

대기오염

개관

- 대기권 – 지구를 둘러싸고 있는 기체 혼합물의 층
- 대기를 구성하는 공기는 인간과 동식물의 생명 현상 유지의 필수 요소
- 대기오염현상 – 산업화와 공업화에 따라 발생한 다양한 오염 물질이 공기 중에 유입되어 발생되어 인간의 건강한 삶의 영위에 장애를 초래
- 대기의 구성요소 및 성질,

대기를 오염시키는 오염물질의 종류와 주요 특성에 대해 알아보시다

최근 관심을 받고 있는 실내공기오염에 대하여 학습

학습목표

1. 대기권의 구조와 대기의 구성 요소를 파악한다.
2. 대기 오염 물질의 종류와 특성을 학습한다.

공기의 특성

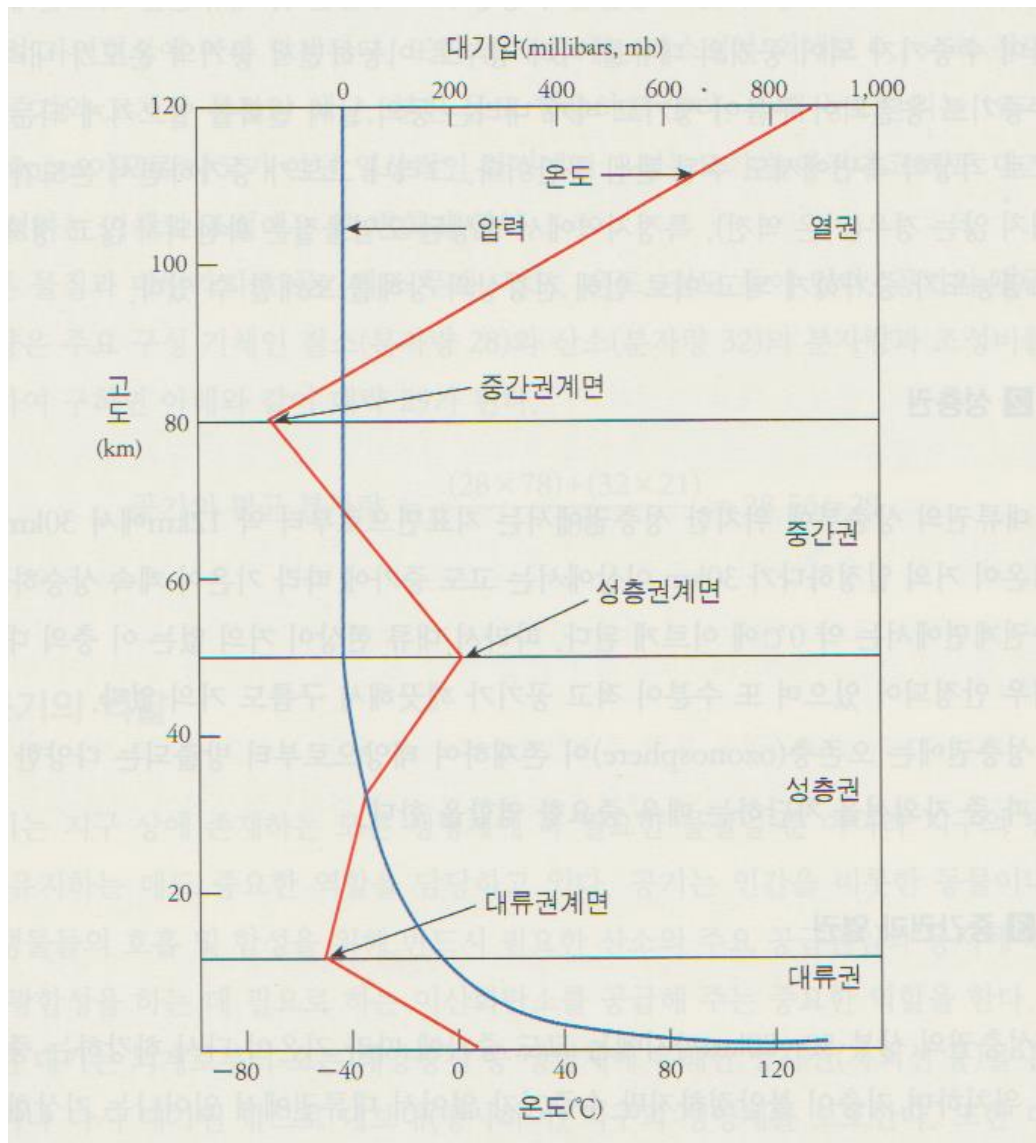
1. 대기권의 구조

대기 – 지구 주위를 둘러싸고 있는 각종 기체(질소, 산소, 아르곤 등)의 집합체가 차지하고 있는 공간, 우리가 숨쉬고 있는 공기가 포함된 지구 공간

