

시멘트공업에 있어서 산성비 원인물질 저감방안 평가에 관한 연구

- 아황산가스를 중심으로 -

이동근 · 정태용* · 전성우**

상명대학교 환경조경학과

*지구환경전략연구기관

**한국환경정책 · 평가연구원

A Study on an Reduction Methodology for Acid Rain Causing Material in Cement Industries

- Focus on Sulfur Dioxide Emission Reduction Measures -

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

Dept. of Environmental Science & Landscape Architecture, Sangmyung University

*Institute for Global Environmental Strategies

**Korea Environment Institute

Abstract

This study focuses on one of typical energy-intensive industries, the cement industry. The purpose of the study is to propose SO₂ emission reduction measures in the cement 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, 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 cement industry in 1992 was estimated to be 106,000 metric tons; however, according to base scenario, sulphur dioxide emission is expected to be increased to 219,000 metric tons, which is 2.1 times greater than that in 1992 by year 2020. To alleviate such increasement, simulation results under various scenarios 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

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

I. 연구의 배경 및 목적

1992년 리우회의 이후 지구규모의 환경문제에 대한 심각성이 범세계적으로 대두되고 있으며, 이러한 지구환경문제 중 광역적인 산성비문제도 시급한 문제의 하나로 인식되어 이를 해결하기 위한 다양한 정책대안이 제시되고 있다. 산성비문제를 해결하기 위해서는 한 국가만이 아니라 인접 국가들을 포함한 보다 광범위한 대책이 요구되고 있으나 이를 위해서는 먼저 자국내의 산성비 원인물질을 저감시키는 것이 우선되어야 할 것이다.

대표적인 산성비 원인물질에는 아황산가스와 질소산화물 등이 있는데, 이중 저감대책수립이 상대적으로 용이하고 저감효과가 높은 아황산가스부터 저감대책을 수립하는 것이 일반적이다.

우리 나라에서는 산성비 원인물질의 해결을 위하여 여러 저감대책들을 제시하고 있으나^{1)~5)}, 기존의 연구에서는 아황산가스에 의한 환경오염 실태와 아황산가스 저감을 위해 어떠한 것이 효율적인가에 대한 경제적인 분석을 하고 있다. 그러나 이러한 연구들은 정책적인 대안에 있어서 부분적인 대안은 비교적 자세하게 제시되나 종합적인 측면에서 분석이 부족하고, 모형을 이용한 구체적인 대안제시에는 미흡한 실정이다. 특히, 산업부문별 연구는 거의 없는 실정이다²⁾.

본 연구에서는 선행연구에서 개발된 아황산가스 저감 대책 평가모형을 이용하여 에너지 다소비업종 중 대표적인 시멘트공업의 아황산가스 저감을 위한 구체적이며 현실적인 대안을 제시하고자 한다.

II. 아황산가스 저감모형 구축

저감대책을 평가하는 기본모형으로 선행연구²⁾에서 구축한 AIM/KOREA SULFUR모형을 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다. AIM/KOREA SULFUR모형은 일본의 국립환경연구소를 중심으로 개발된 AIM (Asia-Pacific Integrated Model for Evaluating Policy Options to Reduce GHG Emission and Global Warming Impacts)³⁾을 기초로 하여 우리 나라 실정에

적합하게 개발한 것이다.

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)”로서 이를 본 연구에서는 AIM/KOREA SULFUR 모형으로 지칭한다. 특히, 아황산가스 저감모형을 구축하기 위한 변수로는 아황산가스배출 저감에 성공한 일본의 경험⁴⁾에 기초하여 배연탈황시설, 연료의 저황화, 에너지 절약, 생산구성의 변화 등을 선정하였다.

그리고 AIM/KOREA SULFUR는 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 시멘트산업은 시멘트생산량)을 추정한다. 두 번째는 에너지효율 개선 정도를 산정하는 “에너지효율 산출모형”이다.

AIM/KOREA SULFUR는 소위 “하방상향모형”로서 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.

