

**철강업에 있어서 산성비 원인물질 저감대책평가 모형구축에
관한 연구**
- 아황산가스를 중심으로 -

이동근 · 정태용* · 전성우**

상명대학교 환경조경학과

* 에너지경제연구원

** 한국환경정책·평가연구원

**A Methodological Study on an Assessment Model Developed for the
Mitigation of Acid rain Causing Material.**
- Focus on Sulfur Dioxide Emission Reduction Measures -

Dong-Kun Lee · Tae-Yong Jung* · Seong-Woo Jeon**

Dept. of Environmental Science & Landscape Architecture, Sangmyung University

* Korea Energy Economic Institute

** Korea Environment Institute

Abstract

This study focuses on one of the most typical energy-intensive industries, the steel industry. The two-fold purpose of the study is to develop a model to assess measures to alleviate sulfur dioxide(SO₂) emissions from the steel industry and to propose a concrete SO₂ emission reduction measure from the steel industry.

This study partially employed and modified AIM(Asia-Pacific Integrated Model) developed by Japan National Environmental Research Institute to develop AIM/KOREA SULFUR model for simulation. In the study, a base scenario, which is BAU(Business As Usual) scenario, and mitigation scenarios(a use of low-sulfur contain fuel, fuel conversion to cleaner energy, an induction

of desulfurization systems, and energy saving) were employed. The results of the simulation are summarized below:

The sulphur dioxide emission from the steel industry in 1992 was estimated to be 252,000 metric tons; however, according to BAU scenario, sulphur dioxide emission is expected to be increased to 586,000 metric tons, which is 2.3 times greater than that in 1992 by year 2020. To alleviate such increasement, simulation results under various 7scenarios proved that some degrees of reduction may be possible by an induction of desulfurization systems although there may be numerous ways to interpretate the simulation results; however, the bottom line is that it appears to be difficult to achieve the Korean Ministry of Environment's policy goal-a mitigation of sulphur dioxide concentration to 0.01ppm.

Keywords: acid rain, steel industry, sulphur dioxide reduction modelling, sulphur dioxide reduction simulation, desulfurization

I. 연구의 배경 및 목적

산성비는 산림을 황폐화하고 토양의 산성화를 촉진시키며 콘크리트 건축물을 부식시키는 것으로 알려져 있으며 주로 선진국문제로 인식되어왔다. 그러나 최근 개발도상국의 급속한 공업화로 대기 오염물질의 배출량이 증가해 지역의 대기오염문제 뿐만 아니라, 광역적인 산성비도 큰 문제로 대두되고 있다. 1992년 리우에서 개최된 UN환경개발 회의에서 채택된 「의제21」에서는 선진국은 물론이고 개발도상국도 포함해 향후 산성비 등의 광역적 환경문제 해결 강화를 강조하고 있다.

산성비 문제해결에는 한 국가만이 아니라 관련 국가들을 포함한 대책이 요구되나, 먼저 자국내의 산성비 원인물질을 저감시키는 것이 우선되어야 할 필요가 있다.

산성비 원인물질로서 대표적인 것은 아황산가스와 질소산화물이 있는데, 이 중 우리 나라의 아황산가스배출량은 1990년부터 160만톤으로 일정수준이 유지되고 있으나, 주요도시의 아황산가스 농도

가 1994년 현재 0.019~0.038ppm^{7,8)}으로 일본의 평균 아황산가스농도 0.01ppm¹⁶⁾보다 높아, 아황산가스 저감대책이 필요하다. 아황산가스는 고정배출원에서 대부분이 배출되고 있으며 특히 에너지 다소비업종에서의 아황산가스배출량은 심각하다고 할 수 있다.

이러한 맥락에서 본 연구는 에너지다소비업종중 대표적 업종인 철강업의 아황산가스 저감대책 평가 모형 개발과 아황산가스 저감을 위한 구체적인 대안제시를 목적으로 한다. 또한 평가모형은 보다 구체적이며 현실적인 아황산가스 저감이 가능하도록 한다.

II. 기존의 연구 및 모형

산성비를 포함한 지구환경문제해결을 위해서는 사회경제적, 과학적 대응방안 수립이 그 어느 때보다도 절실히 요구되고 있으며, 이러한 차원에서 외국에서는 물론이고, 우리 나라에서도 여러 정부출연 및 민간 연구기관과 기타 관련기관의 전문가

들이 다양한 예방적 대응수단을 연구하고 있다.

