

# 화력발전소 미세먼지 배출현황과 저감

천 성 남 | 한국전력공사

## 1. 서 언

### 화력

발전소에서는 전기를 생산하는 과정에서 연료를 사용하게 되고 이로 인해 오염물질을 포함하는 배출가스를 배출하게 된다.

우리나라 화력발전소들에는 친환경발전 목표를 달성하기 위해 전기집진기, 탈황설비 및 탈질설비와 같은 오염물질 제어용 환경설비가 설치·운영되고 있어 먼지, 황산화물 및 질소산화물을 고효율로 제거하고 있다. 최근 미세먼지 문제가 중요한 사회적 이슈의 하나가 되면서 발전소 배출 미세먼지와 대기 중에서 만들어지는 2차 미세먼지의 전구물질에 대한 저감 요구가 증가하고 있다. 여기에서는 발전분야의 미세먼지 저감을 위한 대책 수립의 일환으로 우리나라 화력발전소의 미세먼지 배출현황을 정리하고 미세먼지 저감을 위한 방안들을 소개하고자 한다.

## 2. 우리나라 대기질 및 미세먼지 농도

우리나라에서는 표 1에 나타난 것처럼 8개 오염물질에 대한 대기환경기준을 운영하면서 대기질 관리목표

달성을 위해 노력하고 있다.

대기환경기준은 1978년 아황산가스에 대한 기준을 최초로 설정한 이래 항목의 추가와 함께 그 기준이 강화되어 왔다. 특히 미세먼지(PM-2.5) 대기환경기준은 2011년 신설되어 2015년부터 연간평균 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 24시간 평균 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  적용되어 왔으나 미세먼지 문제의 심각성과 정부의 해결을 위한 의지가 반영되어 2018년 3월 현재의 기준으로 강화되었다. 환경기준의 설정은 사람의 건강을 보호하고 쾌적한 생활환경을 유지하기 위해 설정된 환경정책의 행정목표치로 환경개선을 위한 오염정도를 판단, 예측하고 대책을 강구하는 척도로 사용된다. 대기질 정도를 파악하기 위해 우리나라에는 환경부 및 지자체

표 1. 대기환경기준

항목	기준				비고
	연간평균	24시간평균	8시간평균	1시간평균	
아황산가스(ppm)	0.02	0.05	-	0.15	
일산화탄소(ppm)	-	-	9	25	
이산화질소(ppm)	0.03	0.06	-	0.10	
미세먼지 (PM-10, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	50	100	-	-	
미세먼지 (PM-2.5, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	15	35	-	-	'18년 강화
오존(ppm)	-	-	0.06	0.10	
납( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0.5	-	-	-	
벤젠( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	5	-	-	-	

※ 1시간 평균치는 999천분위수의 값이 그 기준을 초과해서는 안 되고, 8시간 및 24시간 평균치는 99백분위수의 값이 그 기준을 초과해서는 안 된다.

표 2. 2016년 오염물질별 환경기준 달성 현황

항목	환경기준		측정소수	해당측정소수		환경기준 달성률(%)
				달성	미달성	
SO <sub>2</sub>	연평균	0.02ppm	256	256	0	100.0
	24시간	0.05ppm		256	0	100.0
	1시간	0.15ppm		253	3	98.8
NO <sub>2</sub>	연평균	0.03ppm	260	214	6	82.3
	24시간	0.06ppm		215	45	82.7
	1시간	0.1ppm		233	27	89.6
O <sub>3</sub>	8시간	0.06ppm	261	0	261	0.0
	1시간	0.1ppm		70	191	26.8
CO	8시간	9ppm	256	256	0	100.0
	1시간	25ppm		256	0	100.0
PM10	연평균	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	261	187	74	71.6
	24시간	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		27	234	10.3
PM2.5	연평균	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	137	64	73	46.7
	24시간	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		15	122	10.9

체가 운영하는 총 510개소의 대기오염 측정망이 설치되어 운영되고 있으며 여기에 더해 전국 발전소 주변에도 총 개소의 대기오염 측정망이 운영되고 있다. 각 측정소는 측정소의 운영목적에 맞춰 각기 다른 오염물질 농도를 측정하거나 성분분석을 하고 있다.

표 2에는 2016년 우리나라에서 운영되고 있는 대기오염 측정소에서 측정된 오염물질별 대기환경기준 달성현황을 나타내었다.

아황산가스는 1.2%의 측정소에서 한번이라도 환경기준을 넘어서는 경우가 발생하였으며 일산화탄소의 경우에는 모든 측정소에서 환경기준을 달성하는 하는 것으로 나타났으며 이산화질소는 약 10% 이상의 측정소에서 환경기준을 넘어서는

데 이들은 주로 서울, 인천, 경기 지역으로 나타났다. 반면 오존 및 미세먼지(PM-10), 미세먼지(PM-2.5) 농도는 환경기준을 넘어서는 경우가 한번 이상 발생한 측정소의 비율이 50% 이상으로 나타났다.

