002	171	94	93	171	137
2003	173	94	93	173	132
2004	175	93	91	175	126
2005	178	91	90	178	121
2006	180	90	88	180	115
2007	182	90	88	182	109
2008	184	94	92	184	103
2009	186	99	97	186	97
2010	180	103	101	180	87
2011	188	111	109	182	83
2012	196	119	117	183	79
2013	204	127	125	184	74
2014	212	135	132	185	68
2015	220	143	140	185	62
2016	226	150	148	186	54
2017	232	158	155	186	46
2018	239	166	163	186	38
2019	245	174	171	185	29
2020	251	182	178	182	25

IV. 결론

우리 나라에서는 서울을 비롯해 국지적으로 pH 4.0이하의 강한 산성비 현상이 나타나고 있으며, 지역별로는 부산지역의 강우산도가 가장 높게 나타났다. 이러한 산성비의 피해가 국내에선 구체적으로 보고된 예가 적으나, 유럽 등에서는 호수를 죽음의 호수로 변화시키고, 산림을 황폐화시키는 것은 물론, 콘크리트 구조물을 부식시키며, 인간의 건강부분까지 피해를 주는 것으로 보고되었다.

이러한 맥락에서 본 연구에서는 전년도에 계속해 산성비 저감대책을 위해 주요 산성비 원인물질 중 비교적 대책수립이 용이한 아황산가스 저감의 구체적인 해결 방안 모색을 위한 평가모형 개발과 더불어 구체적인 대안 제시를 연구목적으로 하였다.

본 연구에서는 아황산가스 최적저감대책을 도출하기 위해 지구온난화 평가모형인 AIM(Asia-Pacific Integrated Model)모형을 수정한 AIM/KOREA SULFUR모형을 개발하여 시물레이션하였다. 시물레이션에서는 BAU(Business As Usual)의 기준시나리오와 더불어 아황산가스 저감가능 시나리오(저황연료사용, 연료전환, 배연탈황 시설도입, 에너지절약)를 설정하였다. 시물레이션 결과를 요약하면 다음과 같다.

1992년도 철강업에서의 아황산가스배출량은 25.2만톤이었던 것이 BAU시나리오에서는 2020년도에는 58.6만톤으로 약 2.3배 증가할 것으로 전망된다. 이러한 증가분을 저감하기 위하여 여러 가지 시나리오하에서 시물레이션한 결과, 전기로의 증가 시나리오에서는 BAU대비 1% 저감이 가능하다. 그리고 철강업에서 사용하는 전력을 시장메카니즘하에서 자유롭게 선택되도록 하면 BAU에 비해 약 11.6% 저감이 가능하다. 이는 자가발전의 비율이 증가됨에서 기인하는 것이다. 또한 유황 1톤당 10만원의 유황세를 부과시 아황산가스 저감효과는 없는 것으로 추정되었으며, 기술선택 구조에도 전혀 영향을 주지 못하였다. 이것은 톤당 10만원의 유황세는 철강업 기술의 구입비용과 연료비용에 비해 매우 낮은 수준이기 때문이다. 유황세를 재원으로 한 아황산가스저감에 최적인 기술에 보조금을 도입하면 코크스공정의 에너지절약기술인 코크로+코크로조습장치 등의 도입이 촉진되어 8.7%의 저감이 가능하다. 한편 2000년 이후 배연탈황이 도입되기 시작하여 2020년에 철강부분에 일본과 같은 수준으로 도입되면 1992년의 약 23% 수준인 5.9만톤의 아황산

가스만이 배출되는 것으로 예측되었다.

1992년도의 시멘트공업에서의 아황산가스 배출량은 14.8만톤이었던 것이 BAU 시나리오에서는 2020년도에는 30.6만톤으로 약 2.1배 증가할 것으로 전망된다. 이러한 증가분을 저감하기 위하여 여러 가지 시나리오하에서 시뮬레이션한 결과, 고로시멘트비율이 2020년에 11%에서 현재 일본수준인 18%로 증가되면 BAU대비 약 2.7%저감이 가능하며, 1997년 이후 1.0% 중유 사용이 의무화될 예정임으로 1.0% 중유 사용으로 전부 대체한다면 2020년의 아황산가스 배출량은 BAU보다 약 9% 저감이 가능하다. 유황세에 의한 효과는 없으나 이를 재원으로 한 보조금을 도입하면 2.7%저감이 가능하다. 또한 2000년이후 배연탈황이 도입되기 시작하여 2020년에 시멘트부문에 일본과 같은 수준으로 도입되면 1992년의 약 21%수준인 2.2만톤의 아황산가스만이 배출되는 것으로 전망되었다.

1992년도의 가정부문에서의 아황산가스 배출량은 27.6만톤이었던 것이 2020년도에는 25.1만톤으로 약 9%의 아황산가스가 저감될 것으로 전망된다. 이와 같이 감소되는 이유는 가정부문에서 아황산가스 배출량 증가보다 석탄 및 석유에서 천연가스로의 전환으로 인한 아황산가스 저감이 더 높게 이루어졌기 때문이다. 보다는 많은 양의 아황산가스를 저감하기 위하여 여러 가지 시나리오하에서 시뮬레이션한 결과, 청정연료 도입에 제한을 두지 않는 시나리오하에서는 2020년의 아황산가스 배출량이 BAU에 비해 약 27.5%저감이 가능하다. 이는 주난방·온수, 보조난방에 청정연료가 100%도입된 것에 기인한다. 가정부문에서는 기술의 구입비용이 다른 부문보다 낮음으로 10만원의 유황세에 2020년 아황산가스배출량이 18.2만톤으로 27.5%의 아황산가스 저감이 가능하다. 유황세를 보조금으로 환원하면 17.8만톤으로 0.3만톤이 더 저감된다. 2000년이후 배연탈황이 도입되기 시작하여 2020년에 가정부문에 일본과 같은 수준으로 도입되면 1992년의 약 21% 수준인 5.9만톤의 아황산가스만이 배출되는 것으로 전망되었다.

이상의 결과에서 보면 산성비 원인물질인 아황산가스 저감대책은 보는 시각에 따라 여러 해석이 가능하나, 배연탈황시설 도입을 고려하지 않고서는 환경부 정책 목표인 아황산가스 농도 0.01ppm의 달성이 매우 어려울 것으로 판명되었다. 이는 1995년도 『산성비 원인물질 저감대책에 관한 연구 I』의 연구 결과와도 일치한다.

그러나, 배연탈황시설 도입의 현실적인 제약 등을 감안한다면, 부분별 특성에 따라 에너지절약형 기술의 도입, 연료전환 등이 적절하게 병행되는 것이 바람직하

다. 가정부문에 있어서 연료전환에 의해 BAU대비 약 27.6%의 아황산가스가 저감되는 것이 좋은 예가 될 것이다. 또한 에너지 절약형 기술이 도입되어 에너지 효율이 높아짐에 따라 아황산가스의 저감이 가능함을 나타내며, 지구온난화 저감대책과 연계됨을 보여준다.