예방적 대응수단으로서 경제적 수단이 고려될 때 가장 중요한 것이 각 수단의 비용효과성이며, 이러한 면에서 탄소세(유황세)나 배출권 거래제도 등이 우선적으로 고려될 수 있다. 이러한 제도의 시행은 거시경제 및 국제무역에 미치는 영향이 지대하므로 최근에 많이 적용되고 있는 거시경제모형에 기초한 "상방하향 분석방법(Top down approach)"¹¹⁾이나 미시적 비용편익분석에 기초한 "하방상향 분석방법(Bottom up approach)"¹²⁾, 그리고 에너지 보전과 이산화탄소배출감소를 촉진시키기 위해 사용되는 정책수단들의 묶음을 지칭하는 "혼합정책(Mixed Bag approach)"¹³⁾ 등에 대한 연구를 확대하고 각 정책수단들의 우선 순위를 파악하여 선별적으로 정책을 시행하는 것이 바람직하다.

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 아황산가스 저감대책 마련을 위한 최근연구로는 「아황산가스 저감대책과 비용분석」²⁾, 「중유화력 황산화물 저감대책 연구」³⁾ 등이 있다. 이들 연구에서는 아황산가스에 의한 환경오염 실태와 아황산가스 저감을 위해 어떠한 정책이 가장 효율적인가에 대한 경제적인 분석을 행하고 있다. 그러나 최근의 연구는 정책적인 대안에 있어서 부분적인 대안은 비교적 자세하게 제시되나 종합적인 측면에서의 분석은 부족하고 구체적인 해결방안제시가 가능한 모형을 갖고 있지 못하므로 그 한계성이 있다.

그리고 이동근(1997)¹⁾은 Top-Down모형인 Man

ne & Richiels의 Global 2100모형¹⁰⁾을 한국에의 아황산가스 저감대책용으로 개량한 모형을 이용하여 거시적 차원에서 아황산가스 저감대안을 제시하였으나, 부분별 구체적인 방안의 제시가 미흡하다.

III. 아황산가스 저감모형 구축

1. 분석모델의 구조와 특징

아황산가스배출의 저감대안으로는 우리와 입장이 비슷했던 일본의 경험에서 보면 배연탈황투자, 연료의 저황화, 에너지 절약, 생산구성의 변화를 들 수 있다. 이는 일본의 1990년판 환경백서에 의하면 1968년 제정된 「대기오염방지법」에 기초한 아황산가스 배출규제를 실시하여 유례없는 대폭적인 아황산가스 배출삭감이 가능하게 됐다고 보고하고 있음에 기인한다.¹⁶⁾

따라서 본 연구에서는 이와 같은 저감대책이 구체적으로 제시 가능하도록 하기 위해 지구온난화 저감대책 평가모형으로 유명한 AIM모형에 산성비 저감이 가능하도록 수정한 AIM/KOREA SULFUR모형을 개발하여 분석하고자 한다.

본 연구에 적용될 기본모형은 일본의 국립환경연구소에 의해 개발된 AIM (Asia-Pacific Integrated Model for Evaluating Policy Options to Reduce GHG Emission and Global Warming Impacts)¹⁴⁾을 기초로 하여 우리 나라에 적용 가능한 AIM/KOREA SULFUR모형을 구축하였다. 즉, AIM의 에너지수요 모형을 산성비모형으로 개량하여 우리나라의 경우에 수정·적용시키되, AIM의 배출모형(Emission Model)만을 대상으로 한다. 이렇게 하여 개발된 모형은 기술선택(고효율 기기), 배연탈황시설, 에너지효율, 에너지서비스 수요, 관련 사회·경제적 변수, 에너지 소비량 및 아황산가스 배출량의 변수관계를 시뮬레이션할 수 있는 "최종

에너지소비모형 (Energy End-use Model)로서 이 를 본 연구에서는 AIM/KOREA SULFUR 모형으 로 지칭한다.

