

# #1 Gaussian plume 모델.

\* 정의 가우시안 플룸모델은 굴뚝에서 배출되는 오염 물질의 농도분포가 가우시안분포를 이룬다는 가정을 토대로 만들어진 "정상상태 - steady state" 의 모델로, 연기의 지평선사태 혼합층 상부에서의 반사(Reflection)를 고려한 모델이다.

\*\* 참고 플룸모델에서 모델의 정확도를 좌우하는 중요한 요소는 플룸의 수평확산도( $\sigma_y$ ) 및 연직확산도( $\sigma_z$ )이며, 보통 대기안정도와 풍하리의 함수로부터 구하는 Pasquill-Gifford 방법을 적용한다

$$\begin{aligned} \sigma_y &= R_y x^{\gamma_y} & \text{or} & \quad \sigma_y = \exp(I_y + J_y \ln x + K_y (\ln x)^2) \\ \sigma_z &= R_z x^{\gamma_z} & & \quad \sigma_z = \exp(I_z + J_z \ln x + K_z (\ln x)^2) \end{aligned}$$

Pasquill-Gifford는 A~F까지 대기의 안정도를 6등급으로 구분하였는데

A: 매우 불안정 B: 불안정 C: 다소 불안정 D: 중립 E: 다소 안정 F: 매우 안정으로 구분가능하다. 그에따라  $\sigma_y$   $\sigma_z$ 에 들어가는  $I_y, I_z, J_y, J_z, K_y, K_z$ 의 계수는 다음과 같다.

	A	B	C	D	E	F
$I_y$	-1.104	-1.634	-2.054	-2.555	-2.754	-3.143
$I_z$	0.9898	1.0350	1.0231	1.0423	1.0106	1.0148
$J_y$	-0.0016	-0.0096	-0.0006	-0.0087	-0.0064	-0.0040
$J_z$	4.609	-1.999	-2.341	-3.186	-3.783	-4.490
$K_y$	-1.7112	0.8152	0.9471	1.1737	1.3010	1.4024
$K_z$	0.2770	0.0136	-0.0020	-0.0316	-0.4050	-0.0540

\* 특징. 플룸모델은 실제의 대기상태를 매우 단순화시킨 것이고 많은 가정을 포함하고 있으므로 실제 적용하는 경우 적용대상이 제한조건에 한정한 정도가 필요하다. 이 모델은 배출량과 기상조건이 시간에 따라 변화하지 않는 정상상태를 가정하여, 화학반응을 고려하지 못하는것이 단점이다. 그러나 계산과정이 비교적 단순하여 컴퓨터 계산량이 적으며 입력자료도 비교적 간단하므로 사용이 용이하다. 때문에 실용적인 목적에 이용되는등 현재 가장 많이 이용되는 모델이다. 모델의 종류도 기안별, 지형별, 배출원별 등에 따라 매우 다양하다.

⇒ 도시권의 대기질 관리 정책과 환경영향평가 등에서 가장 널리 사용되는 COM2.0, ISO, TCM, HIWAT 등이 가우시안모델의 응용이다.

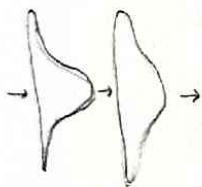
→ 한계. Pasquill - Gifford는 매우 평탄한 지역이나 설치된 확산 실험 값이므로 도심지역과 같이 지표면이 거칠고 열염도가 있는 곳이나 지면의 성질이 균일하지 않은 곳. 또는 우리나라 같이 평탄도가 거의 없는 복잡한 지형을 대상으로 모델링을 할 경우 오차가 크게 날 수 있다. 반면 풍향의 변동성을 고려하므로 해당지역의 바람의 실험자료를 이용하여 확산특성을 잘 반영할 수 있다.

#### \* 가우시안 distribution.

밀도함수  $f(x)$ 가 다음식을 가질 때,  $x$ 는 정규분포를 갖는다고 한다.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2} \right\} \quad \begin{array}{l} \mu: \text{평균의 값} (\text{최대값 관련}) \\ \sigma: \text{표준편차} (\text{퍼짐 정도 관련}) \end{array}$$

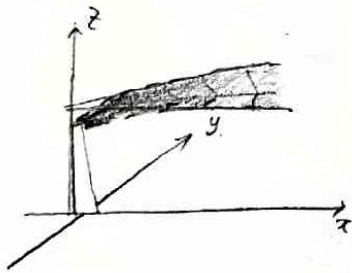
#### \* 등산 확산방정식은 이중의 가우스 분포형식을 가짐



x 방향 : 바람이 부는 방향.

y 방향 : x방향에 수직인 좌·우 확산방향.

z 방향 : x, y 방향에 수직인 방향.



y, z 방향에서의 이중가우시안분포는, 각 y, z 좌표의 단방향가우스 분포의 곱임.

$$f(y, z) = \frac{1}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \exp \left\{ -\frac{(y-y_0)^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z-z_0)^2}{2\sigma_z^2} \right\}$$

#### \* 가우시안 확산방정식

$$C(x, y, z, t) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z\bar{u}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left( \frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right\} \times \left[ \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{z-h_e}{\sigma_z} \right)^2 \right] + \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{z+h_e}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right]$$

$C$ :  $t$ 명분  $x$ 로부터 배출된  $Q$ 명분질의  $(x, y, z)$ 에서의 농도.

$\sigma_y, \sigma_z$ : 배출된  $Q$ 명분질의 수평 수직 표준편차.

$\bar{u}$ : 평균 풍속.

$Q$ : 배출량.

$h_e$ : 유효출처의 높이 ( $h_e = a_h + h_s$ )

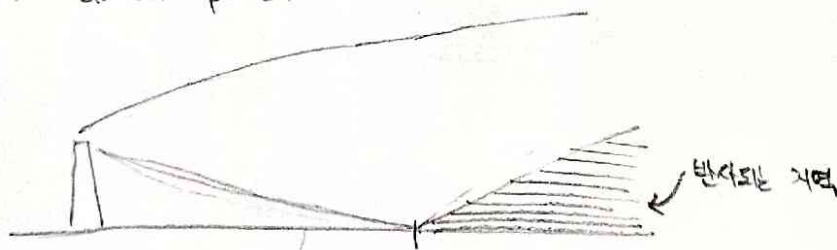
\* 가정

- ① 오염원으로부터 연속배출 : 단위시간당 오염물질의 배출은 연속적이며, 그 배출량( $Q$ )은 시간에 따라 변하지 않고 일정하다
- ② 질량보존 : 오염원에서 수역까지 이동하는 동안 오염원에서 배출된 오염물질은 퇴적현상, 증발현상, 난류의 영향에 의해 제거되지 않음
- ③ 정상상태 : 기상조건은 오염원으로 부터 수역까지 이동하는 동안 일정하게 유지됨
- ④ 오염물질의 수평 및 수직 분포 : 풍하향이 어느정에서 수직방향으로 수평방향으로 오염물질이 평면농도 분포는 가우시안 분포를 가짐

\* 각인자들의 의미

- 배출량  $Q$  : (수역과 수역에서의 농도는 배출량에 비례)
- 풍속 :  $U$  (주풍방향의 농도는  $U$ 에 반비례)
- 유효높이 :  $H$  (유효높이 + plume rise)

\* 반사효과 Gaussian plume



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

if  $z=0$ 이면

$$C(x, y, 0) = \frac{Q}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

if  $z=0, y=0$ 이면

$$C(x, 0, 0) = \frac{Q}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right)$$



\* 다음은 python을 이용하여 Gaussian Plume 모델을 사용한 결과이다.

① Point Source.

$$\text{Rate} = 108 \text{ g/s/m}^2$$

$$H = 20 \text{ m}$$

$$z = 0$$

$$\bar{u} = 1 \text{ m/s}$$

Pasquill - Gifford 'A' ~ 'F'

'A'

'B'

'C'

'E'

'F'

'G'

② Area Source.

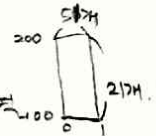
$$\text{Rate} = 108 \text{ g/s/m}^2$$

$$z = 0$$

Pasquill - Gifford 'B'

$$H = 20 \text{ m}, 40 \text{ m}, 60 \text{ m} \quad \bar{u} = 1 \text{ m/s}$$

y가 -100 ~ 200 까지 21개 지점 등간격 x가 0 ~ 1 까지 51개 지점 등간격



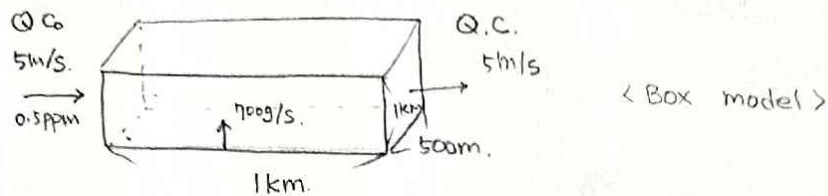
$$H = 20 \text{ m}$$

$$H = 40 \text{ m}$$

$$H = 60 \text{ m}$$

⇒ 거리에 따른 실험치와 RMSE를 줄여나가는 식으로 최적화 가능.

