

우리나라 대기오염 저감기술 현황

책임연구원 이영수
한국환경정책·평가연구원

대기오염은 그 정도를 직접 눈으로 확인할 수 없는 경우가 많아 그 심각성을 망각할 수 있기 때문에 대기오염 저감의 중요성을 아무리 강조하여도 지나침이 없다. 대기오염을 저감하기 위해서는 대기오염물질별로 다양한 저감기술을 이용할 수 있는데 어떠한 저감 기술을 이용할 것인가는 대기오염물질을 배출하는 오염원의 특성이나 저감하고자 하는 정도 등에 따라 달라진다.

이에 대기오염 저감기술에 대한 이해의 폭을 넓히는데 도움이 될 수 있도록 주요 대기오염물질별로 많이 적용되고 있는 저감기술들의 특징을 살펴보았다. 개별 저감시설의 특성을 고려하여 적절한 저감시설을 설치한다면 대기질 개선에 큰 기여를 할 것이며 나아가 우리의 삶의 질도 보다 향상될 것으로 생각된다.

- I. 머리말
- II. 대기오염물질의 발생원
- III. 대기오염 저감기술
- IV. 맺음말

I. 머리말

쾌적한 삶을 영위하고자 하는 욕구로 인하여 현대화, 산업화가 지속적으로 이루어져 우리는 편안한 생활을 할 수 있지만 그 반대급부로 오염된 공기를 이용할 수 밖에 없는 현실에 도달했다. 그리고 이러한 대기오염은 대량 생산, 대량 소비가 이루어지는 한 지속적으로 악화될 수밖에 없다. 대량 생산을 위한 석탄, 석유의 사용, 대량 소비로 발생하는 폐기물 처리를 위한 쓰레기 소각 등으로 여러 가지

의 대기오염물질이 대기 중으로 배출되어 대기오염을 더욱 가중시키기 때문이다. 그러나 대기오염은 많은 경우 대기오염의 정도를 직접적으로 눈으로 볼 수 없는 경우가 많아 그 심각성을 망각할 수 있기 때문에 대기오염 저감의 중요성은 아무리 강조하여도 지나침이 없다. 1952년도의 런던 스모그 사건(이 사건으로 사망한 사람은 약 4,000명으로 추정됨)과 같은 역사적으로 유명한 대기오염 사건들은 대기오염의 심각성을 극명하게 보여주었다.

날로 심각해지는 대기오염을 저감하기 위하여 환경부에

서는 대기오염물질을 배출하는 사업장에서의 배출허용기준을 2005년부터 강화하기로 하였다. 배출허용기준은 개별적인 오염원에 대하여 법적 규제기준으로 작용하는 대기오염물질 배출의 최대허용치 또는 최대허용농도인데 환경기준(환경정책기본법 제10조 2항 관련별표 1에 명시되어 있음)을 달성하기 위한 주요 정책수단이다. 이러한 배출허용기준을 강화한다는 것은 대기오염물질의 배출을 억제하는 것이기 때문에 대기오염 저감을 위해서는 아주 바람직한 것이다.

대기오염을 저감하기 위해서는 연료나 에너지의 사용을 줄이거나 대기오염물질을 보다 적게 배출하는 연료를 사용하는 등 대기오염물질의 발생전에 그 물질의 발생을 억제하는 방법(전처리적 방법)이 있을 수 있으나 이러한 방법에는 한계가 있을 수 있다. 또 다른 방법으로는 대기오염 물질의 발생 후에 물리적·화학적 수단을 이용하여 그 물질을 제거하는 방법(후처리적 방법)이 물질의 발생후에 물리적·화학적 수단을 이용하여 그 물질을 제거하는 방법(후처리적 방법)이 있다. 각 사업장이 강화되는 배출허용기준을 만족시키기 위해서는 전처리적 또는 후처리적 방법을 이용하게 될 것이다.

본 고에서는 대기오염 저감기술에 대한 이해의 폭을 넓히는 데 도움이 될 수 있도록 산업현장에서 많이 이용하고 있는 후처리적 대기오염 저감기술의 특징을 살펴보고자 한다.

II. 대기오염물질의 발생원

대기오염을 일으키는 원인은 아주 많으나 인간의 활동이 관여하는가 그 여부에 따라 자연적 발생원과 인위적 발생원으로 나눌 수 있다. 자연적 발생원의 대표적인 것으로는 화산 폭발, 산불 등을 들 수 있다. 이러한 것은 인간의 활동과 관계 없이 대기오염물질이 대기 중으로 방출하는 오염원이다. 반면에 인간의 활동에서 비롯되는 발생원은 대표적으로 발전소 등을 들 수 있다. 이는 인간의 활동에 필

요한 전기를 얻기 위하여 화석연료 등을 연소시켜 대기오염물질을 대기 중으로 방출하기 때문이다.