이 AIM/KOREA SULFUR는 < Fig 1 >에 나타 낸 것과 같이 3개의 모듈로 구성되어 있다. 첫 번 째 모듈은 에너지소비량을 각종 수요(에너지 서 비스)별로 산정하는 “에너지서비스량 산출 모듈”이 다. 이 모듈은 경제사회의 제변수를 결정하는 외 부모형 또는 소비행태의 변화, 경제활동상태, 생활 방식, 그리고 기타의 주요경제변수를 반영하는 특 정 시나리오에 의해서 에너지서비스 수요량(예를 들면 철강업 제품생산량)을 추정한다. 두 번째는 에너지효율 개선정도를 산정하는 “에너지효율 산 출모듈”이다.

끝으로 여러 에너지절약기술중 가장 비용효과적 인 기술선택을 결정하는 “기술선택 모듈”이다. 세 가지 모듈 외에 부수적인 모듈로서 이 세 가지 모듈을 통합해 부분적인 최적화계산을 하는 모듈 도 AIM/KOREA SULFUR에 포함되어 있다. AIM/KOREA SULFUR는 소위 “하방상향모형”으 로서 에너지가격변화에 의한 기술대체와 이에 따 른 에너지소비량 변화를 산정하여 아황산가스배출 량을 추정한다. 따라서 아황산가스 배출저감을 위 한 개별 정책의 유효성을 구체적으로 평가하는 것 이 가능하다. 또 에너지수요모형에 에너지절약기 술선택모형을 연결시켜 분석함으로써 개별 기술의 시장도입 정도와 에너지효율개선의 효과에 대한 예측을 가능하게 한다.

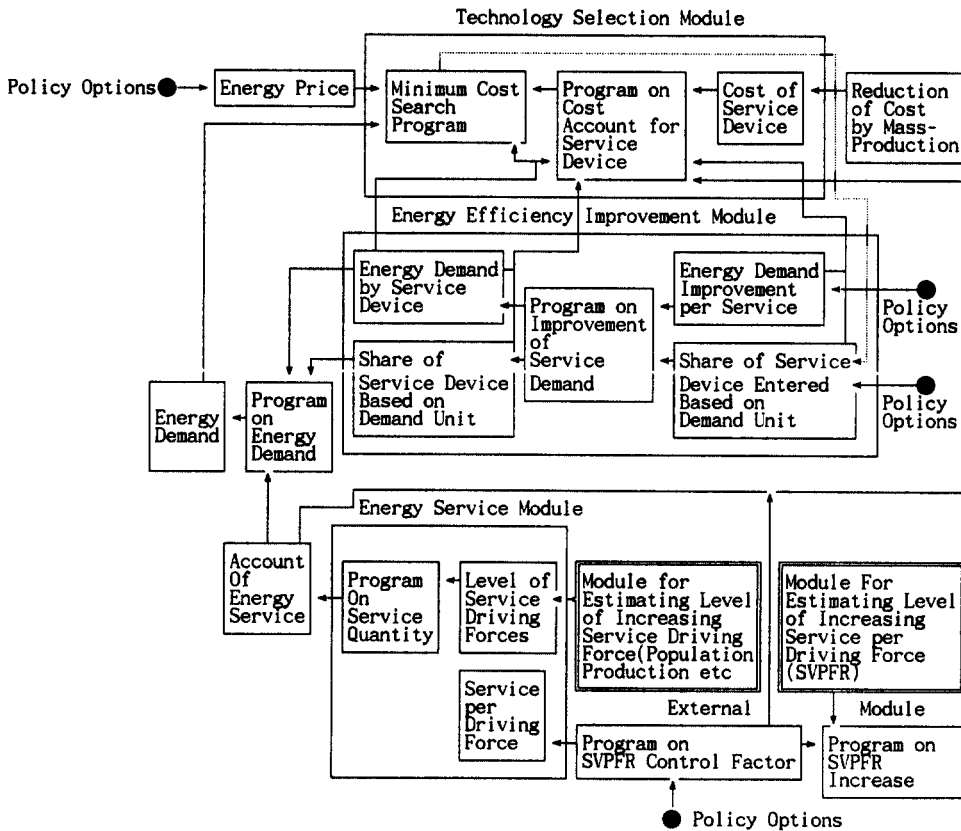


Fig 1. AIM End-use Energy Demand Model의 구조

2. 시뮬레이션 대상기간과 입력자료

가. 대상부문 및 대상기간

본 연구에서의 시뮬레이션 대상부문은 에너지다 소비업체인 철강업을 대상으로 한다. 이는 1995년 현재 철

강업의 최종에너지사용량은 13.9백만 TOE로 산업 부문(62.9백만 TOE) 에너지사용량의 22%, 전체 에너지사용량의 11%를 차지하고 있기 때문이다.

