

Part 1

대기오염개론

대기오염의 정의 by WHO(세계보건기구)

- 대기 중에 인위적으로 배출된 오염물질이 한 가지 또는 그 이상이 존재하여 어떤 지역의 불특정 다수에게 불편감을 일으키고 해당지역에 공중보건상 위해를 끼치는 형태.
- 인간이나 동물, 식물의 활동에 해를 주어 생활과 재산을 향유할 정당한 권리를 방해하는 상태.

황사

- 중국이나 몽골 등 아시아 대륙 중심부의 사막과 황토 지대의 모래나 황토, 먼지 등이 편서풍을 타고 멀리까지 날아가 떨어지는 현상.
- 주로 봄에 발생하며 20 μm 이하의 모래먼지가 많이 발생.

황사가 영향을 미치는 기상조건

- 발원지의 먼지 배출량이 많을 때
- 발원지 부근에서 강한 상승기류가 존재할 때
- 발원지로부터 약 5.5 km 고도의 편서풍 기류가 우리나라를 통과할 때
- 우리나라 부근에 고기압이 형성되어 하강기류가 발생할 때

황사의 영향 - 부정적 측면

- 미세먼지 증가로 노약자, 호흡기 질환자 등이 발생
- 시계 악화로 항공기 이착륙 방해 및 엔진손상 초래
- 비닐하우스 투광률 감소로 농작물 수확량 감소
- 건물, 자동차, 세탁물 등에 먼지오염으로 인한 사회적 비용 증가
- 비포장 음식물 등 각종 음식물 오염 우려
- 선박 도장작업 등 산업체 피해 발생

황사의 영향 - 긍정적 측면

- 태양 복사열 흡수로 냉각효과 발생(온난화 방지)
- 황사의 알칼리 성분으로 산성비, 토양 및 호수 중화작용
- 해양플랑크톤, 육상식물에 영양분(Ca, Fe) 공급으로 생산력 증대

대기오염 경보

- 대기오염 경보의 대상 지역은 시(특별시, 광역시 포함) 지역 중 특별시장·광역시장·특별자치시장·도지사 또는 특별자치도지사가 필요하다고 인정하여 지정하는 지역으로 한다.

대기오염경보의 대상 오염물질

- 미세먼지(PM-10)
- 미세먼지(PM-2.5)
- 오존(O₃)

경보 단계별 조치사항

- 주의보 발령 : 주민의 실외활동 및 자동차 사용의 자체 요청
- 경보 발령 : 주민의 실외활동 제한 요청, 자동차 사용의 제한 및 사업장의 연료 사용량 감축 권고
- 중대경보 발령 : 주민의 실외활동 금지 요청, 자동차의 통행 금지 및 사업장의 조업시간 단축 명령

대기오염경보에 포함되어야할 사항

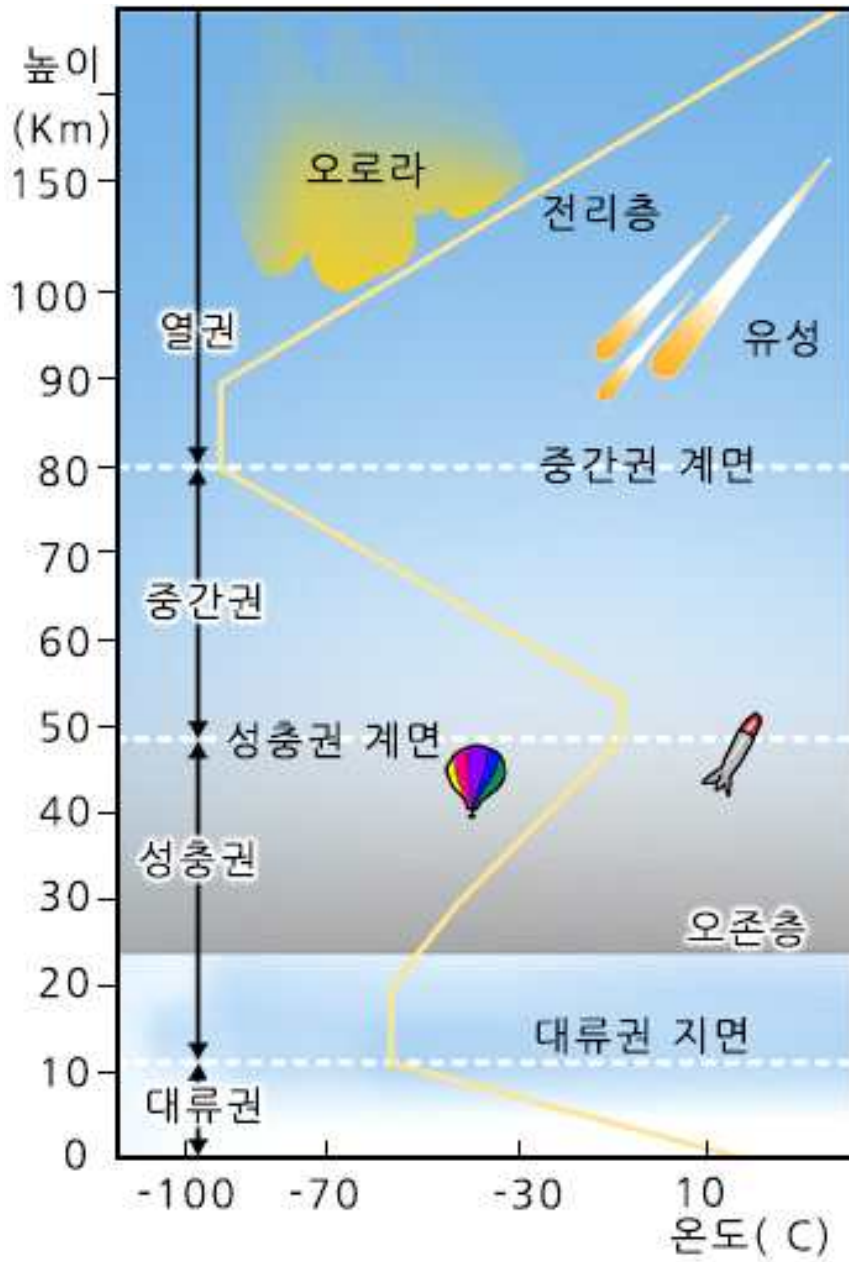
- 대기오염 경보의 대상지역
- 대기오염경보단계 및 대기오염물질의 농도
- 대기오염경보단계별 조치사항

대상물질	경보단계	발령기준	해제기준
미세먼지 (PM-10)	주의보	대기측정소의 PM-10 시간당 평균농도가 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 2시간 이상 지속인 때	대기자동측정소의 PM-10 시간당 평균농도가 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만인 때
	경보	대기측정소의 PM-10 시간당 평균농도가 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 2시간 이상 지속인 때	대기자동측정소의 PM-10 시간당 평균농도가 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만인 때는 주의보로 전환
미세먼지 (PM-2.5)	주의보	대기측정소의 PM-2.5 시간당 평균농도가 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 2시간 이상 지속인 때	대기자동측정소의 PM-2.5 시간당 평균농도가 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만인 때
	경보	대기측정소 PM-2.5 시간당 평균농도가 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 2시간 이상 지속인 때	대기자동측정소의 PM-2.5 시간당 평균농도가 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만인 때는 주의보로 전환
오존	주의보	대기자동측정소 오존농도가 0.12ppm 이상	대기자동측정소의 오존농도가 0.12ppm 미만인 때
	경보	대기자동측정소 오존농도가 0.3ppm 이상	대기자동측정소의 오존농도가 0.12ppm 이상 0.3ppm 미만인 때는 주의보로 전환
	중대경보	대기자동측정소 오존농도가 0.5ppm 이상	대기자동측정소의 오존농도가 0.3ppm 이상 0.5ppm 미만인 때는 경보로 전환