# 2



가정조건.

- ① 배출된 대기오염물질은 방출과 동시에 균질하게 혼합된다
- ② 대기오염 배출원이 특정지역에 균일하게 분포되어 있다
- ③ 바람의 방향과 속도는 일정하다
- ④ 대기오염물질은 다른 물질로 전환하지 않으며 1차반응만을 한다.
- ⑤ 배출원은 면배출원이다

1)  $C_0$ 의 산정

$$0.5 \text{ ppm CO} = X \text{ mg/L} \cdot \frac{22.4 \text{ L}}{12+16 \text{ g/mol}}$$

$$X \text{ (mg/L)} = 0.5 \cdot \frac{12+16}{22.4} = 0.625 \text{ mg/L}$$

2) 방정식 세우기 (using mass balance)

$$V \cdot \frac{dc}{dt} = QC_0 - QC + S - kCV$$

$$\frac{dc}{dt} = \frac{Q}{V}C_0 + \frac{S}{V} + \left( \frac{-Q-kV}{V} \right) c$$

$$\frac{dc}{dt} + \underbrace{\left( k + \frac{Q}{V} \right)}_{\text{Constant} = \lambda} c = \underbrace{\frac{QC_0+S}{V}}_{\text{Constant} = \lambda}$$

$$\frac{dc}{dt} + \lambda c = \lambda \quad \times e^{\lambda t} \text{ (Integrating factor)}$$

$$\frac{d}{dt}(e^{\lambda t} c) = e^{\lambda t} \lambda$$

$$e^{\lambda t} c + C = \int e^{\lambda t} \lambda dt = \frac{1}{\lambda} e^{\lambda t} \cdot \lambda$$

$$C(0) = C_0$$

$$C(0) + C = \frac{1}{\lambda} \cdot \lambda \quad C = \frac{1}{\lambda} - C_0$$

$$e^{\lambda t} c = \frac{1}{\lambda} e^{\lambda t} \lambda - \frac{1}{\lambda} + C_0$$

$$C(t) = \frac{1}{\lambda} - \left( \frac{1}{\lambda} - C_0 \right) e^{-\lambda t} = \frac{1}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}) + C_0 e^{-\lambda t}$$

$$= \frac{QC_0+S}{kV+Q} (1 - e^{-(k+\frac{Q}{V})t}) + C_0 e^{-(k+\frac{Q}{V})t}$$

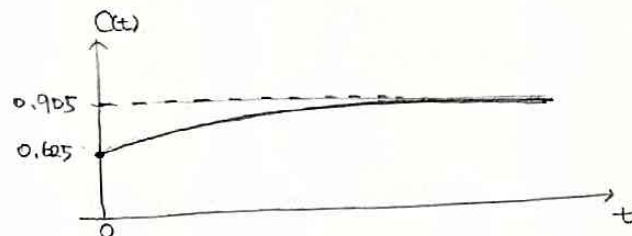
3) general Solution

$$C(t) = \frac{QC_0 + S}{kV + Q} (1 - e^{-(k + \frac{Q}{V})t}) + C_0 e^{-(k + \frac{Q}{V})t}$$

If  $k=0$ , 화학반응이 일어나지 않는 경우.

$$\begin{aligned} C(t) &= \left( \frac{(500m \cdot 1000m \cdot 5m/s) \cdot 0.625mg/L + 1700g/s}{500m \cdot 1000m \cdot 5m/s} \right) \left( 1 - e^{-\left( \frac{500 \cdot 1000 \cdot 5}{500 \cdot 1000 \cdot 1000} \right) t} \right) \\ &\quad + 0.625 mg/L \cdot e^{-\left( \frac{500 \cdot 1000 \cdot 5}{500 \cdot 1000 \cdot 1000} \right) t} \\ &= 0.905 \cdot (1 - e^{-0.005t}) + 0.625 e^{-0.005t} \\ &= 0.905 - 0.28 e^{-0.005t} \end{aligned}$$

$$\frac{dC(t)}{dt} > 0 \quad \text{in } \forall x. \text{ 이므로,}$$



If  $k \neq 0$ , 화학반응이 일어나는 경우.

$$\begin{aligned} C(t) &= \frac{500 \cdot 1000 \cdot 5 \cdot 0.625 mg/L + 1700g/s}{500 \cdot 1000 \cdot 5 + k \cdot 500 \cdot 1000 \cdot 1000} \left( 1 - e^{-(k + \frac{500 \cdot 1000 \cdot 5}{1000 \cdot 500 \cdot 1000})t} \right) \\ &\quad + 0.625 mg/L \cdot e^{-(k + \frac{500 \cdot 1000 \cdot 5}{500 \cdot 1000 \cdot 1000})t} \end{aligned}$$

# 3

a)

Step 1.  $h_e$ , 유효높이 산정

$$h_e = h_s + \Delta h = h_s + \frac{E x^b}{u^a}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{1} F \text{ (buoyancy parameter)} &= \frac{g d^2 V_s (T_s - T_a)}{4 T_s} = \frac{(9.8 \text{ m/s}^2) \cdot (3 \text{ m})^2 \cdot (10 \text{ m/s}) \cdot (430 - 293 \text{ K})}{4 \cdot 430 \text{ K}} \\ &= 70.2523 \text{ m}^4/\text{s}^3 \end{aligned}$$

② Cross over Temp. d.iff  $((\Delta T)_c)$ .

$$\begin{aligned} (\Delta T)_c &= 0.00575 T_s V_s^{2/3} \cdot d^{1/3} = 0.00575 \cdot 430 \cdot 3^{1/3} \cdot 10^{2/3} \\ &= 16.55 \text{ K} \Rightarrow \Delta T > (\Delta T)_c \text{ 이므로 흐름은 'Buoyant Plume' 이다.} \end{aligned}$$

③.  $h_e = h_s + \Delta h$ . $E$  는  $F > 55 \text{ m}^4/\text{s}^3$ ,  $a=1$   $b=0$  일때

$$E = 38.7 F^{3/5} = 38.7 \cdot (70.2523)^{3/5} = 496.257 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\Delta h = \frac{E}{u} = \frac{496.257 \text{ m}^2/\text{s}}{10 \text{ m/s}} = 49.626 \text{ m}$$

Step 2. Coefficient의 결정.

Pasquill 대기 안정도가 'B' ≡ 'unstable' 이므로.

$$C_z = R_z x^{\gamma_z}$$

$$R_z = 0.012 \quad \gamma_z = 1.021$$

$$C_y = R_y x^{\gamma_y} \quad \text{에서}$$

$$R_y = 0.306 \quad \gamma_y = 0.885 \quad (\text{by Klug, 1969})$$

Step 3.  $y = z = 0$  에서의 산정.

① Original Gaussian Puff (considering reflection).

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{(y-y_0)^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left\{ \exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right\}$$

$$\Downarrow y = z = 0$$

$$C(x, 0, 0) = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp\left(-\frac{h_e^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

\*  $x_m$ 은 최대확산계를 의미 ②.  $C$ 를  $x$ 에 대해 미분함.  $C_z$ 으로 정리

$$C_z(x_m) = \frac{-h_e b(\Delta h) + h_e^2 \cdot \gamma_z}{\sigma_y + \gamma_z} = \frac{h_e^2 \gamma_z}{\sigma_y + \gamma_z}$$

$$C_z(x_m) = \left( \frac{h_e^2 \gamma_z}{\sigma_y + \gamma_z} \right)^{\frac{1}{2}}$$



Step 4.  $x_m$  (최대착지거리)의 산정.