그리고 시뮬레이션은 자료의 이용가능성과 관련 되는 에너지절약기술의 예측가능성을 고려하여, 1992년을 기준년도로 하여 1년 단위로 2020년까지 시행하였다.

우선 1992년도를 기준년도로 설정한 것은 자료의 이용가능성을 고려한 것이다. 우리 나라에서는 3년에 한번씩 에너지센서스 조사가 실시되고 있고, 최근의 조사는 1992년을 대상으로 하였다. AIM/KOREA SULFUR에 적용시킬 수 있는 부문의 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 예측 가능한 수준에서 대상기간을 2020년으로 한정하였다. 물론, 대상기간을 더 확대한 시뮬레이션도 가능하나, 현재로서는 그때 당시 도입될 기술에 대한 정보가 없으므로 시뮬레이션 결과의 불확실성이 높아질 것이다.

따라서 현재 수집 가능한 자료의 한계 내에서 현실적인 결과를 도출하기 위해서 1992년부터 2020년까지를 시뮬레이션 대상기간으로 설정하였다.

나. 입력자료

본 모형의 시뮬레이션에 입력되는 에너지원에 대한 자료는 대상이 되는 연료종류별 발열량, 가격,

아황산가스배출계수 등이다. 에너지서비스는 에너지소비에 의해 발생하는 물리적 효용을 나타내며, 그 단위는 에너지소비형태에 따라 정의되는데 여기에서는 철강생산량을 의미한다.

서비스 기술은 에너지서비스를 충족시키기 위한 기술로 기존 기술은 물론이고 향후 개발될 에너지 절약 기술도 대상이 된다. 조강생산을 위해 현재 시범적으로 도입된 COREX기술도 서비스기술이다. 시뮬레이션하는데 있어서 필요한 자료는 Table 1.과 같이 요약된다.

아황산가스 배출계수는 미국의 EPA와 에너지경제연구원 내부자료를 이용하여 작성하였다. 전기의 경우 발전소에서 사용하는 연료를 가중 평균하여 구하였다.^{2),3)} 에너지 가격은 각 연도의 발열량당 평균가격으로 표시하였으며, 1995년부터 가격은 일정한 것으로 가정하였다(Table 2).

Table 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
아황산가스 배출계수	에너지원별 아황산가스 배출계수

Table 2. SO₂배출계수 및 연료가격

연료종	S비율 (%)	황합량	배출계수 (t/Kcal)	가격(원/Kcal)		
				1993	1994	1995
유연탄 (철강업)	0.59	19.5S	1.7432E-09	0.00667	0.00608	0.00578
코크스	1.11	3.013S	4.6354E-10	0.00678	0.00617	0.00587
LNG (산업용)	1.24	0.02S	1.9048E-12	0.00197	0.00223	0.00223
전력 (산업용)	-	-	2.0040E-09	0.03292	0.03145	0.03037

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

* 전력은 경유 17S, 등유 17S, B-C 19S, 유연탄 19.5S, LNG 0.02S를 사용하였음.

IV. 아황산가스 저감방안 비교 · 분석

1. 철강업의 모형화

가. 개요

우리 나라의 제강법은 현재 고로법과 전기로법으로 나눌 수 있다. 그 이외에 평로법이 있지만, 이 방법에 의한 조강 생산은 하고 있지 않다.

고로에 의한 제철에서는 원료의 철강석은 소결로에서 부연료의 석회석과 소결된 환원제 코크스(coke)와 함께 고로로정에서 투입되어 진다. 소결강과 코크스는 고로내에서 공기와 같이 반응해 용철과 분순물을 분리해낸다. 고로에서 생산한 선철은 전로에 이동되어 석회석 등의 부원료를 첨가해 성분 조정해 산소를 흡수하여 선철중의 탄소를 산화시켜 조강으로 된다. 전로에서 생산된 조강은 주조장치에 의해 적당히 큰 슬라브(slav) 되어 열간압연설비에 의해 각종열간압연제품이 된다. 고품질 고강도의 강판을 제조할 경우에는 열간압연 후 냉간압연이나 소결처리를 하여 냉간압연제품을 제조한다.

