

火力發電所 大氣規制 強化 對應策

한국전력공사 남부발전처
환경팀장 김 의 두

I. 序論

우리나라는 1960년대초 국가경제개발을 착수한 이래 고도성장을 거듭하는 동안 환경은 계속 악화되고, 이에 따른 환경규제도 지속적으로 강화되어 왔다. 71년 9월 공해방지법상 배출규제가 처음 제정되었으나 실제 규제행위는 없었고 상징적인 의미만 부여되었다.

국가경제개발계획의 진행에 따라 대단위 공업단지의 조성과 인구의 대도시 집중에 따른 환경오염의 심화에 따라 78년 공해방지법이 환경보전법으로 바뀌면서 실질적인 대기환경 배출규제가 시작되었다고 보아야 할 것이다.

전력산업도 국가경제규모의 성장에 따라 급속히 성장하게 되었고, 전력수요증가에 대응하고자 발전설비를 지속적으로 건설하게 되었고, 수력등 저공해 에너지자원의 부족으로 석탄, 중유, LNG등 화석연료를 사용하는 발전설비의 확충에 주력해 왔다.

계속 강화되는 대기환경 배출규제를 준수하고 환경오염저감을 위해 발전용 연료의 低黃化와 환경오염방지설비를 지속적으로 신설 또는 보강해 왔다.

II. 火力發電所 大氣規制 強化 對應策

1. 大氣環境關聯法 및 規制의 변화

가. 공해방지법

- 선진국의 환경입법추세에 따라 우리나라도 1963년 11월 5일 법률 제 1436호에 의거 “ 공장이나 사업장 또는 기계·기구의 조업으로 인하여 야기되는 대기오염, 하천오염, 소음 또는 진동으로 인한 보건위생상의 피해를 방지하여 국민보건의 향상을 기함”을 목적으로 위생과 공해의 법적성격을 띠고 있는 「공해방지법」을 최초로 제정하였다.

- 그러나 정부의 경제개발 기본정책 수립에 이어 마련된 이 법의 제정 당시 국민의 관심은 오로지 실업과 빈곤으로부터 벗어나는데 있었으며, 또한 우리나라의 환경문제가 별로 심각하지도 않은 실정이어서 그 실효성을 기대할 수 없었던 관계로 동 법의 시행령은 6년후인 1969년 11월에 제정되었다.
- 한편 언론을 중심으로 한 여론은 환경에 대한 관심을 불러 일으키기 시작하여 정부는 그동안 사문화되다시피한 이법에 적극적인 공해대책을 시행하고자 하는 의지를 표명하고 공해물질 배출시설에 대한 배출규제를 제정하는 내용을 중심으로 한 법률을 1971년 1월 22일에 법률 제 2305호로 재구성하기에 이르렀다.

나. 環境保全法

- 지속적인 경제개발과 산업화과정에서 환경문제는 더욱 심각하게 되었고, 그 양상도 복잡다양하게 나타났다. 이에따라 각종 산업시설에서 배출되는 오염물질의 절대량을 감소시키는 한편, 효율적으로 환경을 관리·보전하기 위한 「환경보전법」이 1977년 12월 31일 (법률 제 3078호)자로 제정되었고 이 법이 1978년 7월 1일부터 시행됨에 따라 공해방지법은 자동적으로 폐지되었다.
- 환경보전법은 공해방지법에서 미비하거나 불완전한 내용은 전면적으로 개편, 강화한 것으로 특히, 환경기준 설정과 환경영향평가, 환경규제, 특별대책지역 지정 등의 제도를 시행하기 위한 법적 근거를 마련하는 등 공해방지법에서의 형식적인 규제에서 사전예방적인 성격으로 전환되었다.

