

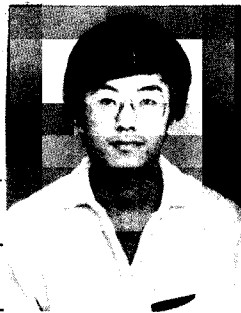
대기오염제어기술의 동향



최 현 오

(기계부품연구부,
공조기기실장)

- '74-'78 서울대학교 원자력공학과 졸업(학사)
- '79-'82 한국과학기술원 기계공학과 졸업(석사)
- '81-'86 한국과학기술원 기계공학과 졸업(박사)
- '86-'89 한국기계연구소 열유체실 선임연구원
- '90-현재 한국기계연구원 공조기기실장



장 혁 상

- '78-'82 부산대학교 기계공학과(학사)
- '83-'85 한국과학기술원 기계공학과 졸업(석사)
- '85-'88 (주) 유공, 울산연구소, 연소연구원
- '88-'91 미국 Cincinnati 대학 환경공학과(박사)
- '92-현재 한국기계연구원 공조기기실 위촉연구원

1. 서 론

과학기술분야의 많은 노력은 자원을 이용하여 생산된 상품이 가지는 경제적 가치를 최대한으로 하는 데 경주되어 왔다. 이러한 상품의 경제적 가치는 인간의 생활을 얼마나 편리하게 해 주고 인간이 기본적으로 가지는 욕구를 어느 정도 충족해 줄 수 있는가에 따라 평가되어 왔는데 이러한 생산개념은 생산에 따른 환경오염의 문제가 심각해짐에 따라 그 개념을 달리해야 할 시점에 왔다. 환경문제의 심각성으로 인해 국내외적으로 환경규제가 강화되고 이러한 규제는 제품생산시 배출되는 환경오염원을 제거하기 위한 환경설비의 설치와 운전에 따른 경비의 증가를 가져오게 되는 데 이는 궁극적으로 제품의 원가 상승 원인이 됨에 따라 인간의 편리성이나 욕구 충족 외에도 환경오염방지시설을 운용하는 데 따른 생산비 증가도 제품의 가격에 포함되어야 하는 부담이 따른다. 이러한 원가상승의 이유 외에도 우리가 살고 있는 주위환경의 오염은 인간의 건강한 생활을 직접적으로 저해하기 때문에 그 해결에 많은 노력이 선결되어야 함은 재론의 여지가 없다. 환경오염분야에서 대기오염은 그 영향권이 광범위하고 오염된 지역을 별도로 격리할 수 없는 어려움이 있어 일단 문제가 되면 치유에 상당한 노력이 요구되고 있다. 현재 대기환경관리기술은 산업화가 선도된 나라로부터 발전이 이루어져 왔으며 후발공업국들은 여러경로를 통해 이를 전수받고 있는 상태라고 할 수 있다. 대기오염물질의 확산은 지역적으로 광범위한 영역에 걸쳐 이루어짐으로 인해 오염원과 그 영향을 받는 지역간의 분쟁의 원인이 될 소지가 아주 많아

오염문제 해결에 지역간의 공동노력이 필요하게 된다. 이러한 노력은, 범위는 국부적인 지역에서 이루어질 수 있지만 때로는 국가대 국가간에 이루어져야만 할 경우가 종종 있다. 국가간에 협력 관계에 있어 두 국가간의 기술수준이 동일하지 않을 경우 기술수준이 상대적 하위에 있는 국가는 기술 전수에 따른 경제적 손실을 입게 된다. 대체 CFC(Chlorofluorocarbon) 개발 문제는 국가간에 일어나는 환경관련기술 협력관계의 대표적인 예인데 오존층 파괴를 방지하는 노력에는 국가간의 의견통일이 이루어지고 있지만 대체냉매나 새로운 냉동기관에 관한 기술공유에 관해서는 기술보유국이 기술사용에 따른 경제적부담을 요구하고 있는 실정이고 상대 당사국들은 그에 따른 불이익을 감수할 수 밖에 없다. 이러한 문제는 환경문제해결에 상업적 문제가 개입된 대표적인 예라 할 수 있다. 이러한 비슷한 형태의 기술적 종속 관계는 향후 다른분야에서 얼마든지 발생될 수 있으며 이의 해결법은 오직 지속적인 연구개발을 통해 기술 보유국의 입장에 서는 길 뿐이라고 할 수 있다. 대기오염제어기술분야는 그동안 선진국에서 체계적으로 발달되어온 분야로써 국내에서도 이 분야에 대해 점차 관심과 기술개발이 점차로 진행되어 가고 있는 상태인 데, 필자는 이에 관련하여 대기오염제어기술이 다루는 분야와 발전 동향을 소개하므로써 관련분야의 연구진행방향을 정하는 데 도움을 주고자 한다. 다음의 내용은 대기오염의 발생과정과 그에 관련된 대기오염제어기술 분야에 대한 설명이며, 이와 아울러 점차 그 중요성이 더해가는 대기오염관리기술 분야에 관한 설명이 따른다.

2. 대기오염발생 및 제어

대기오염을 인간의 건강이나 생활에 불편함을 주는 Gas나 분진이 대기 중에 존재하는 것을 말한다. 대기오염의 발생과 전달은 복잡한 과정을 거치는 데 그 생성과정과 전달과정의 정확한 해석은 대기오염제어를 위해 중요하다. 대기오염을 일으키는 Gas의 종류는 다양하나 대부분의 경우 대기 내에 존재하는 양이 적고, 대기에서의 확산