시뮬레이션 기간은 자료의 이용가능성과 관련되는 에너지절약기술의 예측가능성을 고려하여, 1992년을 기준년도로 하여 1년 단위로 2020년까지 실시하였다. 2020년까지의 기간설정은 현재 사용되고 있는 기술의 사용년수가 대부분 약 20~30년이므로, 현 수준의 기술과 다음 세대의 기술이 예측 가능한 수준에서 대상기간을 2020

년으로 한정하였다. 물론, 대상기간을 더 확대한 시물레이션도 가능하나, 현재로서는 그때 당시 도입될 기술에 대한 정보가 없으므로 시물레이션결과의 불확실성이 높아질 것이다. 따라서, 현재 수집 가능한 자료의 한계 내에서 현실적인 결과를 도출하기 위해서 1992년부터 2020년까지를 시물레이션 대상기간으로 설정하였다.

모형의 입력자료로는 에너지서비스, 연료종류별 발열량, 가격, 아황산가스 배출계수 등이 있다. 에너지 서비스는 에너지 소비에 의해 기대되는 효용을 말하며, 단위는 에너지 목적에 따라 정의되는데 여기에서는 시멘트생산량

을 의미한다. 자세한 내용은 선행연구에 기술되어 있다²⁾.

Ⅲ. 아황산가스 저감방안 평가

1. 시멘트공업의모형화

가. 제조공정과 에너지 흐름

시멘트제품의 종류는 포틀랜드시멘트, 혼합시멘트가 있는데 이것은 포트랜드클링커(clinker)와 고로슬래그(slag) 등의 혼합재 함유율에 의해 결정된다(그림 1, 그림 2).

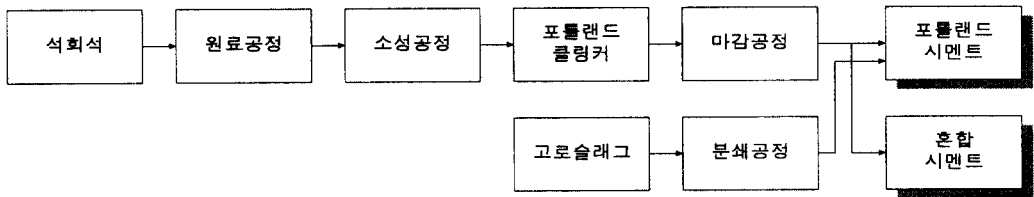


그림 1. 시멘트 제조공정

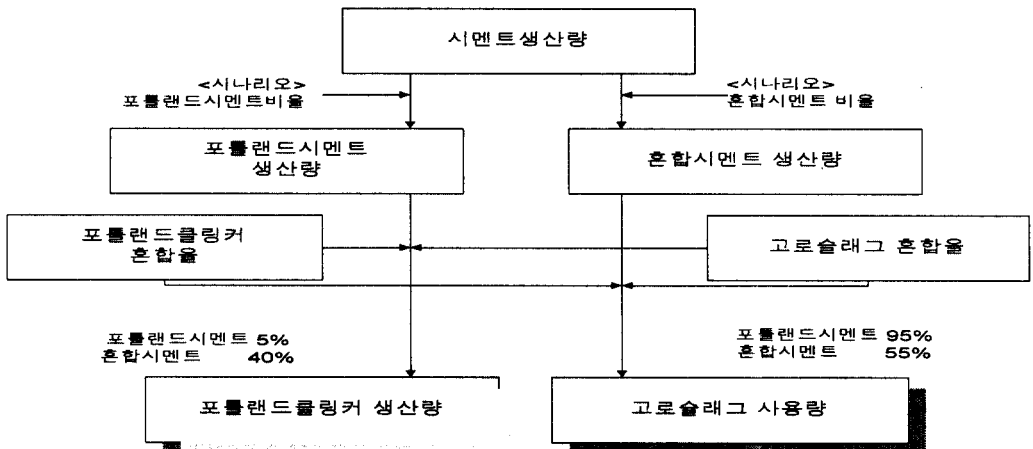


그림 2. 시멘트공업 각 공정의 생산량 산출 흐름

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 혼합재, 플라이애쉬가 혼합재로서 사용되나, 우리 나라에서는 고로슬래그를 이용한 고로시멘트 만이 생산되고 있다. 혼합재의 혼합율은 시멘트 종류에 따라 달라지며 고로시멘트에서는 5~70%, 실리카시멘트·플라리아쉬시멘트에서는 5~30%로 되어 있다.