(Step 2 에서  $\sigma_z = R_z \gamma_z$ )

$$x_m = \left( \frac{\sigma_z}{R_z} \right)^{\frac{1}{\gamma_z}} = \left( \frac{1}{R_z} \cdot \left( \frac{h_e^2 + \gamma_z}{\gamma_y + \gamma_z} \right)^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{1}{\gamma_z}} = \left( \frac{h_e^2}{R_z^2 (\gamma_y + \gamma_z)} \right)^{\frac{1}{2\gamma_z}}$$

$$x_m = \left( \frac{(149.626)^2}{(0.072)^2 (1.021 + 0.885)} \right)^{\frac{1}{2 \cdot 0.885}} = 3895.14 \text{ m}$$

Step 5.  $C_m$  (최대착지농도)의 산정.

$$C(x_m, 0, 0) = \frac{Q}{2\pi \bar{u} \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{h_e^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

식을 정리하면,

$$C(x_m, 0, 0) = \frac{Q \gamma_z^{\gamma_z} R_z^{\gamma_z-1}}{\pi e^{\gamma_z/2} R_y h_e^{\gamma_z} \bar{u}} \quad (\text{if } \sigma_z = \gamma_z, C(x_m, 0, 0) = \frac{2QR_z}{\pi e R_y h_e^{\gamma_z} \bar{u}})$$

$$\gamma = 1 + \sigma_y / \sigma_z = 1 + \frac{0.885}{1.021} = 1.867$$

$$C(x_m, 0, 0) = \frac{10^3 \text{ g/s} \cdot (1.867)^{1.867/2} \cdot (0.072)^{1.867-1}}{\pi e^{1.867/2} \cdot 0.306 \cdot (149.626)^{1.867} \cdot 10 \text{ m/s}}$$

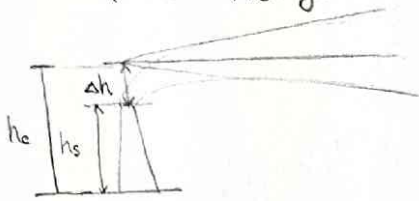
$$= 0.00065 \text{ g/m}^3 = 0.65 \text{ mg/m}^3$$

$$= 0.65 \cdot \frac{22.4}{(22.4 + 22.2)} = 0.152 \text{ ppm}$$

$$\text{if } \bar{u} = 3, \quad C(x_m, 0, 0) \cdot \frac{10}{3} = \underline{0.507 \text{ ppm}}$$



b). plume rising



$$h_e = \Delta h + h_s$$

$h_e$  = 유효높이

$h_s$  = 실제출구의 높이

$\Delta h$  = "plume rising"

Def. Plume Rising은 초의 '부력'과 '분자의 운동성'의 영향으로 상승하는 연기의 높이 ( $\Delta h$ ) 이다.

• plume의 성질은 초의 부력과 분자의 운동성에 의해 결정.

① 부력 > 운동성 Buoyant plume



② 부력 ≈ 운동성 Forced plume



③ 부력 << 운동성 Jet plume



• plume의 특징은 가스의 성격, 대기조건에 의해 영향을 받음.

특히 출구온도 ( $T_s$ ), 대기의 온도 ( $T_a$ ), 배출속도 ( $V_s$ )

대기의 안정도 (Pasquill), 바람의 속도 ( $U$ )

• Plume Rising은 최대직지농도 (maximum mean ground-level concentration,  $C_{max}$ )

를 결정하는데 중요한 인자임.

$$\Rightarrow C_{max} = \frac{Q \cdot x^{3/2} \cdot R_s^{3/2}}{\pi e^{3/2} \cdot g \cdot h_e^3 \cdot U} \quad \text{따라서 } h_e^3 \text{ 에 반비례하여 감소한다}$$

(Roughly, if  $\delta_y \approx r_y$ ,  $h_e^2$ .)

즉  $C_{max}$ 는  $h_e$ 가 높을수록 줄어든다.

• plume rise 식은 다음과같이 축약된다.

$$\Delta h = \frac{E \cdot x^b}{U^a}$$

대기의 안정도, 풍속 및 발열량

$E$  : 와벤프 (MW)

$U$  : 출구온도의 바람속도 (m/s)

$x$  : 거리

$a, b$  : coefficient

< 부력이 주요한 영향 인자일때 >

a	b	E	Condition
1	0	$1.4(Fh_s)^{1/3}$	
1	2/3	$1.6F^{1/3}$	$F < 55 \times 10^4$
1	0	$2.14F^{1/4}$	$F < 5 \times 10^4$
1	2/3	$1.6F^{1/3}$	$F < 55 \times 10^4$
1	0	$38.9F^{3/5}$	$F < 55 \times 10^4$
1/3	0	$2.9(Fh_s)^{1/3}$	
1/3	0	$2.4(Fh_s)^{1/3}$	
0	0	$5F^{1/4} \cdot h_s^{-1/8}$	
1	2/3	$1.6F^{1/3}$	

또한  $F$  (부력관련 변수)

$$F = \frac{38^3 V_s (T_s - T_a)}{4 T_s}$$

$d$ : 직경,  $T_s$ : 출구온도  
 $V_s$ : 출구속도,  $T_a$ : 대기온도

- ①  $\text{CO}_2$  ; 연료의 사용 (석유, 석탄 등의 화석 연료의 연소 과정에서 발생)  
농업을 위한 삼림벌채와 같은 산림훼손으로 토지사용량도 변화  
시멘트 제조업 등의 공업, 연소과정  
유기물질의 자연적 분해, 화산활동
- ②  $\text{CH}_4$  ; 목축, 논·늪·해양 등에서의 미생물 활동  
인간의 천연가스 사용  
석탄 채굴, 매립지에서의 폐기물 배출  
생물이나 화석연료의 연소, 쓰레기 매립 등의 인간활동  
습지, 흰개미, 대양, 식물, 메탄수화물로부터의 배출
- ③  $\text{O}_3$  ; 자동차 배기가스 및 공장 배출가스 등에 포함된  $\text{NO}_x$ ,  $\text{HC}$  등이  
강한 태양광선 중 자외선에 의해 광화학 반응을 일으켜 생성.
- ④  $\text{N}_2\text{O}$  ; 화석연료의 연소, 질소비료의 사용, 벌목, 식량생산의 증대.
- ⑤  $\text{CFC}$  ; 에어컨, 냉장고, 냉동기의 세척제, 산업용제, 스프레이 용품의  
추진제 사용.

## 2) GWP (Global Warming Potential, 지구온난화지수)

이산화탄소의 단위질량과 비교했을 때, 해당온실가스가 대기중에 방출된 후  
특정기간 동안 대기 하층에서 상층권까지의 가열 효과가 어느정도인가를  
평가하는 척도.

①  $\text{CO}_2$  GWP = 1

$\text{CO}_2$ 의 GWP 외기는 물질로, 산업혁명 이후에 그 배출량이 급격히 증가하여  
현재 1인당 1톤이상의  $\text{CO}_2$ 를 배출하고 있으며 배출량이 많아서 지구온난화에  
많은 영향을 끼친다.

②  $\text{CH}_4$  GWP = 21

전체 온실가스의 15% 정도의 양을 차지하며, 그 양은 많지 않으나, 지구온난화  
기여도가  $\text{CO}_2$ 보다 21배나 높으므로, 그 영향을 무시할 수 없다.

③  $O_3$  :  $O_3$ 은 따로 GWP가 산정되어 있지 않다.

$O_3$ 의 온실효과 기여도는 약 3% 가량으로, 대기가 4%를 가체한다는 점을 고려했을 때, 상당히 온실효과에 큰 영향을 미친다고 할 수 있다.

④  $N_2O$  :  $GWP = 310$ .

$N_2O$ 은  $CO_2$ 보다 지구온난화 기여도가 310배나 높으며, 분해되는 데에 오랜 시간이 걸려 장기적으로 악영향을 미친다 (분해시간 12년).

⑤. 염화불화탄소 (CFCs) :  $GWP =$  약 5350.

CFC는 대표적인 High-GWP 기체로, 극히 적은 양으로도 엄청난 영향을 미친다. 그 양이 비록 1%가량으로 적으나  $CO_2$ 보다도 더 많은 열을 가두는 것으로 알려져 있다. CFC를 포함한 High-GWP 기체들은 그 사용이 엄격히 금지된다.

3). 대표농도경로 RCP는 2100년까지 어떻게 양상이 전개될지 4개의 시나리오로 제시한다. 탈탄화시나리오. RCP 2.6 중탄화시나리오 RCP 4.5, RCP 6.0, 높은 시나리오 RCP 8.5가 있다. 아무런 탄화노력을 하지 않으면 RCP 8.0과 RCP 8.5 사이에 존재한다.

\* 기후시스템

1850~1900년 대비 2051~2100년의 기온 온도 변화 RCP 4.5 RCP 6.0 RCP 8.5에서 1.5°C를 초과할 가능성이 높은 것으로 전망된다. RCP 6.0과 RCP 8.5에서는 지구온난화가 2°C를 초과할 가능성이 높고, RCP 4.5에서는 2°C를 초과하지 않을 가능성보다 초과할 가능성이 높은 것으로 보이지만 RCP 2.6에서는 2°C를 초과할 가능성이 낮다.

1986~2005년은 기준으로 21세기 후반 지구 평균 표면 온도는 RCP 2.6에서 0.3~1.7°C, RCP 4.5에서 1.1°C~2.6°C, RCP 6.0에서 1.4°C~3.1°C, RCP 8.5에서 2.6~4.8°C 상승할 가능성이 높다. 북극 지역의 온난화는 가장 심하며, 그 속도는 지구 평균 온난화 속도보다 빠르다.

→ 극한 고온 현상 증가, 저온 현상 감소는 사실상 확실하다, 폭염의 발생 빈도가 지속시간은 증가할 가능성이 매우 높다.

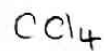
해수면에서는 온난화와 산성화가 지속될 것이며 전지구 평균 해수면은 계속해서 상승한다.



