

산업시설의 미세먼지 제어기술

홍 지 형 | 국립환경연구원 대기공학과
과장

E-Mail : jhong@me.go.kr

1. 서론

다양한 산업시설과 자동차 등에서 배출되는 먼지는 대기오염을 일으키는 가장 중요한 오염물질의 하나이다. 이러한 먼지는 산업체의 유류 및 화석연료 보일러, 자동차, 제철/제강 공정, 시멘트 제조 공정 및 폐기물 소각 고정 등의 각종 연소, 생산 및 제조공정에서 발생되고 있다. 발생하는 먼지는 배출원에 따라 그 특성이 크게 다르며 입자크기가 작은 미세먼지가 많은 부분을 차지하고 있다. 미세먼지는 방지시설을 이용하더라도 제거가 어려워 대부분이 대기 중으로 배출되는 실정이다. 자동차가 많은 대도시지역과 산업시설이 밀집되어 있는 공단지역은 공기 중에 고농도로 미세먼지가 존재하게 되어 국민의 건강을 심각히 위협하는 요인이 된다.

특히 지하공간이나 건물내의 미세먼지는 공간내에 계속 체류하면서 장기간에 걸친 건강피해의 주요인으로 작용하는 것으로 알려져 있다.

입자크기 범위가 0.1~10 μm 사이의 부유먼지는 주로 산업의 생산 및 연소공정과 고체상 물질의 분쇄 및 수송공정 등에서 주로 발생되고 있으며, 입자크기가 2.5 μm 이하인 먼지들은 대기 중에서 가스상 오염물질이 황산화성 미세먼지와 질산화성 미세먼지로 전환된 것으로서 가시도(visibility)에도 큰 영향을 미친다. 대기중의 부유먼지 중에서 8 μm 이하

는 호흡시 호흡기로 유입되는 입자크기로서, 입자크기가 6.0 μm 이하인 것은 약 10% 정도가 인간의 폐내로 유입되고, 4.0 μm 이하인 것은 30%, 2.0 μm 이하인 것은 약 80%, 1.0 μm 이하인 것은 약 99%가 폐(lung)에 유입되어 폐에 침착된다고 보고되고 있다.

일반적으로 먼지는 분진, 입자상물질(particulate matters), 총먼지, 에어로졸 등 다양하게 불리고 있다. 특히, 한국과 일본에서는 주로 분진 또는 총먼지(TSP : total suspended particles)로 부르고 있으며, 구미에서는 에어로졸(Aerosol)이라는 용어를 주로 사용하고 있다. 대기환경보전법에서는 대기오염물질 배출시설에 대해 입자상물질 중에서도 총먼지에 대한 배출허용기준을 설정하고 있으며, 환경정책기본법에서는 대기 중 먼지농도에 대해 PM-10 (particulate matters) 즉, 입자직경이 10 μm 이하인 입자의 농도로서 대기환경기준을 설정하고 있다. 통상 미세먼지라 하면 입자상물질의 직경이 10 μm 또는 2.5 μm 이하인 입자상물질들을 미세먼지로 분류하는 것이 일반적이며, 우리나라의 경우, 대기 중 먼지에 대한 환경기준을 PM-10으로 설정 운영하고 있으나 아직 PM-2.5는 고려하지 않고 있다.

열공급시설 및 화력발전소와 디젤자동차, 공장의 매연, 건설현장 및 도로에서 발생하는 부유먼지등은 국민건강에 심각한 피해를 줄 수 있어 이를 포집, 제어하는 기술을 사용하여 적극적으로 먼지를

표 1. 우리나라의 국가·지역 먼지환경기준

(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

항 목		국가환경기준			지역 환경기준							
		'83	'93	'01	서울 (‘97.12)	대전 (‘97.12)	제주 (‘99.1)	인천 (‘00.11)	경기(‘01.5)			
									제1권역		제2권역	
									'02 까지	'07 까지	'02 까지	'07 까지
총먼지 (TSP)	연간	150	150	-	-	90	-	-	-	-	-	-
	24시간	300	300	-	-	230	-	-	-	-	-	-
PM-10	연간	-	80	70	60	50	60	60	70	65	40	30
	24시간	-	150	150	120	100	120	120	140	130	70	50

* 경기도 지역환경기준은 제1권역 22 시·군(수원·성남·고양·부천 등)에, 제2권역 9 시·군(광주·안성 등)으로 구분하여 설정

저감하는 노력이 필요하다. 산업공정에서 발생하는 먼지는 집진장치를 이용하여 포집 제거하는데, 먼지 발생원의 특성에 따라 여과포집진방식, 원심력을 이용한 싸이크론과 세정식 집진방식, 전기집진방식과 음파집진방식, 중력집진방식 및 관성집진방식 등의 제어기술이 널리 활용되고 있다.

향후 강화되는 배출허용기준을 준수하고 미세먼지를 보다 효과적으로 제어하기 위해서는 기존의 기술보다 효율이 우수한 고효율집진기술의 개발이 필요하며, 산업시설과 자동차 등에 적용할 수 있는 저비용장치의 개발이 시급히 요구되고 있다.

2. 국내 먼지오염 현황

2.1 환경기준

우리나라에서는 1983년 총먼지(TSP)에 대한 대기환경기준을 환경정책기본법에 반영하여 먼지에 대한 환경기준을 총먼지(TSP)로 관리하여 왔다.