우리나라 환경대기 중에서 연도별 오염물질 평균농도의 변화를 살펴보았으며 그 예로 황산화물과 미세먼지 PM10의 연평균 농도의 변화추이를 그림 1에 나타내었다.

아황산가스는 1985년 고체연료사용금지, 1988년 청정연료사용의무화 제도 등의 시행과 같은 정부정책의 추진결과로 1998년 이래 그 농도가 꾸준히 감소하여 2016년 기준으로 0.005ppm 수준인 것으로 알려져 있다. 일산화탄소도 아황산가스와 비슷한 경향을 보여 1989년 이후 꾸준히 감소하고 있

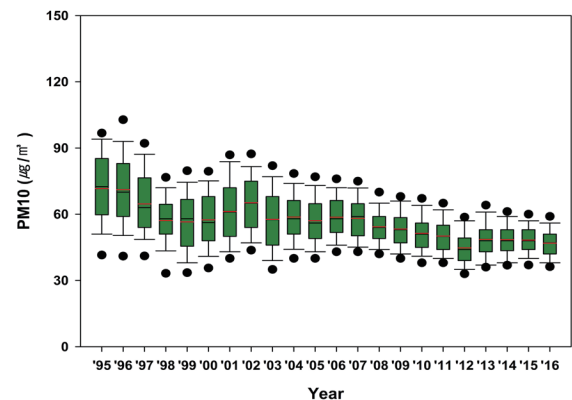
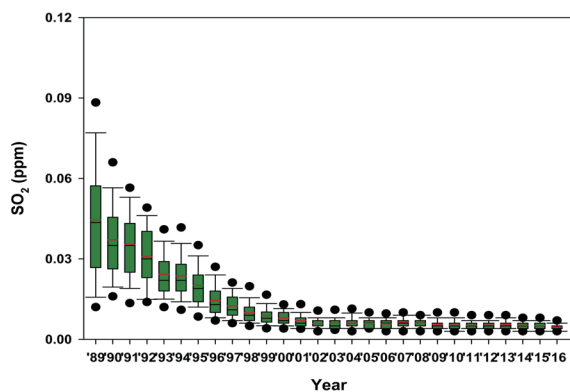


그림 1. 우리나라 대기 중 황산화물과 미세먼지 PM10 연평균 농도 변화 추이

으며 현재 약 0.5ppm 수준을 나타낸다. 이산화질소는 1990년대 초반 농도가 증가하였으나 이후 증가와 감소를 반복하고 있으며 2016년 오염도는 0.023ppm 수준으로 나타났다. 오존의 경우 연평균 농도는 1998년 약 0.011ppm에서 2016년 0.027ppm 으로 꾸준히 증가하는 경향을 보이고 있으나 1998년 이후 증가세가 약간 둔화된 것으로 보고되고 있다. 미세먼지(PM-10)의 경우에는 측정이 시작된 1995년부터 조금씩 감소하다가 1999년부터 2002년까지 약간 증가하였으나 이후 2012년까지 감소하는 추세를 보이고 있으며 2016년 미세먼지 연간 평균 농도는  $47\mu\text{g}/\text{m}^3$  수준으로 나타났다. 이와 같은 미세먼지 연간 평균 농도 수준은 영국 런던의  $19\mu\text{g}/\text{m}^3$  또는 프랑스 파리의  $27\mu\text{g}/\text{m}^3$  등과 비교하면 아직 높은 수준으로 추가적인 저감 노력이 필요한 것으로 보이며 정부는 2026년까지 서울의 미세먼지 농도를  $18\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 낮추는 목표를 설정하였다.

### 3. 화력발전소 미세먼지 배출

2015년을 기준으로 산정한 우리나라 부문별 오염물질 배출량을 표 3에 나타내었다.

우리나라의 미세먼지 PM10 및 PM2.5의 연간 총 발생량은 각각 233,177톤과 98,806톤이며 이중 에너지 산업이 각각 4,394톤과 3,607톤으로 전체 배출량의 약 1.9%와 3.6%를 차지