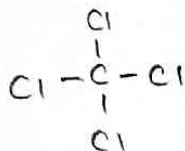
\* 2100년 이후, 경제적 손실이 너무 커서 예측되지 않는다 하더라도 다양하게 나타나는  
기후변화와 그 영향은 앞으로 수세기에 걸쳐 지속될 것이다. 온난화가 심화됨에 따라  
감산스럽게 나타나거나 더가득해진 변화의 위험이 증가할 것이다.

IPCC는 제5차 보고서에서, 2100년대에 기온 4.8도 증가, 해수면 82cm 상승을 예상하고  
있으며, 최소 기온 1.5도 증가, 해수면 18cm 상승을 예상하고 있다. 최소의 경우에도,  
기온과 해수면 상승이 예상되면 이에대한 대응책 마련이 필요하다.

# 5. 1)

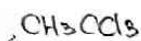


사염화탄소

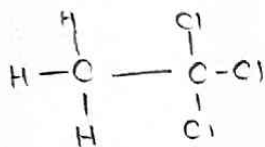


153.82 g/mol.

Carbon tetrachloride.



메틸클로로폼

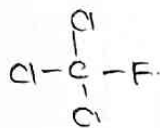


133.40 g/mol

1,1,1-trichloroethane.



삼염화플루오로탄소

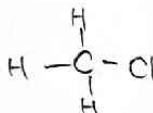


137.38 g/mol

trichlorofluoromethane.

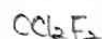


염화메틸

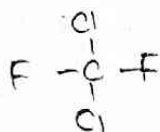


50.49 g/mol.

Methyl Chloride.

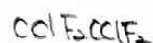


이염화다이플루오로탄소

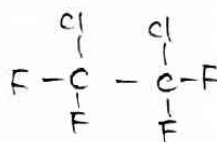


120.92 g/mol

dichlorodifluoromethane



이염화사플루오로에탄

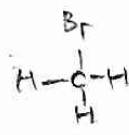


170.93 g/mol

tetrafluoroethane

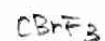


브로민메틸

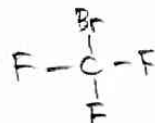


94.95 g/mol.

methyl bromide



플루오로브로민삼탄소

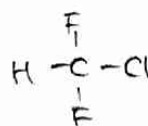


148.92 g/mol

trifluorobromomethane

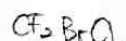


염화이플루오로에탄

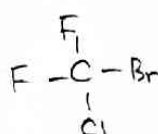


85.46 g/mol

hydrochlorodifluorocarbon.

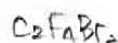


염화이플루오로브로민메탄

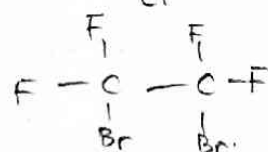


165.31 g/mol

bromochlorodifluoromethane.

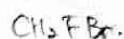


A-이염화이플루오로에탄

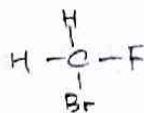


259.82 g/mol

dibromotetrafluoroethane.



플루오로브로민메탄

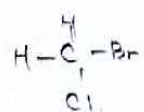


112.93 g/mol

bromofluoromethane



염화브로민메탄

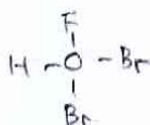


129.38 g/mol.

bromodichloromethane



플루오로다이브로민메탄

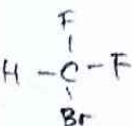


191.83 g/mol

dibromofluoromethane



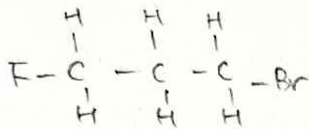
이플루오로브로민메탄



130.92 g/mol

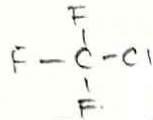
bromodifluoromethane.

$C_3H_6FBr$   
불라 브로마프록판



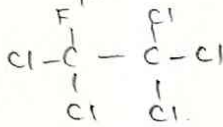
140.98g/mol bromofluoropropane

$CF_3Cl$   
염화 삼불소메탄



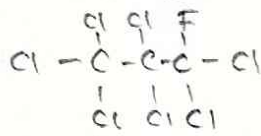
104.46g/mol Chlorotrifluoromethane

$C_2FCl_5$   
오염화 불화메탄



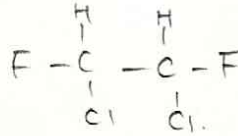
220.27g/mol pentachlorofluoroethane

$C_3FCl_7$   
칠염화 불화프로판



303.18g/mol heptachlorofluoropropane

$C_2H_2F_2Cl_2$   
이염화 이불라이에탄



134.93g/mol dichlorodifluoroethane

## 2) 대체 물질의 종류와 효과

효과	기존 CFC	대체 물질과 대체 혼합물
냉매 대체	CFC-11	HCFC-123 HFC-134a HFC-245fa
	CFC-12 R-500 (CFC-12, HFC-152a)	HFC-134a R-401A, B (HCFC-22/124, HFC-152a) R-405A (HCFC-22/142b, HFC-152a, R318) R-406A (HCFC-22/142b, isobutane) R-409A (HCFC-22/124/142b)
	R-502 (CFC-113, HCFC-22)	R-402A, B (HCFC-22, HFC-125, propane) R-403B (HCFC-22, PFC-218, propane) R-404A (HFC-125/143a/134a) R-407A, B (HFC-32/125/134a) R-408A (HCFC-22, HFC-143a/25)
세정제 대체	CFC-113 1,1,1-trichloroethane	HFE-7100 (C <sub>4</sub> F <sub>10</sub> OCH <sub>3</sub> ) HFE-7200 (C <sub>4</sub> F <sub>9</sub> OCH <sub>3</sub> ) CF <sub>3</sub> CCF <sub>2</sub> C <sub>2</sub> F <sub>5</sub> HCFC-141 HCFC-225ca/225cb C <sub>5</sub> F <sub>10</sub> H <sub>2</sub> , C <sub>5</sub> F <sub>8</sub> H <sub>2</sub> , C <sub>6</sub> F <sub>14</sub> , C <sub>6</sub> F <sub>13</sub> H, C <sub>6</sub> F <sub>13</sub> CH <sub>3</sub>
발포제 대체	CFC-11 CFC-114	HCFC-22, HCFC-124, HFC-125 HFC-134a, HCFC-141b, HFC-142b HFC-152a, HFC-245ca, HFC-245fa HFC-236ca, HFC-245eb, HFC-315mfc



- 2세대.
- ① HCFC: CFC에 탄화수소가 첨가하여 CFC의 안정성을 떨어뜨려 상용화에 도달하기 전에 분해되도록 유도한 물질이다. C기가 전부 완전히 치환되어 있으면, CFC와 마찬가지로 오존층 파괴 효과가 있지만 HCFC도 규제물질을 포함하고 있다.
  - ② HFC: CFC의 모든 염소를 수소로 치환한 것으로 오존 파괴 효과가 없다. 그러나 치환된 수소가 많을수록 불안정하여, 대체물질로 사용하기 어렵다. 또한 강력한 온실효과의 원인 물질이다.

- 3세대.
- ③ PFC: CFC의 모든 C기를 F기로 치환한 것으로 오존층 파괴 효과가 없다. 하지만 수명이 길고 온실효과는 유도한다는 단점이 있다.
  - ④ 기타. (Fluorinated Ethers / Esters / Alcohols / Cyclics / Aromatics / Propenes / Butanes)  
오존층 파괴와 지구온난화 효과가 작고, CFC의 온실효과를 갖는 우수한 보조제 물질이다.

### 3) 몬트리올 의정서의 주요내용

몬트리올 의정서(오존층 파괴 물질에 관한 몬트리올 의정서)는 오존층 파괴 물질에 대한 규제를 목적으로 1989년 발효된 국제협약으로 주요 내용은 다음과 같다.

- 규제 대상물질 규정: CFCs, 염화불화탄화수소, halon, 메틸 브로마이드, CCl<sub>4</sub> 등 96가지 물질. (형식이 처음 시행될 당시는 20가지였으나 오존층 보호에 기여하는 판단에 의해 규제강화).
- 미가입국과 규제물질 자체의 수출입을 금지하고 규제물질 함유제품의 수입금지.
- 1990년 부터 최소한 4년에 한번씩 과학적, 환경적, 기술적, 경제적 성향에 입각하여 규제수준을 재평가.
- 염화불화탄화수소 단계적으로 감축하게 하였다.
- 개발도상국의 경우 선진국에 비해 감축일정은 10년간 유예하거나 의정서 이행에 대한 재정 지원을 위하여 '다자기금'을 설치하였다.
- 규제물질에 관한 생산 수입 및 수출량에 관한 자료를 목록에 등록하게 하였다.

대기 관리. 2014890021 김태현.

HW # 2.

\* 다음은 python을 이용하여 Gaussian Plume 모델을 사용한 결과이다.

①. point Source.