다. 環境保全法의 分法

- 헌법에 명시된 국민의 환경권을 보장하고 날로 복잡·다양해지는 환경문제에 대처하기 위하여 1990년 8월 1일 오염분야별 전문적 관리와 규제수단이 강화된 6개의 환경관련법률 즉, 「환경정책기본법」, 「환경오염피해 분쟁조정법」, 「대기환경보전법」, 「수질환경보전법」, 「소음·진동규제법」, 「유해화학물질관리법」 등이 제정되어 환경행정의 획기적인 전환점이 되었다 할 수 있다

- 환경보전법중의 일부가 대기환경보전법으로 分法·制定되면서 1991년 2월에 연도별('91년, '95년, '99년등)로 단계적으로 대폭강화하는 세부 배출허용기준을 내놓았다.

2. 火力發電所 大氣汚染 防止對策

가. 황산화물

저황연료 사용

- 화력발전설비는 화석연료를 에너지원으로 하여 발전하는 방식으로 주로 석탄, 중유(등유), 가스(LNG)등이 사용된다. 화석연료는 가스를 제외하고는 정도의 차이는 있으나 황분을 함유하고 있기 때문에 연소시는 황분의 산화에 의해 생성되는 황산화물형태로 배출된다.
- 황산화물의 배출저감수단으로는 연료중의 황함량이 낮은 연료를 사용하거나 배기가스중에 포함된 황산화물을 제거하는 방법 즉, 배기가스탈황방법 등으로 대별된다. 근자에는 유동층 연소보일러(FBC)처럼 연료와 탈황제를 혼합하여 연소시켜 탈황을 하는 노내탈황방법도 실용화되고 있다.
- 우리나라에서는 발전설비를 포함하여 전체가 1999년 배출허용기준이 대폭 강화되기 이전까지는 주로 저황연료를 사용하여 황산화물 배출저감 및 규제준수를 도모해 왔다.
- 정부에서는 심각해지는 국내 대기오염을 개선하기 위하여 경제적이고 손쉬운 방법으로서 저황연료 사용정책을 채택하여 1981년 6월부터 지역별로 연료중의 황함량을 규제하는 연료사용 규제고시를 시행, 이제까지 여러차례에 걸쳐 연료의 황함량을 낮추어 왔고 대상지역도 전국적으로 넓혀 왔다.
- 60, 70년대에는 황함량이 3%이상인 고�황분의 국내탄과 중유가 주 에너지원이었으나 80년대초부터 에너지 다변화측면에서 황분이 비교적 낮은 수입역청탄과 청정연료인 LNG가 사용되기 시작하여 화석연료중의 황분이 점차 낮아지게 되었으며,
- 90년대 들어 정부의 환경규제 강화와 급증하는 전력수요에 부응하기 위해 신설되는 발전설비는 주로 저황역청탄을 사용하는 발전소가

건설되었고, 특히 수도권지역 전력수요증가에 대응코자 수도권 복합화력이 증가함에 따라 LNG사용량이 대폭 증가하게 되었다. 이에 따라 연료중의 황함량도 현재 평균 0.4% 이하로 낮아지게 되었다.(그림 1)

- 한전의 화석연료 사용량은 1998년 기준으로 국가전체사용량의 약 30%(석유환산기준)로 무연탄 4%, 수입역청탄 약 65%, 중유 약 11%, LNG가 약 20%를 차지하고 있다.