본 분석에서는 시멘트생산공정들 < 그림 3 > 과 같이 모형화 하였다. 최종서비스는 포틀랜드시멘트(PCC), 고로시멘트(MCL)로 하였다.

혼합시멘트는 앞에서 설명을 한 것처럼, 포틀랜드클링커 마감공정(CMPCL 1, 2)의 포틀랜드클링커를 분쇄할 때 고로슬래그 등을 투입하고 분쇄 및 혼합하여 제조된다. 모형의 작성은 포틀랜드클링커, 고로슬래그, 분쇄 공정은 별도로 분리하였다. 이를위해 포틀랜드클링커 마감공정, 고로슬래그 분쇄공정(CMBFS1, 2), 분쇄공정(CMFRAS)의 다음공정에 에너지를 소비하지 않는 혼합제어기(PCLMIX, MCLMIX, FRYMIX)를 설정하여 각종 시멘트 성분을 조정하였다.

나. 데이터 작성

먼저, 시멘트제품별의 혼합재 비율은 < 표 1 >에 나타내었다.

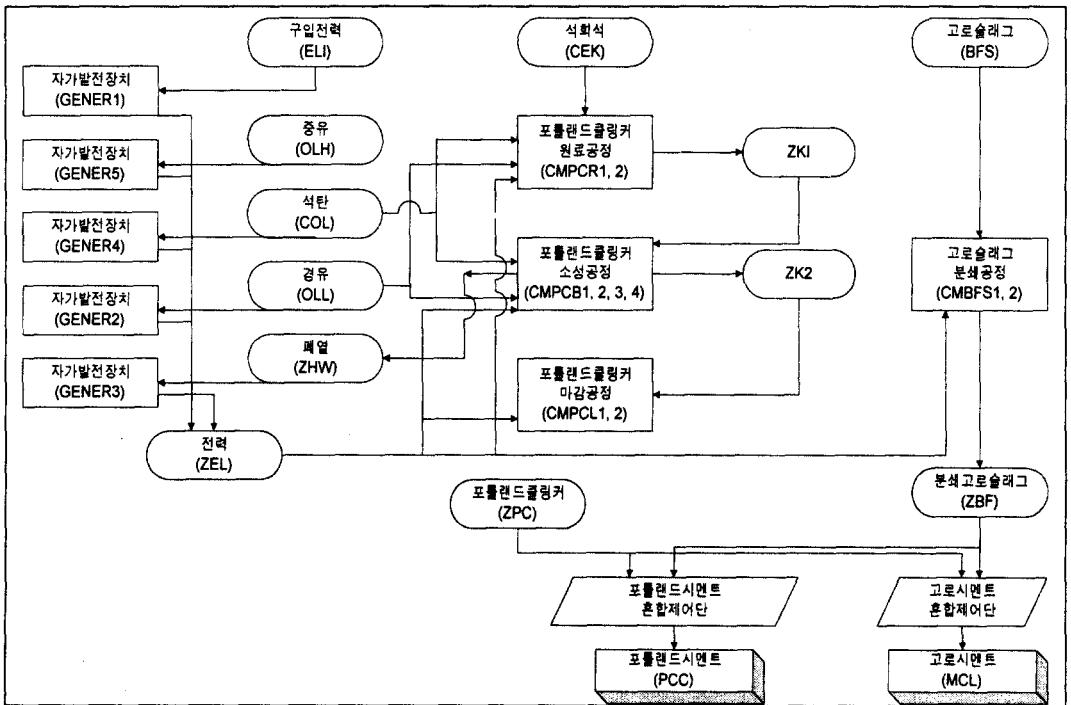


그림 3. 시멘트 생산부문의 흐름

표 1. 시멘트 종별 생산량과 혼합재의 비율(1995)

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

본 연구에서는 포틀랜드시멘트, 고로시멘트를 대상으로 < 표 2 >와 같이 설정하였다. 로 하였으며 각종제품의 생산량을 고려해 혼합재의 비율

표 2. 분석에 관련된 시멘트의 혼합재 혼합비율

제품종별	혼합재의 혼합율
포틀랜드시멘트	5%
고로시멘트	40%

표 3. 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 4. 단위 서비스당 에너지 소비량

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

시멘트 생산량과 앞에서 설정한 혼합재의 비율에 의해 포틀랜드 클링커의 생산량과 혼합재 혼합량을 추정하였다. 그리고 데이터의 상호 비교가 용이하도록 공정별 단위 서비스당 에너지소비량을 작성하였다.