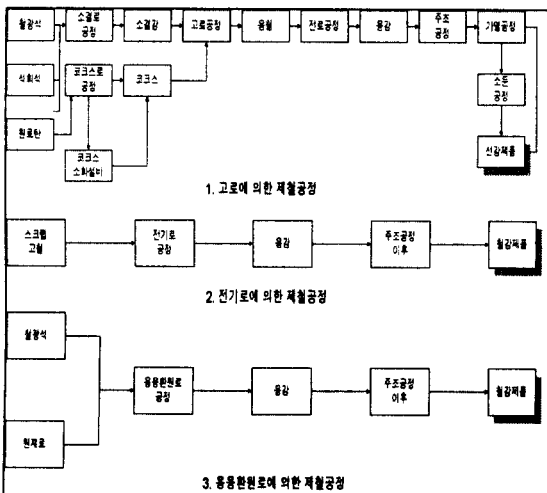


Fig 2 각 제강법에 의한 제철생산공정

전기로에 의한 제철은 전기로중의 높은 전압의 아크에 의해 용해된 철스크랩프를 성분 조정해 주조설비에 보낸 후 공정은 고로에 의한 제철과 동일하다.

고로법을 대체하는 제강법으로서 용융환원제철(CO REX)은 포항제철에서 시험적으로 도입하였는데, 용융환원제철의 특징으로는 철강석을 환원해 선철을 만드는데 있어 코크스가 아닌 가격이 가장 저렴한 일반탄으로 환원하는 점을 들 수 있다(Fig 2).

나. 제조공정과 에너지 흐름

본 분석에서는 앞으로의 공정을 <Fig 3>와 같이 모형화 하였다.

제강에는 다양한 연료가 사용되지만 주요연료 이외에는 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 존재하므로 각각에 대하여 조강생산 비율을 설정할 필요가 있다. 여기에서는 에너지를 소비하지 않는 가상의 서비스기기 흐름제어단(STEEEE)을 전기로의 하단에 설정해 이 기기의 조강 비율 한계를 설정함으로써 전기로 전체에서 조강생산에 대한 비율을 설정하는 것이 가능하게 되었다.

다. 외부발생에너지 및 관련재

Fig 3.에 나타난 철강부문의 외부발생에너지는 석탄(COL), 석회석(CEK), 구입코크스(COK), 구입전력(ELI), 및 철광석(YIR), 폐철(YSR)이다. 이 중에서 철광석과 폐철은 관련재로 취급하였다.

라. 최종서비스

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

마. 내부발생에너지/중간서비스

최종서비스(HSP혹은 CSP)가 생산되어지기까지의 중간배출, 로가스류, 폐열전력 등은 내부발생에너지/중간서비스로서 취급된다. Fig 3.에서 나타내었듯이 코크스로에서 생성되는 열코크스(ZC1)는 코크스로에 제공되는 중간서비스인 동시에 다음공정인 코크스소화설비에서 소비되는 발생에너지이기도 하다.

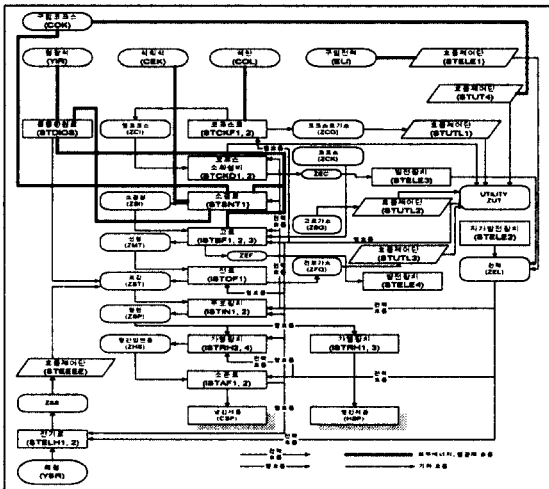


Fig 3. 철강생산부문의 흐름

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 이

외에 각 공정의 열원으로서 소비된다.

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

바. 자가발전장치

자가발전장치는 유틸리티(ZUT) 등을 소비해 내부발생전력(ZEL)을 생산한다. 에너지 전환효율을 40%로 한다. 시스템내부에서 소비되는 전력은 내부전력(ZEL)으로 다루며, 구입전력(ELI)은 일단 내부발생전력(ZEL)에 투입된다.