그러나 총먼지 중에서도 호흡기계통에 침착되어 건강에 영향을 미치는 것은 주로 입자크기가 $10\ \mu\text{m}$ 이하의 입자상 물질이라는 사실이 밝혀지면서부터 미세먼지에 대한 관심이 증대되었다. 그 결과 우리나라는 1994년에 PM-10에 대한 대기환경기준을 연간 $80\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 일일 $150\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 설정하였으며, 이후 2001년부터는 총먼지에 대한 환경기준을 삭제하고 미세먼지(PM-10) 환경기준을 $70\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, $150\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 일로 강화하였다.

한편, 최근 지방자치단체에서는 국가환경기준 이외에 지역별로 대기오염현황과 대기오염물질 배출량 변화추이 등 지역특성을 고려하여 지역대기환경기준을 설정하고 있다. 현재 서울, 대전, 제주, 인천, 경기 등 5개 자치단체에서 지역환경기준을 설정·운영하고 있으며 그 내용은 표 1과 같다.

표 2에는 선진국의 환경기준과 국내 환경기준을 비교하여 나타내었다. 각국의 기준을 보면 현재 우리나라의 PM-10 국가환경기준은 미국, 일본, 홍콩,

표 2. 미세먼지 관련 국가별 환경기준

(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

항목	국가	한국	미국	일본	캐나다	홍콩	싱가포르	WHO 권고기준	EC 권고기준	
									'05목표	'10목표
총먼지 (TSP)	연간	-	-	-	70	80	75	-	-	-
	24시간	-	-	-	120	260	260	-	-	-
PM-10	연간	70	50	-	-	55	50	-	30	20
	24시간	150	150	100	-	180	150	-	50	50
	1시간	-	-	200	-	-	-	-	-	-
PM-2.5	연간	-	15	-	-	-	-	-	20	20
	24시간	-	65	-	-	-	-	-	40	40

* 자료 : 미세먼지 영향 및 저감방안 토론회 자료(2001.6, 국립환경연구원)

* 환경기준 초과여부의 판단기준

1. 한국 : PM-10 24시간 기준은 99 percentile 값이 1년 동안 기준을 초과하여서는 안됨
2. 미국 : PM-10(PM-2.5) 24시간 기준치는 연간 24시간 측정값들의 98 percentile 값이 3년 동안 그 기준을 초과하여서는 안됨
3. 일본 : 공업전용지역, 차도, 기타 일반인이 통상 생활하지 않는 지역이나 장소에 대해서는 환경기준치를 적용하지 않음
4. WHO(World Health Organization)의 경우, 미세먼지에 대한 권고기준이 없음
5. EC : '05 목표 중 PM-10 24시간 환경기준($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$)은 연간 25회 이상, PM-2.5 24시간 환경기준($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$)은 연간 14회 이상 초과해서는 안됨. '10 목표 중 PM-10 24시간 환경기준($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$)은 연간 7회 이상 초과해서는 안됨

싱가포르 등 외국과 유사한 수준이나 EC 권고기준에 비해서는 다소 완화된 수준이며, 특징적으로 미국과 EC에서는 PM-2.5에 대한 기준을 별도로 정하고 있다.

2.2 먼지 오염도

가. 총먼지 오염도 변화

총먼지(TSP)에 대하여는 '83년부터 대기환경기준을 설정하여 관리해 왔으나, 2001년부터는 국가환경

기준을 폐지하였다. 그동안의 총먼지 오염도변화를 보면 '89년부터 '99년까지 전국 주요도시에서 오염도가 크게 개선되는 추세를 보이고 있다. 특히 서울의 경우 '89년 TSP 평균 오염도가 $149 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 '94년에는 $78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로('89년 대비 52% 수준) 크게 개선되었다. 이러한 총먼지 오염도 감소는 대도시 지역을 중심으로 LNG, 저유황 연료 공급확대, 배출시설 관리강화 등에 주로 기인한 것으로 판단된다.

나. PM10 오염도 변화

표 3. 주요도시의 연도별 TSP 연평균농도 변화

(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

연도 \ 도시	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산
'89	149	178	128	152	116	119	165
'90	150	140	134	170	109	115	122
'91	121	134	109	144	100	68	104
'92	97	113	119	103	104	52	102
'93	88	96	105	100	75	53	98
'94	78	97	93	93	64	58	99

* '95년 이후부터 2000년 간에는 기존 TSP 측정기를 PM-10 측정기로 점진 교체하였기 때문에 도시별 평균치로서 TSP와 PM-10 오염도를 비교하기 어려움