〈표 3〉은 시멘트공업의 공정별 에너지소비량을 나타낸 것이다. 원료공정 및 소성공정 등은 포크랜드 시멘트는 물론이고 혼합시멘트 생산에도 관계가 있으므로 포틀랜드 클링커용과 혼합재용을 고려하여 데이터를 작성하였다(그림 1). 또한 본 모형은 각 공정별 기술선택이 일어날 수 있으므로 마감공정의 에너지소비량을 포틀랜드 클링커용과 혼합재용으로 나누어 상세한 데이터를 만들었다. 단, 마감공정에서의 전력은 포틀랜드 클링커용과 혼합재용으로 분리하며, 혼합재는 전부 고로슬래그이다. 마감공정에 소비되는 석탄·석유는 전부가 분쇄된 고로슬래그의 건조용으로 소비된다고 설정하였다.

〈표 5〉는 시멘트 생산부분의 기술자료를 요약한 것이다. Input은 Output를 생산하는데 필요한 에너지와 그때 투입되는 에너지사용량을 의미한다. 자료는 시멘트협회의 도움으로 작성하였다.

2. 시뮬레이션 결과

가. 시나리오 설정

시뮬레이션은 표준시나리오(BAU), 고로시멘트 증가 시나리오, 저황연료 도입 시나리오, 유황제 및 보조금 도입시나리오, 배연탈황장치 도입시나리오의 5개 시나리오에 대하여 실시하였다. 표준시나리오는 경제성에 관한 합리적인 판단하에 기본적으로 기술선택이 행하여지는 것을 전제로 한 것이며 시멘트공업협회에 의한 자료를 기초로 작성하였다(표 6).

고로시멘트 비율의 증가 시나리오는 시멘트공업에 있어서 에너지 절약을 기대할 수 있는 혼합시멘트의 생산 비율을 증가하는 것으로 설정하였다. 혼합시멘트 비율의 증가는 현재 일본에 있어서 고로시멘트 비율이 18.5%인 것을 고려하여 2020년까지 표준시나리오의 11.0%에서 18.5%로 점차 비율이 증가하는 것으로 하였다.

저황연료의 도입시나리오는 기준년도 현재 사용되고 있는 중유는 황함유량 4.0%와 1.6%를 사용하고 있으나, 1997년 이후 정부의 저황연료공급확대의 정책에 의

표 5. 시멘트 생산부문의 기술자료

공정명	기술명	Output	Input	가격 (원/톤·년)	수명 (년)	Output (서비스)	Input (서비스/cal)	
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	
		클링커(소성전)	중유			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	
		클링커(마감전)	클링커(폐열)			0	0	
	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	
		클링커(마감전)	클링커(폐열)			0	0	
	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	
		클링커(마감전)	클링커(폐열)			0	0	
	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		
클링커(마감전)		클링커(폐열)	0			0		
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	
		P클링커	전력			1	0.298	
	전형밀	클링커	클링(마감전)	전력	10,700	30	1	1
							1	0.289
고로슬래그 분쇄공정	튜브밀	고로슬래그(후)	고로슬래그	6,150	30	1	1	
		고로슬래그(후)	전력			1	0.562	
	전형밀	고로슬래그(후)	고로슬래그(후)	전력	15,500	30	1	1
							1	0.304
포틀랜드시멘트 제조공정		포틀랜드시멘트	포틀랜드클링커	-	-	1	0.95	
		포틀랜드시멘트	포틀랜드고로슬래그	-	-	1	0.05	
고로시멘트 제조공정		고로시멘트	포틀랜드클링커	-	-	1	0.60	
		고로시멘트	고로슬래그	-	-	1	0.40	

표 6. 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 포틀랜드 크링커 비율	2000	90%
	2010	90%
	2020	90%
혼합시멘트에 대한 포틀랜드 크링커 비율	2000	55%
	2010	55%
	2020	55%

해 중유 1.0%사용을 설정하였다.