사. 시스템흐름 제어단

<Fig 4>에서 평행사변형으로 나타낸 것은 시스템흐름제어단으로 지칭되며 계산에 편리를 위해 에너지기와 함께 취급된다. Fig 4.에서는 STELE1, STEELE 및 STUTL1-4가 시스템흐름제어단이다.

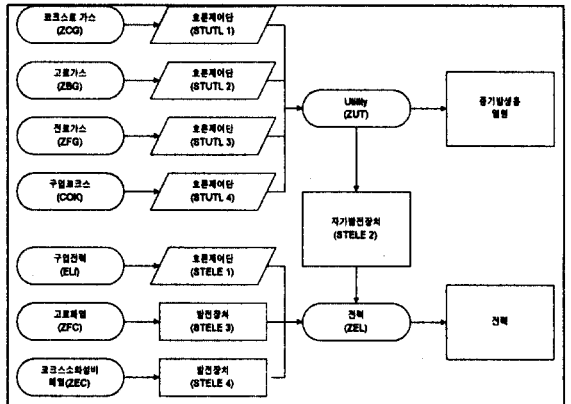


Fig 4. 본 시나리오에 있어서 전력(ELI, ZEL), 유틸리티(ZUT)의 흐름

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

STEEEEE설정은 다음과 같은 이유에서이다. 전기

로에서 장래의 조강생산비율은 전기로전체에 부여하는 경우를 고려해 기종별로 제한을 두지 않는다. 이 제약조건을 실행하기 위해 전기로의 밑에 전기로흐름제어단(STEEEE)을 설정해 전기로로부터의 조강생산비율로부터 서비스 1단위가 제공되어지는 것으로 한다.

2. 시물레이션 결과

가. 시나리오 설정

시물레이션은 표준시나리오(BAU), 전기로 증가 시나리오, 자가발전기술선택 시나리오, 유황세 및 보조금 도입시나리오, 배연탈황장치 도입시나리오의 5개 시나리오에 대하여 실시하였다.

BAU시나리오는 경제성에 관한 합리적인 판단하에 기본적으로 기술선택이 행하여지는 것을 전제로 한 것이나, 전력부문에 있어서 현재 기술선택의 비율(구입전력과 자가발전)을 그대로 이용하였다. 철강업에 있어서 기준시나리오는 철강협회와 포철에 의한 자료를 기초로 작성하였다(Table 3).

Table 3. 철강생산부문의 서비스량 추정

	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
2000	49,926.8	0.40	27,459.7	19,970.7	19,072.0	28,608.1
2005	60,736.5	0.45	33,405.1	27,331.4	23,201.3	34,802.0
2010	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
2020	70,410.3	0.45	38,725.7	31,684.6	26,896.7	40,345.1

전기로 비중 증가 시나리오는 철강업에 있어서 에너지 저감을 유도하여 이를 통한 아황산가스 저감 가능성을 검토하였다. 전기로 비중을 2005년 이후 45%에서 50%로 5%증가하는 것으로 고려하

였다. 이는 철강협회의 인터뷰자료에 기초한다. 자가발전기술선택 시나리오는 현재의 철강업에 필요로 하는 전력은 한전으로부터 구입하는 구입전력(44%)과 자가발전(56%)으로 이루어져 있으나 전력선택을 경제성에 관한 합리적인 판단에 기초하여 할 수 있도록 한 것이다. 즉 전력을 한전으로부터 구입하는 것보다 자가발전에 의한 비용이 낮으면 자가발전을 선택할 수 있는 것을 의미한다. 유황세 및 보조금 도입 시나리오에서는 유황세는 1998년부터 스웨덴, 노르웨이 등 이미 유황세를 부과하고 있는 국가를 참고로 하여 유황1톤당 10만원의 유황세를 부과시 아황산가스 저감효과를 추정한 것이다. 또한 보조금은 유황세로 거둔 세금을 재원으로 하여 1999년부터 아황산가스 저감에 최적인 기술도입을 촉진하기 위해 보조금을 사용한 것을 의미한다.

배연탈황시설 도입시나리오는 현재 배연탈황시설 도입으로 아황산가스 저감에 성공한 대표적인 국가인 일본의 아황산가스 배출계수¹⁵⁾를 참고하여 작성한 배연탈황시설이 도입되었다는 가정 하에 아황산가스 배출계수 Table. 4를 사용하여 시물레이션하였다.

