

Chapter 1 An Overview

1.1 introduction

1.2 Definitions and Types of pollutants

대기오염 : 실외대기에 존재하는 한가지 또는 그 이상의 다량의 오염물이 인간의 건강과 복지, 동식물의 생존, 소유나 오락을 포함한 삶의 즐거움을 방해하는 것

다양한 대기오염물질중에서 다량으로 방출되거나 위해성이 높은 것을 보다 중요한 오염물로 간주함.

○ NAAQS's six criteria air pollutants

- primary : SO_x, NO_x, CO, PM₁₀, Pb

- secondary : O₃ (지표부근과 성층권 구별)

※ criteria pollutant (기준오염물) : 환경오염 정도를 판단할 수 있는 오염물로서 사람에게 대한 영향, 동식물에 대한 영향, 물질 및 재산에 대한 영향 및 사회적인 영향에 대한 과학적 입증자료가 있는 물질로 선정. 이러한 것을 토대로 배출허용기준치(emission standard)를 결정

※ primary pollutant : 오염원으로부터 직접적으로 배출되는 물질; SO_x, NH₃, NO, HF, HCl, H₂C.

※ secondary pollutant : 1차 오염물과 청정한 대기성분들의 반응에 의하여 생성되는 오염물; Salt particles, H₂SO₄, NO₂, O₃, (NH₄)₂SO₄, PAN,

※ VOC's : 기준오염물질은 아니지만 2차 오염물질의 농도를 증가시키는데 중요한 역할을 하는 물질로 인식;

- 비교적 큰 증기압

- 일반적으로는 수소와 탄소로 구성되나, 알데하이드 케톤 염소계 등을 포함한다.

※ 염소계유기화합물 : 다이옥신류, 소결기에서 발생하는 양이 소각로 200개의 소각로에서 발생하는 양과 유사.

◎ 다이옥신의 구조식과 TEQ.

※ 후진국에서의 오염기여도 증가

중국 - 산을 절단, 멕시코 노을의 아름다움 속에 감추어진 비밀
인도어린이 혈액속의 Pb농도 : 뇌에 문제발생.

○ Scales of the Air Pollution Problems

1. local scale

- 한 두군데의 대규모 배출원 또는 다수의 소규모 배출원
- 5km 정도에 걸쳐서 오염문제 야기.
- 대형발전소, 대규모빌딩의 연소로, 오토바이에서 발생하는 CO

2. urban scale

- primary pollutants 에 의한 오염
- secondary pollutants 에 의한 오염
- 50 km 정도에 걸쳐 오염발생

3. regional scale

- 장거리에 걸쳐서 1차 오염물의 전환에 의하여 발생
- SO₂산화에 의한 SO₃ 발생
- dry deposition : visibility reduction
- wet deposition : acid rain problem → 토양의 acid leaching
→ 호수의 물고기 떼죽음
- 500 km 정도에 걸쳐 발생

4. global scale : worldwide

- Ozone depletion
- global climate change

◎ 오존층 파괴와 CO₂에 의한 지구 온난화.

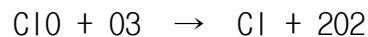
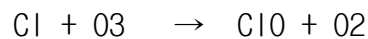
1.3 Pollutants of Global concern

Ozone depletion

- O₃ : 성층권에 존재, 자외선 차단 (자외선 노출시 피부암 증가)
CFC 에 의한 파괴로 남극 상공에 커다란 Ozon Hole 발생.
(1985년에 발견)

※ CFC's (Chlorofluorocarbon 또는 Freon) : General Motors에서 가정용 냉방기의 냉매로 사용하고자 개발되었음. 매우 안정된 물질로 알려짐. 수소 이온을 갖고 있지 않아서 OH radical에 의한 파괴가 일어나지 않음. 단지 UV에 의하여 파괴되어 Cl radical을 형성함.

○ CFC's에 의한 오존파괴 메카니즘



○ 몬트리올의정서 (1987) : CFC 감산일정 합의, 그러나 이미 방출된 CFC에 의한 오존층의 파괴는 지속될 것으로 예상됨.

Global climate change

○ 해수면 상승, 사막화, 급격한 기후변화강도의 증폭..

○ 오존층 파괴에 대한 공학적 해결과는 차원이 다른 문제로 보다 체계적인 접근방안이 마련되어야 함.

○ 천연온난효과 (natural greenhouse effect)의 부정적인 발전에 의하여 발생

※ Greenhouse effect : 태양은 단파복사를 하고 지표는 장파복사를 하게 되는데 이때 대기중의 가스성분에 의한 장파복사 방해에 의하여 대기중의 온도가 증가하게 되는 현상.