과정을 통해 소멸되므로 위생학적으로 문제가 되지 않고 몇개의 대표적인 물질이 문제가 된다. 대기중에 존재하는 몇가지 종류의 물질들만이 제어의 대상이 되는데, NO_x, SO_x, CO, 미연탄화수소(Unburned Hydrocarbon), 그리고 분진등이다. 대기오염은 오염원으로부터 그림 1에서 보인 일련의 과정을 거쳐 동식물이나 건물에 피해를 주게 된다. 발전용으로 사용되는 열기관으로부터는 주로 NO_x, SO_x, CO, 분진등이 발생되며 자동차 등에서는 주로 NO_x, CO, 미연탄화수소, 분진등이 발생된다. 열기관에는 석탄같은 저급의 연료가 많이 사용되는 데 연료자체에 포함된 황이 연소과정을 통해 SO_x로 변환되어 대기로 배출된다. SO_x는 대부분 발전용 열기관에서 기인한다. NO_x는 대기 중의 연소과정에서 질소와 산소가 결합하여 배출되는 Thermal NO_x와 연료자체에 포함된 질소 화합물이 대기중의 산소가 화합하여 배출되는 Fuel NO_x로 구별되는 데 열기관의 형태에 구분없이 배출이 이루어지고 있다. 자동차에서의 배출가스는 발전용 열기관에 비해 CO나 미연탄화수소가 많은데, 이는 구조상으로 내연기관의 연소효율이 상대적으로 좋지 않기 때문이다. 발전소에서 배출되는 분진은 무기물등의 불연 소재들이 주성분이 되고 자동차의 경우는 불완전연소에 의한 Soot가 주성분이 된다. 발생된 오염원은 곧바로 대기에의 확산이 이루어지는 데 대기의 흐름, 대기의 온도 분포, 지형의 형태등의 영향에 따라 다양한 형태로 확산이 일어난다. 일반적으로 대기로의 확산이 이루어지기 전에 제어기구를 통해 오염물질을 처리하는 데, 배출되는 Gas나 분진을 처리가 간편한 2차 물질로 바꾼다든가 또는 배출량을 줄이는 방법이 사용된다. 대기 중에 확산되어 가는 오염물질은 주위환경에 의해 자연적으로 일부 제거가 되기도 하고, 대기중에서 물리화학적 변형을 일으켜 2차 오염물질이 되기도 한다. 광학적 Smog (Photochemical Smog)가 이런 2차 오염물질의 대표적인 예이다. 광학적 Smog는 대기 중에 배출된 탄화수소 Gas가 대기 중에 존재하는 NO_x나 SO_x가 결합하여 2차 물질을 만들어 대기오염을 일으키는 것으로 태양광으로부터 나온 Energy가 반응을 상승시킨다. 오염물질의 확산은 잘 연구되면 확

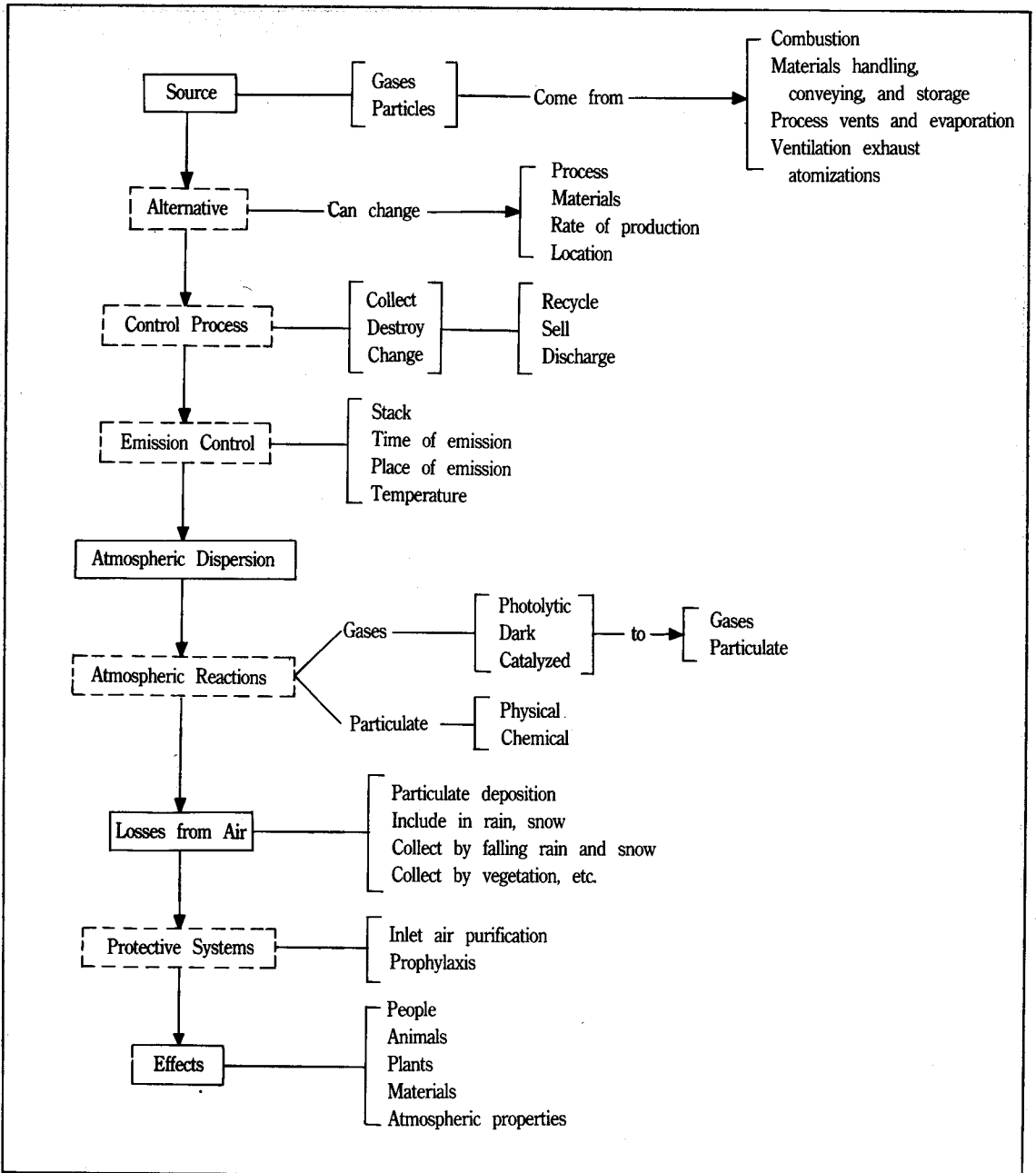


그림 1) 대기오염의 확산과 제어과정

산을 예측하거나 확산구조를 재배치할 수가 있다. 오염확산에 대한 이론적인 Model 연구는 대기오염물질을 배출하는 시설의 배치를 사전에 결정하거나 돌발적으로 일어나는 화학물질의 유출시 그 확산영역으로부터 인명이나 재산을 어떻게,

혹은 어느 정도로 대피시킬 것인가 하는 결정등에 유용하게 사용되어 질 수 있다. 확산된 오염물질에 적절한 제어기구를 적용할 시간이 주어지지 않거나 제거기구를 응용할 수 없는 경우에서 배출된 대기 오염원으로부터 직접적으로 보호를 받을 수