인위적 오염원은 다시 점오염원, 면오염원, 그리고 선오염원(이동오염원이라고도 함)으로 구분 할 수 있다. 점오염원은 발전소, 소각장 등과 같은 일정한 장소에서 굴뚝을 통하여 배출되는 오염원이다. 면오염원은 아파트 단지 등과 같이 넓은 지역에 소규모 발생원들 다수가 오염물질을 배출하는 것이다. 선오염은 자동차, 기차 등과 같이 이동하면서 연속적으로 대기오염물질을 배출하는 것을 말한다. 향후 2005년에 강화될 배출허용기준의 주된 적용대상은 점오염원이다.

III. 대기오염 저감기술

소각장, 발전소 등과 같은 점오염원에서 배출되는 대표적인 대기오염물질에는 황산화물, 질소산화물, 먼지 등이 있으며 소각장의 경우에는 다이옥신, 염화수소(HCl) 등이 추가로 발생된다.

1) 황산화물 저감기술

황산화물 저감시설은 물(또는 액체 약품)의 사용 여부에 따라 건식법, 반건식법, 습식법으로 구분할 수 있다(이러한 방법들은 황산화물 이외에도 HCl등과 같은 산성유해가스도 동시에 제거할 수 있는 장점이 있다). 이 외에도 최근 발전소에서 이용하는 방법으로 순환 유동층 연소법이 있다.

가) 건식법

건식법은 calcium oxide(CaO), magnesium oxid(MgO)와 같은 흡착제를 이용하여 황산화물을 제거한다. 이 방법은 건설비와 운영비가 저렴하고 폐수의 발생이 없으며 설치 공간이 많이 필요하지 않고 제어장치가 단순한 것이 장점이다. 반면에 저감효율이 최대 50% 정도로 낮은

것이 단점이다.

나) 반건식법

반건식법은 Ca(OH)₂ 슬러리 등을 이용하여 황산화물을 제거한다. 이 방법은 저감효율이 최대 90% 정도로 높고 폐수처리가 필요 없으며 건설비가 건식법 보다는 비싸지만 습식법 보다는 저렴하다. 다만 소석회를 슬러리 형태로 공급하여야 하므로 슬러리 공급시설이 필요하다. 최근에 소각로에서의 황산화물 및 염화수소 제거를 위하여 이 방법이 많이 사용되고 있다.

다) 습식법

습식법은 가성소다(NaOH) 등과 같은 용액을 이용하여 황산화물을 제거한다. 저감효율이 최대 95%정도로 아주 높지만 건설비와 운영비가 많이 들며 별도의 폐수처리시설이 필요한 것이 단점이다.

라) 순환 유동층 연소법

이 방법은 최근에 무연탄 발전소에서 이용되고 있는데 석탄을 석회석과 혼합하여 연소시키는 것이다. 석회석과 석탄을 적정 비율로 혼합하여 보일러 내에 넣고 공기의 속도를 증가시키면 이것들이 물이 끓는 모양을 하면서 격렬하게 움직이게 되는데 이를 유동층이라 한다. 이 방법은 90% 이상의 황산화물을 제거할 수 있으면 기존의 발전소 보일러 보다 낮은 온도에서 연소가 일어나 질소산화물의 발생도 억제할 수 있는 장점이 있다.

2) 질소산화물 저감기술

질소산화물은 크게 연료 내의 질소 성분이 연소하여 발생하는 fuel NO_x와 연소용 공기 중의 질소와 산소가 반응하여 발생하는 thermal NO_x로 구분할 수 있다. Fuel NO_x는 연료 내에 질소 성분이 많을 수록, thermal NO_x는 연소 온도가 높을수록 많이 발생한다.

질소산화물을 줄이기 위한 방법으로는 크게 연소 방법을 변경시키는 것과 배연탈질기술(배가스 내의 질소산화물을 제거하는 기술)로 나눌 수 있다. 연소방법을 변경시키는 것에는 Low NO_x버너의 사용, 배가스 재순환, 2단연소, 물/수증기 분사 등이 있으며 배연탈질기술에는 주로 선택적 촉매환원법(Selective Catalytic Reduction, SCR) 과 선택적 무촉매 환원법(Selective Noncatalytic Reduction, SNCR)이 많이 이용된다.