대기를 이루는 물질은 지구의 인력 때문에 지표면에 가까울수록 밀도가 높아짐

대기권(atmosphere) – 지표로부터 약 600-1000km 까지의 공간

외기권(exposphere) – 대기권 바깥 공간



대기권의 구조

① 대류권

지표면(대류권 하층부)

- 평균온도 15°C
- 고도가 상승함에 따라 온도는 -56°C 까지 점차 하강
- 온도 하강률은 약 $6.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$

고도가 증가함에 따라 온도가 떨어지므로 공기의 밀도가 증가

- 밀도가 큰 차가운 공기는 하부로 이동
- 하부의 따뜻한 공기가 상부로 이동하는 대류현상 일어남
 - 하부의 공기 및 오염물질이 상층부로 확산됨

대류권은

지표면의 물 -> 수증기

-> 공기의 대류를 따라 상부로 이동

-> 공기의 온도가 내려가면 수증기로 응결

-> 구름이 생기고 비가 내리는 등의 날씨 변화 일으키게 되는 공간

-> 기상학 측면에서도 주된 관심 공간

그러나

기온역전(고도가 증가하면서 온도가 낮아지지 않는 경우)

-> 특정지역에서 발생한 오염물질은 확산되지 않고 정체되어 오염농도가 증가

-> 이로 인해 건강상의 장애를 초래할 수 있음

② 성층권

대류권의 상층부에 위치

지표면으로부터 약 12km-30km까지 기온이 일정하다가 30km 이상에서는 고도 증가에 따라 기온이 계속 상승하여 성층권 경계면에서는 약 0°C에 이르게 됨

대류현상이 거의 없어 대기가 매우 안정되어 있음

수분이 적고 공기가 깨끗해서 구름도 거의 없음

오존층(ozonosphere)이 존재 – 태양으로부터 방출되는 다양한 전자기파 중 자외선을 차단하는 매우 중요한 역할을 함

③ 중간권과 열권

중간권

성층권의 상부 50-80km까지 고도 증가에 따라 기온이 다시 하강

기층이 불안정하지만 수증기가 없어 대류권에서 일어나는 기상현상은 발생하지 않음

열권

중간권보다 높은 80km 이상에 위치

기온이 대기의 상한까지 상승하는 공간

지표면에서의 공기밀도는 약 $1.2-1.3\text{kg/m}^3$, 공기밀도는 고도가 상승함에 따라 급격히 감소함

대기의 조성

대류권의 오염되지 않은 정상적인 공기

- 고체, 액체, 기체물질의 혼합물이지만 기체상 물질이 대부분

기체물질의 조성(표준상태, 0°C, 1기압)

질소가 약 78%, 산소가 약 21% - 두 기체가 전체의 약 99%를 차지

이외에 아르곤(Ar) 0.93%, 이산화탄소(CO₂) 0.03% 및 기타 미량 기체로 구성

미량기체는

화산 활동에 따라 H_2S , SO_2 , CO 등

식물 및 동물의 부패로 CH_4 , NH_3 , H_2S 등이 발생

번개나 산불 등의 자연현상 질소산화물(N_2O , NO , NO_2), 일산화 탄소(CO)

공기중에는 가스성분 외에도 0.1-5%정도의 수증기와 고체상 물질인 세균, 분진 등도 함유

기체의 농도단위 1%가 10,000ppm임

사고가 아닌 일상적인 환경에서 오염농도가 높아진다고 해도 대기를 조상하는 기체의 조성에는 큰 변화가 없음

공기에도 무게, 밀도, 온도, 점도 등이 있음

공기의 평균 분자량

주요 구성 기체인 질소(분자량 28), 산소(분자량 32)의 분자량과 조성비를 고려 - 약 29

$$\text{공기의 평균 분자량} \approx \frac{(28 \times 78) + (32 \times 21)}{100} = 28.56 \approx 29$$

3. 공기의 역할

지구상에 존재하는 모든 생명체에 꼭 필요한 물질

지구의 평형을 유지하는 데도 중요한 역할을 담당

산소의 주요 공급원 – 인간을 비롯한 동물이나 수중생물들의 호흡 및 합성

이산화탄소를 공급 – 식물의 광합성

지구의 생명체 보호 – 외계로부터 오는 태양광선중 생명체에 유해한 방사선(자외선 등)을 흡수하거나 다시 대기권 밖으로 내보냄(방사하여)

지구로 조사된 적외선 중 지표면에서 다시 방사되는 적외선을 적정하게 흡수

- 지구의 기온이 급격하게 변화되는 것을 억제
- 지구의 열평형을 유지시키는 역할

청정한 지구 환경 조성 - 대기의 구성 성분 및 조성의 항상성 유지는 매우 중요

성층권 오존층 파괴 - 자외선이 정상강도이상 지표도달 - 피부암 등 건강상의 장해 증가
온실가스 농도 증가(이산화탄소 등) - 지구에서 내보내는 열선인 적외선이 대기권 밖으로 적정하게 방출되지 못해 지구의 온도 증가 - 인간 및 동식물의 생장에 심각한 영향