대기의 조성

$N_2(78.088\%) > O_2(20.949\%) > Ar(0.93\%) > CO_2(0.033\%) > Ne(0.0018\%) > He(0.000524\%)$

대기의 수직구조



대류권(Troposphere) - 지표 ~ 12km - 불안정한 대기층

- 대기오염이 문제가 되는 층
- 기상현상이 나타나는 층
- 100m 마다 0.65 °C 씩 온도가 하강 (-0.65 °C/100 m)

성층권(Stratosphere) - 12 ~ 50 km - 고도에 따라 온도 상승(역전층)

- 오존층이 많이 분포하는 오존층 존재

중간권(Mesosphere) - 50 ~ 80 km - 온도하강(불안정층)

열권(Thermosphere) - 80 km 이상 - 온도상승(역전층)

지표에서부터 대류권(Troposphere) - 성층권(Stratosphere) - 중간권(Mesosphere) - 열권(Thermosphere)

오존층

- 오존층은 주파수가 $1 \times 10^{15} \sim 1.5 \times 10^{15}$ Hz 이고 파장이 200 ~ 290 nm 인 자외선을 흡수
- 인간의 활동이 있는 대류권의 열평형 유지
- 대류권에서는 오존 농도가 0.04 ppm 이하이지만 오존층의 오존 농도는 최고 농도가 10 ppm 정도 수준
- 오존은 약 90% 이상이 고도 10 ~ 50 km 범위 성층권에 존재
- 지상 35 km 고도에서 평균 10 ppm의 최대농도를 보이며 지상 25 km 고도에서 분자수가 가장 높게 나타남
- 오존의 농도는 지역에 따라 다양하며 북반구에서는 주로 겨울과 봄철에 낮아지고 여름과 가을에 높아짐
- DU(Dobson Unit)라는 단위를 쓰며 $1 \text{mm} = 100 \text{DU}$
- 적도에서 오존의 총량을 약 0.2 cm(200 DU) 정도 이며 극지방에서는 0.4 cm(400 DU)

오존층 파괴물질

CFC(Chloro Fluoro Carbon : 프레온 가스)

- 스프레이, 냉매제, 소화제, 발포제, 전자부품 세정제에 사용
- 합성화학물질로 염소, 불소, 탄소를 포함하고 있으며 이 중 염소가 오존을 파괴
- 대기중에서 7~12 μ 파장의 복사에너지 흡수
- 대기권에서 체류시간이 길고(5 ~ 10년) 불활성이며 대기중에서 쉽게 분해되지 않음
- 뒤의 숫자에 90을 더한 후 C, H, F 순으로 채우고 나머지를 염소로 채우면 명명 완료.

- PFC(과불화탄소), HFC(수소불화탄소)로 대체가능.

질소산화물(NO_x)

- 성층권을 비행하는 비행기에서 NO가 배출되며 NO는 촉매적으로 오존을 파괴

할론가스(Halon)

- 소화 성능이 뛰어나 소화기용 소화제로 쓰임
- CFC-11보다 오존층 파괴력이 10배 정도 크기 때문에 현재는 사용을 규제.
- 첫 번째 숫자부터 C, F, Cl, Br 로 채우면 됨.

오존파괴지수(ODP : Ozone Depletion Potential)

- CFC-11을 기준으로 ODP를 계산

화학물질	오존파괴능력(ODP)	화학물질	오존파괴능력(ODP)
CFC-11	1.0	Halon 1301	10.0
CFC-12	1.0	Halon 1211	3.0
CFC-113	0.8	Halon 2402	6.0
CFC-114	1.0	Carbon tetrachloride	1.1
CFC-115	0.6		

- Halon-1301 > Halon-2402 > Halon-1211 > CCl₄ > CFC-11 > CFC-113 > CFC-115
- 몬트리올 의정서(1987), 비엔나 협약(1985), 런던회의(1990), 코펜하겐 개정서(1992)

입자상 물질

분진(particulate) 또는 에어로졸(aerosol)이라 불리며 크기는 대부분 0.1 ~ 10 μm 수준.

※ 직경 측정

스토크스 직경(Stokes diameter)

- 본래의 분진과 밀도 및 침강속도가 동일한 구형입자의 직경

공기역학적 직경(Aerodynamic diameter)

- 본래의 분진과 침강속도가 동일하며 밀도가 $1\text{g}/\text{cm}^3$ 인 구형입자의 직경

마틴 직경

- 입자상 물질의 그림자를 2개의 등면적으로 나눈 선의 길이를 직경으로 하는 것.

먼지(dust)

- 대기 중에 떠다니거나 흩날려 내려오는 입자상물질

매연(Smoke)

- 연소 시 발생하는 유리탄소를 주로 하는 미세한 입자상물질

검댕(Soot)

- 연소 시 발생하는 유리탄소가 응결하여 입자의 지름이 $1\mu\text{m}$ 이상이 되는 물질

안개(Fog)

- 분산질이 액체인 눈에 보이는 연무질
- 습도는 100%에 가까우며 가시거리는 1 km 이하 수준.

연무(Mist)

- 증기의 응축 또는 화학반응에 의해 생성되는 액체입자
- 가시거리는 1 km 이상 수준.

박무(Haze)

- 시야를 방해하는 입자상물질로서 수분, 오염물질 및 먼지로 구성됨.
- 크기는 $1\mu\text{m}$ 보다 작으며 습도는 70% 이하.

훈연(Fume)

- 가스상물질이 금속산화물과 함께 응축되어 생성되는 고체입자.
- 브라운 운동을 하며 입자의 크기는 $0.03 \sim 0.3\mu\text{m}$ 수준.

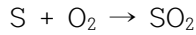
가스상 물질

황화합물(SO_x)

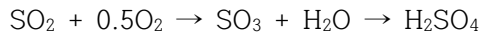
황산화물의 경우 화석 연료의 연소에 의해 인위적으로 배출
전 세계 황화합물 배출량은 자연적 발생량과 인위적인 발생량이 각각 50% 정도를 차지

SO₂(아황산가스)

- 화석연료가 연소할 때 산화되어 발생.



- 무색이고 불연성 기체로서 자극적인 냄새
- 환원성이 있어서 수분과 함께 각종 색소를 표백시킴
- 물(수증기)에 용해되어 상기도 점막에 즉각적인 자극 증상.
- 물에 잘 녹아 대기 중의 수분(H₂O)과 함께 황산(H₂SO₄)을 생성시켜 산성비를 일으킴.



- 280 ~ 290 nm에서 강한 흡수를 보이지만 대류권에서는 광분해 되지 않음.

SO₃(무수황산, 삼산화황)

- SO₂가 대기 중에서 산화되어 생성
- 물에 잘 녹음(산성비)

H₂S(황화수소)

- 달걀 썩는 냄새를 풍기는 맹독성 물질
- 황화합물 중 자연계에 가장 많이 존재

CS₂(이황화탄소)

- 비스코스 섬유공업에서 발생
- 불용성이며 무색의 유독한 휘발성 물질
- 중추신경계에 대한 특징적인 독성작용으로 심한 뇌병증 유발.

%%

자연적 발생원 중 가장 많은 양의 황화합물이 DMS[(CH₃)₂S]의 형태로 방출.

%%%

최소감지농도 : 무엇인지 모르지만 냄새의 존재를 느끼는 농도

최소인지농도 : 냄새질이나 어떤 느낌의 냄새인지 표현할 수 있는 농도

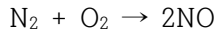
질소산화물(NO_x)

저층 대기원에서 중요한 오염물질.