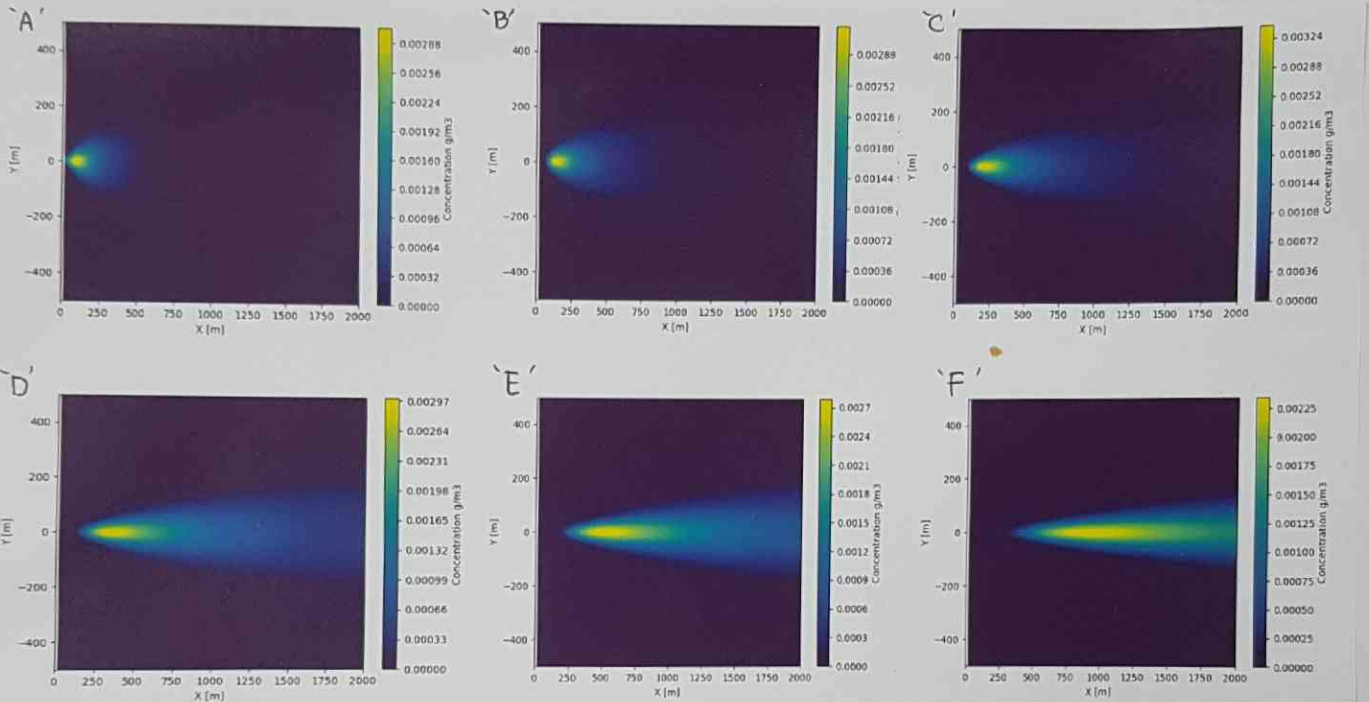
Rate =  $108 \text{ g/s/m}^2$

$\bar{u} = 1 \text{ m/s}$

$z = 0$

Pasquill - Gifford 'A' ~ 'F'

$H = 20 \text{ m}$



②. Area Source.

Rate  $108 \text{ g/s/m}^2$

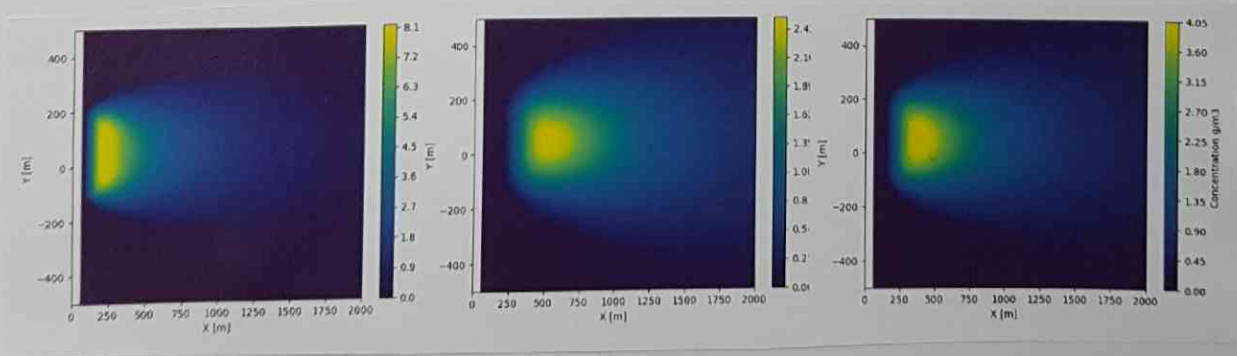
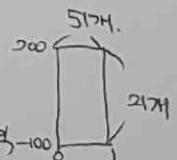
$z = 0$

Pasquill - Gifford 'B'

$H = 20 \text{ m}, 40 \text{ m}, 60 \text{ m}$

$\bar{u} = 1 \text{ m/s}$

Y가 -100 ~ 200 까지 2개 지점 동일 간격. X가 0 ~ 2000 까지 5개 지점 동일 간격.



⇒ 거리에 따른 RMSE 를 줄여나간 식으로 최적화 가능.  
실측치와



# 181015 대기

## ◎ 대기상과 대기온도

(기상현상과 대기온도는 큰 관련성을 가짐)

- 대기상 : 오랜시간에 걸쳐 일어나는 기상현상


: 1000km ~ 2000km 까지 대기의 범위(191) 영역

- 바람 (wind)   
 수평 : 일반적 '바람'   
 수직 : 대류

이동속도 : 수평 > 수직 (100km/h ~ 1000km/h)

- 바람의 원인 (요인)

1. 기압경도력 :  $P_h = \frac{1}{\rho} \left( \frac{-\Delta P}{\Delta x} \right)$

수직  $-dp = \rho g dz$  

공기는 기본적으로 유체이므로, 유체가 흐르는 이유는 두 지점 간 압력차임

2. 전향력 (Coriolis's Force)

: 지구가 자전함으로써 생기는 힘 (가상)

$C = f \cdot V$    
 → 전향력의 상수 =  $2\Omega \sin \phi = f$    
 $\phi$ : 위도,  $0 \sim 90^\circ$    
 $\Omega$ : 자전각속도,  $= 7.292 \times 10^{-5} (s^{-1})$    
 = 물체의 속도

→ 극지방에서 최대, 적도에서 최소

운동 방향을 바꿈, 바람 속도 및 방향 X

(사람을 기준으로 봤을 때 속도 변화 X)

3. 원심력


: 고기압 (저기압) 근처로 바람이 몰려와

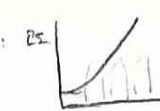
나갈 때 (돌아올 때) 작용하는 힘

4. 마찰력

: 물속에 비례,  $\propto$

진행방향의 반대방향으로 작용함

→ 바다 등 마찰 ↓ 경우 : 

→ 도시·산 등 마찰 ↑ 경우 : 

일정한 속도가 나타나는 높이 : 기류기

## \* Deacon 음단풍속 법칙

$$\frac{U}{U_1} = \left( \frac{z}{z_1} \right)^{0.1} \quad \text{— 풍속지수}$$

고도 2배에서의 풍속

→ Sutton:  $P = \frac{n}{2-n}$  ( $n$ : 대기 안정도 함수)

→ Irwin: 풍속지수  $P$  값 (← 기류기 & 대기안정도)

## ◎ 바람의 종류

- 지표풍 : 기압경도력 + 전향력 기 의해 생

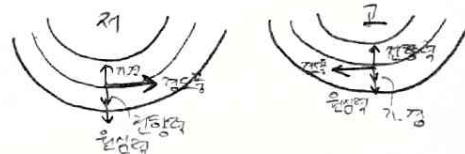
특히 상층부에서 이 두 힘만 작용 (마찰력 X)

기압경도력 - 전향력 평형 이므로 지표풍

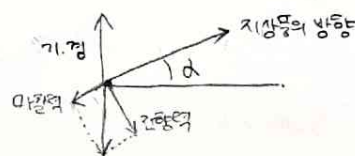
$$V_g = -\frac{1}{f\rho} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta x} \quad \text{: 지표풍 풍속}$$