하고 있다. 대기 중에서 만들어지는 2차 미세먼지의 전구물질로 알려진 질소산화물과 황산화물의 발전소 배출량은 각각 연간 150,818톤과 91,243톤으로 이들 오염물질의 우리나라 전체 배출량의 13% 및 26%를 차지하고 있다. 질소산화물은 이동오염원이 황산화물은 생산공정이 주요 배출원으로 나타났다. 질소산화물과 황산화물이 대기 중에서 화학반응을 거쳐 질산암모늄과 황산암모늄과 같은 2차 미세먼지로 전환되기 위해서는 암모니아가 필요한데 표 3에 나타난 바와 같이 우리나라에서 배출되는 총 암모니아량은 연간 약 30만톤으로 이는 황산화물 및 질소산화물이 2차 미세먼지인 질산암모늄과 황산암모늄으로 전환되기 위해 필요한 암모니아 이론량 연간 약 61만 5천톤의 약 절반 수준인 것으로 보여진다. 에너지산업에서 배출되는 질소산화물 및 황산화물을 2차 미세먼지로 전환시키기 위한 암모니아 필요량은 연간 약 10만톤으로 판단되나 에너지분야에서 배출되는 암모니아는 연간 1,379톤으로 반응에 필요한 암모니아가 모자라는 것으로 생각된다. 암모니아의 농업분야 배출량이 연간 약 23만톤으로 가장 많고 대형 석탄발전소들이 대부분 시골지역에 위치하는 점을 고려하면 발전소에서 배출되는 황산화물 및 질소산화물과 같은 오염물질에 의한 2차 미세먼지의 생성에 대해서도 충분한 고려와 관리가 필요한 것으로 보여진다.

2018년 8월 기준으로 우리나라 전체 발전설비용량은 117,840 MW에 이르고 있다. 그림 2에 나타난 것처럼 발전원

표 3. 부문별 오염물질 배출량

(단위: 톤)

구분	CO	NOx	SOx	TSP	PM10	PM2.5	VOC	NH <sub>3</sub>
에너지산업 연소	55,138	150,818	91,243	4,692	4,394	3,607	7,464	1,379
비산업 연소	72,299	82,948	28,736	1,841	1,582	1,025	2,622	1,351
제조업 연소	16,854	169,139	85,098	121,668	70,893	36,317	3,101	627
생산공정	26,069	59,830	105,385	11,876	6,658	5,132	182,899	39,432
에너지수송/저장							29,137	
유기용제 사용							555,359	
도로이동오염원	245,516	369,585	209	9,583	9,583	8,817	46,145	10,078
비도로이동오염원	135,700	304,376	39,424	15,320	15,317	14,106	40,311	117
폐기물처리	1,548	11,977	2,119	340	246	209	57,074	22
농업								231,263
기타 면오염원	7,197	172		498	317	285	648	12,882
비산먼지				408,242	109,633	17,248		
생물성 연소	232,455	8,883	79	30,183	14,552	12,060	86,012	15
합계	792,776	1,157,728	352,292	604,243	233,177	98,806	1,010,771	297,167

별 발전설비 용량 중 석탄, 기름 및 가스와 같은 화석연료를 연료로 사용하는 화력발전소의 설비용량은 79,018MW로 약 67.1%에 이른다.

우리나라 발전사에서 운영하는 화력발전소 설비용량을 발전원별로 구분하면 38,357.6MW가 수입 석탄, 국내 무연탄 및 기름을 연료원으로 사용하는 기력발전소이며 28,539MW가 복합발전소이고 집단에너지 시설이 8,291MW를 점하고 있다. 화력발전소를 미세먼지의 주요 배출원으로 이야기하고 있지만 아직까지 우리나라 화력발전소를 대상으로 미세먼지를 체

계적으로 측정하고 있지는 않다. 이는 화력발전소 배출허용기준에 먼지만이 대상으로 정해져 있어 발전소 굴뚝에서 먼지를 자동연속측정하는 시스템(TMS)은 구축되어 먼지농도를 상시 측정 하지만 미세먼지는 필요에 따라 특정한 발전소 호기를 대상으로 단속적으로 측정되기 때문이다.

전력연구원은 2017년부터 우리나라 화력발전소를 대상으로 미세먼지 배출특성을 평가하여 배출량 DB를 구축하고 있으며 우리나라 화력발전소를 대상으로 수행한 미세먼지 배출농도 측정결과를 표 4에 요약하여 정리하였다.

우리나라 석탄화력발전소 중 미분탄연소방식의 발전소에서 배출되는 총먼지, 미세먼지 PM10 및 미세먼지 PM2.5의 평균농도는 각각 3.66 mg/m<sup>3</sup>, 3.23 mg/m<sup>3</sup>, 2.84 mg/m<sup>3</sup>로 나타났다. 총 먼지에 대한 미세먼지 분율은 PM10 및 PM2.5가 각각 0.90 및 0.79 수준으로 환경부 보고한 PM10/총먼지 분율 0.98 보다는 작고 PM2.5/총먼지 분율 0.79와 같은 수준으로 나타났다.

표 4에 나타난 먼지 및 미세먼지 배출농도를 발전형식과 사용연료로 구분하여 그림 3에 다시 나타내었다.