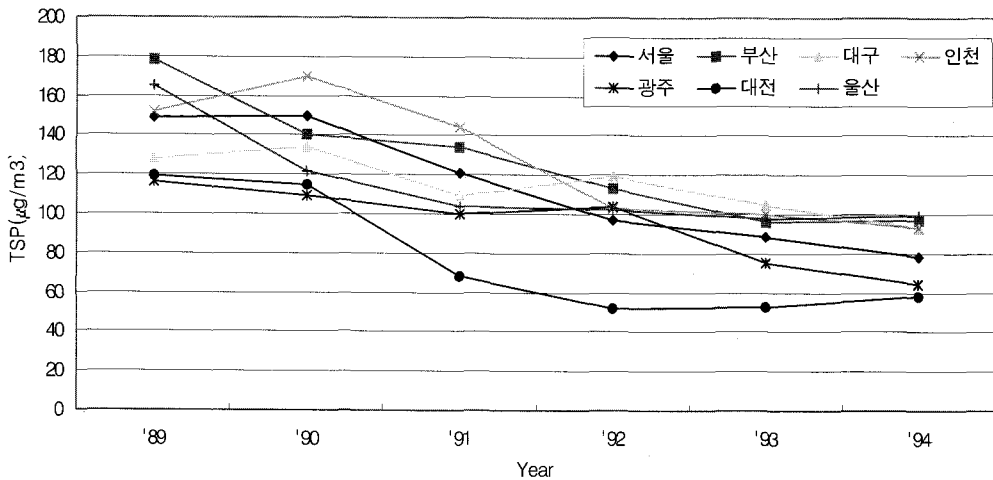


그림 1. 주요도시의 총먼지(TSP)오염도 변화

PM-10에 대하여는 '93년에 환경기준을 설정한 이후 '95년부터 측정을 실시하고 있으나, 연도별로 측정소수에 차이가 있으며 측정기간이 길지 않아 전체적인 오염도 변화추이를 정확히 파악하기 어려운 점이 있다. 그동안의 주요 도시별·연도별 PM-10 오염도 변화를 보면 울산지역이 '95년에 $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$

에서 '99년에 $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 큰 폭으로 저감되었으며, 서울등 대부분 지역에서 전반적으로 오염도가 감소되고 있으나, 감소폭이 크지는 않은 실정이다. 2000년 기준 연평균 PM-10 오염도는 서울이 $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 최고치를 보이고 있으며, 대전이 $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 최소치를 보이고 있다.

표 4. 주요 도시의 연도별 PM-10 연평균농도 변화

(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

연도 \ 도시	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산
'95	78	73	81	76	49	63	69
'96	72	76	87	67	51	63	51
'97	68	68	72	70	49	69	43
'98	59	67	72	57	49	58	29
'99	66	65	66	53	56	55	29
'00	65	62	63	53	58	51	52

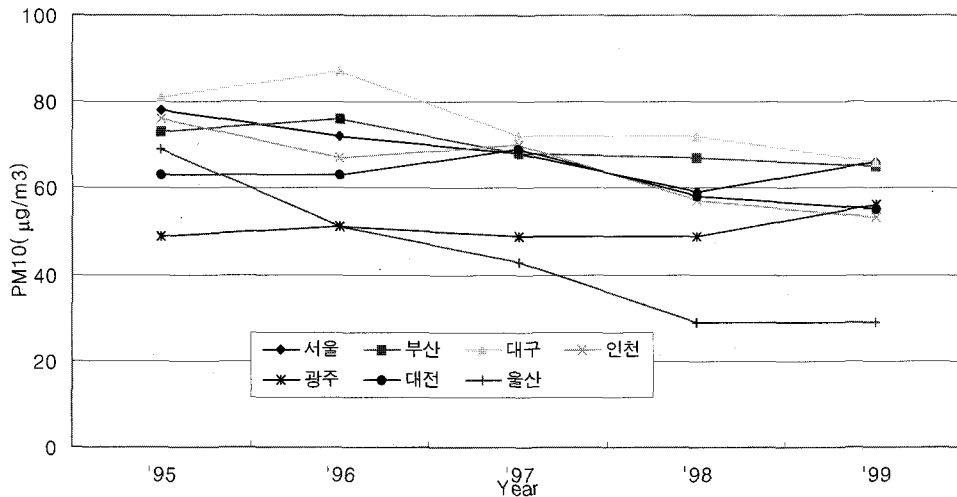


그림 2. 전국 주요도시의 PM-10 오염도 변화

한편 PM-10 24시간 오염도는 대다수 지역에서 환경기준을 초과하고 있는데, 이는 주로 3~5월에 중국으로부터 날라 오는 황사로 인해 PM-10 오염도에 영향을 미치기 때문인 것으로 판단된다. '99년의 경우, 광주, 대전, 울산시에서는 전체 측정지점에서 PM-10 24시간 기준을 달성하고 있으나, 서울, 대구의 경우, 전체 측정소의 60~70%가 PM-10 24시간 기준을 초과하고 있다.

2.3 먼지 배출원

먼지 특히 미세먼지는 화석연료의 연소나 노천소각 등 인위적 활동에 의해 직접·간접으로 발생되는 한편, 안개나 황사 등 자연적인 요인에 의해서도 많은 영향을 받는다. SO₂ 등 다른 대기오염물질의 경우 대부분 화석연료의 연소과정에서 발생되는 반면, 미세먼지는 안개, 화재, 황사, 바람에 의한 비산 등 자연요인에 의해 많은 영향을 받으며, 또한 직접

표 5. 미세먼지의 주요 발생원

구 분		발생원 종류
인위적 요인	고 정 발생원	난방, 산업, 발전 등
	이 동 발생원	자동차 매연 및 타이어 마모, 건설기계 매연
	기 타	공공장 비산먼지, 노천소각 등
자연적 요인		안개, 화재, 황사, 화산폭발, 토양풍식 등
기타 요인		2차 반응에 의한 황산염, 질산염 생성

적인 발생이외에도 SO₂, NO₂와 같은 가스상 오염물질이 황산염이나 질산염과 같은 입자상물질로 전환되어 2차적으로 생성되기도 한다. (표 5 참조) 미세먼지 발생원은 이러한 자연적인 영향과 2차 생성 과정에 의한 영향 때문에 정확한 파악이 어려우며 대부분 추정에 의한 자료를 활용하고 있다.