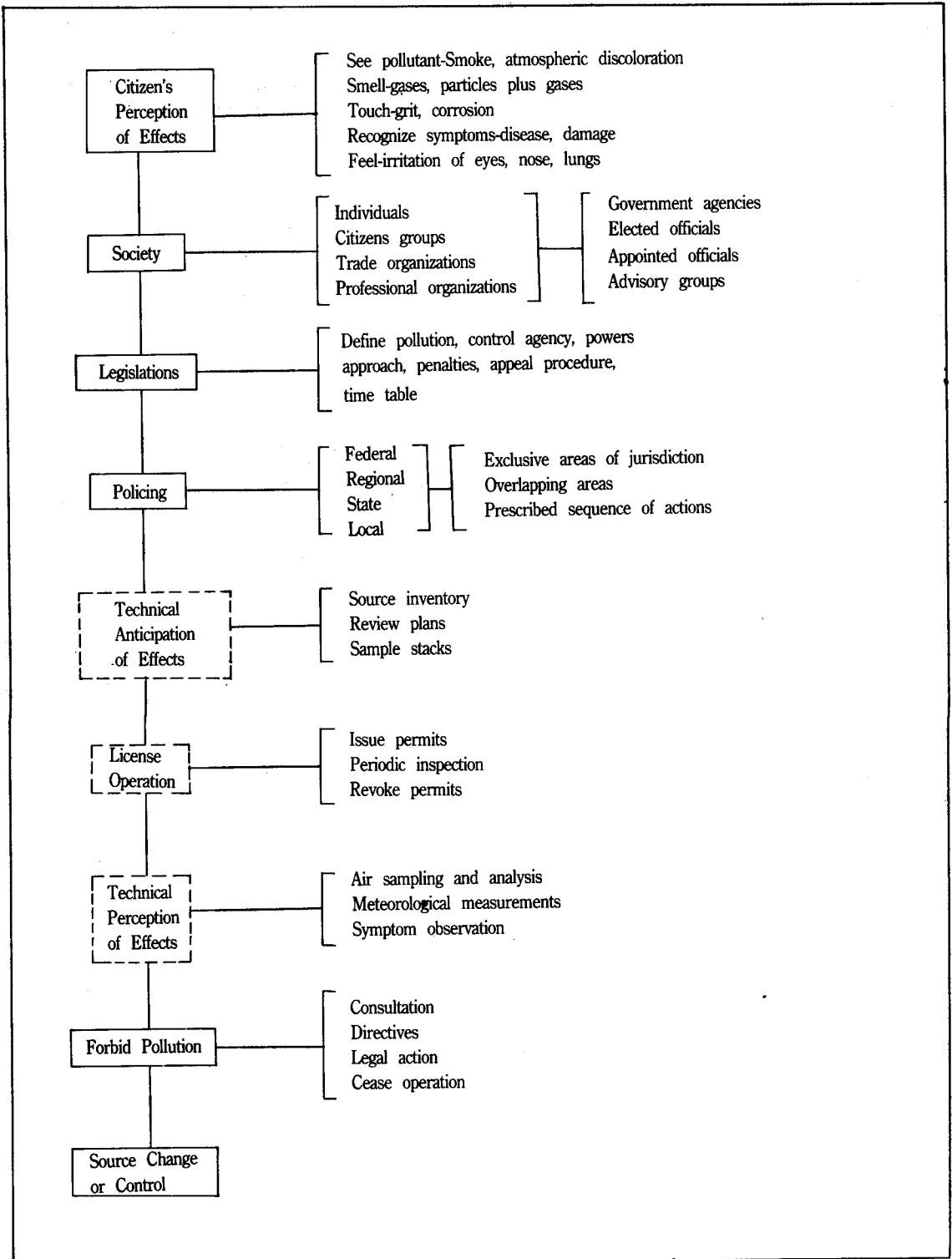


그림 2) 대기오염규제의 절차

있는 기구들이 사용되기도 하는 데, 방독면 등이나 실내공기정화기 등이 이에 속한다.

대기오염제어에 있어 중요한 또 하나의 문제는 전체제어기준이나 제어정책을 어떻게 결정하는가 하는 것에 관한 절차상의 문제인 데, 이는 직접적으로 대기오염을 처리하는 기술적 문제와 불가분의 관계에 있는 중요한 분야이다. 즉 생태계는 오염원에 대해 자정능력(Self Cleaning)이 있는 데, 위생학적으로 그 한도가 어디이고, 또 환경제어가 미치는 경제적 부담등과 결부시켜 어떤 의사결정을 할 것인가 하는 것등을 다루는 전문분야이다. 이러한 의사결정은 기술적으로 검정이 이루어진 자료를 통해 전문적인 의사결정집단에 의해서 결정이 되는 데, 이 집단의 활동결과는 그림 2에 나타난 일련의 과정대로 오염원을 인식한 후로부터 일어나는 일련의 처리과정에 대한 감독과 기술지도를 위한 관계법규의 형태로 나타나게 된다. 오염문제는 초기 개인적인 인식을 통해 이루어지지만 결과는 사회전체의 상호이익과 건강에 영향을 미치므로 사회가 기술적인 지식을 바탕으로 전체구성원의 의견이 집합된 환경관련규약을 설정하고 이를 시행하게 된다. 이러한 환경관련법규의 시행과정 중에는 오염을 일으킬 수 있는 오염시설에 대한 감독과 환경오염관련 분쟁이 발생했을 경우에 책임당사자를 구별하기 위한 활동이 포함되는 데, 확립된 환경관리 기술만이 이에 적용될 수 있다. 이에 관련한 기술로는 배연가스의 배출을 효율적으로 감시하는 장치나, 분석장비의 개발, 그리고 오염물질을 측정하는 방법의 공정성을 유지하는 기법의 개발등이 포함된다.

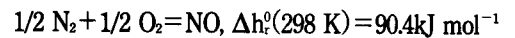
3. 대기오염제어기술

3.1. Gas오염 제어기술

a. NOx의 제어

NOx는 연소과정을 통해 대기로 배출되는 유해가스의 대표적인 물질인데, 발생과정의 해석은 제어를 위한 방법을 설정하는 데 필요 불가결한

요소가 된다. 연소과정을 통해서는 NO와 NO₂가 발생되는데 연소과정자체에서는 대부분 NO의 형태로 배출이 되어지고 대기 중에서 O₂와 결합하여 NO₂로 변환이 이루어진다. 편의상 대기 중의 질산화물을 통칭하여 NOx라고 한다. 위생학적으로는 NO₂가 더 중독성이 있는 것으로 알려져 있다. 대기 중에서 존재하는 NO는 대기중의 질소와 산소가 높은 온도에서 반응하여 발생하는 것이 대부분이며 이의 발생과정은 대략적으로



로 표현이 된다. 이 반응은 흡열반응으로서 반응 분위기가 고온일수록 정반응이 쉽게 이루어진다. 따라서 반응조건이 고온일수록 NO의 평형농도(Equilibrium Concentration)는 높아지며 이상연소비(Stoichiometric Ratio) 부근에서 반응이 최고조에 도달한다. 이에 대한 화학적인 반응구조는 Zeldovich등에 의해 보다 세밀히 규명되었다. 이러한 반응기구로 발생된 NO는 2차적으로 대기 중의 산소와 쉽게 결합하여 화학적으로 더 안정화 되어 있는 NO₂로의 변환이 이루어지는 데 이러한 일련의 과정으로 발생된 질산화물을 Thermal NOx라고 한다. 이러한 Thermal NOx는 그 발생이 온도에 지배적인 영향을 받고 있기 때문에 연소기의 적절한 설계나 운전을 통해 배출되는 Thermal NOx의 양을 대폭 줄일 수 있다. 이와 아울러 연료 중에 유기체 형태로 존재하는 질소가 연소과정에서 산소와 결합하여 질산화물이 된 것을 Fuel NOx라 한다. 일반적으로 Fuel NOx의 발생은 석탄연소의 경우에서 많이 발생되고 있다. 석탄 속에 화합물의 형태로 존재하는 질산화물이 연소과정을 통해 NOx가 된 Fuel NOx는 Thermal NOx와 달리 온도의 영향보다는 연소당량비(Combustion Stoichiometry)에 영향을 받는다. NOx를 제어하는 방법으로 가장 널리 사용되는 방법은 연소기의 적절한 변형을 통해 연소조건을 조절하는 방법으로 이 범주에 속하는 제어방법은