그림 3에서 알 수 있는 바와 같이 석탄을 연료로 사용하는

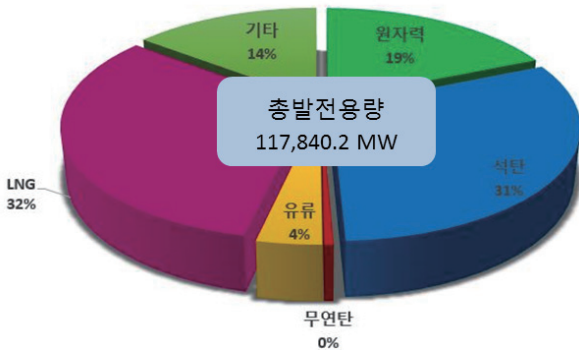


그림 2. 발전원별 발전설비 용량

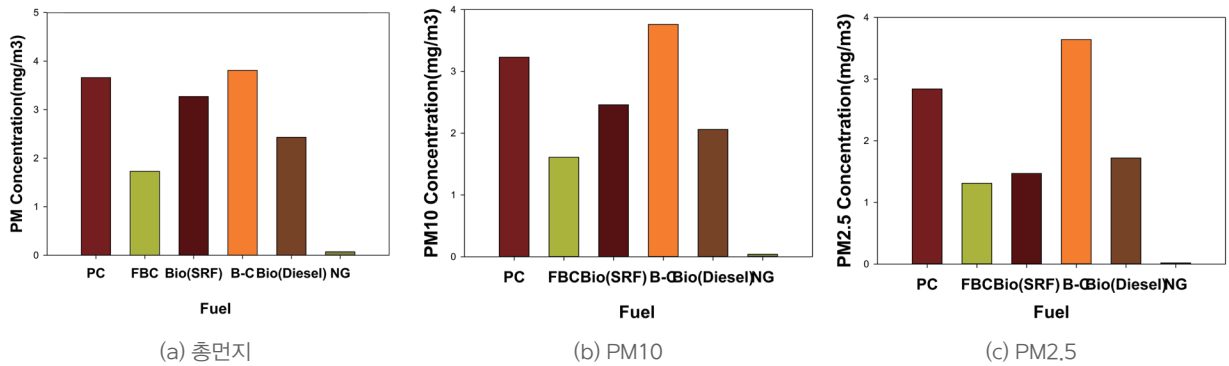


그림 3. 발전형식 및 사용연료에 따른 미세먼지 배출농도 비교

표 4. 우리나라 석탄화력 발전소 미세먼지 배출농도 측정 결과

분류	측정 호기수	평균 배출농도(mg/m <sup>3</sup> )			미세먼지 분율			
		TPM	PM10	PM2.5	PM10/TPM	PM2.5/TPM	PM2.5/PM10	
석탄화력	미분탄	54	3.66	3.23	2.84	0.8977	0.7898	0.8602
	유동층	6	1.73	1.61	1.31	0.8650	0.7136	0.8220
바이오화력	1	3.27	2.46	1.47	0.7523	0.4495	0.5976	
중유화력	B,C유	5	3.81	3.76	3.64	0.9655	0.8985	0.9261
	바이오중유	2	2.43	2.06	1.72	0.7889	0.67295	0.8546
LNG	1	0.07	0.04	0.02	0.5714	0.2857	0.5000	

미분탄 발전소 및 B-C유를 연료로 사용하는 중유발전소에서 연돌 배출가스 중 먼지 및 미세먼지의 농도가 높고 고품폐기물연료(SRF;Solid Refuse Fuel)를 사용하는 발전소 및 바이오 중유를 사용하는 발전소의 및 유동층 석탄발전소 그리고 천연가스(NG;Natural Gas)를 연소하는 발전소 순으로 나타났다. 석탄 및 중유발전소에서 먼지 및 미세먼지의 연돌 배출 농도가 유사한 것은 이들 발전설비 배가스 계통에 배연탈질설비, 전기집진기, 배연탈황설비 등이 유사하게 설치되어 있으며 이들의 효율을 배출허용기준을 준수할 수 있도록 비슷한 수준으로 운영하기 때문으로 보여진다. 그림 3에 나타난 바와 같이 연돌 배출 먼지 및 미세먼지 농도의 차이는 사용연료가 달라서 오염물질 발생량의 차이나 발전방식이 달라지면서 설치되는 오염제어설비의 종류가 달라져 배가스 계통에서 먼지 및 미세먼지의 제거 효율이 달라지기 때문으로 판단된다.

이렇게 평가된 각 발전설비에 대해 전력통계정보시스템에 발표된 우리나라 발전용량을 감안해서 평가한 석탄, 유류 및 가스 발전소로부터 배출되는 먼지 및 미세먼지 연간 배출량을 산정한 결과를 표 5에 나타내었다.