참고문헌

국내 문헌

- 김승우, 이동근, 전성우, 『이산화탄소 배출량 예측과 저감방안에 관한 연구』, 한국환경기술개발원, 1995.
- 김승우, 이동근, 전성우, "기술선택을 고려한 운송부문 이산화탄소 배출량 저감방안의 평가", 자원경제학회지, 제5권 제2호, pp.203-223, 1996.
- 김용준, 『산성비 피해현황과 저감대책』, 한국환경기술개발원, 환경포럼 1(6), 1994.
- 녹색에너지가족운동추진본부·에너지관리공단, 『녹색조명 안내서』, 1996.
- 안유신·이동근, 『산성비 원인물질 저감방안에 관한 연구Ⅱ-배연탈황시설의 기초자료 및 경제성 분석』, 한국환경기술개발원, 1995.
- 상공자원부, 『1993년도 에너지 총조사보고서』, 1993.
- 상공자원부, 『1990년도 에너지 총조사보고서』, 1990.
- 상공자원부, 『1987년도 에너지 총조사보고서』, 1987.
- 에너지경제연구원, 『에너지통계연보』, 1995.
- 에너지경제연구원. 『중유화력 황산화물 저감대책 연구』, 1995.
- 에너지경제연구원·한국에너지기술연구소, 『중유화력 황산화물 저감대책 연구』, 1995.
- 에너지경제연구원, 『환경규제에 대한 철강부문 대응방안 연구』, 포스코경영연구소, 1995.
- 에너지경제연구원, 『장기에너지 수요 2030』, 1994.
- 에너지경제연구원, 『에너지통계월보』, 1994.
- 에너지경제연구원, 『장기에너지수요 2030』, 1994.
- 에너지경제연구원, 『기후변화협약 관련 국가보고서 작성 및 대응방안 연구』, 1994.
- 에너지경제연구원. 『아황산가스 저감대책과 비용분석』, 1993.
- 에너지경제연구원, 『아황산가스 저감대책과 비용분석』, 1993.
- 유동현, 『시멘트산업의 이산화탄소 배출저감 방안』, 에너지경제연구원, 1995.
- 이동근, 『산성비 원인물질 저감방안에 관한 연구 I -저감기술 선택모형개발을 중심으로』, 한국환경기술개발원, 1995.

- 한국개발연구원, 『신경제장기구상』, 1995.
- 한국과학기술원, 『배연탈황 탈질 기술개발 및 실용화』, 환경처·과학기술처, 1993.
- 한국은행, 『국민계정』, 1994.
- 홍지형, 『배연탈황기술의 현황과 전망』. 첨단환경기술, 1994.
- 환경부, 『환경백서』, 1995.
- 환경부. 『환경백서』, 1994.
- 환경부·국립환경연구원, 『대기오염물질 배출량('95)』, 1996.
- 환경부·한국환경기술개발원, 『환경비전21(시안)』, 1995.
- 환경부 대기보전국, 『대기오염물질종합배출량』, 1995.
- 환경부 대기보전국, 『대기오염측정종합자료집』, 1995.
- 환경부 대기보전국, 『아황산가스 저감대책에 따른 비용분석』, 1995.
- 환경부 대기보전국. 『아황산가스 저감대책에 따른 비용분석』, 1995.
- 환경처. 『대기오염물질배출량 ('93)』, 1994.

국외문헌

- Addison, G.E. & Sapuntzakis, S., *The Shell FGD Process : An Update*, 1st., Annual Pittsburgh Coal Conf. Proc., 1984.
- Alan S. Manne and Richard G. Richels, *Buying Greenhouse Insurance*, The MIT Press, 119-140, 1992.
- Alliance to Save Energy, *Management Practices and Tax Incentives*, 1983.
- Ando, J., *Proc., 8th Symp. on Flue Gas Desulfurization*, EPA/EPRI, New Orleans, LA, 1983.
- C. A. Altin, J. P. Vampbell, *The Clean Air Act amendments and the conemaugh Station - Phase I Compliance*, 1993 SO₂ Control Symp., Nol. 1, Boston, MA, August 24~27, 1993.
- City of Seoul, "The Results of Economic Benefit Analysis of the Driving Restriction System.", 1995.
- Clean Air Act Amendment*, 1990.

- Dean, Andrew, "Costs of Cutting CO₂ Emissions: Evidence from "Top-Down" Models", *presented at the OECD/IEA International Conference on the Economics of Climate Change, Paris, 14-16 June, 1993.*
- Dornbush, R. and J. M. Poterba, *Global Warming : Economic Policy Responses*, MIT Press, Cambridge, MA, 1991.
- Heshetch, E. H., *Air Pollution Control*, Michigan : Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor, 54, 1979.
- IEA, *World Energy Outlook*, 1994.
- IEA STATICS, *Energy Statistics & Balance of Non-OECD Countries 1989-1990*, Paris, 1992.
- International Energy Agency(IEA), *Energy Conservation in IEA Countries*, OECD, Paris., 1987.
- Johansson, T. B. and J. N. Swisher, "Perspectives on "Bottom-Up" Analyses of Costs of CO₂ Emissions Reductions", *presented at the OECD/IEA International Conference on the Economics of Climate Change, Paris, 14-16 June, 1993.*
- Keeth, R. J., Ireland, P. A. and Radcliffe, P. T. *1990 Update of FGD Economic Evaluation*, EPA/EPRI 1990 SO₂ Control Symposium, New Orleans, LA., 1990.
- Korea Environmental Technology Research Institute, *Integrated Environmental and Economic Accounting for the Republic of Korea*, Final Report for the UNDP Project ROK/93/015, 1996
- Lenstra, J. and M. Bonney, "The Merits of a Mixed Bag : National Plans, Agreements, and Policy Instruments", *presented at the OECD/IEA International Conference on the Economics of Climate Change, Paris, 14-16 June, 1993.*
- Martinelli, R., Goots T. R. and Nolan P. S. *Economic Comparisons of Emerging SO₂ Control Technologies*, Ohio :Babcock & Wilcox, Barberton, 1993.
- Matsubishi, R., et al., "Economic Assessment of CO₂ Abatement Options," *Energy and Resources Vol. 12, No. 5*, pp.62-69., 1991.
- Morita, T., et al. *Global Carbon Dioxide Emission Scenarios and their Basic Assumption(1994 Survey)*, Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, Environmental Agency for Japan, 1994.