2.4 먼지 배출원의 배출량

1987년부터 국립환경연구원에서는 난방, 산업, 수송, 발전 등 부문별 연료사용량과 대기오염물질 배출계수를 활용하여 대기오염물질 배출량을 산출해 오고 있으며, 먼지배출량은 총먼지를 기준으로

하고 있다. 1990년 총먼지 배출량은 420천톤에서 1999년에는 440천톤으로 '87년 대비 약 5% 정도 증가하였으나, 서울시의 경우에는 TSP 배출량이 '90년에 비해 '99년에는 오히려 20% 수준으로 감소하고 있어 지역간의 배출량 변화가 크게 나타나고 있다.

주요 부문별로는 발전(45%), 산업(34%), 수송(20%)의 순으로 총먼지가 배출되며, 연료종류별로는 석탄에 의한 배출량이 74%, 유류 사용에 의한 배출량이 26%를 차지하는 것으로 조사되었다.

참고로, 미국의 경우 주요부문(연료연소, 산업공정, 운송)의 PM-10 배출량에 대한 조사결과 1996년 기준 산업공정이 37%, 연료연소 36%, 운송부문이 27%를 차지하였고, 총 배출량은 3,288천톤으로 조사되었다. 반면 주요부문 이외의 기타 발생원(자연풍식, 비포장도로 비산먼지, 농업 등)에서 발생하는 PM-10은 28,018천톤으로 주요 부문 발생량의 8.5배에 달하였고, 이중에서도 비포장도로 등의 비산먼지가 전체 기타 발생원의 61%로 가장 많은 부문을 차지하는 것으로 나타났다.

3. 미세먼지 제어를 위한 고효율 집진기술

3.1 고효율 전기집진기술

전기집진기술은 배가스 중에 부유하는 먼지입자

표 6. 연도별 총먼지 배출량 변화

(단위 : 천톤)

구 분	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97	'98	'99
전 국	420 (100%)	431	392	390	429	406	424	439	420	440 (105%)
서 울	49 (100%)	43	23	18	17	16	15	15	12	10 (20%)

* 자료 : 1999 대기오염물질 배출량(2000, 국립환경연구원)

를 코로나 방전으로 하전 하고 여기에 전계를 형성시켜 정진기력으로 포집 제거하는 기술로서 산업체의 먼지배출공정에 널리 사용되고 있는 기술이다. 선진국을 중심으로 전기집진기의 효율을 높이기 위한 기술개발이 활발히 이루어지고 있으며, 우리나라도 G-7환경기술개발사업을 중심으로 기술개발이 추진되었다. 본 절에서는 선진국의 고효율 전기집진기술 개발 현황과 국내 현황을 간략히 서술하고자 한다.

가. 광폭 전기집진기술

이 기술은 전극의 간격을 기존의 기술보다 넓게 함으로서 설치비와 유지비를 줄일 수 있는 특징이 있다. 국내에서는 G-7 환경기술개발사업에서 연구개발이 이루어졌으며, 기존 전기집진기의 집진극과 집진극의 간격은 150~400 mm 범위인데 이 범위보다 넓은 폭인 400~450 mm의 광폭과 예지 및 강제형 방전극을 개발하였다.

나. 이동전극형 전기집진기술

기존의 고정 집진극을 회전집진극으로 전환하는 기술로서, 집진극을 회전시키면서 배가스의 흐름이 없는 집진극의 하단부에서 브러쉬를 사용하여 집진극에 부착된 먼지층을 제거시키는 기술이다.

이 기술의 특징은 집진극이 항상 먼지층이 부착되지 않은 조건을 유지하기 때문에 먼지입자의 높은 전기저항에서 발생하는 역전리 현상을 방지 가능하고 배가스의 단위처리 용량당 집진효율이 기존 전기집진기에 비해 높다.

특히 기존 전기집진기의 성능을 향상시키고자 할 경우 기존 전기집진기에 직렬로 1기의 이동전극형 전기집진기를 증설하거나, 증설공간이 없는 조건에서는 기존 전기집진기의 최종단에 이동전극형 전기집진기를 교체 설치함으로써 성능향상 효과를 얻을

수 있는 것으로 알려져있다.

국내에서는 (주)한국중공업 등에서 이동전극형 전기집진기를 개발하였으며 집진극을 이동시켜 장치의 하단에서 브러쉬를 사용하여 먼지층을 제거하는 기술로 추타조작시 먼지입자의 재비산 감소가 가능하고 집진극에 부착된 먼지층을 효율적으로 탈진이 가능한 기술로 평가되었다.