4. 공기의 자정능력

공기는 여러 가지 환경요인에 따라 항상 오염됨

- 자연적으로 발생한 산불, 화산폭발, 생물의 부패
- 인구, 산업시설, 자동차, 공장에서 배출되는 각종 가스, 분진 등

대류현상

- 국부적으로 발생한 오염물질이 공기의 상층부로 이동

기압차에 의한 바람의 발생

- 공기의 수평흐름인 바람에 의하여 넓은 지역으로 확산되어 오염물질이 희석되는 작용

강우 및 강설에 의한 세정작용

산소와 오존 등에 따른 산화작용

태양광선에 따른 살균작용

광합성에 따른 이산화탄소와 산소의 교환작용 등

공기는 여러 메커니즘을 통한 자정작용으로 대기 오염 물질을 정화하지만 자정능력 이상의 고농도의 오염 물질이 대기로 배출되었을 때 환경오염문제가 발생함

2.2 공기오염 특성과 건강상의 영향

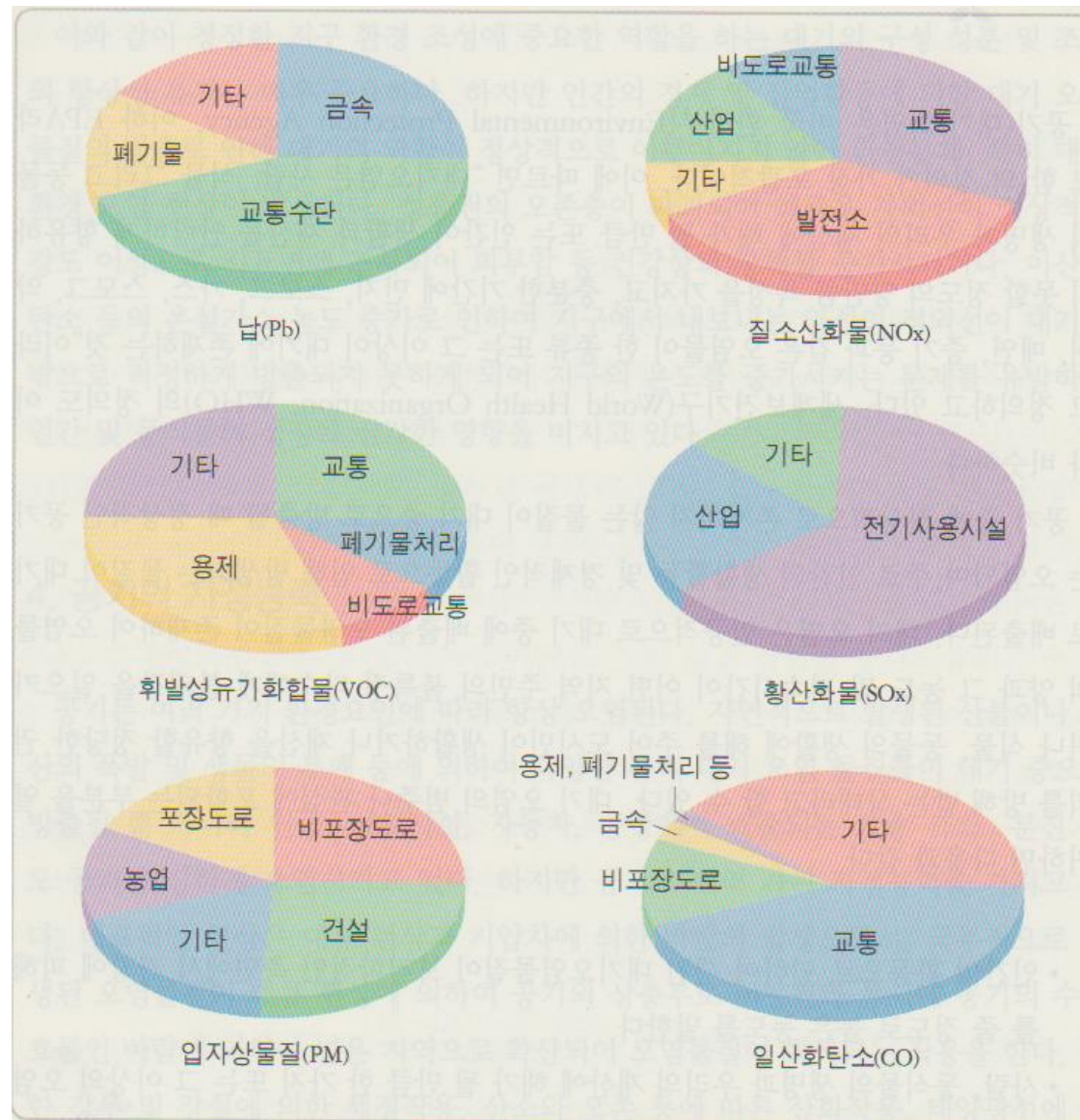
EPA(Environmental Protection Agency, 미국 환경부)