- Morita, T., Y. Matsuoka, M. Kainuma, K. Kai, H. Harasawa and D. K. Lee, "Asian-Pacific Integrated Model for Evaluating Policy Options to Reduce Greenhouse Gas Emissions and Global Warming Impacts," National Institute for Environmental Studies, 1994.
- Morita, T., Y. Matsuoka, M. Kainuma, K. Kai, H. Harasawa and D. K. Lee, "An Energy Technology Model for Forecasting Carbon Dioxide Emissions in Japan," National Institute for Environmental Studies.23. Investments in Energy Efficiency Opportunities, Washington, D.C., 1995.
- OECD, Taxation and the Environment : Complementary Policies, OECD Paris, 1993.
- OECD, *Clean Fuel Supply*, 1978.
- OECD, *OECD Environmental Data*, 1993.
- OECD/IEA, *World Energy Outlook-To the Year 2010*, 1993.
- Petroleum Economics Limited, *Energy and the Environment*, July 1992.
- Progress Report. *United States/Canada Air Quality Agreement*, 1992.
- S. A. Johnson, *Ghent Unit 1 FGD System Retrofit Project*, 1993 SO₂ Control Symp., No1. 1, Boston, MA, August 24~27, 1993.
- Soud, H. and Takeshita, M., *FGD handbook*, IEA Coal Research London, 1992.
- United Engineers and Constructors, Inc., *Economic Evaluation of Flue Gas Desulfurization System*, Electric Power Research Institute, 1991.
- World FGD Market 1989-1996, *The McIlvaine Company*
- Yuzawa, K. and Kunito S., *Comparison among Flue Gas Desulfurization, Process*. Nas Toa Co., Ltd, 1994.
- 科學技術廳・科學技術政策研究所, *アジアのエネルギー-利用と地球環境-エネルギー-消費構造と地球汚染物質の放出の動態*, 1992.
- 科學産業技術科學廳科學技術政策研究所 編, 『*アジア地域のエネルギー-消費構造と地球環境影響物質排出量(SO₂, NO₂, CO₂)の動態分析概要*』, 1991.
- 島崎洋一・森田恒幸, 『*東アジア地域における排煙脱硫投資のシミュレーション解析*』, 1994年會講演要旨集, 環境科學會, 1995.

- 本藤祐樹・内山洋司, 『火力発電プラントの環境対策コスト分析』, 電力中央研究所
研究報告, Y92009, 1993.
- 富士総合研究所, 温室効果ガス吸収予測手法等調査報告書, 1996.
- 世界資源研究所 編, 『世界の資源と環境』, 中央法規出版, 1994.
- 松岡讓, 『人爲起源の硫黄酸化物による地球規模的な環境影響について』, 『環境研究
システム研究』, Vol. 20, 1992.
- 數野裕史, 『地球規模的な酸性降下物の環境影響モデルの開発に関する研究』, 京都大
學碩士學位論文, 1991.
- 安藤淳平, 『世界排煙浄化技術』, 石炭技術研究所, 1990.
- 燃料協會 編, 『最新燃料便覧』, コロナ社, 254-255, 1984.
- 日本産業機械工業會 外, 『200年に向けての環境装置産業の課題とビジョン』, 1991.
(財)石炭技術研究所, 世界の排煙浄化技術, 1991.
- 通商産業省 編, 『大氣汚染防止対策に関する分析』, 1970.
- 環境廳大氣保全局大氣規制課 編, 『總量規制マニュアル』, 1975.
- 環境廳酸性雨対策検討會, 『第2次酸性雨対策調査結果』, 1994.
- 環境廳 編, 『環境白書總説』, 126-128, 1990.

부록 : 각국의 아황산가스 주요 저감정책

1. 우리 나라

대기 중 황산화물 배출원은 이동배출원과 고정배출원으로 크게 구분되며, 고정배출원은 다시 발전, 연료연소, 산업공정 등으로 구분할 수 있다. 이중 산업공정을 제외한 나머지 배출원은 에너지 소비에 의한 것이며, 산업공정은 에너지 소비와는 별개로 제품생산과정에서 아황산가스를 배출한다.

우리 나라 아황산가스 배출량의 대부분은 연료연소에 의한 것이며, 산업공정의 경우 울산, 여천 등 화학공단내 황산제조 및 비료제조시설에서 일부 배출되고 있다.

대기 중 아황산가스 저감대책은 연소전 대책과 연소후 대책으로 구분할 수 있다. 연소전 대책으로는 연료자체에 함유된 황분을 저감시키는 연료탈황과 황함유량이 적은 연료나 청정연료로 대체하는 방법이 있으며, 연소후 대책으로는 배연탈황 즉, 연료연소후 배출되는 배기가스를 탈황하는 방법이 있다.

우리 나라에서는 주로 연료대체방법을 채택하여 산업체, 열공급시설 및 자동차에 저황연료 및 청정연료를 사용하도록 그 대상지역과 시설도 점차 확대하여 나가고 있으며, 앞으로 석탄 및 중유를 다량 사용하는 발전소 등 일부시설에 대해서는 배연탈황시설을 설치하도록 유도할 계획이다.

1995년 12월 개정 이전의 대기환경보전법에서 정하는 배출부과금의 정의를 보면 환경부장관은 배출허용기준을 초과하여 배출되는 오염물질로 인한 대기환경상의 피해를 방지하고 배출허용기준의 준수를 확보하기 위하여 공동방지사설을 설치·운영하는 업자를 포함한 대기오염물질을 배출하는 사업자에 대하여 배출부과금을 부과·징수하고 있다(대기환경보전법 제19조).

개정이전의 배출부과금은 배출허용기준의 준수를 확보하기 위해 배출허용기준을 초과하여 오염물질을 배출하는 사업자에게 부과하는 것이었다. 주로 생산·제조부문의 배출시설을 대상으로 하는 부과금으로서 기본성격은 배출허용기준 위반업체에 대한 벌과금이었다. 대기배출부과금은 사업장의 대기오염물질 배출을 규제하기 위해 행정조치와 함께 시행되고 있다.

1995년 12월 개정된 대기환경보전법에서 정하는 배출부과금의 성격은 대기오염 물질을 배출하는 사업자로 하여금 대기오염물질로 인한 대기환경상의 피해를 방지 또는 감소시키기 위해 기본배출부과금을 부과징수토록 하는 것이다. 오염물질 배출총량을 줄이고, 연료개선, 방지시설투자, 기술혁신의 동기를 유발하고자 하는데 개정이유가 있다.

1.1. 부과대상 오염물질과 산정방식

현재 대기배출부과금 부과대상 오염물질의 종류는 황산화물, 암모니아, 황화수소, 이황화탄소, 먼지, 불소화합물, 염화수소, 염소, 시안화수소, 악취이다. 배출부과금의 종류는 기본부과금과 처리부과금으로 구분된다. 기본부과금은 사업장의 규모에 따라 일정액을 부과하는 것이며, 처리부과금은 배출허용기준을 초과하여 배출되는 오염물질에 대해 그 처리비용에 해당하는 금액을 부과하는 것이다. 단, 배출허용기준 초과 사실을 자진신고한 사업자의 경우에는 기본부과금을 부과하지 않는다. 기본부과금은 사업장의 규모를 구분하여 1종사업장 400만원, 2종사업장 300만원, 3종사업장 200만원, 4종사업장 100만원, 5종사업장 50만원을 부과한다.