○ 각 행성의 온난효과에 의한 온도상승분

화성: 3°C(대기없음); 지구: 33°C (대기층); 금성: 468°C (CO2층)

※ 지구의 경우 온난효과를 계산해보면..

$$\begin{aligned} \text{Heat Input} &: \pi/4 \cdot D^2 \cdot \text{Flux} = \pi/4 \cdot (12.75 \cdot 10^6 \text{m})^2 \cdot 1.353 \text{kW/m}^2 \\ &= 1.73 \cdot 10^{14} \text{kW} \end{aligned}$$

$$\text{Heat Output} : \pi \cdot D^2 \cdot \sigma \cdot T^4 = \pi \cdot (12.75 \cdot 10^6 \text{m})^2 \cdot 5.672 \cdot 10^{-11} \cdot T^4$$

Heat Input 은 절단면에 대하여 Output은 구의 표면에 대하여 계산

이것을 온도에 대하여 풀면 $T = 5 \text{ }^\circ\text{C}$

실제로는 Heat Input 이 구름이나 기타 여러 가지 요인에 의하여 70% 정도

만이 들어오므로 0.7을 곱하여 계산하면 -19°C 정도가 된다.
결국 지표온도가 15°C 정도가 됨을 고려하면 34°C 정도가 상승하게 됨.

- 온난효과의 원인
 - 많은 양의 CO_2 배출 : 기여도 (연간 55억톤)
 - 산림파괴와 같은 Biomass의 : 기여도 (연간 10억톤)

- 지구온난화의 증거
 - AGT(Average Global Temperature)의 상승 : 100년간 $14.5 \rightarrow 15.5$
 - 대기중의 CO_2 농도분석 : 빙하의 경우 288ppm으로 거의 일정
 - : 1900년경 300ppm 수준
 - : 1958년 이후 310ppm에서 360ppm 증가

- 온난화 원인물질
 - CO_2 (57%), CFC(25%), CH_4 (12%), H_2O (6%)

What can we do?

- 공학적 기술개발 \rightarrow C1 chemistry, CO_2 recycling
- Carbon Tax를 포함한 전세계적인 노력.

1.4 Legislative and Regulatory Trends in the United States

- 시카고 신시내티에서의 매연방지법 (1881) : 1912년까지 미국 대부분의 도시에서 채택
- LA 광화학스모그 : 1946년에 대기오염규제지구로 선정됨.
- 1940 - 1950년 초반 : 도노라시의 사고(1948), 런던사고(1952)

미국연방법률

- 1955년 : Air Pollution Control Act of 1955
 - 국가적 대기오염 연구자금 지원, 기술적 보조 자금 지원

- 1963년 : Clean Air Act
 - 국가적 연구사업비를 포함한 외부연구자금 지원
 - 주정부간 대기오염문제 해결을 위한 연방정부 권한 인정
- 1965년 : Motor Vehicle Air Pollution Control Act (MVAPCA)
 - 신규차량에 대한 규제
- 1967년 : Air Quality Act
 - 방제장치 이용을 강제할 권한 부여
 - 기술주도 법률 (규제기준이 현행기준보다 앞서야 함)
- 1970년 : Clean Air Act Amendment of 1970
 - EPA신설
 - 1975년까지 청정공기 달성을 위한 기준과 목표달성 예정표
 - NOx 에대한 계획을 세웠으나 미달성.
- 1977년 : Clean Air Act Amendment of 1977
 - 주요 항목별로 11개의 개별 title 작성
 - 보다 구체적이고 엄격한 법률
 - title 1 : NAAQS 조건을 만족하지 못할 경우 다양한 저감 노력을 부과하는 내용에 대한 법률
 - title 2 : 이동오염원에 대한 법률
 - title 3 : Air toxics (대기독성물질)
 - 189개의 HAP (hazardous air pollutants) 결정
 - title 4 : acid deposition
 - 화력발전소로부터의SO2 배출농도 저감노력
 - title 5 : 배출시설의 운영허가계획
 - title 6 : 성층권 오존보호관련법

한국의 법률제정

- 1963 년 : 공해방지법 공포
- 1971 년 : 공해방지법 제정
- 1977 년 : 환경보전법 제정
- 1980 년 : 환경청 발족
- 1990 년 : 대기보전법 제정

※ 영국이 가장 먼저 대기오염방지법을 제정.