- 1) 저과잉공기연소(Low Excess Air)
- 2) 다단연소(Staged Combustion)

- 3) 배연가스순환(Flue Gas Recirculation)
- 4) Low NOx Burner의 사용

등이다. 이러한 방법들은 연소가 일어나는 시점에서 산소의 농도가 부족한 분위기를 만들어 질소와 산소의 접촉기회를 적게 줌과 동시에 온도를 저감시킴으로써 NOx의 발생을 줄이는 방법이다. Fuel NOx는 석탄에 많이 존재하는 질산화물이 대기 중의 산소와 결합하여 생성되는 것인데, 이런 이유로 하여 석탄연소용 열기관들에 대해 Fuel NOx에 절감을 위한 대책설계가 필요하다. Thermal NOx의 생성은 온도에 지배적으로 영향을 받으나, Fuel NOx의 생성은 반응시 연소당량비에 지배적으로 영향을 받는다. 따라서 열기관을 연소온도를 낮춤과 동시에 적절한 반응비에서 연소가 일어나도록 설계하면 NOx의 배출을 줄이는 효과를 볼 수 있게 된다. 그림 3은 미분탄(Pulverized Coal)을 연료로 사용하는 Low NOx Burner의 개략적인 설명도인데 유체역학적인 설계를 통해 연소반응을 전체적으로 감속시킨다. 이 Burner는 주 연소영역에서 Fuel-Rich 상태를 유지시켜 연료속에 있는 질소화합물이 산소와 반응시킨 후 2차 연소를 시키는 것으로 Fuel NOx와 Thermal NOx의 발생을 동시에 억제시키는 것을 목적으로 한다.

시설의 개조를 통한 NOx의 저감과 함께 병행되는 방법으로 미국 Exxon사에 의해서 개발된 SNR(Se-

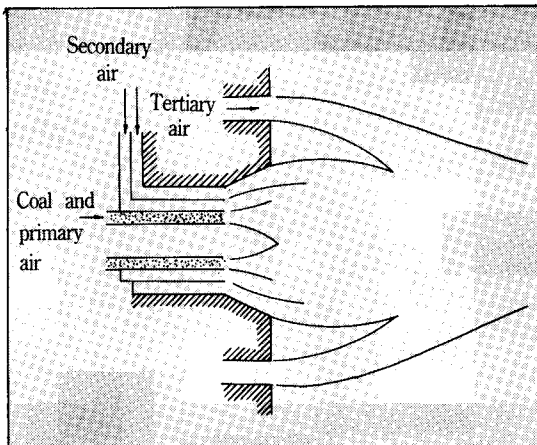


그림 3) Low NOx Burner의 개략도

lective, Noncatalytic Reduction)법이 있는데, 이는 배연가스를 처리하기 위해 암모니아를 주입하는데 질소가 산소에 비해 암모니아와 쉽게 결합하는 성질을 이용하여 NOx의 발생을 억제하는 원리를 사용하고 있다. 이 SNR법은 고효율의 NOx 제거 시설을 구성할 때 필히 고려해야 될 방법으로 떠오르고 있다. 이 방법은 현재 암모니아에 의한 2차 대기오염등의 문제로 응용성이 제한되어 있으나 기술의 개발이 따르면 상업성이 높은 것으로 평가받고 있다.

b. SOx의 제어

대기 중의 SOx는 연료중에 있는 황이 연소과정을 통해 대기로 배출된 것과 황을 사용하는 화학공정에서 배출된 것 등으로 나누어진다. 석탄이나 중유 등에는 화합물의 형태로 황이 존재하는데 연소과정을 통해 대부분 SO2로 변환된 후 대기로 배출된다. SO2 중의 일부는 SO3로 변환되고 응축되면 물과 결합하여 황산(H2SO4)으로 되어 위생학적 문제뿐만 아니라 열기관을 부식시키는 심각한 문제를 낳기도 한다. 화력 발전소 같은 대형 열기관에서 대기 중에 배출되는 황산화물(SOx)은 조업여건에 따라 다양한 형태의 제어장치를 이용하여 제거가 된다. 처리시점 기준으로 전처리방식과 후처리방식으로 분류된다. 전처리방식은 연료에 직접 황화합물을 제거할 수 있는 반응제를 혼합하여 연소 후 발생하는 재와 함께 황을 제거하여 배연가스에 포함될 수 있는 SOx 제어하는 기술을 통칭하며 후처리방식은 연소후 배연가스에 포함된 SOx를 제거하는 방식을 통칭한다. 대규모의 열기관에서 효율적인 SOx의 처리를 위해 주로 후처리방식이 통용되고 있다. 탈황을 위해 기본적으로 사용되는 방법은 산성의 황화합물을 가성소다(NaOH) 같은 알칼리성의 화합물과 반응시켜 중화처리하거나 석회석(Lime)에 같은 고형의 화합물에 흡수시켜 제거하는 방법이 주된 방법이다. 탈황시설의 중심이 되는 요소는 그림 4)에 설명된 Scrubbing Tower이다.

Scrubbing Tower에서 가장 관건이 되는 것은 Tower내에서 배연가스와 화합물의 접촉면적을 최고로 높일 수 있는 설계기술과 배연가스 중의

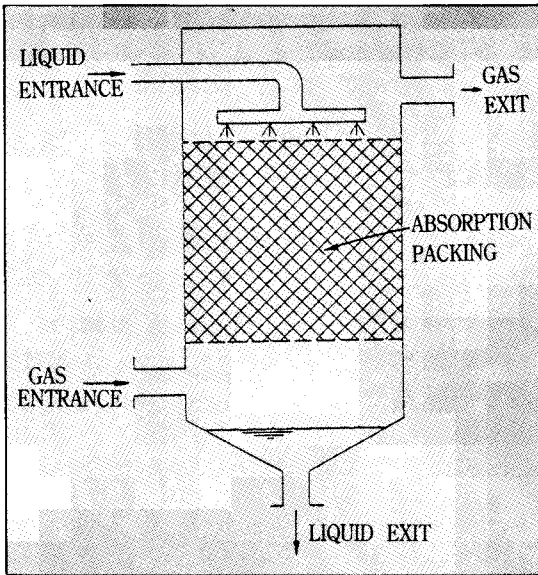


그림 4) Scrubbing Tower 개략도

황과 반응하는 반응제의 선정이다. 이 밖에 주변 시설로서는 Scrubbing 방법에 따라 수처리장치나 반응제처리 시설이 필요하게 된다. 시설면으로는 다음에 기술된 탈황시설이 사용되고 있다.