석탄에 가장 많고 중유 경유, 휘발유, 천연가스 순으로 적음.
인위적인 배출량이 자연적인 배출량의 10% 정도로 추정.

NO(일산화탄소)

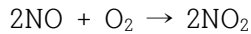
- 연소과정 중 고온에서 90% 이상의 NO 발생.



- NO와 N₂O는 미생물의 작용에 의해 토양과 해양에서 배출.
- 무색, 무취의 기체이며 물에 잘 녹지 않음.
- 헤모글로빈과의 친화력이 CO보다 수백 배 강력함.

NO₂(이산화질소)

- NO의 산화에 의해 생성



- 적갈색의 자극성 기체
- NO가 태양에 의해 NO₂에 산화되기 때문에 여름철에 높은 농도를 보임.
- 가시광선을 흡수하여 가시거리를 감소시킴.

N₂O(아산화질소)

- 마취성이 있으며 웃음을 유발(Smile gas)
- 대류권에서는 안정하지만 성층권에서는 오존층을 분해
- 온실효과를 유발
- 체류 기간이 5~50년으로 질소산화물 중 체류기간이 가장 장기적

일산화탄소

- 무색, 무미, 무취의 기체로 연탄가스 중독사고의 원인



- 물에 녹지 않으므로 비에 영향을 거의 받지 않음.
- 헤모글로빈과의 친화력이 산소보다 200 ~ 300배 정도 강함.
- 토양 박테리아의 활동에 의해 이산화탄소로 산화.
- 대류권 및 성층권에서의 광화학 반응에 의해 대기 중에서 제거.
- 대기중에서 평균 1~3개월 동안 체류.
- 금속산화물을 환원시킴.
- 지표동물로는 카나리아.

Hb + O₂ → O₂Hb (옥시헤모글로빈) : 정상
 Hb + CO → COHb (카르복시헤모글로빈) : 연탄가스 중독
 Hb + NO₂ → NO₂Hb (메토헤모글로빈) : 질식사
 Hb + NO → NOHb (변성헤모글로빈, 니트로소헤모글로빈) : 질식사

NO > NO₂ > CO > O₂ 순으로 헤모글로빈과의 친화력이 강함.

이산화탄소(CO₂)

- 실내 공기 오염의 지표
- 온실효과를 일으킴
- 지구상의 CO₂(330 ppm)와 평형을 이룰 경우 비의 pH가 약 5.6 정도를 나타내는데 이보다 낮을 경우 산성비.
- 대기 중에 배출된 CO₂의 약 50%는 대기 중에 축적, 나머지 중 29%는 해수, 나머지는 지상생물에 의해 흡수
- 여름에 농도가 감소(식물의 광합성, 토양의 호흡)하고 겨울에 증가하는 경향(난방연료)

탄화수소(C_xH_y)

- 논, 습지, 광산 및 식물에서 자연적으로 발생하며 미생물의 유기물 분해에 의해 CH₄가 대량 발생.
- 대기 중 CH₄의 농도가 가장 높으며 CH₄의 농도는 약 1.5 ppm
- C₁ ~ C₄까지는 기체, C₅ ~ C₁₆까지는 액체, C₁₇ 이상은 고체.
- 자동차의 감속 시에 발생하며 광화학 스모그의 원인.
- 발암성 물질인 3,4 - 벤조피렌 생성.
- 올레핀계 탄화수소는 대기 중에서 반응성이 크기 때문에 광화학 옥시던트와 2차 탄화수소 생성에 기여하며 오존을 생성.

오존(O₃)

- 무색, 무미, 해초냄새(??)가 나고 고무제품 손상을 일으키는 기체.
- 강한 산화력을 가지며 요오드화칼륨 녹말종이를 푸른 색으로 변화시키며 대기 중 농도는 0.01~0.04 ppm

PAN

- Peroxy Acetyl-Nitrate의 약자로 화학식은 CH₃COONO₂
- NO와 Olefin의 화합물.
- 폐와 눈을 자극.
- PBN보다 눈에 대한 자극이 100배 이상 약하며 빛을 분산시켜 가시거리를 감소시킴.

아크롤레인

- 휘발성이 강한 기체로 폭발성.

암모니아(NH₃)

- 무색으로 특유의 냄새가 나는 유독성 기체.
- 물에 잘 녹아 강우나 해수에 흡수되어 대기 중에서 제거.
- 물(수증기)에 용해되어 상기도 점막에 즉각적인 자극 증상 유발

염화수소(HCl)

- 무색의 유독성 가스로 물에 잘 녹음.
- 물에 녹을 경우 염산으로 불림.
- 불연성이며 수분 존재 시 금속과 반응하면 폭발 위험.

염소(Cl₂)

- 상온에서 황록색 기체이며 점막을 강하게 자극하는 취기가 있는 유독성 기체.
- 1차 세계대전 시 독가스로 사용.
- 수용성이 약하기 때문에 호흡기계 전체에 영향을 미침.

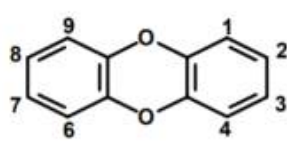
포스겐(COCl₂)

- 질식성 독가스
- 분자량이 99이므로 발생 즉시 가라앉음.
- 자극성이 경미하지만 수증에서 염산으로 쉽게 분해되어 치사량을 흡입할 위험.

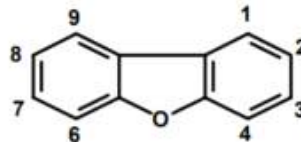
그 외의 오염물질

다이옥신

- 소각 시 발생하며 인위적 합성 화합물 중 가장 유해한 물질.
- 이성질체는 다이옥신류(PCDD) 75개, 퓨란류(PCDF) 135개, 이중 2,3,7,8-TCDD가 가장 독성이 강함.



PCDD



PCDF

- PCB의 부분산화 또는 불완전연소에 의해 생성.
- 수용성은 작지만 벤젠에는 용해되는 지용성 화합물(열적 안정, 낮은 증기압, 낮은 수용성)
- 도시폐기물 소각 시, 유해폐기물을 소각할 때보다 수천 배의 다이옥신이 배출.
- 주로 음식물(97%)을 통해 인체에 유입되며 태아 독성, 선천기형, 발암, 면역 독성을 유발.
- 250~300 °C일 때 다이옥신 생성은 최대.
- 700 °C 이상에서 열분해를 하며, 1000 ~ 1200 °C에서 최소화.
- 250~320 nm에서 가장 효과적으로 광분해
- 고온에서 분해된다 하더라도 연소 후 연소가스의 배출 시, 저온에서 다시 생성 가능.
- 세베소 사건.

VOC(Volatile Organic Compounds) : 휘발성 유기화합물 또는 유기용제

- 100 °C 이하의 비등점과 25 °C에서 증기압이 1 mmHg보다 큰 유기물질
- 자동차, 주유소, 세탁소, 석유정제시설에서 배출되며 유기용제의 사용에 의해 주로 배출.
- 신경장애, 호흡기 장애를 유발하며 광화학 반응에 관여하여 오존, PAN, 아크롤레인, H₂O₂ 등의 농도를 증가시킴.
- BTEX(벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌), 스티렌, 휘발유, 메탄올.