표 5에 나타난 바와 같이 우리나라의 2018년 발전용량을

표 5. 전국발전원별 먼지 및 미세먼지 연간 배출량 산정

구분	발전용량 (MW)	먼지 및 미세먼지 배출량 산정(ton)		
		TPM	PM10	PM2.5
석탄발전소	36,899	3,055	2,708	2,371
유류발전소	4,225	301	295	286
가스발전소	37,834	143	83	36

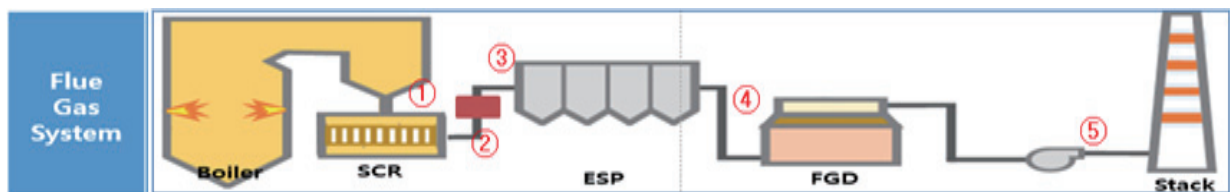
기준으로 석탄, 유류 및 가스 발전소에서 배출되는 먼지, 미세먼지 PM10 및 미세먼지 PM2.5 연간 배출량은 각각 3,499톤, 3,086톤 및 2,693톤으로 나타났다. 이는 표 3에 나타난 2015년 기준 이들의 개별 배출량 4,692톤, 4,394톤 및 3,607톤 보다 약 1,000여 톤 씩 적게 나타나고 있음을 알 수 있다.

발전소에서 미세먼지 배출 저감을 위해서는 연돌을 통한 미세먼지 배출 전에 이들을 효과적으로 줄이는 노력이 필요하고 이를 위해서는 현재 보일러 후단에서 연돌에 이르는 배가스 계통에서 미세먼지의 농도 변화와 같은 거동특성을 이해하는 것이 필요하다. 이를 위해 발전소 배가스 계통에 설치된 환경설비 전·후단에서 미세먼지 농도를 측정하고 그 결과를 표 6에 정리하였다.

표 6에 나타난 바와 같이 석탄 및 중유를 연료로 사용하는 발전소에는 배연탈질설비, 전기집진기 및 배연탈황설비가 설치되어 배가스 중에 포함된 질산산화물, 먼지 및 황산화물을 순차적으로 제거한다. 이들 장치의 기능으로 보면 먼지 및 미세먼지는 대부분 전기집진기에서 제거되는데 표 6에 나타난 것처럼 전기집진기에서 99% 이상의 먼지 및 미세먼지 제거효율을 보임을 알 수 있다. 배연탈질설비 및 배연탈황설비에서는 질소산화물 및 황산화물을 제거하는 것이 이들 설비의 주요한 기능이지만 여기에서도 먼지의 미세먼지의 제거가 일어나는데 특히 습식석회석 공정을 채용하는 배연탈황설비에서도 최대 70% 수준의 먼지 및 미세먼지 제거효율이 나타났다.

#### 4. 화력발전소 미세먼지 저감 및 관리 방안

표 6. 발전소 배가스 계통 먼지 및 미세먼지 농도 변화(단위 : mg/m<sup>3</sup>)



\* 그림의 각 숫자는 발전소 배가스 계통 먼지 및 미세먼지 측정 위치

분류	항목	SCR <sub>in</sub> ①	SCR <sub>out</sub> ②	EP <sub>in</sub> ③	EP <sub>out</sub> ④	Stack⑤
석탄화력	PM	11,211.25	9,626.00	9,081.00	9.90	2.96
	PM10	7,108.50	5,628.25	4,561.43	9.53	2.76
	PM2.5	4,923.63	3,252.63	2,672.29	6.83	2.35
중유화력	PM	329.15	303.35	283.28	2.97	2.36
	PM10	283.15	263.88	244.45	2.59	2.14
	PM2.5	249.70	218.13	203.53	2.27	1.87



대기환경 중 미세먼지 농도를 낮추기 위해 정부는 미세먼지 저감을 정부 100대 국정과제에 포함시키고 여러분야에서 미세먼지 저감을 위한 대책의 수립과 시행을 추진하고 있다. 발전부분과 관련해서는 석탄발전 축소 및 배출규제 강화와 같은 정책을 수립하여 노후 석탄화력 10기의 폐지와 기존의 석탄화력에는 성능개선과 환경설비를 유도하고 건설 중인 발전소에 대해서는 세계최고수준의 환경설비를 설치하도록 하였다. 또한 석탄화력발전소의 오염물질 배출허용 기준을 최대 2배 이상 강화하기로 하였다.

발전부문에서는 이와 같은 정부의 미세먼지 저감 정책을 적극 이행하기 위해 발전설비 성능개선과 오염제어 신기술의 적용 등을 통한 미세먼지를 포함한 발전소 오염물질 배출 저감을 위한 대규모 투자를 하고 있으며 이를 통해 황산화물은 15 ppm, 질소산화물은 10ppm, 먼지는  $3\text{mg}/\text{m}^3$  이하로 배출하는 것을 목표로 하고 있다.