사업장의 종별 분류는 연간 고체환산연료 사용량을 기준으로 하며 < 부표 1 > 과 같다. 고체환산연료란 배출시설에서 사용하는 고체, 액체, 기체, 기타 연료 등의 사용량을 무연탄을 기준으로 환산한 양이다.

< 부표 1 > 대기배출시설 종별 분류 기준

구분	1종사업장	2종사업장	3종사업장	4종사업장	5종사업장
연간 연료사용량	10,000톤 이상	2,000-10,000 톤 미만	1,000 - 2,000톤 미만	200 - 1,000톤 미만	기타사업장

대기·악취처리부과금의 산정기준은 다음과 같다.

- 대기 처리부과금의 산정기준: 오염물질 1kg당 부과금액 × 배출허용기준 초과 오염물질 배출량 × 배출허용기준 초과율별 부과계수 × 지역별 부과계수 × 연도별 부과금 산정지수 × 위반횟수별 부과계수

- 약취 처리부과금의 산정기준: 배출물질 1,000m³당 부과금액 × 배출물질량 × 약취농도별 부과계수 × 지역별 부과계수 × 연도별 부과금 산정지수 × 위반 횟수별 부과계수

대기처리부과금 산정시 배출허용기준초과 오염물질배출량은 배출기간중 배출허용기준을 초과하여 배출된 오염물질의 양으로 한다. 즉, 배출허용기준초과 일일오염배출량에 배출기간의 일수를 곱하여 산정한다. 배출허용기준초과 일일오염물질 배출량은 배출허용기준 초과농도에 측정시의 일일유량을 곱하여 kg단위로 표시한 양으로 한다. 대기오염물질 kg당 부과요율과 각종부과계수는 < 부표 2 >와 같다.

< 부표 2 > 대기 처리부과금 산정기준 (단위: 원)

구분 오염물질	오염물질 1kg당 부과 금액	배출 물질 1천 m³당 부과 금액	배출허용기준 초과율별 부과계수								지역별 부과계수			약취농도별 부과계수		
			20% 미만	20% 이상 40% 미만	40% 이상 80% 미만	80% 이상 100% 미만	100% 이상 200% 미만	200% 이상 300% 미만	300% 이상 400% 미만	400% 이상	I 지 역	II 지 역	III 지 역	3이상 4미만	4이상 5미만	5 이상
황산화물	500		1	1.3	1.6	1.9	2.5	3.5	4.0	4.5	2	1	1.5			
먼지	770		1	1.3	1.6	1.9	2.5	3.5	4.0	4.5	2	1	1.5			
암모니아	1,400		1	1.3	1.6	1.9	2.5	3.5	4.0	4.5	2	1	1.5			
황화수소	6,000		1	1.3	1.6	1.9	2.5	3.5	4.0	4.5	2	1	1.5			
이황화탄소	1,600		1	1.3	1.6	1.9	2.5	3.5	4.0	4.5	2	1	1.5			
특 정 유 해 물 질	불소 화합물	2,300	1	1.3	1.6	1.9	2.5	3.5	4.0	4.5	2	1	1.5			
	염화 수소	7,400	1	1.3	1.6	1.9	2.5	3.5	4.0	4.5	2	1	1.5			
	염소	7,400	1	1.3	1.6	1.9	2.5	3.5	4.0	4.5	2	1	1.5			
	시아나 수소	7,300	1	1.3	1.6	1.9	2.5	3.5	4.0	4.5	2	1	1.5			
약취		500									2	1	1.5	1	1.25	1.5

비고 : 1. 배출허용기준 초과율(%) = (배출농도-배출허용기준농도)÷배출허용기준
농도×100

- I 지역: 국토이용관리법 제6조 및 동법시행령 제7조의 규정에 의한 도시 지역중 택지개발예정지구, 준도시지역중 취락지구와 도시계획법 제17조의 규정에 의한 주거지역·상업지역
- II 지역: 국토이용관리법 제6조 및 동법시행령 제7조의 규정에 의한 도시 지역중 국가공업단지·지방공업단지·전원개발사업구역 및 예정구역, 준도시지역중 시설용지지구 및 집단묘지지구, 자연환경보전지역중 수산 자원보전지구와 도시계획법 제17조의 규정에 의한 공업지역
- III 지역: 국토이용관리법 제6조 및 동법시행령 제7조의 규정에 의한 준도시지역중 운동·휴양지구, 농림지역, 준도시지역, 자연환경보전지역(수

산자원보전지구제외)과 도시계획법 제17조의 규정에 의한 녹지지역 위반횟수별 부과계수는 위반이 없는 경우를 1로하고 처음 위반의 경우를 1.05로 하여 다음 위반부터는 그 위반직전의 부과계수에 1.05를 곱한다. 다만 자진신고의 경우에는 그 직전 위반횟수별 부과계수에 1을 곱한다.

1.2. 저황연료유 공급 확대

서울시 등 수도권 및 주요도시의 아황산가스 오염을 저감시키기 위하여 1981년에 연료용 유류의 황함유기준을 강화(B-C유: 4.0%→1.6% 이하, 경유: 1.0%→0.4% 이하)하여 공급을 시작하였으며, 정유사의 탈황 및 분해시설 설치가 일부 완료됨으로써 1993년부터는 유류의 황함유기준이 한 단계 더 강화(B-C유: 1.6%→1.0% 이하, 경유: 0.4%→0.2% 이하)되었다. 이에 따라 저황유류의 사용을 의무화하여 1994년말 현재 B-C유의 경우 서울 및 수도권 21개 시·군에 공급하고 경유는 전국 주요도시 38개 시·군에 공급하고 있으며, 1994년 7월부터는 저황유 공급지역 확대 계획에 따라 부산지역에서도 1.0% B-C유를 공급하는 등 공급지역을 점차적으로 확대할 계획이다(부표 3, 부표 4 참조).

< 부표 3 > 저황연료유 공급 확대 현황

구분	BC유	경유
1981	서울시 (1.6%)	서울시 (0.4%)
1982	8개 시·군 (1.6%)	8개 시·군 (0.4%)
1986	27개 시·군 (1.6%)	27개 시·군 (0.4%)
1992	34개 시·군 (1.6%)	34개 시·군 (0.4%)
1993	18개 시·군 (1.6%) 20개 시·군 (1.0%)	38개 시·군 (0.2%)
1994	17개 시·군 (1.6%) 21개 시·군 (1.0%)	38개 시·군 (0.2%)

자료: 환경부, 환경백서, 1996.