라돈(Rn-222)

- 무색, 무취의 기체로 액화되어도 색이 없음.
- 자연 방사능 물질의 하나.
- 반감기는 3.8일이며 라듐(Ra-226)의 핵분열 시 생성되는 물질.
- 공기보다 9배나 무거워 지표에 가깝게 존재.
- 건축자재를 통해 영향을 미치며, 화학적으로 반응을 거의 일으키지 않고 흙 속에서 방사선 붕괴를 일으킴.
- 폐암 유발(폐에 흡입되어서 α 선을 방출)

브롬화합물

- 탄소가 브롬에 결합된 유기 화합물
- 부식성이 강하며 주로 상기도에 대하여 급성 흡입효과를 지님
- 고농도에서는 일정 기간이 지날 경우 폐부종을 유발하기도 함.
- 발암물질로 의심되고 있으며 내분비계 장애물질이며 신경발달 독성물질.

불화수소

- 플루오린과 수소의 화합물.
- 수용성 물질, 물에 녹을 경우 약산성.
- 단시간 내에 고농도를 다량 흡입하거나, 소량이라도 장기간 가까이 할 경우 눈과 호흡기, 뼈 손상.
- 장기간 노출됐을 경우 골불화증 및 이로 인한 운동장애.

셀레늄(Se)

- 16족 비금속 원소
- 급성폭로 시 심한 호흡기 자극을 일으켜 기침, 흉통, 호흡곤란을 유발
- 만성폭로 시 오심과 소화불량과 같은 증상 및 마늘 향기의 입냄새 유발.

크롬

- 회색의 금속물질로 여러 형태의 산화화합물로 존재
- 생체에 필수적인 금속으로 결핍 시 탄수화물의 대사 장애를 일으킴.
- 6가 크롬에 피부 접촉 시 화상, 피부괴사 등의 증상을 일으키고 흡입할 경우 기침, 호흡곤란, 구토 증상
- 만성이거나 심할 경우 간 및 신장 장애, 내출혈, 호흡 장애를 유발.

고정 배출원

아황산가스(SO₂)

- 제련소, 펄프제조, 증유공장, 염료제조공장, 석탄화력발전소

황화수소(H₂S)

- 암모니아 공업, 가스공업, 펄프제조, 석유정제, 도시가스제조업, 형광물질원료제조업, 하수처리장

질소산화물(NO_x)

- 내연기관, 폭약, 비료, 필름제조

일산화탄소(CO)

- 내연기관, 코크스 연소로, 제철, 탄광, 야금공업

암모니아(NH₃)

- 비료공장, 냉동공장, 표백, 색소제조공장, 나일론 및 암모니아 제조공장

불화수소(HF)

- 알루미늄 공업, 인산비료 공업, 유리제조 공업

이황화탄소

- 비스코스 섬유공업, 이황화탄소 제조공장, 레이온 제조업

카드뮴

- 아연재련, 카드뮴 제련

- Smog : 매연(smoke) + 안개(fog) → smog 형성
- 광화학 스모그

자동차 배기가스

(HC)

(NO_x)

(유기물)

+ 자외선 →

Oxidant 등

(O₃, PAN, 아크롤레인, H₂O₂)

형태	London	LA
발생시 기온	0 ~ 5 °C	24 ~ 32 °C
풍속	무풍	3 m/sec
발생 시 습도	높음(85% 이상)	낮음(70% 이하)
발생 시간	이른 아침	낮
발생 계절	겨울(12월)	여름(8~9월)
역전 종류	방사성(복사성) 역전	침강성(하강성) 역전
주 오염원	공장, 가정난방(석탄, 석유계 연료)	자동차(석유계 연료)
주 오염성분	SO ₂ , 부유 먼지	HC, NO _x , O ₃ , PAN
반응	환원	산화
시정거리	100 m 이하	1.6 km 이하
자극 증상	호흡기 자극, 만성기관지염, 폐렴	눈, 코, 기도점막자극, 고무부식

역사적인 대기오염 사건

뮤즈계곡(Muse valley) 사건 : 1930년 12월 벨기에

- 원인 : 금속, 유리, 아연, 제철공장에서 배출된 SO₂, 황산미스트, 불소화합물, 일산화탄소로 인해 발생.
- 조건 : 분지, 무풍상태, 기온 역전, 연무발생
- 피해 : 60여명 사망, 전 연령층에서 호흡기 자극 증상 환자 발생, 사망자 대부분 만성심폐질환을 앓음.

동경 - 요코하마 사건 : 1946년 겨울, 일본

- 원인 : 동경과 요코하마 공업지대에서 배출된 대기오염물질로 추측됨.
- 환경 : 무풍, 밤과 이른 아침에 농연무 발생, 공업지대
- 피해 : 심한 천식, 동경과 요코하마 근처에서 발생된 천식이라 하여 Tokyo-Yokohama 천식이라 불림.

도노라 사건 : 1948년 10월, 미국

- 원인 : 제철, 황산 공장, 아연정련소에서 배출된 SO₂, 황산미스트(SO₂ 농도 약 0.32~0.39 ppm)
- 환경 : 분지, 무풍상태, 기온역전, 연무, 공업지대
- 피해 : 18명 사망, 특히 만성 심폐증환자, 호흡곤란, 흡부협착감 환자 다수 발생

포자리카 사건 : 1950년 11월, 멕시코

- 원인 : 사고에 의해 누출된 황화수소(H₂S)
- 환경 : 기온역전
- 피해 : 22명 사망, 사망자 대부분은 호흡곤란, 점막자극 현상.

런던 smog 사건 : 1952년 12월, 영국

- 원인 : 석탄 연소 시 발생된 SO₂, 에어로졸, 분진.
- 환경 : 무풍, 기온역전, 연무발생
- 피해 : 3주간 4000여명 사망, 그 후 2개월 동안 약 8000명 사망, 만성기관지염, 천식, 기관확장증 발생.

LA smog 사건 : 1952년, 미국

- 원인 : 자동차 배기가스 등 석유계 연료에서 생긴 NO_x, HC, 등이 햇빛의 자외선과 반응하여 생성.
- 환경 : 해안분지, 기온역전, 백색연무, 인구 증가와 자동차 수 증가에 따른 화석연료 소비 증가
- 피해 : 눈, 코, 기도점막 자극과 고무제품 균열, 건축물 손상

보팔 사건 : 1984년 12월, 인도

- 원인 : 메틸아이소시아네이트(CH₃CNO)
- 환경 : 유니온 카바이드 사의 살충제 공장에서 유독가스(메틸아이소시아네이트)가 1시간 동안 누출
- 피해 : 20만 명이 가스를 흡입하여 2만 명 이상이 응급치료를 받았으며 약 2500명 사망.

1차&2차 오염물질

1차 오염물질

- 발생원에서 직접 대기로 방출되는 물질
- CO, Cl₂, HCl, H₂S, NaCl, Pb, Zn, HC

2차 오염물질

- 1차 오염물질이 대기중에서 광화학 반응으로 합성 분해되어 발생하는 물질
- O₃, PAN, PPN, PBzN, NOCl, 아크롤레인, H₂O₂

오염물질 별 피해현상

먼진(분진)

- 0.5 ~ 5 μm 의 부유분진은 폐포로 침입하여 각종 호흡기 질환 유발.
- 만성 기관지염, 기관지 천식, 폐기종 유발.
- 가시거리를 감소시키는 등 여러 악영향 유발.

황산화물(SO_x)

- 호흡기 질환 유발.
- SO₂의 단독 흡입보다 황산미스트가 되면 독성이 10배 정도 강해짐.
- 1~2 ppm에서 대부분의 사람이 냄새를 감지하여 3 ppm 에서는 맛을 느끼기도 함.
- 황화수소와 메캡탄 계열은 심한 악취를 풍기며 황화수소는 100 ppm에서 단시간 접촉했을 때 눈, 코, 목구멍에 만성 자극증상을 일으킴.