1) Lime Flue Gas Desulfurization(FGD) Process

Lime Powder를 Slurry로 제조한 뒤 Scrubbing Tower 내에서 분사시켜 배연가스내의 SOx와 반응하게 하는 방법으로 SOx와 반응한 Sludge는 여과 탈수하여 2차 오염방지 시설이 완비된 장소에 매립 처리한다.

90% 이상의 SOx 제거효율을 가지는 것으로 보고되고 있다.

2) Limestone FGD Process

Lime FGD Process와 원리 및 운전방법이 유사하나, Lime Powder 대신 Lime Stone을 사용하므로 분쇄를 위한 장치가 별도로 추가 설치된다. SOx 제거효율은 Lime FGD Process와 동일하다.

3) Dual Alkali Process

SOx를 Lime과 직접 반응시키는 대신 가성소다(NaOH) 용액을 Scrubbing Tower 내에서 Spray 시켜 SOx와 반응하게 한 뒤 SOx와 반응한 가성소다 용액을 별도의 장소에서

Lime과 반응하게 하여 SOx를 흡수한 Lime을 폐기하는 방법을 사용하며 Slurry 전달장치를 따로 설치하지 않아도 되는 장점이 있다. 아울러 재생된 NaOH 수용액은 재사용이 가능하다.

4) Dry Removal Process

Scrubbing Tower로부터 건조된 처리물이 나오는 장치를 통칭하는 것으로 습식방법에 비해 상대적으로 몇가지의 장점을 가진다. 우선 건조방법은 Sludge 등을 처리하는 별도의 장치가 필요치 않으며 부식등에 의한 장치의 손실이 상대적으로 적다. 또 SOx 처리후 발생되는 오염폐기물의 양이 적어 후처리비용이 적게 든다. 일부 연구결과는 건조방법의 에너지소비율이 습식방법의 25%에서 50%밖에 되지 않는 것으로 보고하고 있다. 상업적 응용이 광범위하지 않은 상태이며 일반적인 결론을 얻기 위해 더 많은 연구가 필요한 공정이다.

5) Fluidized Bed FGD Process

Lime을 유동층으로 만들어 SOx의 반응을 촉진시키는 장치로서 제한적인 사용영역을 가진다. Lime과 SOx의 접촉면적을 최대한으로 할 수 있는 장치이다. 개발이 초기단계에 있으며 상업적 응용을 위해 광범위한 연구가 진행중이다.

이와 함께 화학적으로 SOx를 효율적으로 흡수시킬 수 있는 화학물질이 다양하게 개발되고 있는 데, 최근에 산화구리(CUO)를 기본물질로 하는 흡수제(Sorbent)가 사용되어 배연가스중에 포함된 SOx와 NOx를 동시에 제거하는 기술이 보고되고 있다.

c. CO 및 탄화수소의 제어

대기로 배출되는 CO는 불완전한 연소로부터 기인하는 데, Fuel-Rich 상태의 연소조건이 지속되거나 연소진행단계에서 냉각이 이루어질 경우 CO의 배출이 심해진다. 내연기관에서 배출되는 CO의 농도는 주로 두가지 원인에 의해 발생될 수가 있는데 그 중 하나는 연소가 단시간에 이루어져 산소와 접촉할 충분한 시간을 갖지 못함에 기인한다. 내연기관연소에서 CO는 탄화수

소계통의 연료와 산소가 결합하여 CO₂와 H₂O를 생성하는 화학반응의 중간생성물인 데, 연소도중에 중간생성물로 제조된 CO가 산화되어 CO₂로 될 충분한 반응시간을 갖지 못하면 CO가 대기중에 그대로 배출이 된다. 이런 현상은 엔진의 고부하 운전시 두드러지게 나타난다. 실린더 내에서 빠르게 진행되는 화염이 실린더 벽근처에서는 벽면에 의한 냉각효과에 의해 더 이상 진행되지 못하는 현상이 발생되는데 벽으로의 열전달에 의한 이런 미연소영역을 Quench Layer라고 하는데, 그림 5에 보인 Quench Layer의 존재는 냉각에 의한 CO 배출의 상승과 미연탄화수소 배출의 원인이 된다. 결론적으로 탄화수소계통의 연료를 사용하는 열기관에서 CO의 배출과 미연탄화수소의 배출은 비례관계가 있는데 연소조건을 개선하므로써 해결될 수가 있다. 이 CO와 미연탄화수소의 저감대책은 에너지절감의 문제와 직접적으로 연결이 되는데, 연소가스 재순환등의 기법을 사용하여 대기 중으로의 배출을 제어한다. 이 밖에 전기자동차의 개발등을 통해 근본적인 배출을 없애는 방법이 사용될 수 있다.

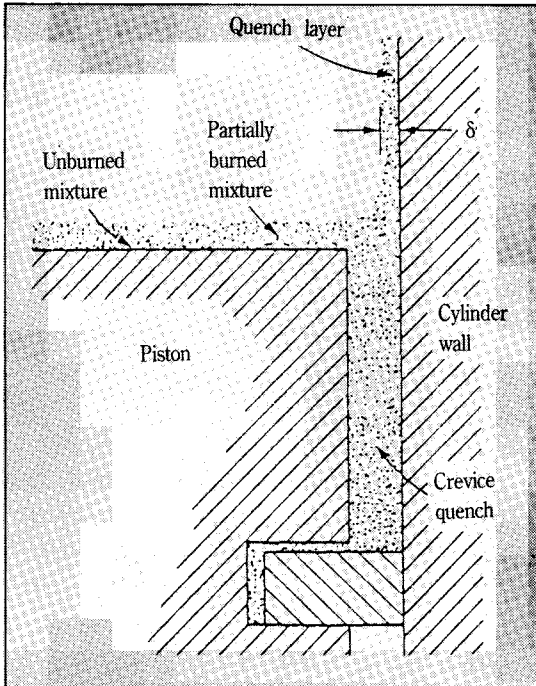


그림 5) 실린더 내에서의 Quench Layer

대기중에 배출되는 탄화수소계통의 기체는 서두에서 밝힌 대로 광학적 Smog의 주요원인이 되며, 일반적으로 중독성의 냄새를 가진다. 휘발성의 용제를 사용하는 산업시설로부터 대기 중에 배출되는 탄화수소는 주로 소각을 통해 제어하는데, 그림 6과 같은 배연처리시설이 이용된다. 이 시설은 대규모로 배출되는 휘발성 유기기체를 재소각시켜 탄화수소에 의한 대기오염과 에너지 회수를 목적으로 한다. 이밖에 탄화수소계통의 기체를 제어하기 위해 흡착을 이용한 제어방법을 사용하는 데 이를 위해 활성탄 같은 흡착제가 사용된다.