< 부표 4 > 저황유 공급 및 시행시기

대상 연료	황 함유량	대상지역		시행시기	
		시·도명	시·군명		
경유	0.2% 이하	서울특별시	전지역	1993년 7월 1일 부터	
		부산광역시	전지역		
		대구광역시	전지역		
		인천광역시	전지역		
		광주광역시	전지역		
		대전광역시	전지역		
		경기도	수원,부천,과천,성남,광명, 안양,의왕,의정부,안산,군포, 시흥,구리,미금,하남,고양시, 남양주,광주,김포군		
		강원도	춘천, 원주시		
		충청북도	충주, 제천시		
		전라남도	여천시, 여천군		
		경상북도	포항, 구미시		
중유	1.6% 이하	충청북도	청주시	1995년 7월 1일 부터	
		전라북도	전주시, 군산시		
	1.0% 이하	서울특별시	전지역	1993년 7월 1일 부터	
		인천광역시	전지역		
		경기도	수원,부천,과천,성남,광명, 안양,의왕,의정부,안산,군포, 시흥,구리,미금,하남,고양시, 남양주,광주,김포군		
		부산광역시	전지역		1994년 7월 1일 부터
		대구광역시	전지역		1995년 7월 1일 부터
		경상남도	울산시(영남화력발전소에 한함)		1995년 1월 1일 부터
		광주광역시	전지역		1996년 7월 1일 부터
		대전광역시	전지역		
		강원도	춘천, 원주시		
		충청북도	충주, 제천시		
		전라남도	여천시, 여천군		
		경상북도	포항, 구미시		
경상남도	울산시, 김해시, 창원시 울산군, 김해군, 양산군				

주 : 상기 전지역은 1994년 4월 6일 이후부터 황함유율 1.0%이하의 중유를 사용 하기 전까지는 황함유율 1.6%이하의 중유를 사용하여야함.

자료 : 환경부, 환경백서, 1996.

초기에는 저황유 사용 공급지역의 시설의 종류나 규모에 따라 저황유를 제한적으로 공급하였으나 1991년부터는 시설의 종류나 규모에는 관계없이 지역개념으로 전환하여 저황유 사용 공급지역의 유무를 사용하는 모든 시설에 저황유를 사용하게 하고 있다.

1.3. 청정연료(LNG, LPG) 사용의무화

환경부에서는 환경기준을 초과하거나 초과할 우려가 있는 지역에 대해 청정연료 사용을 의무화하고 있는바, 1988년에 서울특별시내의 보일러용량 2톤 이상 건물(업무, 영업, 공공용)에 청정연료사용 의무화를 시작하여 1991년에는 평균 전용면적 30평이상, 수도권지역(14개시)에는 보일러용량 2톤 이상 및 전용면적 35평이상의 중앙난방식 아파트에 대하여 LNG로 대체하도록 하였으며, 1992년에는 서울특별시의 전용면적 25평이상 및 수도권지역의 평균전용면적 30평이상의 중앙집중난방식 아파트의 연료를 LNG로 대체토록 하였다.

또한 1993년 9월부터는 수도권지역의 평균전용면적 25평이상의 중앙집중난방식 아파트에 대해서 LNG로 대체토록 하였다. 업무용 건물의 경우 서울특별시내의 0.2톤-2톤 보일러, 수도권지역 0.5톤-2톤 보일러 및 부산, 대구지역 보일러용량 0.5톤 이상의 보일러에 대해서 LNG 또는 경유로 연료대체를 의무화하고 있다.

아울러 LNG 사용 의무화 대상지역을 LNG 배관망 사업과 연계하여 1993년부터 부산, 대구, 광주, 울산시에 대하여 연차적으로 청정연료 사용 의무화하고 있다.

연도별 청정연료 공급 실적을 보면 1994년도에는 1993년에 비해 32% 증가한 5,783천톤/년을 공급하였다. 이와 같은 청정연료를 확대사용토록 하는 것은 청정연료는 연소시 대기오염물질이 거의 배출되지 않는 연료이기 때문에 세계적으로 널리 사용되고 있고 대도시의 환경보전에 큰 기여를 할 수 있는 최적의 에너지원이기 때문이다.

< 부표 5 > 중앙집중난방방식 공동주택의 연료사용규제대상 현황

대상지역	구분	평균전용면적	사용연료	시행시기
서울특별시	기존	· 35평이상	청정연료	1990. 9. 1
		· 35평미만 30평이상	청정연료	1991. 9. 1
		· 30평미만 25평이상	청정연료	1992. 9. 1
		· 25평미만 21평이상	청정연료 또는 경유	1995. 9. 1
		· 21평미만 18평이상	청정연료 또는 경유	1996. 9. 1
		· 18평미만 12.1평초과	청정연료 또는 경유	1997. 9. 1
신규	· 25평이상(아파트는 1990.1.24 일, 연립주택은 1991.4.11일 이후 사업승인을 받은 시설)	청정연료	완공시점	
	· 25평미만 14평이상(아파트는 1990.1.24일, 연립주택은 1991.4.11일 이후 사업승인을 받은 시설)	청정연료 또는 경유	완공시점	
	· 14평미만 12.1평이상 (1994.5.1 일이후 사업승인을 받은 시설)	청정연료 또는 경유	완공시점	
수도권지역 (인천,수원, 부천,과천, 성남,광명, 안양,의정부 안산,의왕, 군포,시흥, 구리,고양시)	기존	· 35평이상	청정연료	1990. 9. 1
		· 35평미만 30평이상	청정연료	1992. 9. 1
		· 30평미만 25평이상	청정연료	1993. 9. 1
		· 25평미만 21평이상	청정연료 또는 경유	1996. 9. 1
		· 21평미만 18평이상	청정연료 또는 경유	1997. 9. 1
	신규	· 25평이상(아파트는 1991.1.1일, 연립주택은 1991.4.11일 이후 사업승인을 받은 시설)	청정연료	완공시점
· 25평미만 14평이상(아파트는 1991.1.1일, 연립주택은 1991.4.11일 이후 사업승인을 받은 시설)		청정연료 또는 경유	완공시점	
· 14평미만 12.1평초과(1994.5.1일 이후 사업승인을 받은 시설)		청정연료 또는 경유	완공시점	
부산, 대구	기존	· 25평이상 · 25평미만 18평이상	청정연료 또는 경유 청정연료 또는 경유	1996. 9. 1 1997. 9. 1
	신규	· 12.1평초과(1994.5.1일 이후 사업승인을 받은 시설)	청정연료 또는 경유	완공시점

자료: 환경부, 환경백서, 1996.