유황세 및 보조금 도입시나리오에서, 유황세는 1998년부터 스웨덴, 노르웨이 등 이미 유황세를 부과하고 있는 국가를 참고로 하여 유황 1톤당 10만원의 유황세를 부과시 아황산가스 저감효과를 추정하였다. 보조금은 유황세로 확보한 세금을 재원으로 하여 1999년부터 아황산가스 저감에 최적의 기술도입을 촉진하기 위해 보조금을 사용한 것을 의미한다. 즉 1톤당 가장 아황산가스 저

감이 가능한 기술부터 보조금이 도입되는 것을 의미한다.

배연탈황시설 도입시나리오는 현재 배연탈황시설도입으로 아황산가스 저감에 성공한 대표적인 국가인 일본의 아황산가스 배출계수^{9,10}를 참고하여 작성한 배연탈황시설이 도입되었다는 가정 하에 아황산가스 배출계수 < 표 7 >을 사용하여 시뮬레이션하였다. 전력의 경우 발전소에서 사용하는 연료를 가중 평균하여 구하였다.

표 7. 배연탈황도입을 가정한 배출계수

연료종	배출계수(t/Kcal)		연료종	배출계수(t/Kcal)	
	배연탈황도입전	배연탈황도입후		배연탈황도입전	배연탈황도입후
유연탄 (시멘트)	2.9545E-09	2.9926E-10	경유(1.0%)	1.8478E-09	1.8663E-10
중유(4.0%)	7.6768E-09	7.7536E-10	전력 (산업용)	2.0040E-09	2.1842E-10

나. 시뮬레이션 결과

1) 표준시나리오의 아황산가스 배출량 추이

1992년도의 시멘트공업에서의 아황산가스 배출량은 10.6만톤으로 추정되었다. 이는 1992년 현재 우리 나라 전체 배출량 161.3만톤의 6.6%, 산업부분의 80.2만톤의 13.2%에 해당된다⁶⁾.

그리고 2020년도에는 21.9만톤으로 1992년 대비 약

2.1배 증가할 것으로 전망된다(그림 4). 이와 같은 높은 증가율은 에너지절약형 기술에 의한 배출 저감보다 시멘트 생산량 증가에 의한 배출량 증가가 더 크기 때문이다.

표준시나리오에서의 시멘트공업 기술별 점유율을 보면 포틀랜드 시멘트 마감공정을 제외하고는 큰 변화가 없음을 보여주고 있다(표 8).

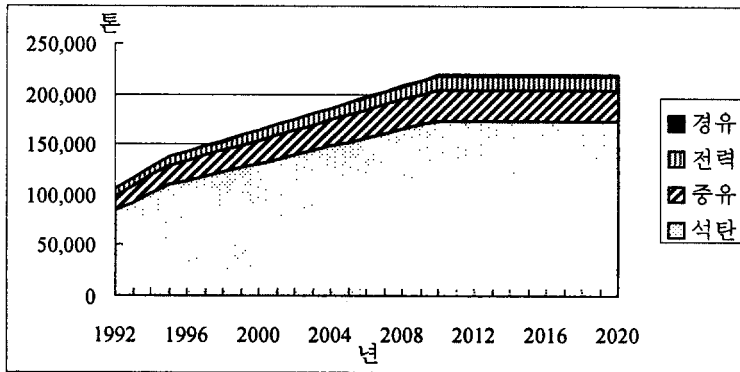


그림 4. 표준시나리오에서의 시멘트공업의 아황산가스 배출량 전망

표 8. BAU하에서의 시멘트공업기술별 점유율의 변화

공정명	기술명	1992	2000	2010	2020
포틀랜드 클링커 원료공정	튜브밀	50.1	50.1	50.1	50.1
	건형밀	49.9	49.9	49.9	49.9
포틀랜드 클링커 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
포틀랜드 시멘트 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) 고로시멘트비율 증가 시나리오

고로시멘트비율이 2020년에 11%에서 현재 일본수준

인 18%로 증가되면 표준시나리오의 21.9만톤보다 약 2.7%저감이 가능한 21.3만톤으로 예상된다(그림 5).