다. 펄스하전 및 조합형 전기집진기술

집진효율을 높이기 위해 고정전극부에 펄스하전 방식을 적용하는 기술로 기존의 직류하전방식에 비해 수십, 수백 μ s 정도의 pulse 폭이 적용되기 때문에 방전극에서 코로나 불꽃이 없고 방전극 전체면에서 코로나 방전이 발생하므로 집진극에서의 전류 밀도가 균일하다는 특징이 있다.

국내에서는 (주)한국중공업 등에서 광폭전기집진기와 이동전극형 전기집진기를 조합한 조합형 전기집진기를 개발하고 있으며, 현재 대형시설에 적용하기 위한 기술개발 단계로 알려져 있다. 또한 한국코트렐(주) 등은 nano-second pulse 코로나 방전에 의한 유해가스와 먼지입자를 동시에 제거하는 기술을 상용화하기 위한 연구개발을 추진하고 있으나 아직 대형시설에 상용화는 이루지 못하고 있는 것으로 알려져 있다.

이 기술은 nano-second pulse 고전압을 수십 내지 수백 Hz의 비교적 낮은 주파수로 코로나 방전극과 집진극 사이에 인접함으로써 강력한 코로나 방전에 의한 왕성한 streamer를 발생, 배가스의 분자와 전자를 충돌시켜 SOx와 NOx를 제거하고 동시에 먼지입자도 제거하는 기술이다.

라. 원통형 응축 습식전기 집진기술

이 기술은 배가스의 응축과 집진 2단계로 구성되어 있으며, 고온의 배가스는 저에너지 전단 스크러

표 7. 전기집진기술의 변천

년도	주요 기술개발 내용	개발국	포집효율(%)
1980	<ul style="list-style-type: none"> ○ 일반전기집진기 개발(300 mm 이하) <ul style="list-style-type: none"> - 일반 와이어형 방전극 ○ 간헐하전식 전기집진기 <ul style="list-style-type: none"> - Semi Pulse(ms) 	미국, 일본, 독일, 이탈리아 등	분진 : 99.0
1990	<ul style="list-style-type: none"> ○ 광폭전기집진기 개발(400 mm 이상) <ul style="list-style-type: none"> - 강체(rigid body)형 방전극 - 이동전극형 - 습식 ○ Gas Conditioning 시스템 <ul style="list-style-type: none"> - SO₃, NH₃ 주입에 의한 분진물성 조절 ○ 펄스형 전기집진기 개발 <ul style="list-style-type: none"> - Micro Pulse(μs) 하전장치 적용 	미국, 독일 미국 일본, 이탈리아	분진 : 99.5
2000	<ul style="list-style-type: none"> ○ 복합형 하이브리드 전기집진기 <ul style="list-style-type: none"> - 광폭/마이크로펄스/이동전극 복합전기 집진기 - 건·습식 및 여과의 복합 전기집진기 - 서브미크론분진, 중금속 및 유해가스 동시 제어용 전기집진기 	미국, 일본, 독일	분진 : 99.9 중금속 : 90.0 유해가스 : 80.0

버에서 충분하게 응축시킨 후 2.0 μm 이상의 먼지입자는 미리 제거시킨다. 포화된 배가스는 원통형 집진기의 하부를 통해 유입하여 상부로 상승하며, 이때 배가스중에 함유된 먼지입자는 하전되어 튜브의 내벽에 포집된다. 튜브의 상부에서 분무된 세정액에 의해 튜브벽면은 필름상의 액막이 형성되어 있어 먼지층은 자동으로 세정되는 특징이 있다.

다. 흡수제 분산 조합형 전기집진기술

이 기술은 소석회 분말을 배가스 중에 분사시켜 배가스 중에 함유된 HCl과 SOx를 반응시켜 중화 흡수시킨 후에 생성된 물질을 먼지입자와 함께 전기집진기로 포집하는 조합된 장치이다. HCl과

SOx의 제거율은 50~60% 정도이나, 전기집진기에서 포집된 미반응 소석회를 60℃ 이하까지 냉각시킨 후 배가스 중에 다시 분산하므로 HCl과 SOx의 제거율은 80~85% 정도 상승한다.

3. 2 고온·고압용 집진기술

석탄을 이용하여 발전하는 가압유동층 발전기술과 석탄가스화 복합발전기술은 증기터빈과 가스터빈을 동시에 가동하고 있어 가스터빈을 보호하기 위해 유입되는 고온·고압가스 중에 함유된 먼지입자를 제거하는 기술이 필요하다. 가스터빈으로 공급되는 고온·고압 배가스 중에 먼지입자가 함유되어 있으면 터빈의 마모와 침식이 발생되어 수명이

저하되므로 고온·고압 배가스 중에 먼지입자가 최소한으로 함유되어 있어야 한다. 국내·외에서 고온고압용 여과재와 장치의 설계기술을 개발하고 있으며 현재 연구 개발되고 있는 기술을 요약하면 다음과 같다.

가. 고온·고압용 고효율 집진필터 개발

미국, 영국, 독일, 러시아, 일본 등에서는 집진필터 재료가 SiC, Al₂O₃ fiber, sintered metal powder, Al₂O₃-SiO₂ fiber등을 이용하여 온도가 600 ~ 1,200℃이며 압력이 6~15기압까지 적용이 가능한 고온·고압 조건에서 집진필터의 화학적 내구성 강화기술과 열적충격에 강한 재질을 개발하기 위한 연구가 수행되고 있다.