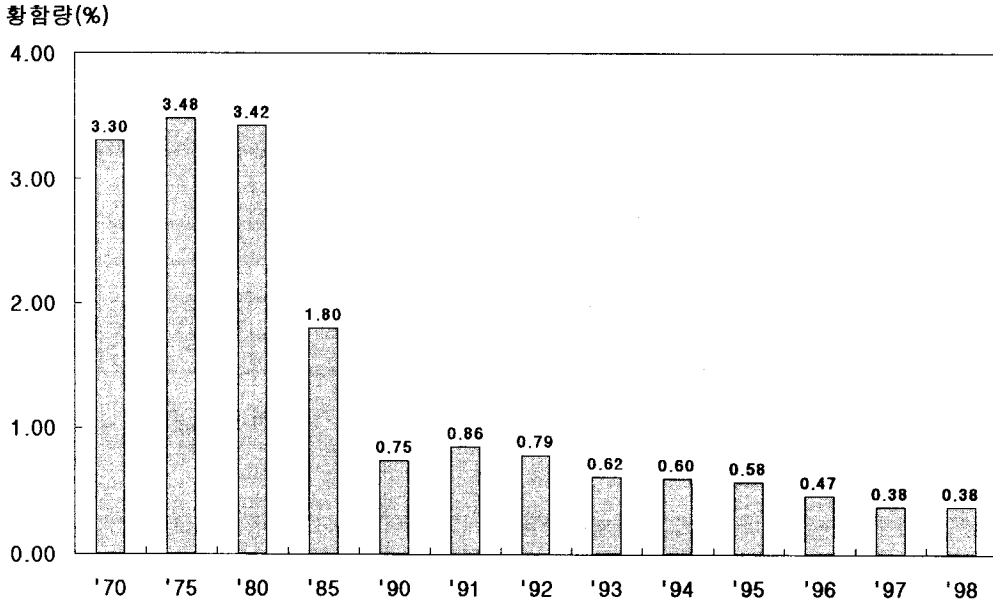


그림 1. 연도별 발전용연료 황함량 추이

탈황설비설치

- 탈황설비는 엄격한 배출규제의 준수와 저황연료 사용에 제약이 따를 때에 채택할 수 있는 가장 효과적인 황산화물저감 수단이다. 일반적으로 탈황설비의 황제거율은 90%를 상회하기 때문에 엄격한 규제하에서도 연료의 제약을 거의 받지 않는 특성이 있다.
- 한전에서는 '98년 말부터 탈황설비 가동을 시작하여 2001년까지 수입석탄화력 18기(9,000MW), 국내탄화력 4기(720MW), 중유화력 7기(2,100MW) 등 총 29기가 가동될 예정이다.

- 이렇게 저황연료의 지속적인 확대사용과 탈황설비 가동으로 화력발전소의 단위발전량당 황산화물 배출량이 지난 60년대초 약 16.5 g/kwh에 달했던 것이 1991년 4.8 g/kwh, 199년에는 0.68 g/kwh로 대폭 감소하여 환경개선에 크게 기여하였다.

표 1. 원단위 배출량 변화추이

연도별	황산화물		질소산화물		먼지	
	배출량(톤)	원단위(g/kwh)	배출량(톤)	원단위(g/kwh)	배출량(톤)	원단위(g/kwh)
'91	266,947	4.85	90,269	1.64	8,816	0.16
'92	277,598	4.20	110,305	1.67	9,086	0.14
'93	280,183	3.68	123,749	1.63	10,213	0.13
'94	340,102	3.42	160,249	1.61	11,079	0.11
'95	329,651	3.05	183,310	1.70	11,305	0.10
'96	290,557	2.40	203,347	1.68	11,542	0.10
'97	252,989	1.89	211,061	1.57	12,150	0.09
'98	216,620	1.91	152,886	1.35	11,357	0.10
'99	83,568	0.68	155,317	1.26	8,727	0.07

청정연료사용

- 국가에너지 다변화 정책에 따라 1986년 우리나라에 도입되기 시작한 LNG는 1988년 평택화력에 발전용 연료로 최근 사용하기 시작한 이래 황산화물, 먼지 등 대기오염물질 배출이 없는 청정연료로 각광받기 시작하여 그 사용량이 증가하게 되었다.
- 특히 90년대 들어 급증하는 수도권지역 전력수요를 충족시키기 위하여 전력과 열공급을 겸하는 복합화력이 다수 건설되고, 정부에서는 1991년부터 수도권지역 발전소 사용연료를 LNG로 제한함으로써 그 사용량은 대폭 증가하게 되었다.