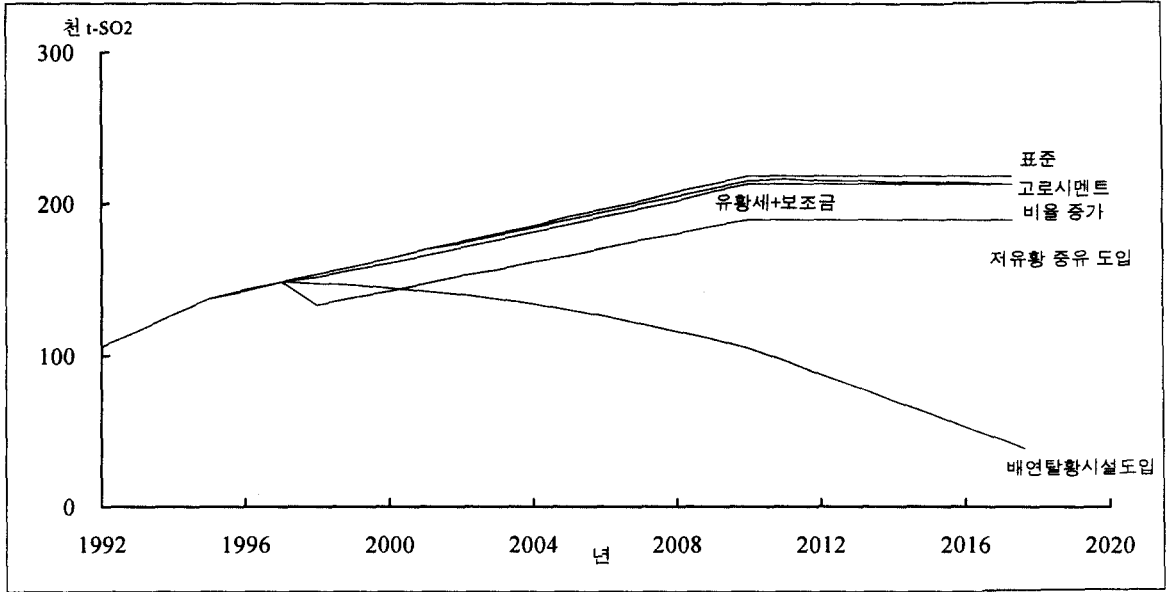


그림 5. 시멘트산업에서의 아황산가스 배출량 비교

3) 1.0% 중유 사용 시나리오

1997년 이후 1.0% 중유 사용이 의무화될 예정임으로 1.0% 중유 사용으로 2020년의 아황산가스 배출량은 19.1만톤으로 BAU보다 약 9% 저감이 가능하다(그림 5).

4) 유황세 및 보조금 도입 시나리오

유황 1톤당 10만원 수준의 유황세율하에서는 아황산 가스 배출저감이 이루어지지 않았다. 아울러 기술(시멘트공업)선택 구조에도 전혀 영향을 주지 못하였다. 이것은 톤당 10만원의 유황세는 시멘트공업 기술의 구입비용과 연료비용에 비해 매우 낮은 수준이기 때문이다. 그러나 이 유황세에 기초한 보조금 도입시나리오 하에서는 21.3만톤으로 표준시나리오에 비해 2.7%의 이산화황 저감이 가능하다(그림 5). 이는 가장 효율적인 아황산가스 저감기술에 보조금을 지불함으로써 표준시나리오에 비해 에너지 절약형 기술 보급이 촉진되었기 때문이다. < 표 9 >에서 보듯이 표준시나리오와 비교해 포틀랜드 클

링커 마감공정에서 예비분쇄기기의 도입이 촉진되고 있다.

5) 배연탈황시설도입 효과

2000년 이후 배연탈황시설이 도입되기 시작하여 2020년에 시멘트부문에 일본과 같은 수준으로 배연탈황시설이 도입되면 아황산가스 배출량은 약 2.2만톤으로 표준시나리오에서의 21.9만톤과 비교하면 약 1/10의 수준에 불과하다. 즉 배연탈황시설이 도입된다면 2020년에 배출되는 아황산가스는, 1992년 현재의 아황산가스 배출량 10.6만톤의 약 21%에 불과하게 된다는 것을 의미한다.