- 공기(대기) 오염의 정의가 가장 포괄적

‘ 대기오염은 사람, 식물 그리고 동물의 생명과 우리의 재산에 해가 될 만큼 또는 인간이 생활과 재산을 안락하게 향유하지 못할 정도의 양만큼 특성을 가지고, 충분한 기간에 먼지, 스모크, 가스, 스모그, 악취, 매연, 증기 등과 같은 오염물이 한 종류 또는 그 이상이 대기에 존재하는 것 ’

대기오염의 범주

- 인간의 활동으로 인하여 생긴 대기오염물질이 보건학적인 측면에서 건강에 피해를 줄 정도로 높은 농도
- 사람, 동식물의 생명과 우리의 재산에 해가 될 만큼 한 가지 또는 그 이상의 오염 물질이 대기에 존재할 경우
- 대기에 통상 존재하지 않는 또 다른 물질이 생성되거나 배출되었을 경우
- 정상적인 공기를 조상하는 농도 이상으로 존재할 경우



대기중 주요 오염물질의 오염원 비율

1. 입자상 물질(PM)

① 정의

PM(Particulate Matter) – 공기(기체)중에 부유(포함)되어 있는 고체나 액체의 입자(particle)

공기중의 PM은 고체나 액체이기 때문에 일정한 크기와 형태를 가지고 있음

- 대기오염물질 중에서 가장 잘 보이고 분명한 형태를 가진 입자

PM의 입자 크기는 대부분 $0.001\mu\text{m}$ - $10\mu\text{m}$

- 공기와 함께 대부분 사람의 호흡기계를 통해서 흡입될 수 있음 – 건강보호 측면에서 매우 중요

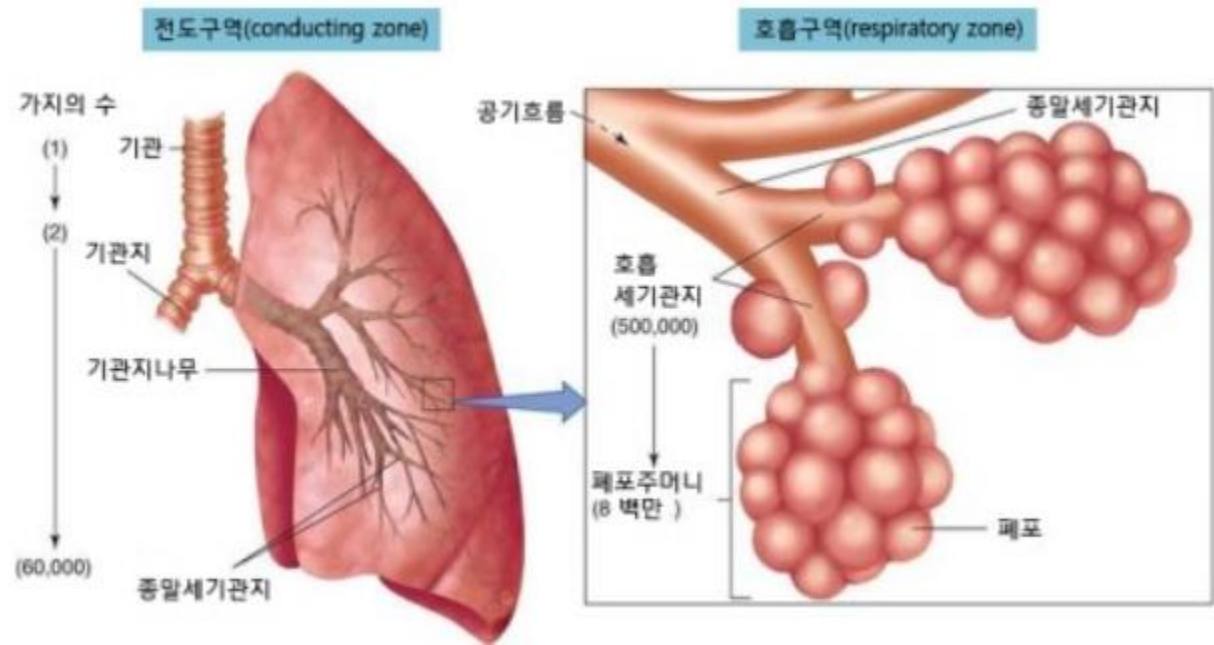
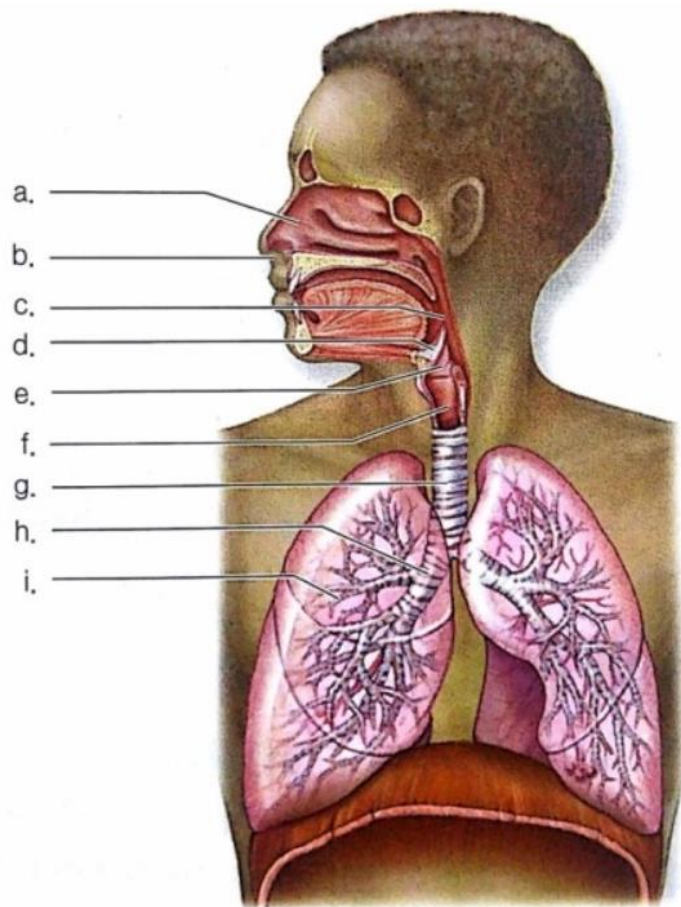
② PM의 크기별 구분