질소산화물(NO_x)

- 눈, 코 자극 및 호흡기 질환을 일으킴
- 광화학 반응으로 Oxidant 생성.
- NO₂는 NO보다 5배 정도 강한 독성을 보임.
- NO는 CO 보다 헤모글로빈과의 친화력이 수백 배 정도 강함.
- NO₂는 1~3 ppm에서 냄새 감지 가능.
- 인체에는 독성이 강하지만 식물에는 경미한 영향

CO

- 연료의 불완전연소시 발생하며 연탄가스라고도 불림.
- CO는 O₂ 보다 헤모글로빈과의 친화력이 약 200 ~ 300배 정도 강하며 다량 흡입 시 사망하기도 함.
- 카나리아에 매우 큰 영향.
- 식물에 미치는 영향은 경미.

오존(O₃)

- 시각장애 및 폐기능 저하.
- 무색의 해초냄새를 일으키는 기체, 0.02 ppm에서 냄새 감지 가능, 0.1 ppm에서 대부분 감지 가능.
- 만성중독 시 DNA, RNA에 작용하여 유전인자 변화를 일으킴.
- 오존 농도 0.1 ~ 0.3 ppm 으로 약 1시간 노출되면 호흡기 자극, 기침, 눈에 자극작용을 나타내며, 0.27 ~ 0.75 ppm 상태에서 2시간 노출되면 운동 중 폐기능 감소 등의 증상이 나타남.

납(Pb)

- 유아 태아에게 가장 큰 영향을 미침.
- 대부분 음식을 통해(80%) 유입되며 호흡을 통해서도(20%) 유입됨.
- 불면증, 식욕부진, 체온저하, 혈압저하 유발.
- 만성적으로 노출될 경우 헤모글로빈 감소, 신경계 교란, 중추신경장애, 뇌 손상 유발.

석면

- 자연계에서 존재하는 섬유상 규산광물의 총칭으로써, 화학구조가 수정 같은 구조를 가지는 섬유성 무기물질.
- 길이 5 μm 이상이고 Aspect ratio(길이 대 폭의 비) 3:1 이상인 입자상물질.
- 내열성이며 화학적으로 안정하고 절연성이 강한 섬유상 물질.
- 1.5 m 위치에서 10 L/min의 유량으로 4시간 이상 채취.

식물에 미치는 영향

먼지

- 식물의 기공을 폐쇄하여 호흡과 광합성을 방해하며 식물의 성장에 피해를 입힘.
- 잎에 부착하여 동화작용저해, 호흡작용저해, 증발작용저해 등의 영향을 미침.

아황산가스(SO₂) : 잎맥사이 반점(맥간 반점, 맥간 연반)

- SO₂의 피해는 기공이 열린 낮과 습도가 높을 때 더 큰 피해를 입을 수 있음.
- 0.1~1 ppm 수준에서도 수 시간내에 고등식물에 피해를 입힘.
- 강한 식물 : 협죽도, 수랏목, 감귤, 옥수수, 장미, 글라디올러스
- 약한 식물 : 알팔파, 메밀, 시금치, 고구마, 무, 전나무, 소나무, 낙엽송

불소화합물(HF) : 잎선단(잎의 끝)의 갈색현상

- 잎의 선단이나 엽록부를 상아색 또는 갈색으로 고사.
- 대기오염물질 중 식물에 미치는 영향이 큰 편.
- 강한 식물 : 콩, 장미, 라일락, 토마토, 자주개나리, 시금치, 민들레
- 약한 식물 : 글라디올러스, 자두, 살구, 메밀, 옥수수, 진달래, 복숭아, 소나무

오존(O₃) : 회백색의 전면 반점

- 회백색 또는 갈색의 반점이 잎에 전면적으로 발생.
- 강한 식물 : 사과, 해바라기, 아카시아, 복숭아, 국화, 양배추, 귤, 제비꽃
- 약한 식물 : 담배, 시금치, 파, 토란, 자주개나리, 밀감

PAN 등의 광화학 smog : 어린 잎의 은백색 반점

- 잎의 표면이 은색이나 청동색이 되고 장시간 노출 시 갈색의 반점이 나타남.
- 강한 식물 : 사과, 밀감, 벚꽃, 무, 옥수수, 수선화
- 약한 식물 : 강낭콩, 상추, 시금치, 고무나무, 장미

암모니아(NH₃) : 잎 전체에 피해

- 토마토, 해바라기, 메밀에 주로 피해를 입힘.

에틸렌

- 낮은 농도에서도 피해, 상편생장, 전두운동 저해
- 강한 식물 : 양배추, 상추, 양파
- 약한 식물 : 코스모스, 스위트피, 토마토

%%%

HF > Cl₂ > SO₂ > O₃ > NO_x > CO

대기오염 현상

온실효과(Green House effect) : 지구 온난화 현상

- 가스층이 온실의 유리와 같은 효과를 나타내어 지구온도가 상승하는 효과.
- 대기 중에 형성된 CO₂가 지구복사에너지 중 장파장인 CO₂를 흡수(재방사)함으로써 발생.
- 온난화지수 : 온실효과를 일으키는 잠재력을 표현한 값, CO₂를 1로 기준.
SF₆(23900) > PFC(7000) > HFC(1300) > N₂O(310) > CH₄(21) > CO₂(1)
- 온실효과 기여도 : CO₂ > CFC > CH₄ > N₂O
- 이상고온, 해수면 상승, 해빙, 사막화 현상 유발
- 엘니뇨 현상 : 무역풍이 평년보다 약해지며 찬 해수 용승현상의 약화 때문에 동태평양에서 고수온현상이 강화
- 라니냐 현상 : 무역풍이 평년보다 강해지며 찬 해수 용승현상의 강화 때문에 동태평양에서 저수온현상이 강화

※ 교토의정서 온실가스 감축 대상 가스

- CO₂, CH₄, N₂O, PFC, HFC, SF₆

열섬효과 : 도시고온 현상

- 열 방출량이 많은 도시에서 기온도 높고 안개도 자주 발생하며 비도 많이 오는 특별한 기후현상
- 도시의 열 방출이 많기 때문에 발생.
- 도시가 주변 교외보다 온도가 높아지고 오염물질의 확산이 잘 안되기 때문에 도시지역의 오염도가 크게 됨.

산성비

- 대기 중의 CO₂ 로 인하여 비는 항상 pH 5.6 정도를 유지하는데 이보다 낮은 pH인 비를 산성비.
- SO₂와 NO₂, Cl₂로 인해 발생.
- 산림이 죽고 호수의 담수어가 사멸, 지하수 산성화.
- SO₂ > NO_x > Cl⁻ 기여도 순서 이 중 SO₂가 50% 이상.
- 약한 교환기(Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, 카마나크)부터 방출되어 그 자리에 H⁺ 흡착하게 되어 사막화 현상
- 결정성 점토광물은 강산적, 결정도가 낮은 점토광물은 약산적

시정장애와 가시거리 감소

- 70% 상대습도에서의 시정거리

$$10 \frac{A}{G}$$

L : 시정거리(km)

A : 계수(보통 1.2)

G : 분진농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Lambert - beer 법칙

$$I_t \exp(-\sigma X)$$

- I_t : 투시광의 세기
- I_0 : 입사광의 세기
- σ : 소멸계수(/km)
- X : 시정한계(km)

대기오염 기준 by WHO

- 최대 허용 수준(Maximum)
- 수용 수준(acceptable)
- 바람직한 수준(desirable)

환경기준의 4가지 의미

- 기준치(Standard)
- 지침치(Guide line)
- 목표치(Goal)
- 판정기준(Criteria)

※COH 계수(Coefficient of haze) : 광학적 밀도를 0.01로 나눈 값

• 단위 거리 당 COH 계수 :

$$\log\left(\frac{I_0}{I_t}\right)/0.01$$

리(m)

• 1000 m 당 COH :

$$\left(\log\frac{1}{t}\right)/0.01 \times \text{속도}(m/s) \times \text{시간}(sec) \times 1000m$$

여기서 t는 빛 전달률

COH 값과 대기오염의 정도

1000m 당 COH	대기오염 정도
0 ~ 3	경미
3.3 ~ 6.5	보통
6.6 ~ 9.8	심함
9.9 ~ 13.1	대단히 심함
13.2 ~ 16.4	지극히 심함

바람

공기의 움직임 중에 수평방향으로 움직이는 것은 바람, 수직 방향은 대류 라고 정의.