IV. 결론

1992년도의 시멘트공업에서의 아황산가스 배출량은 10.6만톤이었던 것이 표준시나리오에서는 2020년도에는 21.9만톤으로 약 2.1배 증가할 것으로 전망된다. 이

표 9. 유황세 및 보조금하에서의 시멘트업 기술별 점유율의 변화

공정명	기술명	1992	2000	2010	2020
포틀랜드 클링커 원료공정	튜브밀	50.1	50.1	50.1	50.1
	건형밀	49.9	49.9	49.9	49.9
포틀랜드 클링커 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
포틀랜드 시멘트 마감공정	튜브밀	57.1	47.1	46.1	43.6
	예비분쇄기	33.0	41.0	45.7	50.0
	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

러한 증가분을 저감하기 위하여 여러 가지 시나리오하에서 시뮬레이션한 결과, 고로시멘트비율이 2020년에 11%에서 현재 일본수준인 18%로 증가되면 표준시나리오에 비하면 약 2.7%저감이 가능하며, 1.0% 중유 사용으로 전부 대체한다면 2020년의 아황산가스 배출량은 표준시나리오보다 약 9% 저감이 가능하다. 유황세에 의한 효과는 없었다. 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. 시멘트공업에 있어서 톤당 10만원의 유황세는 기술의 구입비용과 연료비용에 비해 매우 낮은 수준이기 때문이다. 그러나 이를 재원으로 한 보조금을 도입하면 2.7%저감이 가능하다. 또한, 2000년 이후 배연탈황이 도입되기 시작하여 2020년에 시멘트산업부문에 일본과 같은 수준으로 도입되면 1992년의 약 21%수준인 2.2만톤의 아황산가스만이 배출되는 것으로 예측되었다.

이상의 결과에서 보면 산성비 원인물질인 아황산가스

는 저감대책에 따라 부분적인 배출량 저감이 가능한 것으로 나타났으나, 선진국 수준으로 까지 아황산가스 배출량을 낮추기 위해서는 배연탈황시설이 필요한 것으로 나타났다. 이는 이동근(1997)의 연구 결과¹⁾와도 일치한다.

그러나 본 연구는 기본적으로 시멘트 산업만을 대상으로 시뮬레이션을 실시하고 있음으로 국가전체 부문에 대한 종합적인 측면에서의 평가가 누락되어 여기서 제시한 대안이 과대 추정될 수 있다. 또한 특히 올해부터 화력발전소 17개소에 배연탈황시설이 도입됨으로 우리나라의 경우는 아황산가스배출량에 의한 환경문제는 미비할 것으로 사료된다.

본 연구에서 사용된 모형은 상향모형(Bottom-up)모형으로 에너지가격, 시멘트 생산량 등은 외생변수로 부여하고 있어, IMF체제와 같은 경제상황에서의 소비위축 등에 따른 아황산가스배출량 감소 등의 간접적인 경제영향의 고려가 어렵다. 그리고 현재 실용화되지 않은 기술은 대상으로 하지 않고 있어 개별기술에 의한 저감량이 과소 평가될 가능성이 있다.

그러나 향후 본 연구에서 개발된 모형을 지구온난화 방지 대책으로의 활용을 통하여 지구적인 환경문제와 지

역적인 환경문제 해결을 위한 통합 저감 방안제시가 가능할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 이동근, 1997, 산성비 원인물질인 아황산가스 모형 구축의 평가에 관한 연구 - Global 2100 모형을 중심으로, 환경영향평가 6(2) : 93-102.
2. 이동근 · 정태용 · 전성우, 1998, 철강업에 있어서 산성비 원인물질 저감대책평가 모형구축에 관한 연구 - 아황산가스를 중심으로, 환경영향평가 7(2) : 71-82.
3. 에너지경제연구원, 1993, [아황산가스 저감대책과 비용분석].
4. 에너지경제연구원 · 한국에너지기술연구소, 1995, [중유화력 황산화물 저감대책 연구].
5. 에너지경제연구원, 1995, [환경규제에 대한 철강부문 대응방안 연구], 포스코경영연구소.
6. 환경처, 1993, [대기오염물질배출량('92)].
7. 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.
8. 環境廳 編, 1990, [環境白書總說], 126-128.
9. 科學技術廳 · 科學技術政策研究所, 1992, 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.
10. 科學産業技術科學廳科學技術政策研究所 編, 1991, [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].