3.2. 분진제어기술

대기중에 존재하는 분진은 연소과정이나 기계 가공 같은 활동을 통해 발생하는 분진과 대기중에 존재하는 오염 Gas들로부터 2차 변환이 이루어져 발생하는 분진이 있다. 분진의 제어를 위한 기술 적용은 분진의 종류나 크기에 따라 달라지는데, 제어대상 분진입자의 크기에 절대적으로 의존한다. 조건에 따라 다르지만 대체로 0.1 μm 이하의 입자들은 확산운동(Diffusional Motion)에 절대적인 영향을 받고 1 μm 이상의 입자들은 관성의 영향에 지배된다. 이러한 현상은 그림 7로 설명이 되는데, 실린더형의 통로에 여러 크기의 입자를 공기에 실어 보내면 그림에서처럼 확산운동과 관성의 영향으로 크기별로 입자들에 대한 벽면 부착율이 달라진다.

이러한 결과는 반대로 대기중에 있는 부유분진의 평균적인 입자분포를 예측 가능하게 하는데, 그림 7에서 나타난 포집효율이 낮은 크기의 입자들의 대기중 농도가 높을 확률이 높다. 분진 제어측면에서도 그림 7에서 일어나는 현상이 응용되고 있다. 분진을 포함한 기체의 물리적 조건에 따라 다르지만 앞에서 설명한 대로 0.1 μm보다 작거나 1 μm보다 큰 입자의 분진은 Fabric Filter를 이용해 효율적으로 제어될 수 있고, 이와 아울러 보다 큰 입자들은 원심분리법을 이용하는 Cyclone 같은 기계적인 기구들을 이용하여 효율적으로 제어될 수 있다. 이러한 제어기구들은 0.1 μm과