Table 4. 배연탈황도입을 가정한 배출계수

연료종	배출계수 (t/Kcal)	연료종	배출계수 (t/Kcal)
유연탄 (철강업)	1.4964E-10	LNG (산업용)	1.9255E-13
코크스	4.6354E-10	전력 (산업용)	2.1842E-10

나. 시물레이션 결과

1) BAU하에서의 아황산가스 배출량 추이
1992년도의 철강업에서의 아황산가스배출량은 25.2만톤이었던 것이 2020년도에는 58.6만톤으로 약 2.3배 증가할 것으로 전망된다(Fig 5).

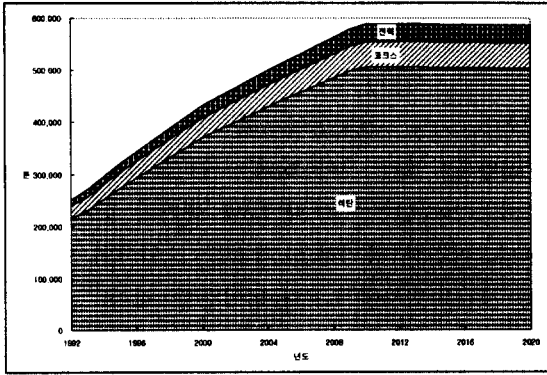


Fig 5. BAU하에서의 철강업 아황산가스배출량 전망

이와 같은 높은 증가율은 에너지 절약형 기술에 의한 배출저감보다 조강생산량증가에 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 가정하였기 때문이다.

BAU하에서의 철강업 기술별 점유율을 보면 에너지 절약형 기술이 점유율 제한을 두지 않으면 점차적으로 그 비율이 증가되고 있음을 알 수 있다. 예를 들면 소결공정에서 절약형 산업용 요로 대체 기술이 1992년에 5.3%에 불과하던 것이 2020년에 79.8%까지 증가할 것으로 전망된다 (Table 5).

2) 전기로 비중 증가 시나리오

전기로를 2005년 이후 BAU보다 5%높은 50%로 설정하면, 2020년의 아황산가스 배출량은 58만톤으로 BAU의 58.6만톤에 비해 약 1% 저감이 가능하다(Fig 6).

Table 5. BAU하에서의 철강업 기술별 점유율의 변화

공정명	기술명	1992	2000	2010	2020
코크제조공	코크로	100.0	100.0	100.0	100.0
	코크로+코크 조습장치	0.0	0.0	0.0	0.0
코크소화공	습식코크소화 설비	72.6	71.0	71.0	71.0
	건식코크소화 설비	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+습식고로로 정압발전	96.7	97.0	97.0	97.0
	고로+건식고로로 정압발전	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
1차압연공 (열간제품)	가열장치 (열연제품분)	52.3	24.9	12.0	9.5
	직송압연 (열연제품분)	47.7	75.1	88.0	90.5
가열공정(냉간중간제품)	가열장치 (냉연중간 제품분)	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

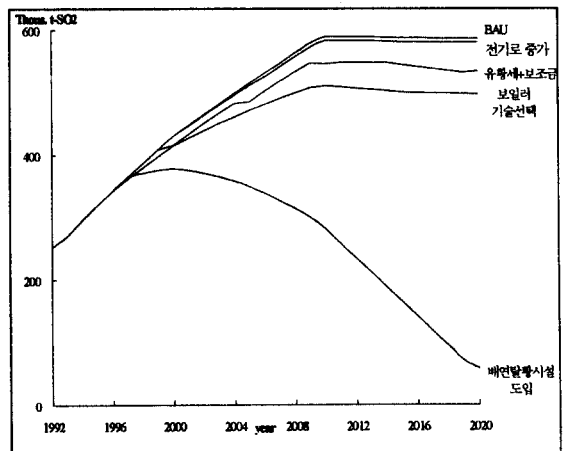


Fig 6. 철강업에서의 아황산가스 배출량 비교

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 (Fig 6).

4) 유향세 및 보조금 도입 시나리오

유향 1톤당 10만원수준의 유향세울하에서는 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(Fig 6). 이는 아황산가스저감이 가장 가능한 기술에 보조금을 지불함으로써 BAU에 비해 에너지절약형 기술 보급이 촉진되었기 때문이다.