- 경도풍 : 기압경도력 + 전향력 + 원심력 생

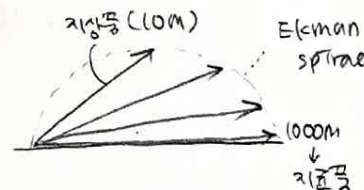
등압선이 원형일 때 접선방향으로 분다



- 지표부근 : 고층빌딩, 산지 등 마찰 마 → 마찰력 ↑

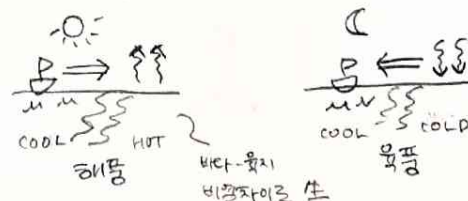


\* Ekman spiral

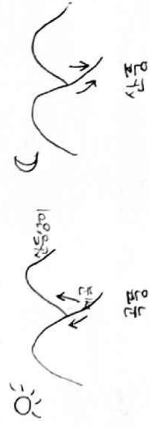


- 극지풍

1) 해륙풍 (바다-육지 간)



2) 산속풍



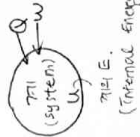
### 3) 바람장미

: 국지적 바람을 이해하기 위해 풍향과 풍속을 8방위로 또는 (6방위로 나타냄. (16방위 사용 가능))

막대기의 길이 : 빈도, (%)

### ② 대기만장도

- 열역학 제 1법칙 : 에너지 보존의 법칙



$$\Delta U = Q + W$$

$$du = dq + \frac{dw}{-pdv}$$

제1법칙 (Internal energy)

$$H = U + PV \rightarrow dH = du + (p \cdot dv + v \cdot dp)$$

단열과정

$$C_p = \frac{dH}{dT}, dH = C_p \cdot dT$$

$$dQ = C_v \cdot dT + p \cdot dv$$

### - 건조단열감률

$Q=0$ , (계 전체에 열의 출입이 X)

$$dQ = C_p \cdot dT - v \cdot dp, dQ=0$$

$$dp = \rho \cdot g \cdot dz$$

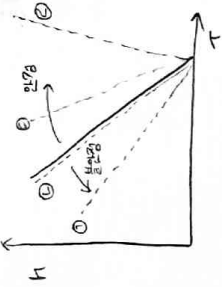
$$C_p \cdot dT = v \cdot dp = \frac{1}{\rho} \cdot dp$$

$$\left(-\frac{dT}{dz}\right) = \frac{g}{C_p} = \gamma_d \text{ (건조단열감률)}$$

$$\gamma_d = 0.65^\circ \text{C}/100\text{m}$$

... 100m 상승때  $0.65^\circ \text{C}$ 씩 ↓

↳ 습윤단열감률은 대기 하층부에서 미시적 건조단열감률보다 작다.



- ① : 불만점
- ② : 불만점
- ③ : 안정점
- ④ : 불안정

\* Richardson No.

$$Ri = \frac{g(\frac{d\theta}{dz})}{T(\frac{du}{dz})^2} \quad (\theta: \text{potential temp.})$$

- $Ri < 0$  : 불안정
- $= 0$  : 중립
- $> 0$  : 안정

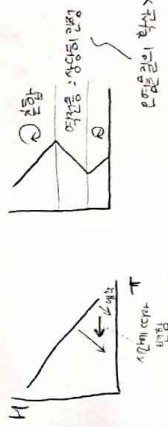
\* CMI 안정도

- $\sigma^2, \sigma^2$  :  $ITW(N)$ , 수평, 수직 방향의 파동 세기
- $\rho \sigma^2 u''' - \sigma^2 \text{Ford}$  : 풍속, 일사량
- $\Delta T \cdot u$  : 수평방향 풍속

### ③ 역전층

: 높이가 높아질수록 온도가 상승하는 현상을 말한다.

### 1. 복사역전



↳ 맑은 날, 무름, 역전층이 잘 발생

무름 일출 후 ~ 일출 전까지 지표면에서 생

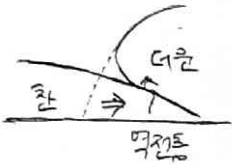
## 2. 침강역전

: 느리게 이동하는 고기압 중심 부근에서 가평 공기의  
침강이 발생하는데, ( )

## 3. 이류역전

: 주변에 다른 공기 덩어리가 흘러들어서 생

← 더운공기가 찬공기 위로 올라타 형성  
→ 주변의 찬공기가 더운공기 밑으로 내려가 형성



(\* gas-to-particle conversion.)

\* 역전층 심각성 판단기준

- ① 바닥고도
- ② 두께
- ③ 역전강도 ( $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ) ... 크면 심각
- ④ 지속시간 ... 크면 심각

## ① 역전의 특성

### ① 한상형

: 대기 불안정 → 안개 또는 짙은 바다가 강할 때.  
대류혼합 생겨서 생  
맑은 날 낮에 자주 생

### ② 원류형

: 대기안정도 음립일 때.  
날씨 흐리고 바람 비교적 적은 날 생

### ③ 부재형

: 기온역전층 10 → 상당한 고도까지 안정  
대기 매우 안정한 상태.  
일출 직후 생

## ④ 혼성형

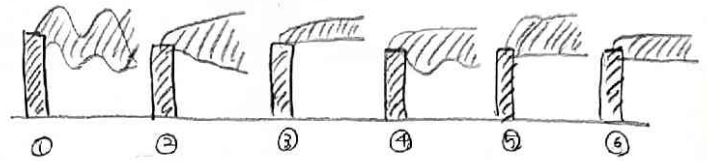
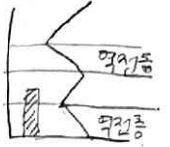
: 일출 후 지표면 가열 (역전층 일부 해소)  
아래쪽은 한상, 위쪽은 한상X

## ⑤ 상층형

: 하부는 역전층, 상부는 역전층X

## ⑥ 구속형

: 이류역전이 걸린 상태.





# 181105 대기

## \* 대기오염 관리

- 배출허용기준법 (268) : 안전한 배출원이라고 인정시키는 규정.

→ 정책적  
기술적 방법들을 통해 관리

## \* 지역대기질관리

- 지역대기질환경기준
- 배출원 관리 : 배출허용기준 ... 시행규칙 [별표]

· 대기오염 모니터링 (차량자동측정 기법)

↪ 대기: 대기오염 측정망  
(국가에서 직접)

현재는 특수한 항목들 등  
일부만 국가에서 직접 측정

① 배경오염측정, 고도별측정  
대기질 (10~25m 높이에서)  
(지표에 5m 이상이면 다른)  
환경에 영향 없음

② PM2.5 측정

③ 국제성지반 대기오염관리

④ PAHs

· 광화학오염  
· 산성비  
· 기후변화

- 이동오염원 관리 (\*멸화계수: Deterioration-)

- 난방방식 ... 연료의 선택 (고체·액체·기체)  
오염방지시설

\* 미국: SIP (State Implementation plan)

주별 이행계획

→ 우리나라도 식별로 이행계획 수립

## \* 국가대기질관리

목적: 국가 대기질환경기준 (< [환경정책기본법])

국가 배출허용기준: 하부마다 개정

(현재는 2015)

전 발전, 자동차, ...

→ 2010: NOx, HAPs

①

- 영향권별 관리: 특정 영향권 → [특별대책지역]

↳ 온실효과 등 특정지역 문제 → 필요성

① 울산 등산 ② 여천

↳ 특별대책지역: 겨울 배출허용기준 X

강화된 특별 배출허용기준 적용!

② 대기개선폭역: 대기보정치를 고려하여 있는 지역  
... 경기, 인천, 대구, 양양만 등

↳ SIP (지역대기질개선계획) 작성 후 이행  
... 3년에 1회

③ 수도권 대기질개선 특별대책

: 수도권에 인구밀집 ... 특별관리

2003. 12월 → [수도권대기질관리특별법]

수도권대기환경청

원료규제: 원료사용에 따른 직접적 결과를 (SO2 ...)

우리나라는 굉장히 엄격!

특정오염물질 관리: 미량의 오염물질을 관리

## \* 국가간 대기오염 관리

- 산성비
- 황사 ... yellow dust → asian dust.
- 탄화수소 ...
- 지온온난화

## \* 대기질환경기준

- 기준:

## \* 배출허용기준

기준: ( < 배출원 단위 ... 미국  
대기오염물질 단위 ... 우리나라 )

신규시설: BACT (최적방지기준)

(선진국은 PP pollution prevention 많이 用)

PSD

## \* 오염제출원관리

Maximum BACT보다 더 강함  
유해물질 발생시설에 적용  
신규시설 BACT MACT (LAER: 더 강한 기준)  
기존시설: 재인가 도입 (repermit) 규장 有  
GACT generally available control technology

\* 적정기술: 값싸고 현장에서 적용 가능한 기술!

↳ 방지시설: 변경 허가, 신고  
신규시설에 4인  
신고도 허가제에 따라 5인  
허가가 4인 이하

## • 먼지관리

- 청정연료

- 고체연료, 액체연료, 기체연료

석탄 → 석유 → 도시가스 (LPG → LNG)  
정제과정

\* 탈황전, 탈석탄 정책 (文)

... 11기의 석탄발전소 조기 폐지.  
 미세먼지 심할 때 → 석탄하역발전소  
 일시(일시) 중단

→ LNG 발전

신재생에너지 발전 (2020년까지)

2010년까지 전체 20%를 신재생에너지!