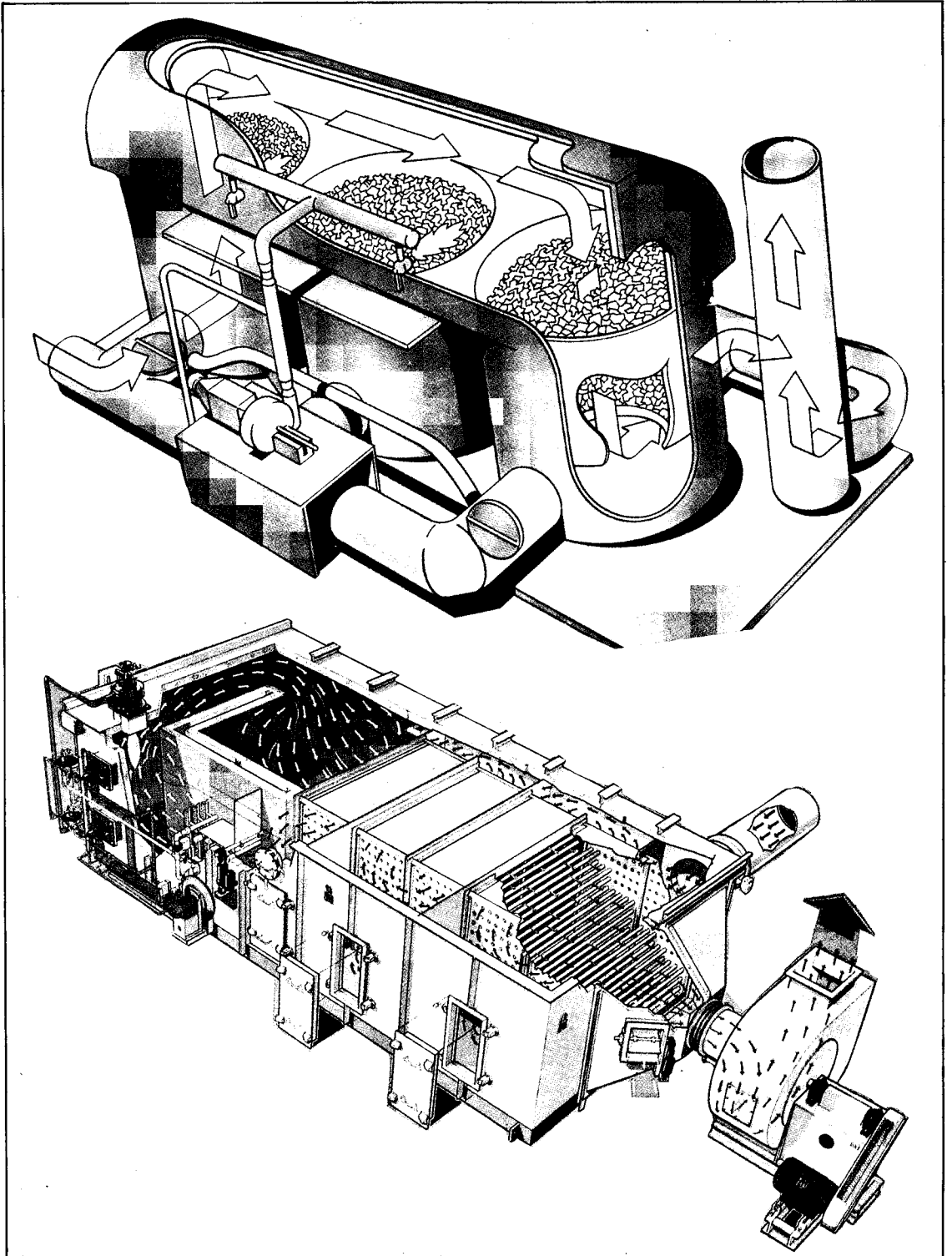


그림 6) 휘발성 탄화수소 처리시설

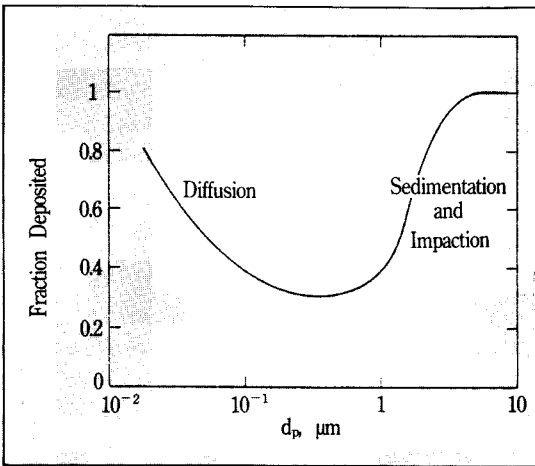


그림 7) 실린더형의 통로를 지나는 입자의 출착효율

1 μm 사이의 크기를 가지는 분진의 제거에는 효율적이지 못하다. 이런 중간크기의 입자들은 전기집진기(Electrostatic Precipitator)를 이용하여 효율적으로 제거될 수 있다. 전기집진기는 1차로 제어대상 분진에 임의로 일방향성의 전하를 부가시키고 2차적으로 이 전하를 띤 분진입자를 전기장이 설정된 영역으로 보내 전기장이 걸린 집진판에 부착시켜 분진을 제거한다. 이 전기집진기는 분진제거를 위한 가장 효율적인 방법으로 사용 개발되고 있다. 일반적으로 분진을 제어하기 위해 사용되는 기구에서는 여러가지 현상이 복합적으로 일어나는 데, 이러한 현상의 종합적인 해석이 효율적인 분진제어의 관건이 된다. 제어대상 분진입자가 제어기기로 처리하기 어려운 입자분포를 가질 때는 입자의 크기를 증가시키기 위해 Condensation이나 Coagulation등의 현상을 이용하여 입자의 크기를 조절한 후, 제어기기를 사용하는 방법이 사용되기도 한다. 다음은 분진제거를 위해 사용되는 물리현상에 대한 요약이다.

- 1) Gravitational Sedimentation
- 2) Centrifugal Deposition
- 3) Inertial Impaction
- 4) Brownian Diffusion
- 5) Thermophoresis
- 6) Diffusiophoresis
- 7) Electrostatic Precipitation

- 8) Condensation on Particle
- 9) Coagulation

4. 대기오염관리기술

대기에 배출된 대기오염물질의 확산을 예측하고 그것을 감시하는 일련의 과정은 대기오염제어기기를 사용하여 대기오염물질을 제거하는 활동과 더불어 중요한 의미를 가지는 데, 이와 관련된 기술을 대기오염관리기술이라 한다. 이 분야는 대기오염상태를 평가하고 대기오염방지를 위한 정책 및 규제조치를 하기 위한 자료를 제공하는 활동들이 포함된다. 이 분야의 활동에 의한 결과는 새로운 산업시설이 건설되는 지역에 대해 새로운 시설로 인한 환경영향평가를 가능하게 하고 또 건설된 후에 그 지역에 혹은 주변지역에 대해 지속적으로 환경적 위해 요소가 될 것인지 감시하는 것을 가능케 한다. 기술적으로는 대기오염예측기술과, 관측기술이 포함되는 데, 이에 대한 설명이 따른다.

a. 대기오염의 예측

새로운 산업시설이나 도로의 설치에 주위환경에 대한 오염원으로 등장하게 된다. 즉 산업시설은 고정적이면서 지속적인 대기오염원이 될 수 있고 또 도로는 연속적으로 지나 다니는 자동차의 배출가스로 인해 도로전체가 연속적으로 연결된 오염원으로 생각되어질 수 있다. 이러한 이유로 인해 산업시설이나 도로등은 그것의 설치로 인한 환경영향평가를 거쳐야 하는 데, 이러한 평가를 통해 시설물들의 설치가 환경적으로 문제가 될 때는 재배치등의 작업을 시행한다. 일반적으로 산업시설주위나 도시의 대기오염수준은 허용한도치에는 도달하지 않았더라도 어느정도 오염되어 있는 상태인 데, 이러한 지역에 새로운 산업시설이나 도로등을 설치했을 때는 시설물 그 자체가 오염기준 이하로 대기오염물질을 배출하더라도 그 지역자체는 새로운 오염원으로 인한 중첩효과로 오염이 허용치 이상이 된다. 이런 경우 시설물이 설치전에 사전평가작업을 통해 시설을 재배치하므로써 오염시설 집중화로 인한 환경오염의 심

화를 방지한다. 이러한 시설 재배치의 결정은 오염분산예측이론에 입각한 연구를 통해 결정될 수 있다. 이러한 기술분야의 발전은 환경정책결정자의 의사결정을 도와 줄 뿐 아니라 미래의 환경관련 정책을 결정하는 중요한 기술분야가 된다. 이러한 예측이론은 미국 EPA 등에서 환경정책을 수립하기 위해 광범위하게 개발하였으며 그 효용성이 많이 입증되었다. 대기오염의 확산은 일반적으로 Dispersion Model과 Receptor Model로 대별되는 데, 이에 대한 개략적인 설명은 다음과 같다.

1) Dispersion Modeling

대기중에 배출된 분진이나 오염 Gas는 대기의 난류유동의 영향으로 여러지역으로 확산되어 간다. 이러한 오염물질의 확산은 유체역학적 방법 즉 대기유동에 대해 Navier-Stokes 방정식을 풀어나가는 방법이 생각되어 질 수 있는 데, 경계조건의 설정이 어렵고 한가지의 경우에 적용된 방법이 다른 경우에 직접 적용될 수 없는 문제점이 있어 현실적으로는 응용 가능한 문제의 접근법이 되지 못한다. 이러한 방법외에 실제적으로 적용되는 두가지 Model은 Gradient Transport Model과 Gaussian Model이라고 불리는 통계적인 방법이 있다. Gradient Transport Model은 확산이론에 근거를 두는 것으로 대기내에서 고정점에서 확산은 그곳의 오염물질의 농도 구배에 비례한다는 원칙을 적용하여 개발된 확산 Model이다. 반면에 Gaussian Model은 오염물질의 중심이 대기유동을 움직인다고 가정하고 움직인 대기오염물질의 중심으로부터 확산 진행되는 것을 Modeling한 것이다. Gradient Transport Model의 경우 오염물질의 대기에 대한 확산계수가 일정하지 않고 그 값을 결정하기 어려운 문제점으로 인해 일반적인 사용에는 제한이 있다. 일반적으로는 Gaussian Model을 바탕으로 하는 확산 Model이 통용되고 있다. 이에 속하는 Model은 미국에서 개발한

- 1.1) Climatological Dispersion Model
- 1.2) Industrial Source Complex Model
- 1.3) Single Source Model

14) Line Source Model

15) Valley Model

등이 있는 데, 이들은, 미국 EPA에서 정한 규칙에 따라 오염확산예측에 사용되고 있다.