가) Low NO_x 버너

버너의 형식을 개량하여 질소산화물을 저감하는 것으로서 연소실 내에서는 버너의 위치에 따라 불꽃의 형태나 혼합 정도가 다르므로 버너의 위치를 잘 선택하여 연소실 내의 온도 분포를 균일하게 하고 고온 부분을 피함으로써 질소산화물을 저감시킨다. 저감효율은 40~60% 정도로 알려져 있다.

나) 배가스순환법

배가스를 순환시켜 연소용 공기에 혼합하여 연소실로 보냄으로써 배가스가 불꽃을 냉각시키는 효과를 나타낸다. 또한 산소의 농도가 낮아 연소가 지연되어 불꽃의 초고 온도가 낮아져 질소산화물의 생성량이 줄어든다. 일반적으로 재순환시키는 배가스의 양은 소요 공기량의 10~15% 정도이며 이 경우 질소산화물의 생성량은 10~30% 정도 감소된다고 한다.

다) 2단 연소

2단 연소법은 연소용 공기를 2단(버너 부분 및 버너 윗부분)으로 공급하는 것이다. 버너 부분에 연소용 공기를 이론 공기량 보다 약간 적게 공급(보통 이론 공기량의 85~95%)하여 불완전연소를 시키고 버너 윗 부분에서 부족한 공기를 공급하여 완전연소를 시킨다. 질소산화물의 생성량이 10~30% 정도 감소하는 것으로 알려져있다.

라) 물/수증기 분사법

연소로 내에 물이나 수증기를 분무하면 산소와 수소로 분해되는 흡열반응이 일어나 연소 온도가 낮아져 질소산화물의 생성이 억제된다. 질소산화물 저감효율은 대략 30% 내외인 것으로 알려져 있다.

마) 선택적 촉매 환원법

(Selective Catalytic Reduction, SCR)

이 방법은 암모니아 적정량을 배가스에 분사하여 TiO_2 또는 V_2O_5 촉매층을 통과시켜 질소산화물을 질소와 물로 분해시킨다. 일반적인 운전조건은 300~400℃이며 300℃ 이하의 온도에서는 촉매의 활성이 저하되고 450℃ 이상의 온도에서는 암모니아가 산화분해되어 질소산화물 저감효율이 저하된다. 질소산화물 저감효율은 99% 이상이며 소각장에서 사용할 경우 촉매의 종류에 따라 다이옥신도 추가로 저감하는 효과가 있다. 반면에 고가의 촉매를 사용하여야 하며 촉매독(촉매의 활성을 저하시키는 물질)으로 작용할 수 있는 물질을 미리 제거할 수 있는 전처리 시설이 필요하다.

바) 선택적 무촉매 환원법

(Selective Noncatalytic Reduction, SNCR)

이 방법은 촉매 없이 연소로 내에 암모니아 또는 암모니아수를 분사하는 방식으로서 SCR에 비하여 건설비, 유지관리비가 저렴하나 저감효율이 50~80% 정도이며 백연현상(배가스가 굴뚝에서 배출될 때 그 안에 존재하는 수분이 응축되어 하얗게 보이는 현상)이 발생할 가능성이 있다.

3) 먼지 저감기술

먼지 저감기술(집진기술)은 여러 가지가 있으나 주로 사용되는 것들로서는 중력을 이용하는 침강 집진기술, 사이클론(cyclone) 등과 같은 원심력 집진기술, 벤투리 스크

라버(venturi scrubber) 등과 같은 세정 집진기술, 전기 집진기(electrostatic precipitator, ESP) 등과 같은 전기 집진기술, 백필터(bag filter) 등과 같은 여과 집진기술이 있다.

가) 침강 집진기술

이 기술은 중력을 이용하여 배가스 내의 먼지를 제거하는 것으로 원리와 구조가 간단하여 설치, 가동비가 저렴하다. 주로 크기가 큰 먼지를 제거하기 위하여 많이 사용되며 중력 집진기술이라고도 한다.

나) 원심력 집진기술

원심력을 이용하여 먼지를 제거하는 것으로 대표적으로 cyclon을 예로 들 수 있다. 설치비가 저렴하고 운전 유지비도 적게 소요되는 장점이 있으나 먼지의 크기가 10μm 이하인 경우에는 집진 효율이 아주 낮아지는 단점이 있다.