2. 미국

미국의 환경정책은 직접규제형태가 지배적이거나 최근 규제완화노력과 함께 몇몇 경제적 수단을 도입하여 좋은 효과를 얻고 있다. 배출권 거래정책이 개발된 후 기업이 환경규제 기준을 준수하는데 있어서 융통성을 가지고 경제적 효율성에 주의를 기울일 수 있게 되었고 상당한 비용절감효과와 환경보호효과가 있었다.

아황산가스 배출권 거래 프로그램은 법적으로 환경과 경제를 연계시킨 좋은 성공사례이다. 1990년 대기정화법 IV장에 따라, 배출권 거래제도는 SO₂의 연간 배출량을 50% 가까이 줄이며, 지난 20년간의 연방정부가 대기오염규제를 위해 실시한 조치에서 발생했던 비용의 1/2에서 1/3까지 절감시키고 있다. 동시에 시설간의 배출권 거래량은 당초 기대했던 것보다는 훨씬 낮아서 1단계의 첫해인 1995년에 2~3백만장의 배출권이 거래되었다(SO₂ 1ton당 1개의 배출권).

배출권거래프로그램의 가장 큰 경제적 편익은 배출권 거래자체에서 발생한다기보다는 동태적 효율성 - 시설들의 기술혁신, 경쟁, 제도를 준수하기 위한 새로운 방법을 찾음 -에 있는 것이다. 대기정화법의 IV장은 발전시설들에 대한 전통적인 규제를 완화하고, 대신 시설들로 하여금 제도를 준수할 수 있는 방법을 스스로 찾도록 하였다. 이같은 융통성하에서 많은 기업들은 배출권거래제도에 크게 의존하지 않고 SO₂ 배출량 감축비용을 줄일 수 있는 또다른 방법을 찾게 되었다. 예를 들면 일부 시설은 저황석탄으로 연료를 전환했고, 다른 발전시설들은 SO₂ 평균 배출량을 줄이기 위해 황함량이 다른 석탄을 섞어서 사용하기도 한다. 철도산업에 대한 규제완화는 서부에서 동부로 저황석탄 운송비용을 크게 절감시켰다. 많은 환경주의자들은 배출권 제도가 묵시적으로 오염할 권한을 판매하는 것이라고 반대했었다. 그러나 전통적인 직접-규제 방식은 오염할 권한을 무료로 주는 것이라는 주장도 있다. 예를 들어 연방정부의 대기오염규제조치에 의하면 발전시설들의 발전량이 증가하고 새로운 공장이 건설됨에 따라 SO₂ 배출량이 점점 증가하도록 인정한 셈이다. 개정된 대기정화법 IV장에 의해 발전시설들은 SO₂ 배출에 대해 1차적인 책임을 지게 되었다. 배출권 거래제도 시행의 제 1단계(1995~2000년)동안 미국내 110개의 석탄화력발전시설들은 평균적으로 SO₂ 배출량을 발전량 백만 BTU당 약 2.5파운드로 줄여야 한다. 시설들은 연간 배출허가량을 받게 되며, 자체시스템내의 다른 공장으로 이전하거나, 다른 시설로 팔거나 나중에 사용하기 위해 저축할 수

있다.

동 제도의 시행후 거래량이 예상했던 것보다 적은 것은 물론 배출권의 가격도 낮았다. 1990년 대기정화법 수정안이 통과되기 이전 SO₂ 배출량 감축의 한계비용은 톤당 1,500\$이나 될 것으로 예상했었다. 이 수치는 미국 EPA가 배출권을 직접 판매하는데 대한 1990년 수정안을 둘러싼 논쟁에서 미국 EPA는 한계 감축비용 약 절반정도로 낮추어 추정했고 이는 배출권 추정가격의 기초가 되었다. 1995년초 사적으로 거래된 배출권의 가격은 톤당 170\$이었고, 1995년말 100\$선으로 떨어졌다. 1993년 시카고 무역거래소에서 거래된 가격은 톤당 122\$~140\$수준이었다.

이처럼 배출권가격이 낮은 이유는 공급에 비해 수요가 상대적으로 낮았기 때문이다. 배출권 가격이 낮은 이유중 州공공시설위원회의 역할도 있었다. 주정부가 정하는 여러가지 규정들이 공공시설들의 배출권 거래를 억제하는 역할을 했다. 예를 들어 투자비용 회복에 관한 규정(정부가 정하는 수익률, 감가상각율, 제반 경비가 요금납부자들에게 이전되지 않을 위험)이 준수방안에 따라 차이가 있기 때문이다. 더욱이 규정이 완전하지 않아 연방 에너지 규제위원회나 공공 시설위원회 둘 다 비용회복규정에 관한 정확한 지침을 내놓지 못하고 있다. 그리하여 규정에 대한 불확실성은 배출권의 거래를 조심스럽게 받아들이는데 영향을 주게 되었다.

< 부표 6 > 대안별 한계비용 추정치와 실제치 (\$/톤)

1989년이전 산업추정치	1990년 EPA추정치	개정초기 거래가격	현재 거래가격	1993년 CBOT 공매가	1994년 CBOT 공매가	1995년 CBOT 공매가
\$1,500	\$750	\$250	\$100이하	\$122	\$140	\$126

CBOT:Chicago Board of Trade

자료 : Resources for the Future, 『Resources』, Fall 1996.

다음 대기정화법의 아황산가스 감량목표를 달성하기 위한 세 가지 시나리오의 연간 비용을 비교한 것이다: 직접-규제적 접근, 기업내의 제한적인 배출권 거래, 기업간의 적극적인 배출권 거래. EPA는 대기정화법 IV장 개정당시 주요조항인 동 프로그램을 개발하기 위해 의회가 사용했던 추정치를 제공하였고, 정부회계청(GAO: Government Accounting Office)은 대기정화법 IV장이 발효된 이후 나타난 결과를 정리하였다.

< 부표 7 > 2001년 대기오염감소 대안별 연간비용 추정치 (십억 \$)

	직접-규제	기업내부의 배출권 거래	기업간의 배출권거래
EPA(1989)	-	\$3.3-\$4.7	\$2.7-\$4.0
GAO(1994)	\$4.3	\$2.5	\$1.4

자료 : Resources for the Future, 『Resources』, 1996. winter.에서 재인용

위의 표에서 대기정화법 IV장의 개정전과 개정후의 차이점과 각 시나리오마다의 상당한 비용차이를 볼 수 있다. 제 2단계 초에 기업내부에서 제한적인 배출권이전으로부터 발생하는 비용은 직접-규제방식을 이용할 경우의 비용보다 거의 40%나 적을 것으로 나타났다.