바람을 일으키는 힘

기압경도력

- 공기의 흐름을 고기압에서 저기압으로 향하도록 하는 힘

전향력

- 지구자전으로 생기는 힘, 속력에는 영향을 미치지 않고 방향에만 영향을 미침.
- 북반구에서는 항상 움직이는 물체의 운동방향의 오른쪽 90° 방향, 남반구에서는 왼쪽 90° 방향.
- 전향인자 f 와 풍속의 곱으로 계산하며 전향인자 $= 2\Omega\sin\theta$

마찰력

- 지표에서 풍속에 비례하며 진행방향의 반대로 작용하는 힘
- 지표 부근에서 마찰력이 가장 크기 때문에 지표부근의 풍속을 감소시키는 역할

원심력

- 곡선의 바깥쪽으로 향하는 힘, 반경이 작고 속도가 클 때 크게 작용.

바람의 종류

지균풍

- 마찰 영향이 무시되는 상층에서 전향력과 기압경도력이 평형을 이룰 때 부는 수평의 바람
- 왼쪽에 저기압 오른쪽에 고기압을 두고 등압선과 평행하게 불게 되며 500 ~ 800 m의 고도에서 나타남

경도풍

- 기압경도력, 전향력, 원심력의 세 가지 힘이 평형을 이룰 때 발생하는 수평바람.
- 지상 500 ~ 700 m의 상층에서 등압선을 따라 불며 풍속은 고도에 따라 기압경도력에 비례하여 커짐.

지상풍

- 지면 마찰의 영향을 심하게 받는 바람
- 기압경도력, 마찰력, 전향력에 영향을 받음.
- 마찰층보다 높은 고도에서의 바람은 온도분포에 따라 결정.

국지풍

해륙풍

- 낮에는 비열이 작은 육지가 바다보다 빨리 가열되어 바다에서 육지로 바람이 부는데 이를 해풍
- 맑에는 반대로 바다의 공기가 육지보다 더 빨리 상승하고 육지에서 바다로 바람이 부는데 이를 육풍
- 결론적으로 바다와 육지의 비열차로 인해 생기는 현상

산곡풍

- 낮에는 산 정상에서의 온도가 더 빨리 가열되므로 계곡에서 정상쪽으로 바람이 불게 되는데 이를 곡풍
- 밤에는 반대로 계곡의 온도가 더 높으므로 정상에서 계곡쪽으로 바람이 불게 되는데 이를 산풍

휨풍

- 알프스 산맥에서 발생된 바람의 이름에서 유래한 말로 산맥에 직각으로 바람이 부는 경우 풍하 측에 고온 건조한 바람이 부는 현상을 의미함.
- 비슷한 현상으로 태백산맥 서쪽 내륙에 부는 휨풍을 높새바람이라고도 함.

전원풍

- 도시는 시골보다 열 방출량이 높고 열 보존력이 높기 때문에 시골로부터 바람이 불어들어오는데 이를 전원풍
- 풍향 변화는 없지만 풍속은 주기적으로 변하며 하늘이 맑고 바람이 약한 야간에 심하게 부는 경향.

바람과 대기오염

다운워시(Down wash) 현상

- 바람의 풍속(U)이 배출가스의 토출속도(Vs)보다 큰 경우에 발생하여 굴뚝 풍하측을 오염시키는 현상
- 토출속도(Vs)를 풍속(U)보다 2배 이상 크게 하면 방지됨.

다운 드래프트(Down draught) 현상

- 굴뚝 주위에 건물로 인해 생기는 현상, 일명 역류
- 굴뚝의 높이가 건물보다 낮을 경우 건물 뒤편에 공동현상이 생기고 이 공동은 오염농도가 극히 높은 현상.
- 굴뚝 높이를 건물 높이의 2.5배 이상 높이는 방법으로 방지 가능.

※ 바람 장미 : 풍배도

- 바람의 방향과 속도를 이용하여 대기오염확산을 예측하는 방법.
- 8방위, 16방위로 구성
- 어떤 일정한 기간에 어떤 방향의 바람이 얼마 동안 불었는가의 발생빈도를 파악 가능.
- 풍향별 발생빈도를 %로 표시한 것을 방향량(vector)라고 함.
- 여러 풍향의 빈도는 살의 전체 길이에 비례.

※ 풍속과 고도의 관계

Deacon 식 : 일반화된 공식이므로 100 m 상공까지의 풍속을 계산하는데 많이 이용.

$$U = \left(\frac{Z}{Z_0} \right)$$

U : 고도 Z 에서의 풍속(m/sec)

U₀ : 참조고도 Z₀ 에서의 풍속 (m/sec)

P : 안정도 지수(약 0.12~0.5, 안정할 때 0.5, 불안정 또는 중립일 때 0.25, 매우 불안정할 때 0.2)

Z₀ : 참조고도(m)

난류와 대기 안정도 - Richardson's number

- 강제대류에 대한 자유대류의 비를 경계층의 바람 수직분포, 난류성질 등을 나타내는 척도로 쓰이며 경계층에서의 기류의 안정도를 나타냄, 이를 Richardson's number 라고 함.

$$Ri = \frac{g}{T} \frac{\Delta t / \Delta z}{(\Delta u / \Delta z)^2}$$

g : 중력가속도 T : 평균 절대온도

ΔZ : 고도차 Δu : 풍속차

Δt : 온도차

Ri	-0.04		0	0	0.25
대기운동	대류	기계적 난류와 대류 공존	기계적 난류	기계적 난류 약화	수직혼합 없음
안정도	불안정		중립	안정	

결론

- 리차드슨 수가 큰 음의 값을 가지면 대류가 지배적(불안정)
- 리차드슨 수가 0에 근접하면 분산은 감소(중립)
- 리차드슨 수가 0.25보다 크면 수직혼합은 거의 없게 되고 수평만으로 진행(안정)

기온단열체감율

건조단열체감율

- 고도가 높아짐에 따라 온도가 낮아지는 것을 의미.
- 건조공기가 100 m 상승함에 따라 약 1 °C 하강함을 의미.

습윤단열체감율

- 공기의 단열체감율은 잠열의 영향을 받기 때문에 건조단열체감율보다 적게 온도가 하강.
- 습윤공기가 100 m 상승할 때에는 약 0.65 °C씩 기온이 하강.