2) Receptor Modeling

산업시설로부터 배출된 대기오염물질은 지표면에 최종적으로 흡수되는 일련의 과정을 거치는 데, 이러한 오염물질의 확산이 이루어진 곳의 토양 Sample을 채취하여 그 곳에 함유되어 있는 원소성분의 분포상태로부터 어느 오염시설이 Sample 채취지역의 오염에 영향을 주었나 하는 것을 분별해 내는 기법이 적용된 Model이다. 예를 들어 토양속에 특정 산업시설에서만 배출될 수 있는 화학성분이 존재하고 또 그 함유량이 화학적인 분석을 통해 결정되었을 때 그것이 어느지역에 위치한 어느 산업시설로부터 기인되었는가를 하는 것을 알아내는 것과 또 서로 떨어져 있는 같은 종류의 여러개의 산업시설이 Sample 채취지역에 얼마나 영향을 더 주었는가를 하는 것등을 판별하는 기법이다. 이는 Dispersion Model이 Source Point로부터 Sample Point에 어떤 환경적 영향을 미칠 것인가 하는 것을 예측하는 기법과는 달리, Receptor에서 얻어진 결과로부터 오염원을 추정해 가는 방법이다. 광범위한 화학적 분석이 수반된다. 미국 EPA에서 인정하는 대표적인 Model인 CMB(Chemical Mass Balance) Model이 있다. 비교적 최근에 활발히 발달 응용되고 있는 기술이다.

b. 대기오염의 관측 및 분석

대기오염물질의 배출을 정확히 측정하는 일은 대기오염상태의 개선정도나 대기오염법규의 실천 여부를 감시, 감독하고 종합적인 오염정책을 수립하는 자료를 제공하는 목적으로 중요성을 가진다. 대기오염분석에는 거의 모든 화학분석기가 선정 사용될 수 있지만, Gas 분석용으로 IR(Infrared), UV(Ultraviolet), GC-MS(Gas Chromatography-Mass Spectrography), GC-EC(Gas Chromatography-Electron Capture), GC-FID(Gas Chromatography-

Flame Ion Detection), LC(Liquid Chromatography), AA(Atomic Absorption) 등이 주로 사용되며, 분진용으로는 OPC(Optical Particle Counter), Cascade Impactor, PM(Primatter Matter)-10 Sampler 등의 함량측정기와 원소분석을 위한 원소분석기기가 사용된다. 분석기를 사용하는 방법이나 대기오염 물질을 채집하는 절차는 기술적으로 검정이 된 방법을 사용해야 하는 데, 이러한 절차상의 규정을 설정하는 것을 Quality Assurance라고 한다. 이러한 Quality Assurance에서 무엇보다 중요한 것은 현장에서 측정하는 사람이 절차를 잘 인식하고 시행하는 것인 데, 예를 들어, SOx를 측정할 때는 측정 중에 응축이 일어나지 않게 하여 측정오차를 줄인다던가 또 분진측정시 측정되는 동안 분진의 손실이 없게 하여 오차를 줄이는 등이 이에 속한다. 이 Quality Assurance에 포함되는 작업으로는 직접적인 Sampling 절차 외에 측정장비의 보정(Calibration)절차 등이 포함된다. 대기오염의 측정에는 가장 문제가 되는 것이 측정결과의 객관성을 유지하는 것과 측정오차를 줄이는 것인 데 이러한 문제점을 개선하고자 하는 노력이 측정장비의 개선을 통해 나타난다. 물리화학적인 원리를 이용한 측정장비의 개발이 계속되어야 하고 기존 장비의 개선이 이루어져야 한다. 대기오염에 사용되는 측정 및 분석장비는 적용의 특수성문제로 계속 개발이 진행되고 있는 분야이다. 이러한 오염원에서의 측정작업외에도 그러한 자료를 분석 종합하는 기법의 개발도 중요한 문제가 되는 데, 통신시설이나 대형 Computer를 이용한 원거리측정법과 자료분석의 기법이 국가적으로 추진해야 할 과제에 속한다.

5. 결 론

이상으로 대기오염제어기술분야에서 다루는 기술분야를 검토하였다. 각 세부분야는 국내실정으로 보면 대부분 선진국에 비해 기술수준이 하위에 있다. 대기오염제어기술분야는 독립적인 기술개발도 있지만 대부분 기존의 개발된 장비나 기법을 이용하고 이를 종합적으로 이용하는 분야이므로 각 세부분야를 전문적으로 개발할 수 있는 집단의

선발과 이를 종합적으로 조합할 집단간에 상호 협력이 무엇보다 중요한 분야이다. 이 분야의 발전을 위해서는 국가적인 계획의 설립과 이를 효율적으로 실행할 전문기술집단의 역할이 중요하다고 볼 수 있는 데, 시기적으로는 다른 기술분야와 마찬가지로 선진국들에 비해 출발이 늦었지만, 기존에 국내에 발달된 기술의 전용과 신기술의 개발에 대한 노력으로 그 발전속도를 가속화시킬 수 있으리라 생각한다. 서론에서 예를 든 것처럼 대체 CFC 물질은 환경개선을 위한 목적으로 개발된 물질이지만 결과적으로 상업적 목적이 더 강한 제품이 되었다. 이러한 예는 기술분야에서 선도적 역할을 하지 않으면 종속의 입장에서 벗어나지 못함을 보여주는 것인 데, 국내의 환경산업도 본래의 목적인 환경개선에 기여할 수 있을 정도로 개발되지 못하면, 환경문제 이외에도 조만간 상업적인 목적을 등에 업은 환경기술 보유국에 기술적으로 종속적 입장이 될 것이 예상된다. 이러한 향후 문제를 고려하여 현재 개발 가능한 환경관리기술에 더 많은 투자가 필요하고, 아울러 신기술개발도 병행해야 되는 데, 이러한 환경관리기술의 큰부분을 차지하는 대기오염제어기술분야에 대한 연구투자도 일정수준에 도달할 때까지 여타의 환경관리분야처럼 집중적이고 지속적으로 진행되어야 한다.

참 고 문 헌

- [1] Environmental Progress and Challenges : EPA's Update, EPA-230-07-88-033 U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C., 1988.
- [2] Calvert, S., and Englund, H.M., Handbook of Air Pollution Technology, Wiley, New York, 1984.
- [3] Flagan, R.C., and Seinfeld, J.H., Fundamentals of Air Pollution Engineering, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1988.
- [4] Kim, S.S., Characterization and Fundamental Studies on CUO Sorbent Materials to Determine Attrition Mechanisms on Substrate Gamma Alumina, DOE/PC/91011278, U.S. Department of Energy, Pittsburgh, 1990.

- [5] Turner, D.B., Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates, U.S. Department of Health Education and Welfare, Cincinnati, 1969.
- [6] Air Quality Handbook, 10th, ENSR Consulting and Engineering, Acton, 1988.
- [7] Liu, B.Y.H, Raabe, O., Smith, W.B., Advances in Particle Sampling and Measurement, Environmental Science and Technology, 392-397, 14(4), 1980.
- [8] Strauss, W., Industrial Gas Cleaning, Pergamon Press, Oxford, 1976.
- [9] Friedlander, S.K., Smoke, Dust and Haze, Wiley, New York, 1977.
- [10] Rossano, A.T., Air Pollution Control : Guide Book for Management, E.R.A. Inc., Stamford, 1969.