PM이 호흡기계에 침착(deposition)되는 데 영향을 미치는 요인

- PM의 크기
- PM의 화학적인 성분(용해도)
- PM의 농도

이중 가장 크게 영향을 미치는 요인은 PM의 크기임

- PM이 함유된 공기가 호흡을 통해 역가지 형태로 되어 있는 인체의 호흡기계로 흡수 될 때 PM의 크기가 작을 수록 이동 거리가 증가하여 폐포의 심층부까지 침투될 수 있기 때문임



환경 오염의 지표로 측정 – PM₁₀과 PM_{2.5}

- 어린이, 노약자, 환자 등 오염물질에 민감한 사람을 포함한 일반 시민의 건강보호

실내환경에는 PM₁₀ 기준만 설정되어 있음

우리나라 환경정책기본법 시행령

PM₁₀ – 일평균 100 μ g/m³ 이하, 연평균 50 μ g/m³ 이하

PM_{2.5} – 일평균 50 μ g/m³이하, 연평균 25 μ g/m³ 이하

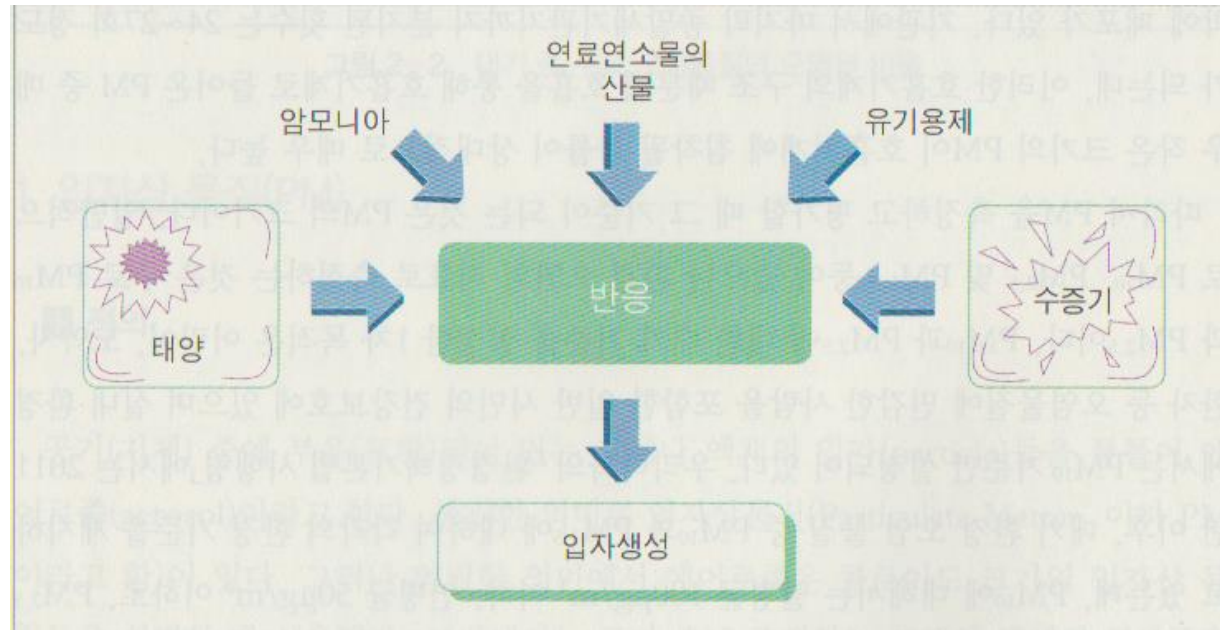