나. 고온·고압용 전기집진기술

가압유동층 연소발전설비에서 배출되는 fly ash는 온도가 높아 전기저항율이 낮아 전기집진기를 적용하여도 집진 성능의 향상이 가능하므로 고온·고압용 전기집진장치를 개발하고 있다. 장치의 구조는 2중 구조의 내압용기 내에 방전극을 삽입하고 먼지입자는 내부 용기의 내벽에 부착되며 부착된 먼지층은 추타작용에 의해 탈진시켜 외부로 방출시킨다. 국내에서는 가압유동층연소 복합발전용 고효율 고온·고압집진장치의 설계기술을 개발하기 위해서 집진필터 4개가 설치되는 실험실급 장치를 설치하여 기초성능 실험을 수행하였으나 아직까지 상용화되지 않은 기술이다.

다. 고온·고압용 세라믹필터 집진기술

이 기술을 이용한 이용한 집진장치는 상용화 단계에 있는 것으로 알려져있으며 CRIEPI 석탄가스화용 집진기술과 Westinghouse W-APF System 기술, 영국의 British Coal Board와 EPRI, Gri-

methorpe의 가압유동층 복합발전설비용 집진기술 등이 많이 알려져 있다. 국내에서는 저밀도 ceramic fiber 필터 개발, Sic Rigid Ceramic Candle 필터 개발 등 고온고압용 세라믹필터 개발을 추진하였으며, 가압유동층 연소설비의 고온·고압집진장치에 적용하기 위한 기술개발도 추진 중에 있다.

3.3 고효율 여과집진기술

여과집진기술은 먼지배출공정, 고가물질 회수공정, 연소공정 및 폐기물 소각공정 등에 적용하여 각 공정에서 배출하는 먼지입자를 여과포로 포집제거하는 기술이다. 최근에 와서는 여과집진기술을 고효율로 유지하고 설비 및 운전유지 측면에서 경제적으로 우월한 조건을 만족하기 위해서 고성능 여과포개발과 여과집진기술에 타 집진기술을 접목하여 타 집진기술의 장점이 여과집진기술에 부가됨으로서 성능을 향상시키는 기술이 개발되고 있다.

여과집진장치에 사용되는 여과포는 먼지입자 특성에 관계없이 탈진성능이 우수하고, 압력손실이 낮고, 표면여과가 가능하며, 내열성, 내산성, 내알칼리성 등이 우수해야 하며, 비흡습성이며, 기계적 강도가 강하고, 비정전성의 특성을 갖고 있어야 고효율 여과장치로서 사용가능하다. 따라서 선진국에서는 위의 조건에 만족하는 여과포를 개발하기 위해 많은 연구가 현재까지 계속 수행되고 있으며, 국내에서도 활발히 연구개발이 추진 중에 있다.

가. 여과포의 표면적 증대기술 개발

집진필터는 동일한 운전조건에서 여과표면적이 넓어야 처리기체의 통과저항이 낮아 압력손실이 낮게 유지되고 먼지 입자가 집진필터를 구성하는 단일섬유에 의해 충돌, 차단 및 확산을 유도하는 충분한 면적을 갖고 있어야 먼지입자의 포집효율이 향상된다. 따라서 집진필터에서 집진면적을 충분히

넓히는 기술로서는 집진필터를 구성하는 단일섬유에서 표면적을 넓히는 기술이 독일, 오스트리아, 일본, 미국 등에서 개발되고 있다.

나. 여과포의 표면박막층 형성기술

여과포에 의한 먼지포집기술은 침적여과(depth filtration)와 표면여과(surface filtration)의 두 가지로 구분할 수 있다. 침적여과는 두 개의 먼지층으로 형성되는데, 첫 번째 먼지층은 집진조작 초기에 여과포 내부로 먼지입자들이 침투하여 단일섬유에 의해 먼지입자들이 포집되어 먼지입자군을 형성하고 주위에 형성된 먼지입자군과 가교를 형성하여 먼지층을 형성한다.

침적여과에서 나타나는 문제점으로는 여과포 내부에 침착된 먼지입자는 완전하게 떨어지지 않으면, 여과포 내부에 침착된 먼지입자의 증가로 필터의 세공을 막아 압력손실의 증가 원인이 되고 필터의 수명을 저하한다. 또한 먼지입자의 종류에 따라 탈진강도를 변화시켜야 하므로 여과포의 마모 파손의 원인이 되고 있다.

표면여과는 여과포 표면에 먼지층이 형성되기 때문에 미세먼지입자는 여과포내부로 침투하지 못하고 여과포의 표면에서 먼지층에 의해서 주로 먼지포집조작이 일어나고 있다. 또한 여과포 표면에서 먼지층이 형성되기 때문에 집진효율도 우수할 뿐만 아니라 원래의 여과포의 세공을 유지하고 있어 처리기체의 통과저항이 낮아 낮은 압력손실로 운전이 가능하다. 따라서 독일, 미국, 오스트리아 등에서는 여과포에 표면박막층 형성기술을 개발하여 현재는 실용화 단계에 있다.