1.5 The Ideal Gas Law and Concentration Measurements in Gases

- ideal gas law : $PV = nRT$
 - 공기의 경우 이상기체로 가정하여도 무방
 - 이상기체의 정의 : mass 가 없고, 분자간 상호작용이 없고, ..?
- $PV = (M/M_w)RT$, M : mass of material, M_w : molecular weight
- mass density of ideal gas
 - $\rho = M/V = PM_w/RT$
- 대기오염의 측정단위 : ppm (parts per million), $\mu\text{g}/\text{m}^3$
 - $\text{ppm} = (\text{오염물의 부피}/\text{혼합가스의 부피}) \times 10^6$
 - (예제 1-5) : ppm 정의의 하변은 항상 혼합가스의 부피
 - 대기오염 부문에서의 기준상태 : 25 °C, 1기압
 - ppm과 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 는 이상기체방정식에 의하여 상호 관련된다.
- ppm 과 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 관계식 유도

- 예제 [1-6] 유도된 공식을 사용하는 문제

1.6 Other Application of the Ideal Gas Law

- gas sampling

- 유량측정
- 성능검사시 낮은 제거효율을 보이는 경우에 있어서 많은 부분이 가스농도 측정방법에 문제가 있는 경우가 많으며 아래의 이유에 의해서 발생됨.
 - 장치 calibration
 - leak
 - sample handling (absorption, condensation of pollutants)
 - 포집된 가스의 대표성 문제
 - 측정 공정의 흔들림
 - 예제 [1-7] : 이상기체상수 R 의 단위환산문제
 - 예제 [1-8] : 공기의 평균분자량을 구하는 문제.
 - 예제 [1-9] : 공기의 밀도를 구하는 문제 (두 가지 방법)

1.7 Gas Flow Measurement

- $PV/T = P'V'/T' = nR = \text{constant}$
- 가스의 농도는 온도변화에 따라서 변화하지 않음.
그러나 가스내에 수분이 존재하였다면 dry gas base로 환산을 하여야 하므로 농도의 변화가 발생하게 된다.
그러나 분자의 농도는 온도변화에 따라서 변화하게 됨.
 - 예제 [1-10] : 가스포집장치에 대한 설명부과하고 풀어줄것.
 $PV/T = P'V'/T' \therefore V' = V \times P/P' \times T'/T$
 - 예제 [1-11] : 가스포집시 수분이 존재하면 dry gas base 로 보정을 해야함
 - 예제 [1-12] :

○ Bernoulli Equation

$$dp/\rho + g dz + 1/2 d(u^2) = 0$$

비압축성 유체라고 가정하고 마찰력을 무시하면

$$P_1/\rho + gZ_1 + 1/2 u_1^2 = P_2/\rho + gZ_2 + 1/2 u_2^2$$

○ 벤츄리메타

$$u_2^2 - u_1^2 = 2(P_1 - P_2)/\rho_1$$

$$u_1 = B_2 u_2 \quad B_2 = (D_2 - D_1) \text{ mass conservation}$$

$$u_2 = \frac{1}{\sqrt{(1 - B_4)}} \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho_1}}$$

위의 식은 venturi meter 내에 friction loss 가 전혀없다는 것을 가정한 것이나 실제의 venturi meter 는 어느정도의 friction loss 가 존재하게된다. 그러므로 위의 식은 경험상수 C_v 를 포함하는 아래의 식으로..

$$u_2 = \frac{C_v}{\sqrt{(1 - B_4)}} \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho_1}}$$

여기서 C_v 는 일반적으로 0.98 ~ 0.99 사이의 값을 갖으며, $D_2 < D_1/4$ 이하이면 B_4 값은 거의 1.0에 가까워진다.

이러한 venturi meter를 이용하려면 앞서 언급한 압력손실이 작아야 한다. 일반적으로 ambient gas monitoring : 1.5 psi 이하, stack sampling 의 경우 $(P_1 - P_2) < 10\%$ of P_1 .

○ venturi meter 의 단점

- expensive
- relatively inflexible for changing flow rate
(정해진 venturi 용량에서 유량이 늘면 압축성이 될 수 있음.)
- large space

○ Orifice meter

○ Rotameter

○ Pitot tube

1.8 Causes, Sources, and Effects

Particulates

○ Causes

- materials handling : 파쇄, grinding, dumping
- combustion process : fly ash, unburned carbon, soot
- gas conversion process : condensation, oxidation

○ Sources

- coal or oil-burning power plant
- 연소로
- 자동차

○ Effects

- reduction in visibility (smog, haze)
- corrosive or erosive damage의 가속화
- 지역적인 눈비의 증가를 가져옴.
- 기관지 손상 : 0.1 ~ 10 μm (폐에 deposition \rightarrow 손상)
0.1 μm 이하는 확산에 의한 기관지내 확산 \rightarrow 걸러짐.
10 μm 이상은 코털이나 기관지 점막에 의한 차단 \rightarrow 배출
- PM10의 주요 5개성분 :
탄소함유물, 질산염, 황산염, 암모늄염, 토양성분
- 가스상과 결합하여 더욱 큰 위해도를 갖음 : 런던사고.