1990년 대기정화법 개정안이 통과되기 이전에 EPA는 적극적인 배출권 거래제도로부터 발생하는 연간 비용이 2001년에 최저 27억불 정도일 것으로 추정했다. 그러나 대조적으로 정부회계청은 제한적인 배출권 거래제도로부터 발생하는 비용이 연간 25억불일 것으로 추정하고 있다. SO₂ 배출량을 줄이기 위한 직접-규제방식은 모든 시설들이 스크루버를 설치하도록 의무할 경우 연간 70억불(개별 발전시설에 대해 동일한 배출율을 적용할 경우는 연간 43억불)의 비용이 소요되는 것으로 추정되었다. 정부회계청은 배출권거래제도를 향상시킴으로서 연간 10억불 이상(직접-규제방식의 20%이상)은 더 절약할 수 있을 것으로 추정하고 있다.

3. 일본

일본의 황산화물 부담금은 고정오염원에 대해 실제 배출량을 기초로 하며 요율은 지역에 따라 크게 다르다. 전년도에 배출한 양에 대한 0.5~4.5 ECU/Nm³의 요율로 1982~1986년간 SO_x 배출에 대해 부분적으로 부과했다.

일본의 SO₂ 부담금은 재분배적 부담금이었으며, 부담금 수입은 대기오염 피해자에게 보상금을 지불하기 위한 자금을 조달하는데 주로 사용되었다(만성기관지염, 기관지천식, 천식기관지염, 기종으로 고생하는 사람들). 부담금 수입액은 보상비 지출의 80%만을 충당했고, 나머지 20%는 자동차에 대한 무계별 세금으로 충당되었다. 부담금은 배출량을 직접적으로 측정하지 않고, 연료의 유황 함량과 굴뚝가스에서 탈황된 양을 차감하여 배출량을 추정했다. 지역에 따라 최대 배출능력(용

량)이 시간당 5,000m³ 또는 10,000m³ 이상인 주요 오염 시설만을 대상으로 했으며, 이들 시설의 배출량이 SO₂ 총배출량의 90%를 차지했다.

기본부담금 요율은 1년간 보상금 예산을 전년도 1년간 SO_x 총배출량으로 나누어 산정되었다. 부담금의 요율은 < 부표 8 >에서처럼 오염원이 위치한 지역에 따라 1~9의 계수를 적용하여 조정된다. 1976년에 수입된 부담금은 3백3십억 ¥ 에 달하였으며 이는 약 165백만달러이고 오염원당 평균 5백만 ¥ (25,000\$)이었다.

부담금의 인센티브 효과에 대한 데이터는 얻을 수 없으나 각 오염자들은 SO₂ 배출량을 줄일수록 부담금 납부액이 줄어들 수 있었고 배출시설의 보다 나은 관리만으로도 상당한 양의 배출량을 줄일 수 있다. 부담금이 투자유인을 항상 가진 것은 아닐지라도 기존 설비가 최대처리능력을 가질 수 있도록 관리운영하는 인센티브를 가진 것으로 알려지고 있다.

< 부표 8 > 일본의 SO₂ 부담금 요율 (단위: $\text{¥}/\text{m}^3$)

	기본요율(A)	최대요율(=A×9)	US\$
1974	1.76	15.84	0.08
1975	8.59	77.31	0.38
1976	23.33	209.97	1.05
1977	42.59		

자료 : OECD, 『Pollution Charges in Practice』, 1980.

4. 스웨덴

스웨덴은 1980년대에 유황 배출량을 크게 줄일 수 있었는데, 주된 원인 중 하나는 경유에 대한 유황 함량 규제이다. 그러나 유황배출이 여전히 높자, 정부와 에너지국(National Energy Board)에서 유황세의 도입을 제안하였고, 1991년 세계개혁시 반영되었다. 요율은 유황처리비용을 감안하여 1kg당 30SEK로 정했다. 유황세는 일반 에너지세와 연계되어 세금부과의 행정비용을 줄일 수 있다. 1995년부터는 부과대상이 좀 더 세부적으로 구분되어, 이탄·석탄·석유코크스와 같은 고체 및 기체상의 연료에 대한 유황세는 함유된 유황 1kg당 30SEK부과되고, 경유와 난방용 경유 등 액체연료에는 황함유량(중량) 0.1%에 대해 유류 1m³당 27 SEK이다. 단,

최대 0.1%의 황함유량을 지닌 유류에 대해서는 면세된다.

유황세제도를 평가한 결과, 중요한 두가지 효과는 유류의 황함유량 감소와 황 오염물질 제거율의 증가이다. 또 다른 효과는 연료의 전환과 에너지 보존이다. 1994년 평가에 따르면, 중유의 황함유량이 실제로 2년후 함량최고치가 0.8%이었는데 0.5%로 줄어들었다. 경유의 경우에는 0.2%가 인정하는 최대치인데 실제로 일반적으로 0.1%경유가 사용되었다. 도시의 대규모 공장들은 SO_x배출을 상당한 수준 탈황하였고, 고체연료를 이용하는 공장은 연료를 전환하였다. 황을 감축하는데 드는 비용은 1kg당 10 SEK로서 이는 조세에 비해 상당히 낮은 금액이다. '93~'94년 연간 수입은 217백만 SEK로 유황세가 처음 도입됐을 때 추정했던 금액보다 훨씬 낮은 금액이다.

5. 노르웨이

SO₂ 배출을 감소시키려는 노르웨이의 정책은 세금에만 의존하는 것은 아니며, 직접적인 규제가 더 강하다. 사용목적에 기준으로 연료의 유황함량에 제품기준을 적용하는 방식이 있다. 1971년 1월 1일부터는 석유에서 나온 연료의 유황 함량에 세금을 부과하는 제도가 도입되었고, 1976년 9월 이 제도는 오염자들이 배출되는 오염물질을 스스로 처리하는 것을 고려하여 부담금을 상환하는 절차를 추가하는 것으로 변경되었다. 상환제도의 도입은 세금의 중요한 결함을 보강하였다. 실제로 배출된 양에 대해 세금이 부과되므로 배출자들은 그들의 경감량에 비례하는 금액을 환불 받는다. 1977년 세금 수입은 Kr.69백만에 달하였고, 그중 Kr.15백만은 유황 함량에 대한 세금이었다. 유황 함량에 대한 세금액의 10%인 Kr.1.5백만이 상환되었다. 노르웨이에서는 SO₂의 주된 배출원이 석유의 사용으로 보았기 때문에 이러한 조세제도를 사용하였다. 요율은 석유 1리터당 1 ore의 기본부담금과 유황 함량을 기초로 결정되는 추가부담금으로 구성된다. 세금의 1차 목적은 SO₂의 총배출량을 줄이는 것이기 때문에 지역별 오염도나 배출량의 계절적 변동을 고려하지 않아 시간적, 지역별로 부과요율의 변화는 없다. 세금은 석유공급자에게 유통단계에서 부과된다.