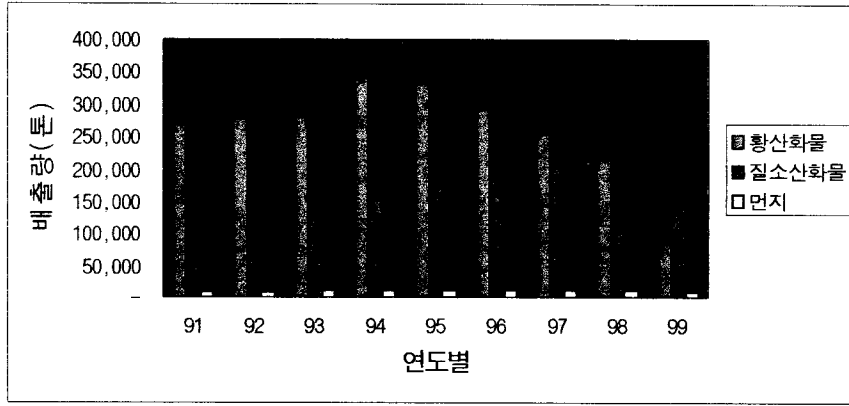


그림 2. 화력발전소 단위발전량당 SO₂ 배출량

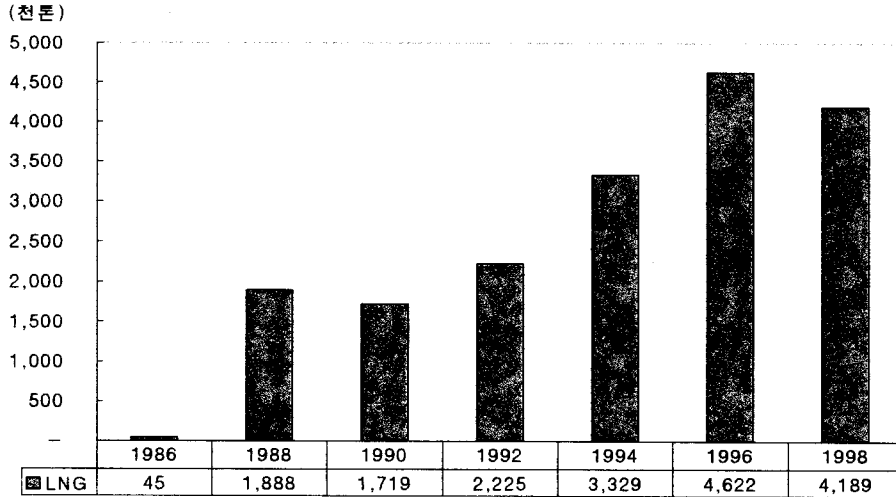


그림 3. 연도별 LNG 사용량 추이

나. 먼지

- 발전설비의 집진설비는 비교적 일찍 도입된 것으로, 1970년 국내무연탄을 사용하는 군산화력에 처음으로 고성능 전기집진기가 설치된 이래 지속적으로 신설 또는 보강해 왔다.

- 특히 80년대 후반에는 집진설비 없이 운전해오던 중유화력에도 집진설비를 설치하여 먼지 배출량을 대폭 저감시켰고, 청정연료인 LNG의 사용확대와 최근에는 석탄 및 중유화력에 탈황설비를 설치운영하여 탈황설비의 흡수탑에서의 먼지제거 효과에 의해 먼지 배출량은 아주 미미한 수준까지 감소되었다.