환경감율

- 대기의 수직온도분포를 실제 측정한 값.
- 대기의 안정도와 고도에 따라 실제 변화하는 기온체감율

r_d (건조단열감율), r (환경감율)인 경우

$r_d < r$: 불안정(과단열)

$r_d = r$: 중립

$r_d > r$: 안정

$r_d > r > r_w$: 조건부 불안정

r (건조단열감율), $\left(\frac{d}{dz}\right)_{nw}$ (환경감률)

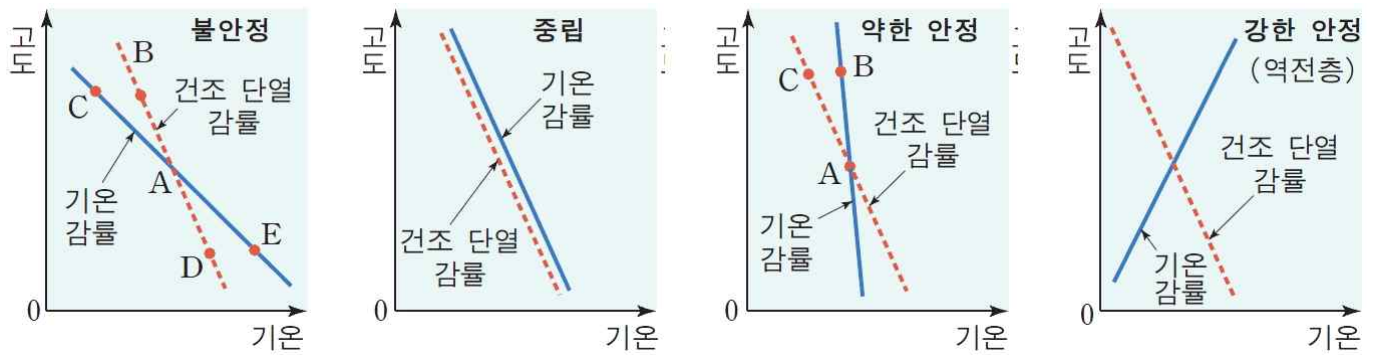
$-\left(\frac{dT}{dz}\right)_{env} > r$: 불안정(과단열)

$-\left(\frac{dT}{dz}\right)_{env} = r$: 중립

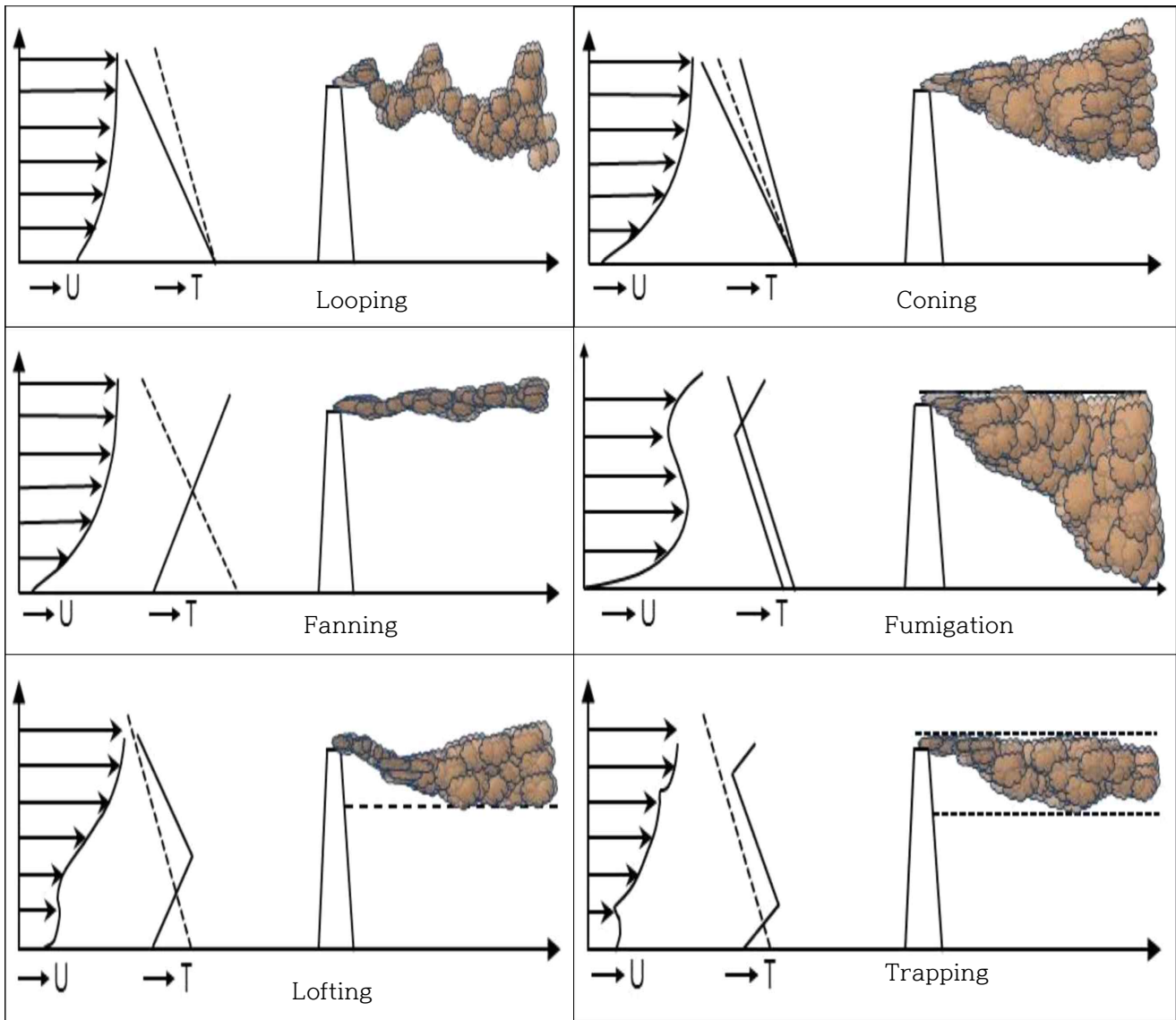
$-\left(\frac{dT}{dz}\right)_{env} < r$: 약한 안정

$-\left(\frac{dT}{dz}\right)_{env} \ll r$: 강한 안정

$-\left(\frac{dT}{dz}\right)_{env} = 0$: 등온



안정도에 따른 굴뚝 연기(플룸)의 모양



Looping(बाट줄형, 환상형)

- 대기가 불안정하여 난류가 심할 때 발생.
- 지표면이 가열되고 바람이 약한 맑은 날 낮에 주로 일어나는 형태.

Coning(원추형, 추형)

- 대기상태가 중립조건일 때 발생.
- 바람이 다소 강하거나 구름이 많을 때 대기상태는 중립이므로 이때에 발생.

Fanning(부채형)

- 대기상태가 강한 안정(기온역전)인 경우에 발생.
- 안정할 경우 연기의 수직운동이 억제되므로 부채형태를 보이며 연기 농도는 높지만 지면 부근은 오히려 낮음.

Fumigation(훈증형)

- 대기상태가 상층은 안정, 하층은 불안정
- 일출 후 지표면이 가열되어 역전이 해소될 경우 하층은 대류가 활발하지만 상층은 안정된 경우에 발생.
- 하늘이 맑고 바람이 약한 날 아침에 약 30분 정도 발생하기도 함.

Lofting(지붕형)

- Fumigation과 반대로 상층은 불안정 하층은 안정할 때 발생하는 형태.
- 일반적으로 나타나는 과도기적 현상

Trapping(구속형)

- 침강역전(공중역전)과 복사역전(지표역전)이 동시에 발생하는 경우 나타나는 연기
- 두 역전층 사이에 연기가 갇혀서 흐르는 형태.