- 석탄유 공급 → 상당히 감소했음.

B-C 유 (석유)  
 ↓  
 저탄 B-C 유  
 ↓  
 탈황 → 정제유

(\* 가열) B-A ... 일본 등  
 B-B  
 B-C 유 ... 우리나라

• 공유의 총 함량 낮음.

\* 청정연료 사용 의무화 지역  
 연소 (LNG, LPG)  
 차 - LNG : 디젤 차량  
 compared

- 고체연료 사용규제 (지역)

- 지역난방 확대.

• 심도시 (분당...)

열+전력 생산

• CHP (combined Heat & Power)

→ Grid에 전력 공급

+배출가스 (NOx 때문)

→ 환경 개선

↓

→ 이용률 ↑↑↑

## \* 먼지관리 대책

- 주로 배산면적을 관리.

- 공사장

- Fugitive Emission. 건축물진입

- 공사장 출입 차량이 대는 길에 pond 만들기 등

- 오존배출면적 : 차가 지나가면 대기 올라옴

→ 오존생성차량이 흡입, 흡입소.

- 제마로 단거리의 보급. (오존배출면적 : 차가 마모 등)

- open burning만 줄여도 먼지발생량 ↓

## • VOCs 관리.

• 미세먼지 원인물질, 독성, 발암성 ...

Consumer products에서도 VOCs 배출 많음

국유소, 집나 (→ 페인트 (시멘트 등))

배출원이 엄청 다양. 음 소극적 시설 → 규제 hard  
 범용기준제정을 따지고 있음.

VOCs: 37종 (우리나라 기준 - 나라마다 다름)

## • 측정망 관리.

자중측정망  
 이동측정 차량  
 산성비측정망  
 ... 등 배출가스 자동감시체계

TMS (telemetry system)

• 국유시설 (차로 (중, ~3km 마))

↑ 측정체계 (국도선)의 유용한 도구.

SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HCl ...

• 풍속아리호 국제협력 ... 실제로 하나 ↓

공동의 목표, 공동의 관리체계

# 181105 대기

## \* 대기오염 관리

- 배출허용기준법 (26종) : 인간환경 배출원이라는 건강보호 기준

→ 정책적 기술적 방법들을 통해 관리

## \* 지역대기질관리

- 지역대기질기준
- 배출원 관리 : 배출허용기준 ... 시행규칙 [별표]

· 대기오염 모니터링 (측량기, 관측기 이용)

↶ 대기 : 대기오염 측정망

(국가에서 직접)

현제에는 측정망 항목들 등  
일부만 국가에서 직접 측정

① 배경오염측정, 고도발측점

대기질 (O<sub>3</sub> 25m 높이에서)

(지표에 임 가측한 다른)  
현제에는 측정망 임 가

② PM<sub>2.5</sub> 측정

③ 원태성기반 대기오염관리

④ PAHs

· 광화학오염  
· 산성비  
· 미세먼지

- 이동오염원 관리 (\* 폐쇄회로 : Detonation)

- 난방방식 ... 연료의 선택 (고체, 액체, 기체)  
연방방지시설

\* 미국 : SIP (State Implementation plan)

국 별 이행계획

→ 우리나라도 특별로 이행계획 수립

## \* 국가대기질관리

목표 : 국가 대기질기준 (← [환경정책기본법])

국가 배출허용기준 : 하부마다 개정

(현재는 2015)

전 발전, 이차전지, ... 고려

→ 2010 : NO<sub>x</sub>, HAPs

- 영향관리 : 특정 영향원 → [특별대책지역]

↳ 은산형 등 특정지역 문제 → 필요성

① 울산 토산 ② 여천

↳ 특별대책지역 : 기존 배출허용기준 X

엄격한 특별 배출허용기준 적용!

⑤ 대기개선지역 : 대기오염기준 초과 우려가 있는 지역  
... 경기, 인천, 대구, 양양만 등

↳ SIP (지역대기질개선계획) 작성 후 이행 X  
... 3년제 관리

⑥ 수도권 대기질개선 특별대책

: 수도권에 인구밀집 ↑ ... 특별관리 X

2003. 12월 → [수도권대기질관리특별법]

수도권대기질관리법

연료규제 : 연료 사용에 따른 직접적 결과를 (SO<sub>2</sub> ...)  
우리나라는 굉장히 엄격!

특정오염물질 관리 : 미량의 오염물질들 관리

## \* 국가간 대기오염 관리

산성비

황사 ... yellow dust → asian dust

미세먼지 ...

지구온난화

## \* 대기질기준

- 기준 :

## \* 배출허용기준

기준 : ( < 배출원 단위 ... 미국  
대기오염물질 단위 ... 우리나라 )

신규시설 : BACT (최강방지기준)

(선진국은 PSD pollution prevention 많이 이용)  
PSD

## \* 오염제거율관리

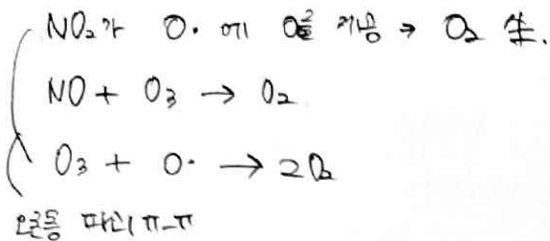
최대 BACT MACT  
최소 BACT MACT  
최대 BACT MACT  
최소 BACT MACT  
최대 BACT MACT  
최소 BACT MACT  
최대 BACT MACT  
최소 BACT MACT  
최대 BACT MACT  
최소 BACT MACT

\* 적정기술 : 값싸고 현장에서 적용 가능한 기술!

↳ 방지시설 : 변경 허가, 신규  
신규시설에 대한  
허가가 내려야 함

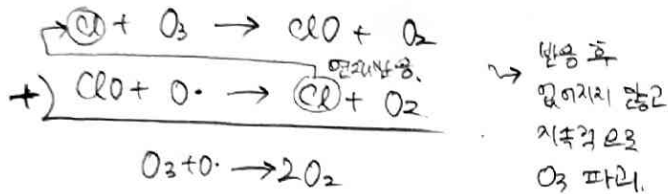


199p. NOx도 문제가 됨.



Ozone depleting substances: Cl, Br

→ Cl-compounds.



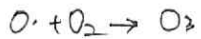
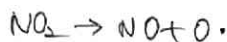
Cl 한 radical이 O<sub>3</sub> 하나를 깬다.

→ Br - " : Cl-compound보다 같은 비율.



대류권-성층권의 O<sub>3</sub>는 다른 양함

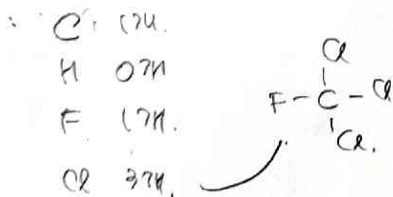
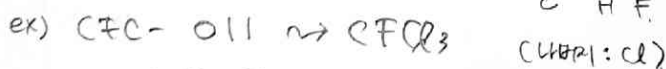
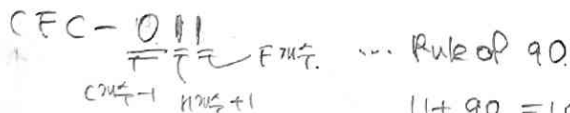
대류권 O<sub>3</sub> : 사람에게 나쁜 영향



Bad Ozone.

• 반응 파인(π-π)

• 200p. CFCs (→ Freon) ⇒ 상당히 안정!!



Q (1970s 초반 당시 등장 사가 만든 것.)

대기오염기준 65-75%

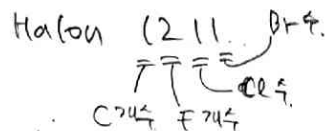
• ODP: Ozone depleting Potential.



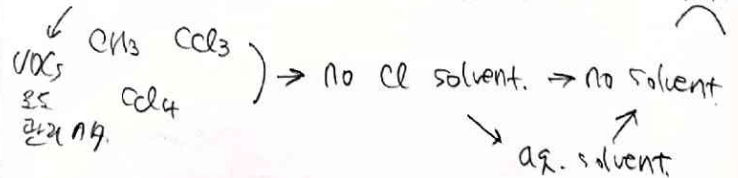
Cl 완전히 제거.

\* 대체물질:  $\text{CFC} \rightarrow \text{HCFC} \rightarrow \text{HFC}$   
 일차 Cl을 H로 대체.

\* Br-compounds (→ Halon)



\* 기타 Cl-compounds: solvents



\* 문제점.

Du. (Dobson Unit. 0°C 기압 → 0.01mm)  
 0.01 mm O<sub>3</sub> at STP.