표2. 대기배출 규제강화 대응내용

강화과정		대책추진실적					
일자	강화내용						
'71. 9	황산화물	3,000 ppm					
	질소산화물	규제없음					
	먼지	2,000 mg/Sm ³					
'75. 12	황산화물	3,000 ppm					
	먼지	1,000 mg/Sm ³					
'78. 7	황산화물	1,800 ppm					
	먼지	500 mg/Sm ³					
'83. 3	황산화물		1,800 ppm		○ 황산화물 : 서울, 인천 저황유 사용 ○ 먼지 : 석탄화력 전기집진기 보강 - 부산, 영동, 군산, 영월		
	질소산화물	석탄	500 ppm				
		중유	250 ppm				
	먼지	석탄	400 mg/Sm ³				
중유		250 mg/Sm ³					
'87. 8	황산화물	국내탄	1,700 ppm		○ 황산화물 : 저황유 사용확대 사용 ○ 먼지 : 중유화력 집진기 보강 및 신설 - 울산#1-6, 영남#1-2, 여수#1-2 - 제주지역(제주#1-2, 남제주#1-2, 북제주#1, 북제주내연#1-8 - 평택#1-4		
		유연탄	700 ppm				
		중유	850~1,950 ppm				
	질소산화물	석탄	350 ppm				
		중유	250 ppm				
	먼지	석탄	350 mg/Sm ³				
중유		150 mg/Sm ³					
'90. 1	○ 연료사용규제고시 강화 - 수도권지역 발전설비 청정 연료사용 의무화 ('92.10. 1부터)				○ 서울화력 연료전환공사 - LSWR → LNG - '91 ~ '93 (27.8억원)		
'91. 2	구분	'91. 2		'95. 1		'99. 1	○ 황산화물 - 탈황설비 설치 ▶ 보령#3-6, 태안#1-4, 하동#1-6 당진#1-2, 영동#1-2, 서천#1-2 ▶ 울산#4-6, 영남#1-2, 여수#1-2 - 저황탄(0.33%이하) 사용 ▶ 삼천포#1-6, 보령#1-2 ○ 기존 석탄화력 전기집진기 성능개선 공사 - 보령#1-2 ('94. 3 ~ '95. 2) - 삼천포#1-2 ('94. 10 ~ '94. 11) - 영동#1-2 ('94. 5 ~ '95. 3)
		황산화물	국내탄	1,200-1,650	1,200-1,650		
	질소산화물	유연탄	700	500	350		
		중유	1,200	1,200		250	
	가스	석탄	350	350	400		
		중유	250	250		400	
	먼지	석탄	400	400	50		
		중유	250	100		40	
구분	'95. 1		'99. 1		150~270		
	황산화물	국내탄	1,200~1,650	500		150~180	
질소산화물	유연탄	500	540~1,200		150~180		
	중유	540~1,200		150~180			
'96. 9	구분		'95. 1		'99. 1		○ 기존 석탄화력 전기집진기 성능개선 공사 - 호남#1-2 ('98. 9 ~ '99. 7) - 삼천포#1-2 ('98. 5 ~ 2000. 3) ○ 보령#1-2 저황탄 혼탄설비 설치 ('98. 11 ~ '99. 11)
	황산화물	국내탄	1,200~1,650	500	150~270		
질소산화물	유연탄	500	540~1,200			150~180	
	중유	540~1,200		150~180			

다. 질소산화물

- 보일러에서의 질소산화물 발생양상은 아주 복잡다양하여 보일러 또는 연소기의 구조나 운전상태, 연소상태, 연료성상 등 관여 인자에 따라 변화가 심하다.
- 질소산화물 저감수단으로는 저NOx 버너, 저과잉공기운전, 2단연소, 배기가스 재순환 등의 방법을 단독 또는 조합하여 사용하는 연소개선방법이 가장 경제적으로 널리 사용된다.
- 그러나 이러한 방법에 의한 NOx 저감에는 한계가 있어 보다 적극적인 수단으로서 고효율 배연탈질설비(SNCR : Selective Non Catalytic Reduction, SCR : Selective Catalytic Reduction)가 있고, 질소산화물 배출농도가 비교적 높은 발전소부터 순차적으로 설치하여 향후 규제강화에 맞추어 계속 설치추진할 계획이다.