(1) PM₁₀

- 10 μ m이하 크기를 가진 입자로서 미세먼지라고 함
- 10 μ m는 일반적인 머리카락 두께의 1/7 정도임
- 입자크기가 2.5-10 μ m인 것은 거친(거대)입자(coarse particle)
- 포장이나 비포장도로 등에서 차량이 운행되는 과정
- 고체물질이 연삭(grinding)이나 붕괴(crushing) 등의 물리적 현상으로 발생

(2) PM_{2.5}

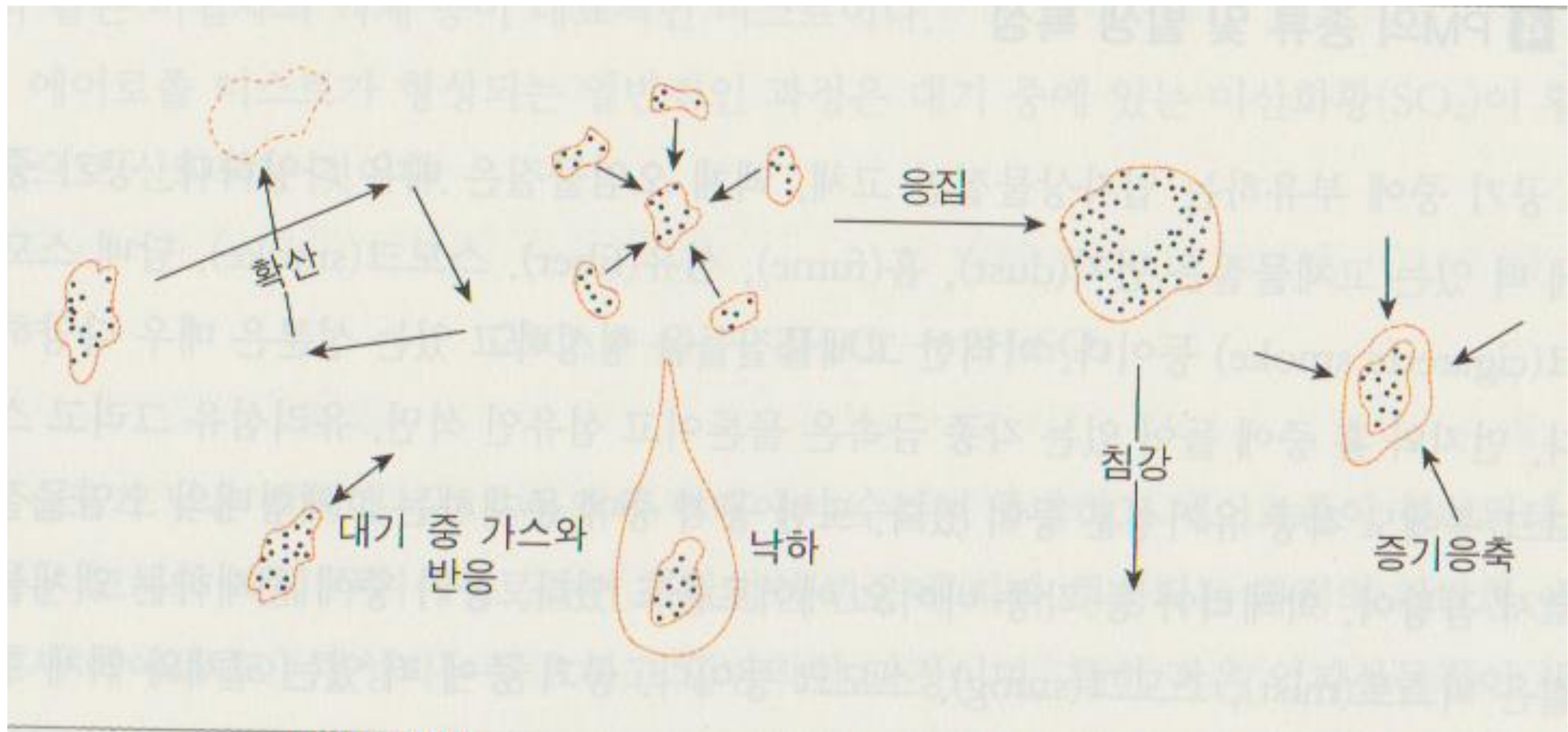
- 2.5 μ m이하 크기로 초미세먼지(fine particle)
- 2.5 μ m는 일반적인 머리카락 두께의 1/30 정도로 매우 미세하여 폐포까지 흡수
- 다양한 연소과정(자동차, 공장, 목재소각, 산업공정)
- 공기 중에서 가스의 화학적 변화에 따라서도 형성(연소과정에서 배출된 가스가 태양광이나 수증기와 반응하여 2차 생성물로 형성되기도 함)