특히 <Table 6>을 BAU의 <Table 5>와 비교해보면 코크스공정의 에너지절약기술인 코크로 + 코크조습 장치가 BAU 하에서는 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.

5) 배연탈황시설도입 효과

시뮬레이션 결과 2000년 이후 배연탈황시설이 도입되기 시작하여 2020년에 철강부분에 현재의 일본과 같은 수준으로 배연탈황시설이 도입되면 약 5.9만톤으로 BAU와 비교해 아황산가스 배출량이 1/10로 저감 가능하다. 즉 배연탈황시설이 도입된다면 1992년의 약 23%의 아황산가스만이 배출되는 것을 의미한다(Fig 6).

IV. 결론

1992년도의 철강업에서의 아황산가스배출량은 25.2만톤이었던 것이 BAU시나리오에서는 2020년도에는 58.6만톤으로 약 2.3배 증가할 것으로 전망된다. 이러한 증가분을 저감하기 위하여 여러 가지 시나리오하에서 시뮬레이션한 결과, 전기로의 증가 시나리오에서는 BAU대비 1% 저감이 가능하다. 그리고 철강업에서 사용하는 전력을 시장메카니즘하에서 자유롭게 선택되도록 하면 BAU에 비해 약 11.6% 저감이 가능하다.

Table 6. 유향세 및 보조금 도입 시나리오하에서의 철강업 기술별 점유율의 변화

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

이는 자가발전의 비율이 증가됨에서 기인하는 것이다. 유황세에 의한 효과는 없다. 유황세는 스웨덴, 노르웨이 등 이미 유황세를 부과하고 있는 국가를 참고로 하여 유황 1톤당 10만원의 유황세를 부과시 아황산가스 저감효과를 추정하였다. 그러나 이같은 수준의 유황세율하에서는 아황산가스 배출저감이 이루어지지 않았다. 아울러 기술선택 구조에도 전혀 영향을 주지 못하였다. 이것은 톤당 10만원의 유황세는 철강업, 시멘트공업, 가정부분 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. 2000년 이후 배연탈황이 도입되기 시작하여 2020년에 철강부분에 일본과 같은 수준으로 도입되면 1992년의 약 23% 수준인 5.9만톤의 아황산가스만이 배출되는 것으로 예측되었다.

이상의 결과에서 보면 산성비 원인물질인 아황산가스 저감대책은 보는 시각에 따라 여러 해석이 가능하나, 배연탈황시설 도입을 고려하지 않고서는 어느 정도의 아황산가스배출량의 저감은 가능하나 환경부 정책목표인 아황산가스 농도 0.01ppm⁹⁾으로 낮추기는 어려운 것으로 판 명되었다. 이는 이동근(1997)의 연구 결과¹⁾와도 일치한다.

참 고 문 헌

1. 이동근, 1997, 산성비 원인물질인 아황산가스 모형 구축의 평가에 관한 연구 - Global 2100 모형을 중심으로, 환경영향평가 6(2), 93-102.
2. 에너지경제연구원, 1993, 「아황산가스 저감대책과 비용분석」.
3. 에너지경제연구원 · 한국에너지기술연구소, 1995, 「중유화력 황산화물 저감대책 연구」.
4. 에너지경제연구원, 1995, 「환경규제에 대한 철강부문 대응방안 연구」, 포스코경영연구소.
5. 에너지경제연구원, 1998, 장기에너지수요전망, 에너지경제연구원 내부자료.
6. 환경부, 1997, 「환경백서」.
7. 환경부 대기보전국, 1995, 「대기오염물질종합배출량」.
8. 환경부 대기보전국, 1995, 「대기오염측정종합자료집」.
9. 환경부 · 한국환경기술개발원, 1995, 「환경비전 21」.
10. Alan S. Manne and Richard G. Richels, 1992, Buying Greenhouse Insurance, The MIT Press, 119-140.
11. Dean, Andrew, 1993, "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.
12. Johansson, T. B. and J. N. Swisher, 1993, "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.
13. Lenstra, J. and M. Borney, 1993, "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.
14. 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 Emmissions and Global Warming Impacts," National Institute for Environmental Studies.

15. 科學技術廳 科學技術研究所, 「アジア地域のエネルギー-利用と環境豫測」, 大藏省印刷局, 1994
16. 環境廳 編, 「環境白書總說」, 126-128, 1990.