다. 통합반응 여과포 집진기술

영국에서는 알루미늄 등 비철금속 제조공정에서 발생하는 미세먼지 입자 뿐만 아니라, tar, ben-

zene(B.T.X), fluorides, polycyclic aromatic hydrocarbons(P.H.A) 등과 같은 pitch fume을 동시제거가 가능한 통합반응 여과포집장치를 개발하였다. 장치는 흡수제 저장조 및 수송부분, 흡수제의 배가스에 혼입 및 혼합부분, 통합반응 여과포집진부분, 포집먼지 저장 및 재순환 부분으로 구성되어 있다.

국내에서는 특수난연섬유와 난연처리 공정을 통해 고성능 난연 부직포 여과포를 개발하여 상용화하였고, 탄화가능한 레이온 부직포를 특수 저온탄화공정에서 처리하여 탄화 난연부직포 여과포가 개발되었다.

또한 350℃~550℃의 고온에 적용할 금속섬유를 이용한 소결금속필터 개발도 추진되고 있다. 여과집진장치의 핵심부분인 여과포는 재질에 따라 적용 온도 범위가 한정되어 있어 적용온도 범위를 높이기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

라. Hybrid 여과포 집진기술

미국의 Energy & Environmental Research Center에서는 전기집진기술과 여과포집진기술이 일체형으로 접목된 hybrid 여과포집진장치를 개발하였다. Hybrid 여과포집진장치는 전기집진기에서 문제가 되고 있는 미세먼지입자 크기인 0.01~50 μm 범위까지 99.99%로 포집이 가능한 기술로 입증되었다.

국내에서는 여과집진장치와 원심력집진장치를 단일장치로 접목한 일체형 원심여과집진장치가 개발되었다. 장치의 원리는 유입된 먼지입자는 장치의 하부에서 1차로 집진되고 포집되지 않은 먼지입자는 상부로 상승하여 여과포에서 포집 제거된다. 특징으로서는 먼지가 미리 포집되어 여과포로 유입되기 때문에 집진효율이 높게 유지될 뿐만 아니라 여과포의 압력손실의 상승속도가 느리고 탈진간격이 길어

여과포의 수명을 연장시킬 수 있는 기술이다.

4. 자동차의 미세먼지 제거기술

대도시지역과 같이 자동차가 많은 지역은 디젤자동차에서 발생하는 입자상물질이 미세먼지 발생의 주 요인으로 알려져있다. 디젤 입자상물질은 인체에 유해할 뿐만 아니라 시정을 악화시키는 원인물질이므로 선진 각국에서는 최근에 엄격한 배출허용기준을 단계적으로 설정하여 기술개발과 더불어 저공해 디젤자동차를 생산보급하고 있다. 본 고에서는 대형 및 소형자동차에 대한 규제와 필요한 소요기술을 간략히 서술하고자 한다.

자동차에서 배출되는 오염물질을 줄이기 위해 미국은 2004년에 현재보다 NOx를 50% 저감하며, 2007년에는 PM 및 NOx를 각각 90% 저감시키는 엄격한 규제기준을 정하고 있다. EU에서도 2005년

에 현재보다 PM 80, NOx 30%를 저감하고 있으며, 2008년에는 NOx 43% 강화한 엄격한 기준을 제시하고 있다. 선진국에서는 규제강화에 따른 기술의 개발이 활발하게 이루어지고 있으며 각 단계별 적용할 기술을 그림 3에 나타내었다.

그림 3에서 볼 수 있듯이 2000년 EUROⅢ까지는 엔진개량기술인 전자식 고압연료분사, 터보/인터쿨러 및 일부 산화촉매기술이 적용되지만 2005년에 적용되는 EUROⅣ를 만족시키기 위해서는 입자상물질여과장치, SCR촉매, Cooled EGR 및 연료개선이 추가로 적용되어야 하며, 2008년 기준인 EURO V를 만족시키기 위해서는 여기에 추가로 DeNOx, 4원촉매 및 2세대연료분사시스템이 적용되어야 할 것으로 보나 EURO V 및 미국 2007년 기준을 만족시키기 위해서는 많은 기술개발이 요구될 것이다.