③ PM의 거동



반응에 의한 입자상물질의 생성과정

PM은 오염원(자동차, 산업시설 등)으로부터 공기중으로 직접 배출되거나 배출된 오염물질들이 반응하여 2차로 또 다른 PM이 생기기도 함



대기중 입자상 물질의 거동

- 확산(diffusion) : 작은 콜로이드 크기의 입자로서 브라운 운동에 따라 공기중에서 확산
- 응집(coagulation):콜로이드 크기의 입자보다 작은 입자들끼리 응집하여 보다 큰 입자로 됨
- 침강(sedimentation) : 대기로부터 입자가 가라앉는 현상 – 응집된 PM이나 크기가 크고 무거운 입자가 그 무게의 중력으로 떨어짐
- 낙하(precipitation) : 대기중에 떠 있는 입자가 다른 물질(비, 눈)에 의해 포획되어 함께 낙하
- 반응(reaction) : 대기중에 있는 입자와 가스상물질이 반응하여 2차 오염물질인 새로운 입자상 물질을 생성시킨다. 대기중의 연료 연소물, 유기용제, 가스, 수증기, 태양 등의 반응이 대표적
- 응축(condensation) : 대기중에 있는 또는 대기 중으로 배출되는 가스, 증기, 물등이 온도 차이로 인해서 주변 입자를 끌어들이면서 입자상 물질을 생성시킨다.

④PM의 종류 및 발생 특성

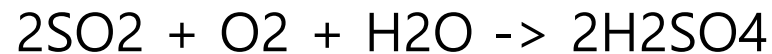
1) 먼지

1차 먼지 : 오염원(공정, 시설, 기계 등)에서 직접 공기 중으로 발생하는 고체상의 물질
불규칙한 형태를 가지고 있고 크기도 다양함

2차 먼지 : 침강된 1차 먼지가 다시 공기 중으로 분산(dispersion)된 것
서로 부착되어 있는 조그만 입자의 집합체나 덩어리의 형태가 많음

2) 미스트

- 상온에서 액체인 물질로부터 형성
- 증기가 공기 중에서 과포화된 물질의 응축에 의해서 발생
- 안개(fog)와 같은 미립자의 액체등이 대표적
- 에어로졸 미스트가 형성되는 일반적 과정 – 대기중의 이산화황(SO₂)이 황산으로 산화



- 습도가 낮은 상태에서는 수용액의 형태에서 수분이 증발하고 에어로졸이 형성
 - > 에어로졸이 형성되는 중요하고 일반적인 과정
 - > 작은 입자상 물질이 생기는 과정

3) 흙

- 상온에서 고체상태의 물질로부터 생성
- 미스트의 형성과정과 같이 공기 중에서 고체물질의 증기가 응축되어 생긴 미세한 고체입자
- 주요발생원은 자동차 배출물, 용접, 용해로, 용융로
- 크기가 $0.001-1\mu\text{m}$ 로 다른 입자상 물질의 크기에 비해 매우 작음
- 크기가 작아 폐포까지 쉽게 도달할 수 있다는 점이 중요함

4) 스모그

- 안개(fog)와 스모크(smoke)의 합 즉, 매연과 안개가 섞인 것
- 스모그에 포함된 다양한 가스상 물질, 오존, 입자상물질 등은 인간과 동식물의 생장에 악영향을 미침
- 1952년 12월 런던 스모그가 발생한 주말동안 4,000명 이상 사망
 - > 석탄연소로부터 발생된 아황산가스(SO_2)
 - > 아황산가스가 공기중에서 산화 -> 황산염 -> 폐포 깊숙이 침투하여 미세한 상피세포 손상

⑤ PM이 건강에 미치는 영향

- 호흡기계 증상의 증가(천식악화, 기침, 호흡곤란)
- 만성기관지염 -폐기능 저하 -조기사망

미세한 크기의 입자(PM2.5)의 노출은 조기사망에 더욱 유의한 관계가 있음

- 호흡기계나 심장질환 -폐질환의 유발 및 악화, 폐기능 저하
- 천식 -심혈관계질환

미국의 경우 1/3 이 PM2.5와 관련된 건강상의 영향을 경험할 높은 위험 있음-특히 어린이들 위험

⑥ 주요 입자상 물질의 특성, 기준, 건강상의 장애

1. 석면

- 섬유 : 폭과 길이의 비가 1:3 이상인 입자(농도 표시 : 일정부피 중에 존재하는 섬유의 개수)
- 열, 마찰, 화학약품 등에 강한 물질 – 5,000가지 이상의 제품생산에 사용
 - > 단열재(건축자재), 자동차 브레이크라이닝, 전선일 절연체, 방화복
- 마그네슘이 결합되어 수산화된 섬유상물질로 섬유상광물규산염임($\text{Mg}_3\text{P}(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$)
- 사문석(serpentile)형태의 백석면(chrysotile)이 95%로 가장 많음