우리나라의 석탄이나 중유 발전소들에는 발전을 위해 사용하는 연료의 연소과정에서 발생하는 오염물질을 처리하기 위한 고효율 환경오염제어 설비들이 설치되어 운영되고 있다. 여기에는 질소산화물 제어를 위한 배연탈질설비, 먼지 제어를 위한 전기집진기, 황산화물 제어를 위한 탈황설비 그리고 이와 같은 환경설비들을 통과하면서도 제거되지 않은 오염물질의 대기 중에서 충분히 확산되도록 한 고연돌이 포함된다. 미세먼지 문제와 관련해서는 먼지 외에도 황산화물이나 질소산

화물과 같은 가스 상 오염물질이 대기 중에서 화학반응을 거쳐 2차 미세먼지를 만드는 것으로 알려져 있으므로 발전소 미세먼지 저감 방안을 검토할 때 먼지를 제거하는 전기집진기의 개선 외에도 질소산화물과 황산화물과 같은 가스상 오염물질을 제어하는 배연탈질설비와 배연탈황설비를 같이 고려하는 것이 필요하다. 여기에서는 석탄화력발전소의 미세먼지 배출 저감을 위한 환경설비 개선방안을 요약하였다.

배연탈질설비의 개선과 관련해서는 질소산화물 제거효율을 높이기 위해 탈질 촉매 단을 증가시키는 것을 고려할 수 있다. 우리나라 화력발전소에서는 선택적 촉매 환원(SCR: Selective Catalytic Reduction)법을 이용하여 배가스 중 질소산화물을 처리하고 있는데 여기에 사용되는 촉매를 늘림으로써 SCR 배연탈질설비에서 질소산화물 처리효율을 높이는 것이 가능하다. 대부분의 발전소 SCR 배연탈질설비는 4단의 촉매를 장착할 수 있도록 설계되어 있는 경우가 많으며 현재는 두 단에만 촉매를 장입하여 배출기준을 만족시키고 있어서 사용하고 있지 않은 두 단의 여유 단에 촉매를 추가하여 탈질 효율을 높이고 이를 통해 질소산화물 배출허용기준을 달성하는 것이 가능한 것으로 보여진다. 이와 같은 배연탈질설비 개선을 시행하는 경우 촉매층의 추가에 따른 압력손실 문제와 관련설비의 개선에 대한 검토가 필요하며 SCR 공정에 환원제로 주입되는 암모니아의 적정 분배를 위한 암모니아 주입설비의 용량증대와 암모니아 주입설비의 배치 등에 대한 검토가 필요하다.

우리나라 발전소에서 연소 과정 중 생성된 황산화물은 주로 습식석회석고법으로 제거한다. 여기에서는 석회석을 황산화물과 반응시켜 석고로 전환하는데 현재 90% 이상의 황산화물 제거 효율을 가지고 있다. 이와 같이 고효율로 운전되고 있는 탈황설비에서 황산화물의 제거효율을 높이는 방법으로는 흡수탑의 용량을 증가시키는 방법, 흡수제의 순환량을 증가시키는 방법, 흡수탑의 내부 구조를 개선하

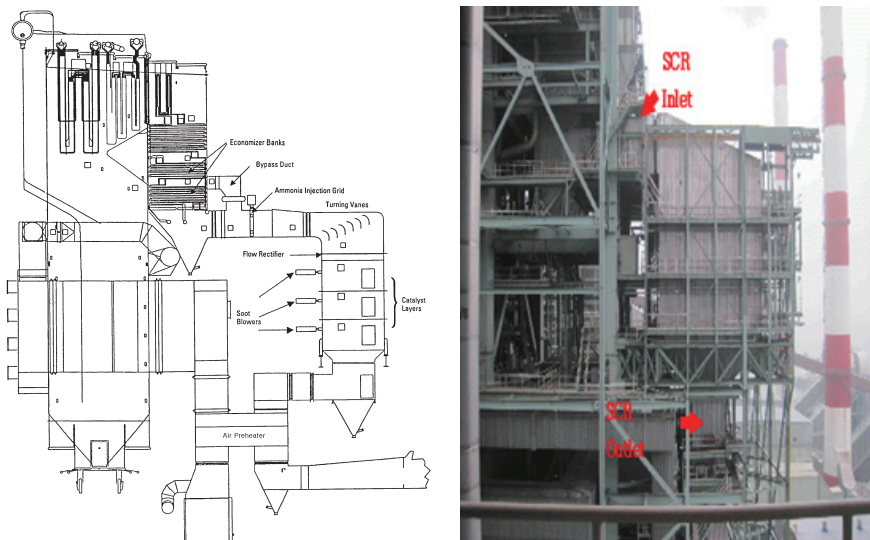


그림 4. 화력발전소 배연탈질설비 구성(좌)설치 모습(우)

여 기-액 접촉을 증가시키는 방법 등이 검토되고 있다. 또한 탈황설비에서 처리가스 비말에 동반되어 배출되는 액적(mist)을 제거하기 위해 흡수탑 산단에 설치되는 미스트 제거장치(ME; Mist Eliminator)의 단수를 늘리는 방안이나 전기집진형 ME(EME; Electrostatic Mist Eliminator)를 설치하는 방안도 검토되고 있다. 여기에 더해 탈황설비에서는 황산화물 흡수효율을 증가시키기 위해 흡수탑에 유입되는 가스를 냉각시키고 흡수탑에서 처리된 가스의 재가열을 위한 열교환기(GGH; Gas-Gas Heater)설치되어 운영되고 있다.