소형디젤자동차는 차량 총무게 3.5톤 이하의 자동차로서 무게에 따라 미국에서는 4단계, EU에서

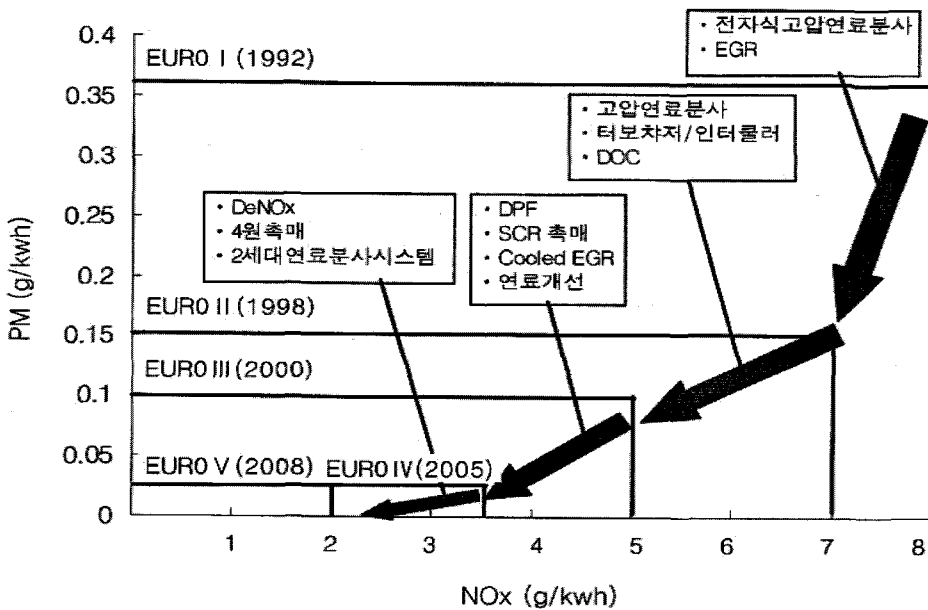


그림 3. 디젤중량자동차의 PM 및 NOx 규제강화에 따른 단계별 소요기술

는 3단계로 나누고 있으며 우리나라에서는 2단계 (화물1, 2)로 나누고 있다. 우리나라는 현재의 입자 상물질 허용기준이 미국의 1992년도 기준보다 43%가 완화된 수준이며 2003년도에 EU의 2002년 기준인 EUROIII와 같은 수준의 기준을 설정하고 있다. EU는 2006년에 PM을 40%강화하며 미국은 2004년부터 2009년까지 단계적으로 현재보다 평균해서 PM 90%, NOx 88%가 강화된 기준을 제시하고 있다.

5. 맺음말

미세먼지는 산업공단지역이나 대도시지역에서 시정장애와 호흡기질환 등을 유발하는 대표적인 오염물질이다. 미세먼지에 대한 적극적인 개선노력이 없이는 가시적이고 체감적인 대기질개선이 이루어지기 어려울 것으로 보인다. 특히 대기 중의 미세먼지 농도 조사자료를 보아도 주요 대도시지역에서

PM-10 기준을 초과하거나 기준에 거의 육박하는 등 많은 개선이 요구되고 있다. 대기 중의 미세먼지는 많은 학자들에 의해서 그 유해성이 입증되었고, 또 그 위해성을 꾸준히 경고하고 있다. 실제로 미세먼지에 의해 호흡기질환자가 어떤 영향을 받는지, 사망에 어느정도 기여하는지 등에 대하여는 정확한 통계가 없으나 매우 심각한 영향을 주는 것이 사실로 여겨지고 있다. 따라서 산업시설이나 자동차등에서 배출되는 미세먼지를 효과적으로 줄일 수 있는 기술보급이 활성화되어야 하며 이를 위해 미세먼지에 대한 규제가 강화되어야 한다. 규제강화에 따라 새로운 기술개발을 유도하고 이를 산업시설에 보급할 수 있도록 노력해야할 것이다. 미세먼지는 그 발생원이 다양하고 배출을 억제하기 위한 기술이 매우 부족한 실정으로 향후 저감기술에 대한 대폭적인 연구개발 지원도 함께 이루어져야 한다.

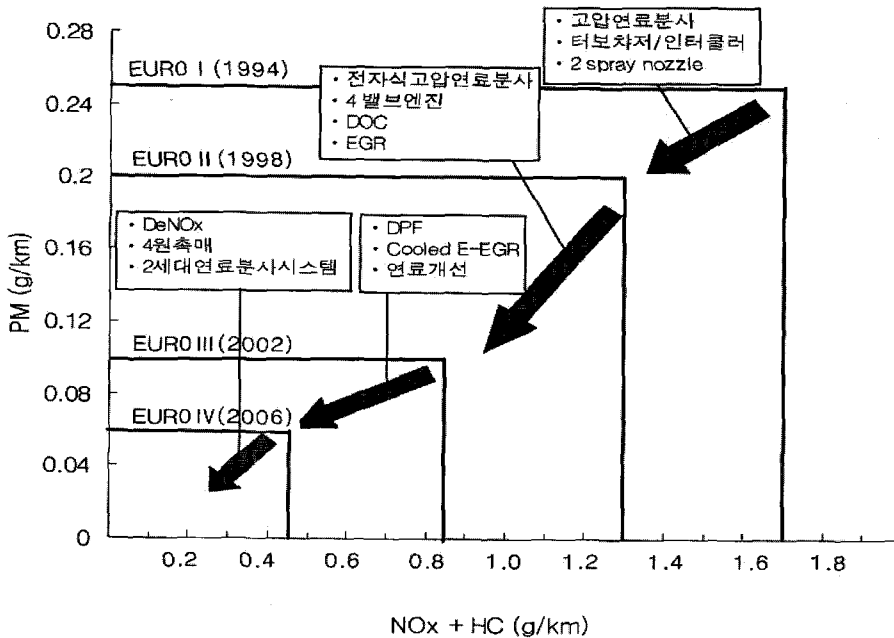


그림 4. 소형화물자동차의 규제강화에 따른 단계별 기술개발

- 참고문헌 -

1. 2000년 대기오염물질 배출량, 국립환경연구원 대기공학과, 2001
2. 고재윤, 2001, 미세먼지 영향 및 저감방안토론회 자료, 국립환경연구원
3. 대기오염처리기술연구회 '99년 보고서, 1999, 환경기술개발관리센터
4. G-7 사업현황, 2001, 환경기술개발관리센터
5. 조강래, 2001, 미세먼지 영향 및 저감방안토론회 자료, 국립환경연구원