석면의 건강상의 영향

- 석면 제품에서 방출되는 석면 입자들은 쉽게 제거되지 않음
- 외부 환경뿐만 아니라 인체에 흡수된 후에도 인체의 방어기전에 의해서 제거되지 않음
- 흡수된 신체의 조직에 박혀
 - > 폐암, 악성 중피종, 석면폐증 등을 초래
- 석면으로 인한 질병은 진단이 어렵고 치료가 불가능
 - > 세계적으로 석면 사용을 엄격하게 규제하거나 금지

우리나라는 석면안전관리법(2012년)

- 석면함유제품을 제조, 수입, 양도, 제공 또는 사용할 수 없음

2) 납

- 광범위 하게 사용(휘발유 첨가제, 페인트, 전선 피복제, 축전기 제조원료 등)
- 무연휘발유(노킹방지제로사용, 옥탄가 높이기 위해 금지) 사용으로 납노출 위험 많이 감소
- 납의 주요 노출원 - 건축물, 가구물, 구조물에 함유된 페인트

미국(1978년) - 사람들이 거주하는 건물에 납이 함유된 페인트 사용 금지

납은 우리 인체 구조와 기능에는 전혀 필요하지 않은 성분

납중독은 증상이 서서히 나타나서 조기발견 어려움(silent disease)

어린이의 경우 혈액 중 납 농도가 $10\mu\text{g}/\text{dL}$ 이하에서도 IQ가 평균치에서 11.1이나 떨어짐

2. 가스상물질

① 정의

-대기중 기체 형태로 존재하는 물질(가스, 증기)

->가스 – 상온 상압하에서 기체상으로 존재하는 물질

수소, 산소, 포름알데히드, 일산화탄소, 이산화탄소, 질소산화물, 황산화물, 오존

->증기 – 상온, 상압하에서 고체나 액체의 형태가 가장 안정하지만 급격한 압력의 강하나

온도의 상승으로 인해 엔탈피가 높아져 기체 상태로 존재, 확산의 성질을 갖음

② 탄소화합물

1) 일산화탄소(CO)

- 연료(석유, 휘발유, 석탄, 목재)의 불완전 연소에 의해 발생, 특히 자동차
- 냄새가 없는 맹독성의 무색 기체, 비중은 0.968
- 황, 염소, 철, 니켈 등과 반응, 각종 유해 화합물을 만듦
- 공기와의 혼합가스는 불꽃이 있으면 쉽게 폭발
- 혈액소가 산소와 결합하는 힘에 비해 친화력이 200배 강함
- > 고농도의 일산화 탄소가 존재하면 정상적인 산소 농도를 갖는 공기 중에서도 산소결핍증
- > 급성중독은 뇌조직과 신경계통에 가장 많은 피해를 줌

2) 이산화탄소

- 대기중에 0.03% 존재하며, 식물의 성장에 필수불가결한 물질
- 직접적인 건강상 문제보다는 온실효과(green house effect)의 강화현상
- 온실가스 대기권내 축적 -> 복사 적외선의 흡수가 증가 -> 온실효과 강화
- 실내공기 오염의 지표로 활용
 - > 800-1000ppm 초과하면 신선한 공기가 부족한 지표

③ 유기탄소화합물

-탄화수소(Hydrocarbon, HC)는 탄소와 수소의 화합물

-> 정유시설, 자동차 및 페인트 도장시설 등에서 발생

- 직접적인 건강상의 영향은 낮으나 폭발, 연소등의 안전상 위험 큼

- 유기탄화수소화합물은 일반 환경에서 건강에 유해할 정도로 대기 중에 배출되는 물질 많지 않음, 대부분 산업장에서 배출

- 벤젠 - 백혈병 초래 - 페인트, 주유소, 자동차 배출물등 다양한 오염원

-> 환경정책기본법 - 환경기준 $5\mu\text{g}/\text{m}^3$

④ 질소산화물

- 연소 공기중에 포함된 질소 및 연료 중에 함유된 질소가 연소 온도의 영향을 받아 산소와 결합하여 생성되는 물질
 - > NO₂, NO, N₂O, N₂O₃, N₂O₄, N₂O₅를 총칭하여 No_x로 표시
- 연소온도가 높을 수록 많이 발생
- 일산화질소 - 연소과정에서 발생 -> 대기에서 이산화질소로 쉽게 산화됨
 - > 폐를 자극하고 호흡기계 감염의 저항성을 저하시킴
- 질산염의 형태로 지표를 거쳐 물환경에 유입 - 부영양화
- No_x는 대기 중의 탄화수소, 자외선(or 가시광선)의 영향으로 오존, 포름알데히드, 과산화아세트산질산염 등의 각종 산화물을 생성하여 코, 눈, 점막 등을 자극하는 광화학스모그 발생시킴