현재 사용되고 있는 대부분의 누설식(Leakage type) GGH는 열교환 과정에서 미처리가스(흡수탑 유입 가스)의 처리가스(흡수탑 처리가스)로의 부분 누설로 인해 처리가스 흐름에서 황산화물 농도 증가가 나타난다. 현재 배가스 계통의 운영 조건에서 GGH누설에 의한 처리가스 흐름에서 증가되는 황산화물 농도는 향후 처리 목표로 하는 배출농도 15ppm 달성이 어려울 것으로 판단되어 그림 5와 같은 비누설식(Non-leakage type) GGH의 채용이 검토되고 있다.

비 누설식 GGH를 채용하는 경우 그림 6처럼 발전소 배가스 계통의 변화가 필요한 것으로 이야기되고 있다. 현재 배연탈질설비-저온 전기집진기-GGH-탈황설비-GGH 구성에서 배연탈질설비-GGH-저저온 전기집진기-탈황설비-GGH 구성으로 환경설비의 구성이 달라지게 된다.

발전소에서 운영되고 있는 전기집진기는 99.9% 이상의 고효율로 운전되고 있고 우리나라 발전소들에는 전기집진기 후단에 습식탈황설비가 운영되고 있어서 전기집진기의 개선여지는 높지 않다고 생각한다. 다만 추가적인 전기집진기에서 집진효율을 높이기 위해 집진판의 재비산 최소화를 위한 습식전기집진 방식의 검토 등이 이루어지고 있다. 또한 탈황설비 개선과 관련해 비누설식 GGH를 채용하는 경우 배가스 계통 환경설비의 구성이 달라지고 전기집진기도 저저온 전기집진기를 채용하는 것으로 알려져 있어 운전온도가 낮아지면 나타날 수 있는 전기집진기의 부식문제에 대응하기 위한 내부식성 재료로 주요 설비의 보강이 필요한 것으로 알려지고 있다. 저저온 전기집진기를 채용하는 경

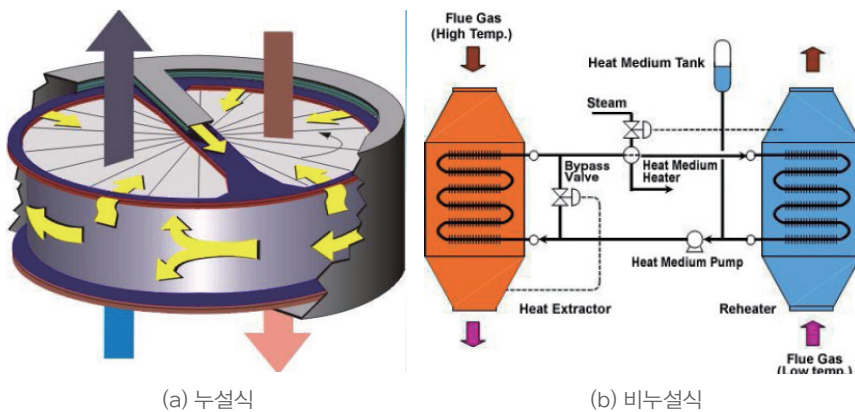
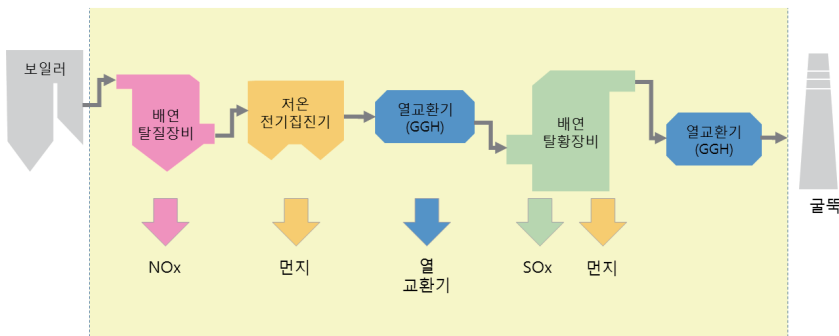
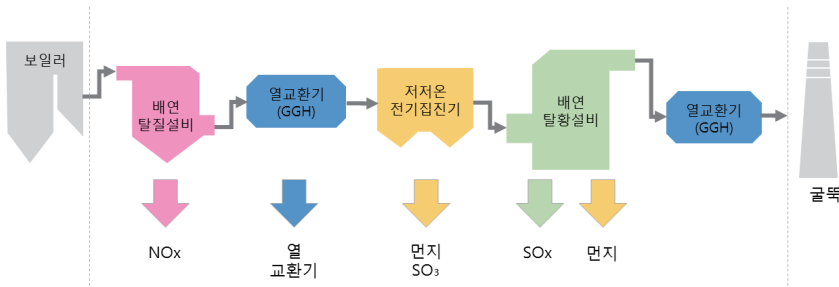