다) 세정 집진기술

물 등을 아주 작은 액체 입자로 만들어 먼지를 함유한 기체와 접촉시킴으로써 먼지를 제거하는 기술이다. 처리하고자 하는 배가스가 유독성 기체인 경우에는 첨가제를 함께 이용하기도 한다. 이 기술은 먼지를 제거함과 동시에 배가스 내에 함유된 유해기체를 함께 제거할 수 있는 장점이 있다. 반면 포집된 먼지가 수분을 많이 함유하고 있는 슬러리이기 때문에 폐수처리비용이 많이 소요되는 단점이 있다.

라) 전기 집진기술

이 기술은 배가스 내에 함유된 먼지를 하전시켜 제거하는 기술이다 정전기력을 이용하여 먼지를 포집하기 때문에 기계적인 집진기술에 비하여 보다 적은 입자의 포집에 효과적이다. 특히 전기 집진기는 발전소나 소각장에서 배출되는 먼지 제거에 많이 이용되는데 최근의 연구 결과에 의하면 소각장에서 전기 집진기를 이용하여 먼지를 제거할

경우 전기 집진기 후단에서 다이옥신의 농도가 더 증가하는 것으로 나타났다. 그래서 미국 환경청에서는 하루 소각 용량 250톤 이상인 도시폐기물 소각 시설에서는 전기 집진기 대신에 bag filter와 같은 여과 집진기를 사용하도록 추천하고 있다.

마) 여과 집진기술

여과 집진기술은 여과포 등을 이용하여 먼지를 제거하는 기술로서 먼지 발생공정 및 연소 설비등에 광범위하게 적용되고 있다. 이전에는 배가스의 조건과 습도가 다양한 경우 여과 집진장치의 적용이 어렵다고 알려졌으나 여과포의 지속적인 개발 등을 통하여 해결이 가능하게 되었다.

특히 소각장에서 배출되는 먼지 제거를 위해서는 앞서 전기 집진기에서 언급한 것처럼 다이옥신 재생성의 문제로 인하여 전기 집진기보다 더 많이 적용되고 있다.

4) 다이옥신 저감시설

다이옥신이 문제시 되는 대기오염 배출시설로는 대표적으로 도시쓰레기 소각시설을 들 수 있다. 소각장에서 배출되는 다이옥신을 줄이는 방법은 크게 소각 전에 쓰레기 내에 포함되어 있는 염소(CI)를 포함하고 있는 물질을 제거하는 방법과 소각로 내의 온도를 최소 800℃이상 유지하도록 하는 방법, 그리고 소각로 후단에서 활성탄 등을 이용하여 제거하는 방법 등이 있을 수 있다. 여기에서는 소각로 후단에서 다이옥신을 제거하는 방법에 대하여 설명한다.

소각로 후단에서 다이옥신을 제거하는 대표적인 방법은

반건식 흡착탑 또는 bag filter 등과 같은 여과 집진기 전단의 관 내에 활성탄을 분사하는 것이다. 또한 다이옥신의 흡착이 완전하게 이루어지지 않아 아직도 흡착능력을 가지고 있는 활성탄을 bag filter에 포집되어 미반응된 다이옥신을 추가로 제거하기도 한다. 특히 질소산화물 저감을 위한 SCR의 경우도 사용하는 촉매의 종류에 따라 질소산화물뿐만 아니라 다이옥신을 추가로 제거하기도 한다. SCR이 설치된 소각장과 설치되지 않은 소각장에서 다이옥신 배출농도를 비교한 결과 SCR을 설치하지 않은 소각장에서 다이옥신 농도가 설치한 소각장 보다 최고 10배 정도 높은 다이옥신을 배출한다고 보고되었다.

IV. 맺음말

대기오염 저감기술에 대한 이해의 폭을 넓히는 데 도움이 될 수 있도록 산업현장에서 많이 이용하고 있는 후처리적 대기오염 저감기술의 특징을 살펴보았다. 주의할 점은 각 대기오염물질별로 여러 가지 저감기술이 있으나 어느 것을 설치, 사용할 것인가(질소산화물의 경우 SCR 을 사용할 것인가, 또는 SNCR을 사용할 것인가 등)는 여러 가지 현장 여건(오염원의 특성, 저감하고자 하는 정도 등)에 따라 결정된다는 것이다. 따라서 여러 가지 현장 여건과 개별 저감시설의 특성을 고려하여 적정 대기오염 저감시설을 설치한다면 대기질 개선에 큰 기여를 할 것이며 나아가 우리의 삶의 질도 한층 향상될 것으로 생각된다.

<본고는 「환경포럼」 제5권 제10호에 발표된 원고입니다>