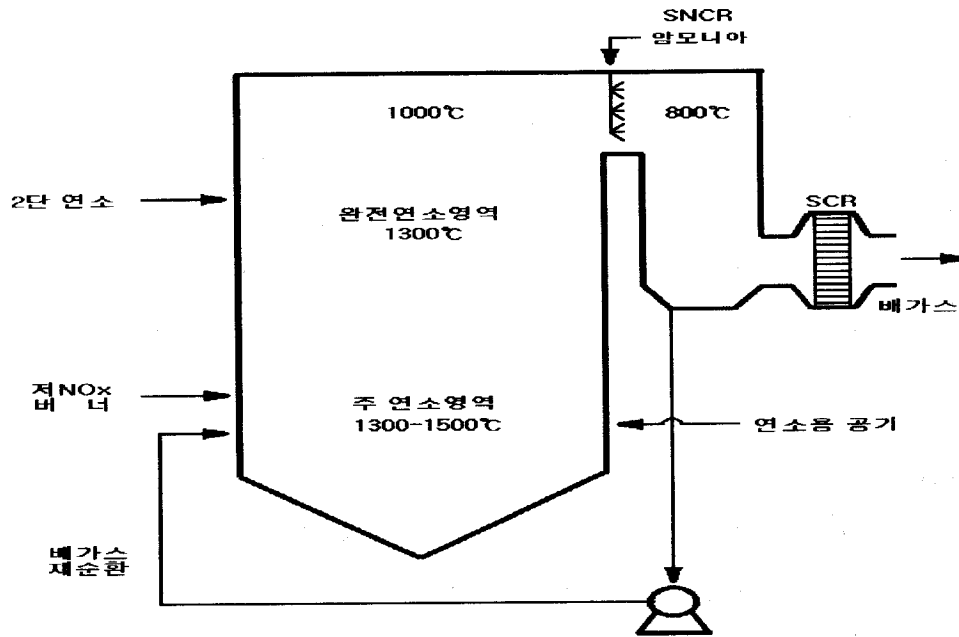


그림 4. 저NOx 설비 개략도

3. 環境設備의 運營費用(大氣部門)

- 화력발전소의 주요 대기오염방지설비는 앞서 말한 바와 같이 배연탈황설비, 탈질설비, 집진설비로 대별된다.

- 발전설비에 설치되는 환경설비는 대형설비로서 이들을 설치·운영하려면 높은 자본비용과 운영비용이 소요된다. 한 예로 500MW 석탄화력 1기를 기준하여 탈황, 탈질, 집진기 등 환경설비 설치·운영비를 보면 설치비 약 800억원, 연간 운영비 약 170억원 등 막대한 비용이 소요되고, 발전원가도 약 15%의 상승요인이 된다.

표 3. 환경설비 설치·운영비(예)

구분	탈황설비 (FGD)	탈질설비 (SCR)	전기집진기 (ESP)	Remarks
설치비(억원)	470	240	81	○ 연간운영비항목 · 변동비 : 약품비 운영비 · 고정비 : 유지보수비 인건비 상각비 · KGD : 7.3% · SCR : 4.6% · ESP : 2.8%
연간운영비(억원/년)	82.6	51.4	32.2	
발전원가상승(원/kwh)	2.69	1.68	1.05	
발전원가(원/kwh)	36.79(+5.42)			
총발전원가(원/kwh)	42.21			
원가상승율(%)	14.7%			

- 한국전력에서 연간 환경설비 운영에 투입되는 비용은 '99년 기준 대기분야 약 461억원, 수질분야 약 54억원 등 총 600억원이 소요된다.
- 한국전력에서는 2001년까지 약 1조1천억원을 투입하여 탈황설비 29기를 설치할 계획이고 '99년말 현재 25기가 가동중이다.

III. 結論

- 국내 1차에너지의 약 30%를 사용하는 한국전력에서는 전력수요에 대응하기 위해 매년 300 ~ 400만KW상당의 발전설비를 지속적으로 건설해왔고, 앞으로 2015년까지 현 발전설비용량의 2배 가까이 건설해야 한다.
- 국토가 협소하고 에너지자원이 빈약한 우리나라 실정으로는 발전설비의 일정부분을 화석연료를 사용하는 화력발전설비로 충당하는 것이 불가피하다.

- 우리회사는 환경친화적 발전소 운영을 목표로 오염물질 최소화를 위해 장단기 환경대책을 수립하여 그 계획에 따라 환경오염방지설비 및 오염감시설비 신설 및 보강을 지속적으로 수행하고 있다.
- 그러나 국가적인 차원에서 환경규제와 에너지수급의 균형과 국경을 이동하는 오염물질에 대해서도 심도있는 연구가 필요할 때라고 생각한다.