접지역전

- 복사역전 ex) London smog
- 이류역전

공중역전

- 침강성 역전 ex) LA smog
- 해풍형 역전
- 난류형 역전
- 전선형 역전

접지역전

복사역전(Radiation inversion)

- 일몰 후 복사냉각으로 인하여 지표면은 냉각되어 지표는 차갑고 상층의 온도는 높아져 역전이 형성.
- 일출 직전에 하늘이 맑고 바람이 적고 습도가 낮은 날 가장 강하게 형성.
- London smog

이류역전

- 따뜻한 공기가 차가운 지표나 수면에 붙어올 경우 하층은 냉각되고 상층은 온도가 높아져 생기는 역전

공중역전(Elevated inversion)

침강역전(Subsidence inversion)

- 고기압에서 공기가 침강하는데 이 때 단열압축으로 가열되어 하층온도가 낮은 공기와의 경계에 역전을 형성.
- 매우 안정한 형태로서 아래 대기의 뚜껑과도 같은 역할을 하여 대기오염물질의 수직확산 억제
- LA smog

해풍형 역전(Sea-breeze inversion)

- 해풍이 불기 시작하면 바다의 서늘한 공기와 육지의 더워진 공기 사이에 생기는 역전층

난류형 역전(Turbulent inversion)

- 난류가 발생할 때 혼합으로 인해 기온분포가 건조단열체감율에 가까워져 혼합층 상단에 발생하는 역전층

전선형 역전(Frontal inversion)

- 따뜻한 공기가 찬 공기 위를 타고 상승하는 경우 전선면 주위에 전이층이 존재하여 생기는 역전.

※ 혼합고 & 최대혼합고

혼합고

- 오염물질이 지상에서 혼합될 수 있는 지상으로부터의 최대높이, 오염물질이 희석되는데 중요한 역할을 함.
- 혼합고가 높은 날은 대기오염이 적고 낮은 날은 대기오염이 심함.

1

h

최대혼합고

- 지상에서 예상되는 최고기온을 따라 건조단열감율을 표시한 후 실제 환경감률선과 만날 때까지의 고도,
- 하루 중 밤에는 최소, 낮에는 최대(2~3 km)가 되며 계절적으로는 겨울이 최소, 여름이 최대.

대기의 확산방정식

유효굴뚝 높이

- 굴뚝에서 배출되는 연기는 온도가 매우 높아 부력과 연기 분자의 운동성 때문에 공중으로 상승.
- 연기의 상승높이와 실제 굴뚝 높이를 계산하여 유효 굴뚝 높이를 계산.

$$H_s + \Delta h$$

여기서, H_e : 유효 굴뚝 높이 H_s : 실제 굴뚝 높이

h : 연기 상승높이

연기의 상승 높이의 공식

$$\Delta h = 1.5 \left(\frac{V_s}{U} \right) D$$

※ 부력(F)

$$F = g \times \left(\frac{D}{2} \right)^2 \times V_s \times \left(\frac{T_s - T_a}{T_a} \right)$$

V : 연기 방출 속도 T_s : 굴뚝 연기온도 T_a : 대기온도

D : 굴뚝 직경

여기서, U : 풍속(m/sec) V_s : 배출가스 속도(m/sec)

D : 굴뚝 직경(m)

※통풍력(Z)

$$Z = 355 \times H \times \left(\frac{1}{273 + t_a} - \frac{1}{273 + t_g} \right) (mm.H_2O)$$

최대착지농도(C_{max})

$$C_{max} = \frac{2Q}{\pi e U H_e^2} \left(\frac{\sigma_z}{\sigma_y} \right)$$

여기서, Q : 오염물질 배출량(m^3/sec) U : 풍속(m/sec)

H_e : 유효굴뚝 높이(m) σ_y : 수평방향 확산계수(m) σ_z : 수직방향 확산계수(m)

최대착지농도(C_{max})는 오염물질 배출량(Q)에 비례하고 풍속(U)에 반비례
이때, 유효굴뚝 높이의 제곱에 반비례 한다.

$$C_{max} \propto \frac{1}{H_e^2}$$

최대착지거리

$$X_{max} = \left(\frac{H_e}{\sigma_z} \right)^{2-n}$$

여기서, σ_z : 수직방향의 확산계수(m) H_e : 유효굴뚝 높이(m)

n : 안정도 계수

대기확산 모델

상자모델

- 대기오염물질이 먼 배출원일 때 적용.
- 5가지의 가정조건
 - 배출된 대기오염물질은 방출과 동시에 균일하게 혼합
 - 대기오염 배출원이 측정지역에 균일하게 분포
 - 바람의 방향과 속도는 일정
 - 배출오염물질은 다른 물질로 전환되지 않으며 1차 반응
 - 배출원은 먼 배출원

경도모델

- Fick 의 확산방정식을 기초로 함.

$$\frac{d}{dt} = K \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2}$$

- 가정조건
 - 오염물질은 점오염원으로부터 계속 방출
 - $\frac{dC}{dt} = 0$, 그리고 항상 역전(안정)상태
 - 바람에 의한 오염물의 주 이동 방향은 x 축
 - 풍속은 어느 지점에서나 일정
 - 오염물질이 x 축을 따라 이동하는 것은 하류로의 확산보다 더 강함.
 - 오염물질이 기체일 때 적용되는 식.

가우시안 모델

$$C(x, y, z, H_e) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z U} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left(\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right)$$

- 가정조건
 - 오염물은 연속적으로 배출되며 풍하방향으로의 확산은 무시.
 - 배출물질은 가스, 직경 10 μm 미만의 먼지 및 에어로졸로서 장기간 공중에 부유하는 부유물질.
 - 배출된 오염물질은 흘러가는 동안 없어지거나 다른 물질로 바뀌지 않고 지표에서도 반사됨.
 - 오염분포의 표준편차는 약 10분간의 평균치로 가정,
- 장기적인 대기오염도 예측에 용이한 모델
- 간단한 화학반응으로 묘사 가능.
- 평탄한 지역에 적용이 가능하도록 개발되어 제한성이 있음.
- 점오염원에서 풍하방향으로 가는 연기가 정규분포한다고 가정하여 식 유도 가능.

분산모델 & 수용모델

분산모델 : 기상학적 원리에서 영향을 예측하는 모델

- 미래의 대기질을 예측 가능
- 대기오염제어 정책입안에 도움
- 2차 오염원의 확인이 가능
- 기상의 불확실성, 오염원 미확인 같은 경우에는 문제점 야기
- 오염물의 단기간 분석시 문제 야기
- 지형 및 오염원의 조업조건에 영향을 받음
- 새로운 오염원이 지역 내에 들어오면 매번 재평가 필요.

수용모델 : 수많은 오염원의 기여도를 추정하는 모델

- 지형이나 기상학적 정보 없이도 사용 가능
- 오염원의 조업이나 운영상태에 대한 정보 없이도 사용 가능
- 수용체 입장에서 영향평가가 현실적으로 이루어짐
- 입자상, 가스상물질, 가시도 문제 등을 환경과학 전반에 응용 가능.
- 현재나 과거에 일어났던 일을 추정하여 미래를 위한 전략은 입안할 수 있지만 미래예측은 불가능.
- 측정자료를 입력자료로 사용하므로 시나리오 작성 불가능.

※풍동 실험

- 터널 모양의 구멍 안에서 인공적으로 기류를 발생시켜 하는 실험.
- 풍향이나 풍속의 변동, 지형, 다운 드래프트, 다운 워시 현상의 영향을 조사.

복사이론

스테판-볼츠만 법칙

$$\sigma T^4 \quad E : \text{복사에너지} \quad T : \text{절대온도} \quad \sigma : \text{상수}$$

비인의 변위법칙

$$\lambda = \frac{2897}{T} \quad \lambda : \text{파장} \quad T : \text{표면절대온도}$$

알베도

- 지표의 반사율을 나타내는 지표
- 눈이나 얼음으로 덮인 경우 0.5~0.8, 숲으로 덮인 지역은 0.03~0.3, 물표면에서는 보통 0.02~0.05
- 지구의 평균 알베도는 0.35

태양상수 : $2 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$

평균태양복사에너지 : $0.5 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$