< 부표 9 > 노르웨이의 유황세 부과요율

	1리터당 ore 부과금	US\$
중량(w)별로 0.5%까지	0	0
0.5w - 1.0w	0.2	0.04
1.0w - 1.5w	0.4	0.08
1.5w - 2.0w	0.6	0.11
2.0w - 2.5w	0.8	0.15
2.5w - 3.0w	1.0	0.19
3.0w - 3.5w	1.2	0.23

자료 : OECD, 『Pollution Charges in Practice』, 1980.

노르웨이에서 모든 전기는 수력발전에 의해 생산되기 때문이며 발전소가 대상에서 제외된 것이다. 또한 산업공정과 관련해서는 암모니아를 만드는데 사용되는 석유만이 제외된다. 또한 i) 부담금의 부과가 면제되는 연료는 제트기연료이며, 재무부가 정하는 특별한 경우로서 ii) 최소 4,000리터이상을 수출하는 경우 iii) 해외무역에 이용되는 선박으로 공급되는 석유 iv) 산업공정에서 원료로 이용되는 유류, 발전소에서 연소되는 오일은 기본부담금이 면제된다. 여기서 ii)~iv)항목은 부담금의 직접 면제가 아니라 수입된 금액을 환불해 준다. 세율은 저황연료의 대체를 크게 유도하기에는 너무 낮다고 볼 수 있다. 유류판매실적을 보면 저황연료가 상대적으로 증가한 것을 알 수 있다(부표 10참조).

< 부표 10 > 소비부문별 연료판매율

연료	산업부문 (%)						상업 및 가계부문 (%)					
	1970	1971	1974	1976	1977	1978	1970	1971	1974	1976	1977	1978
등유	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	24	26	33	34	34	35
연료 No.1	6	7	6	6	6	6	32	33	41	41	41	41
연료 No.2	8	14	15	15	16	17	32	37	24	23	23	22
고유황연료 Nos.3-6	86	78	79	79	78	76	11	5	3	1	1	1
총계	100	99	100	100	100	99	99	101	101	99	99	99

(0):0.5%이하

자료 : OECD, 『Pollution Charges in Practice』, 1980.

주 : 중량 중 황 함량(%) ; 등유:0.0, 연료 No.1:0.3-0.4, 연료 No.2:0.4-0.5 고황연료: 약2.2

< 부표 10 >의 산업에 대한 종류별 유류 판매량을 보면, 연료No.2가 1970년 8%에서 1971년 14%로 증가하였으며, 1978년에는 17%로 증가하였다. 고험연료는 1970년 86%였다가 1971년 78%로 감소하였고, 1974년 79%로 약간 증가하였으나 1978년 76%로 다시 감소하였다. 주택난방, 상업건물 난방을 간주해 볼 때 등유의 해당하는 부분은 1970~1978년에 24%~35%로 상당히 증가하였고 연료 No.1도 같은 추세이다(32%→41%). 반면 고험연료는 1970년 11%에서 1978년 1%로 감소하였다. 이러한 데이터가 연료의 소비보다는 판매와 관련있음에 주목하여 고험연료는 1970년과 1973년에 대량 비축되어졌음을 알 수 있다. 이 기간동안 규제는 Oslo and Drammon에서 오일 소비자들에게 부과되었다. 더우기 일반적인 규제는 고험연료의 70~80%가 소비되는 지역에 저황연료 사용을 강요하였다. 이러한 규제는 1월1일 이후의 신규 공장에게는 유리하였으나 기존 공장에게는 적절하지 않았다. 연료대체에 대한 실례의 결과는 일부 이러한 규제의 탓으로 돌려야 한다.

마지막으로 저황연료를 사용하는 주택난방은 고험연료를 사용하는 지역보다 더욱 확대되었다. 1971년에는 고험연료의 세금지불이전의 가격의 6%와 같도록 한 유험세가 1974년 단지 3%에 달하였고, 1979년에는 1.55%에 달하였다. 이는 오일 가격의 뚜렷한 증가때문이라 할 수 있다. 어쨌든 세금은 단지 직접규제에 대한 척도로 쓰이고, 매우 낮은 세율로 적당히 정해지기 때문에, 노르웨이의 실례로부터 어떠한 기업도 세율을 결정할 수 없음을 알 수 있다.

일반적으로 오일세를 부과하는 것은 단지 제한적인 효과만을 가져올 수 있다. 오일이 아닌 다른 오염물은 제외되기 쉽우므로, 어떠한 정책도 단지 이러한 형태의 조세에 기초를 둘 수 없다.

6. 네덜란드

네덜란드에서도 SO₂ 배출규제는 대체로 직접규제에 기초한다. 즉, 사전허가절차의 형태 혹은 연료별로 황 함량에 대한 제품기준을 두는 것이다. 사전허가절차는 주로 지역적 농도를 규제하려는데 사용되었고, 연료의 황 함량 규제는 총배출량을 줄이고 총배출량을 장기적으로 규제하는데 있다.

네덜란드도 목적과 절차는 다소 차이가 있으나 노르웨이처럼 연료세가 SO₂배

출을 규제하기 위한 추가적인 수단으로 도입되었다.

대기오염법은 특정 오염물질의 배출을 규제하는 데 소요되는 비용과 동법을 집행하는데 드는 비용을 부담금에 의해 조달하도록 했다. 부담금을 부과하는 법령은 1972년 7월부터 발효되었다. 동법을 실행하는데 따르는 비용은 i) 허가승인과 감독에 따르는 비용, ii) 정부의 직원과 기구 운영 비용, iii) 대기오염으로 인해 회복하기 어려운 피해를 당한 사람들에게 대한 보상금, iv) 기업에게 발급한 면허가 특정 기업에게 불공평하게 높은 부담을 준 경우 이러한 기업에게 보상을 포함하도록 정하고 있다. 대기오염을 예방하고 규제하기 위한 비용 지출액의 90%를 조달하는데 목적을 두어 재분배적 성격의 부담금이 없다.

대기오염을 예방하고 제한하기 위한 조치에 소요되는 비용이란 i) 연구비용, ii) 전국적인 대기측정망과 그외의 측정활동에 드는 비용, iii) 배출자료기록비용, iv) 진보된 오염처리기술의 개발과 적용에 드는 비용이다.

유황세는 노르웨이처럼 연료의 종류와 석유의 황 함량에 기초하여 부과되며, 효율은 < 부표 11 >과 같다. 1979년에 부담금수입액은 63.2백만guilders에 달하였고 약 31%는 연구와 개발에 지출되었으며, 18%는 보상금과 보조금으로 재분배되었다.

< 부표 11 > 네덜란드의 유황세 부과요율

(단위 : FL.)

	가솔린	등유	가스오일 및 경유	중유	가스	석탄
요율	0.59/100 ℓ	0.10/100 ℓ	0.10/100 ℓ	1.08/kg	0.84/m ³	0.79/kg

자료 : OECD, 『Pollution Charges in Practice』, 1980.