※ corrosion/erosion 의 차이점

corrosion : 전기화학적인 부식; erosion : 물리적 마모 (풍화)

◎ 가시도감소 (Visibility reduction)

- 작은 입자들에 의한 빛의 scattering과 absorbing에 의하여 발생
- $C = C_0 \exp(-\sigma d)$
here C = apparant contrst at distance d
 C_0 = actual contrst at zero distance
 σ = extinction coefficient (소광계수)
 d = distance
- 한계가시거리 d_v : 한낮 가시대조의 한계점에 이를때까지의 거리
- C/C_0 의 한계점 : 0.02, 이수치를 기준으로 한계가시거리를 풀면

$$0.02 = \exp(-\sigma d) \quad \therefore dv = 3.91/\sigma$$

- 빛의 산란은 입자크기의 함수이며 빛의 산란에 가장 큰 영향을 주는 입자크기는 0.1 ~ 1.0 μm 임.
- $\sigma = \sigma_s + \sigma_a$ 이며 σ_s 는 σ_a 와 크기가 비슷하다.
- $\sigma_s = a + b(C)$
 - here $a = -1.5 \times 10^{-2} \sim -6.1 \times 10^{-2} \text{ km}^{-1}$
 - $b = 2.0 \times 10^{-3} \sim 3.6 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{km}-\mu\text{g}$
 - C : mass concentration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

SO_2 (황산화물)

- 황산미스트 : SO_2 산화에 의한 $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ 의 반응에 의하여 발생.
- 아황산가스에 의한 피해
 - Chlorosis (황백화)
 - 잎세포의 조직붕괴
 - 맛의 한계치 : 0.3 ppm, 냄새의 한계치 : 0.5 ppm
 - 도노라사건, 런던사건

NO_2 (질소산화물)

- 연소조건에 따라 발생량 변화
 - thermal NO_x , fuel NO_x , prompt NO_x
- $\sigma_a = \sigma_{sp} + \sigma_{\text{NO}_2} C_{\text{NO}_2}$
 - σ_{sp} : 분진에 의한 흡수계수
 - σ_{NO_2} : NO_2 에 의한 흡수계수
 - C_{NO_2} : NO_2 농도
- NO_2 에 의한 피해
 - necrosis (흑반증)
 - 성장지연
 - 인체에 대한 영향 : 10 ~ 30 ppm (일반적으로 이 보다 낮다)
 - 그러나 낮은 농도에서도 질병발생
(LRI : Lower Respiratory tract illness)

Photochemical Oxidants (광화학적 산화물)과 VOC's (휘발성유기화합물)

○ O₃

- NO_x 와 VOC's 반응에 의하여 생성되는 대표적 물질
- 20 ~ 150 ppb 에서도 폐기능 저하
- 합성고무의 파열, 식물의 탈색과 세포파괴

※ 농작물의 피해는 일년에 10억 달러 정도에 이름.

○ VOC's

- 에틸렌의 경우 직접적인 피해 : 활엽수의 백화현상과 괴사
- 발암성물질

CO (일산화탄소)

○ 무색, 무미, 무취의 독성가스

○ CO의 독성효과 : Hb와 CO의 반응에 의하여 발생

○ $HbCO/HbO_2 = 210 P_{CO}/P_{O_2}$

○ 가역반응 : 평형산소분압을 회복하는데 여러시간이 걸린다.

50 ppm 의 경우 6~8 시간

○ 흡연자들의 문제

- 400~450 ppm 의 CO 함유
- 혈액중 평균 HbCO 농도 : 5~10%
- HCHO (포름알데히드) : 눈,코,목의 따가운 느낌 (1.4 mg/개비)

Air Pollution Index (대기오염지표)

○ 다양한 오염물들에 대한 종합적인 평가를 하기 위하여 도입

○ PSI (pollution standards index) 값에 따른 대기질 표현 : 표1.9

○ PSI를 구성하는 6가지 subindex : TSP,CO,SO₂,O₃,NO₂,TSP × SO₂

- 이중 PSI 값에 의한 Index 값은 최대치를 갖는 것으로 결정
- 예제 1-17 : SO₂ 50~100, CO 50~100,

TSP 100~200, TSP × SO₂ 200~300

그러므로 maximum I 값은 TSP × SO₂ 값과 관찰된 90×10^3 기준

1.9 National Air Quality Trends

- Figure 1.7
- Figure 1.8 ~ Figure 1.11