그림 5. 누설식 및 비누설식 GGH



(a) 누설식 GGH 적용시 배가스계통 환경설비 구성



(b) 비 누설식 GGH 적용시 배가스계통 환경설비 구성

그림 6. 누설식 GGH 와 비 누설식 GGH 적용시 배가스 계통 환경설비 구성

우 상대적으로 저온, 저유량의 배가스 처리를 위해 작은 크기의 전기집진기가 운영될 수 있으므로 우리나라 발전소의 환경설비 설치를 위한 부지 문제를 해소하는데도 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

우리나라 배출허용기준에는 총먼지 만이 배출규제대상 오염물질로 정해져 있다. 따라서 연돌에서 배출되는 총먼지 농도는 자동연속으로 측정되고 실시간으로 발전소 관리부와 정부의 오염물질관리시스템에 전송되어 관리되고 있다. 미세먼지에 대해서는 관련기준이 정해져 있지 않아 아직까지 실시간 측정 및 관리가 이루어지고 있지 않으나 최근 미세먼지에 대한 관심이 높아지면서 배출원에서 이들을 측정하고 관리하는 시스템을 갖추는 것에 대한 필요성이 높아지고 있다.


전력연구원에서는 이와 같은 미세먼지 측정관리에 대한 수요에 선제적으로 대응하기 위해 발전소 배출가스 중 미세먼지의 자동연속 측정시스템을 개발 중에 있다. 이 시스템은 배가스 중 미세먼지를 PM10과 PM2.5로 입경별로 분리한 후 광산란 방식으로 실시간으로 미세먼지 농도를 정량화 하는 것이 가능하다. 이 시스템은 고온의 배기가스 중 미세먼지를 측정하는 과정에서 수분의 응축으로 인한 미세 수분입자(water droplet)의 생성과 이로 인한 미세먼지의 손실에 기인한 미세먼지 측정값의 오차 발생과 수분의 생성으로 인한 미세먼지 측정기 운영의 문제점을 해결하기 위한 희석형 전처리 장치와 이를 제어하는 제어시스템 그리고 희석용 공기를 공급하는 것과 같은 보조설비로 구성된다.

미세먼지의 자동연속측정은 현재 미세먼지를 수동으로 측정하면서 발생하는 많은 비용과 시간 요구를 획기적으로 단축할 수 있고 무엇보다 배출원에서 미세먼지 농도를 실시간 측정할 수 있게 됨에 따라 미세먼지 관리체계를 획기적으로 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

## 5. 결 언

미세먼지 문제는 우리나라가 당면한 환경문제 중 가장 시급하게 해결해야 하는 과제의 하나로 여겨지고 있고 이를 위해 정부 및 산업계를 포함한 모든 분야에서 미세먼지 저감을 위한 노력을 다하고 있다.

발전분야도 예외가 아니어서 노후발전소 폐지 및 환경설비 개선과 같은 발전소 운영 및 관리와 관련한 모든 영역에서 미세먼지 저감을 위한 노력을 기울이고 있다. 이를 위한 화력발전소 전체 호기를 대상으로 미세먼지 배출량 평가를 하고 있으며 이들 발전소에서 미세먼지 저감 전략에 활용할 수 있도록 발전소 배가스 계통에서 미세먼지 거동특성을 평가하고 있다. 또한 미세먼지의 체계적 관리를 위한 배출가스 중 미세먼지 자동연속 측정기술을 개발 중에 있다.

발전소 배출 미세먼지의 저감을 위해서는 현재의 환경설비의 효율향상을 위한 설비의 개선과 신기술의 적용과 같은 노력이 필요하며 여기에는 산·학·연 전문가들의 참여외에도 이를 지원하는 정부의 정책적 뒷받침도 필요한 것으로 판단되며 이를 통해 미세먼지 농도를 해외 선진국 수준으로 낮추려는 정부의 정책 목표가 달성되기를 기대한다. 

### 참고문헌

- [1] 환경부, 대기환경기준, <http://www.me.go.kr/mamo/web/index.do?menuId=586>
- [2] 국립환경과학원, 국가대기오염물질 배출량 서비스, <http://airemiss.nier.go.kr/mbshome/mbs/airemiss/index.do>
- [3] 환경부, 대기환경연보(2016), 2017
- [4] 한국전력공사 전력연구원, 전력기술의 미래전망, pp168-177, JinhanM&B(2018)



그림 7. 미세먼지 자동연속측정용 입경별 먼지분리장치(좌), 전처리 장치(중) 및 개발시스템(우)