\* 반응 파인의 영향 ⇒ 광합성하고 있다

인체: 눈, 피부 (노화 촉진, 피부암) ... 심각! π-π  
 동물: 면역력의 감소, 식물성(동물성) 플랑크톤의  
 알은 태우면, 해충 생태계 파괴  
 기후: 지구온난화 (태양복사 더 많이 흡수)

\* 온실가스 협약

1979년 UNEP 회의 '지구 - 행동계획'

1985년 Vienna Convention. 선포적인 협약에 그침

1987년 Montreal Protocol.

• 유럽 연합원 제재가 끝나자 다음  
(2000)

(2000년) London 회의.

\* 국내 :

\* 산성비.

• 유럽 북부지역, 독일 1990s 중 후반 산성비파괴  
스웨덴.

상당히 망연탄탄한 지점에서 생.

한소수.

중국 남부지역 : 산성비 피해 ↑↑

(2011p) 산성비 대책

- 산성비 특징명 (내리는 비의 경시변화)

- 산성 대기 오염 물질 제로.

↳ 원료인산화, S 함량

↳ 폐기시설 설치

Flow gas desulfurization

[ S → 배연탈황 : FGD

N → 배연탈질 : SCR / SNCR

↓ 90% / 60%

Relative catalytic Reduction (비율)

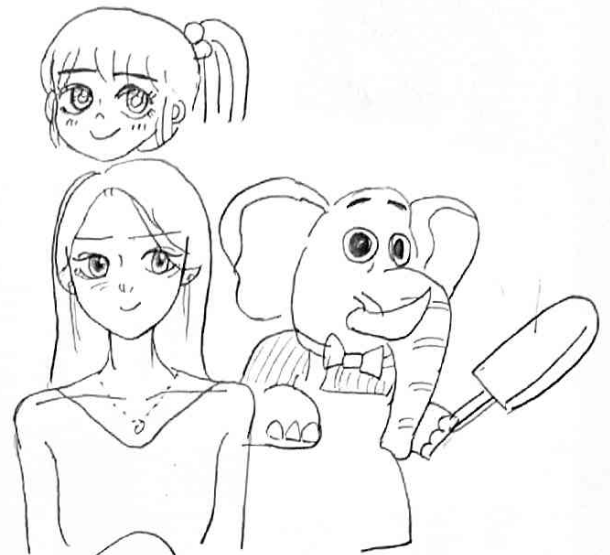
Selective non-catalytic Reduction  
(auxiliary fuel 효율 6)

- 미국 : WAPAP, Acid Rain Program

산성비해상될 차가 project. (1980 ~)

CAAC (Clean Air Act)

산성비 90% 삭감 목표.



HAM

300,000 + 120,000 + 100,000

= 520,000 → 수입

• 식비 180,000

→ 점심 (사립) + 저녁 (2구다. 우유 등)  
아침 (사립 등)

250,000

• 간식비 110,000

→ 커피 + 자카자

520,000

• 저축

300,000 가족통장 (카카오페이)

20,000 주력정액

200,000 농협통장

26주 월간지 적금. (매월 금)

기타

• 생활비 + 행복비 (머쓱도) 등

\* 식비 → 케이뱅크 용

저축 : 매달 21일에 다입금해 해리기.

간식비 → 우리은행 용

기타 생활비 + 행복비 → 카카오페이 용

⇒ 20월 입금 직후

주력정액 + 간식비

90,000 우리은행

180,000 케이뱅크

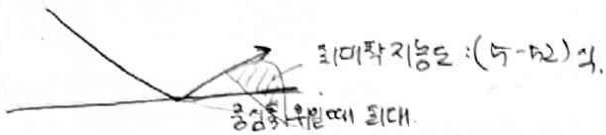
200,000 농협통장 (392-)

(금)

음돈 빌으면 - 바로 가족통장으로 넣기.

⇒ 가게부터 꼭 쓰기 !!

많이 벌 때 아껴두자 ~ 돈 모아서 Disneyland !!!



$C(x,0,0) = f(x)$ 의 함수

최대화 지점을 구하라  $\rightarrow x_{max}$ 를 알아야 함. (꼭지 지점)

$$\frac{\partial C(x,0,0)}{\partial x} = 0 \dots x = x_{max}$$

$C_{max} = C(x_{max}, 0, 0)$ 으로 묻기

$$C_{max} = \frac{0.1171 Q}{U \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \left( \leftarrow \sigma_z = \frac{H}{\sqrt{2}} \right)$$

$H^2 = 2 \sigma_z^2$

3) 역전층이 의한 확산방정식 전환

(5-54)식



· 광화학 반응의 반응속도  
· 광화학 역모델 (Eulerian model)

· 기본식은 같음 : (5-20)

$\rightarrow$  실제 모델화 : UAM (Urban Airshed Model)

· 산성비 모델

대기 중 CO<sub>2</sub> 농도 증가  
 $\rightarrow$  원래 pH 낮아짐

· 강우의 산성화 정도 예측 (산성비 : pH 5.6 이하)

· 국지화 (강우가 형성되는 과정)

rain out / wash out  
비 강하 시  
오염물질이 수반하여 내림  
비가 내리는 과정에서  
오염물질이 씻겨서 내림

chemical reaction

$SO_x / NO_x \rightarrow$  산 형성 ( $H_2SO_4, HNO_3 \dots$ )

$\rightarrow$  굉장히 광역적인 모델이다.

(한번 내려면 엄청 넓은 지역)

\* Persistent

ISC - ST  $\rightarrow$  AERMOD  
- LT

Calibration  
Modify



④ 지구대기환경문제

- 기후난난화

- 1992년 리우합의회의

- agenda 21 : 21세기 들어가며 새롭게 받아들여야 할 과제들

- sustainable developed : 지속가능 발전  
environmentally

- 신·재생 에너지

- 기후변화 문제 : 많은 환경문제가 X

- 온실효과 : 온난 효과  
온실효과가 심해지면 온도가 올라가  
온도를 더 높여 기후변화를 일으킴

- 산성비 : 한 지역에 국한되지 X.  
산성강하물, 농약, 오염 물질 등

- POPs : persistent organic pollutants

· 굉장히 끈질기게, 대기 매체를 통해 장거리 이동

· 먹이사슬 통해 전이됨 (전세계적 평형)  
· 장거리 이동

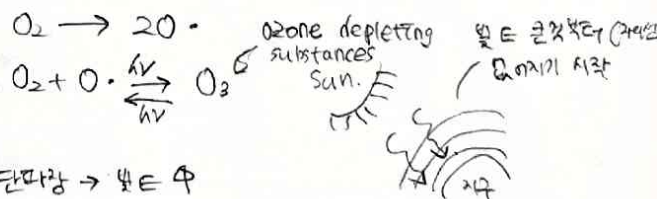
- 수은 : 장거리 이동, 환경오염에 포함됨

- 플라스틱 : 미세 플라스틱

· 굉장히 끈질기게 전이  $\rightarrow$  분해 X

\* 온실효과 (1990)

- 온실효과 : 온실효과가 심해지면 온도가 올라가  
온도를 더 높여 기후변화를 일으킴



단파장  $\rightarrow$  UV-C

UV-A, UV-B, UV-C  
UV-A, UV-B가 많이 있음.  
파장 짧은 UV-A가  
가장 위험한 것으로 알려져 있음

자외선  $\rightarrow$  X 눈·피부에 직접적 영향 있음



# 181029 대기

## \* 대기오염 모델

expert system 어떤 분야에 있어 상당히 경험이 많은 사람들  
의 경험에 의해 이루어지는 것.

대기오염 모델엔 여러가지가 있으나 expert들의 직관에 의존하는  
것이 종종 나올 때가 있음

- 모델 (model) : 대기중에서 일어나 화학적 현상(과정)을 통해  
나타나는 농도, 침전량, 반응특성을 수학적으로  
계산하는 도구 (tool)

- 모델링

- 종류

장기/단기  
확산방정식 : 온도구배에 따라 오염물질이 어떻게 퍼지는지  
↳ 상자모델, 가우시안모델, 인클라인모델,  
라그랑지안모델 ...

복합  
상자모델 : 제일 간단.  
가우시안모델 : 정규분포 이용.  
오염물질의 분포가 정규분포 형태인  
가정.  
라그랑지안모델 : x, y, z 축의 중심축이 오염물질을  
따라 이동한다고 가정.  
인클라인 모델 : 공간 자체를 작은 격자로 분할  
→ 그 격자 내에서 x, y, z로  
퍼져나가는 모델

단기의 형태 - 상자모델, Plume 모델, Puff 모델.

배출원 : 점, 선, 면 \* 우리나라 배출원 : CAPSS  
(자동차, 항공기, 선박) (주요도로 분류)  
Grid망 (5x5km, 10x10km)  
US EPA (미국인 평가) 한 국경리에 부러 (KMA)  
상대 내기 있는 배출원은

지형조건 : 평탄지형 / 복잡지형  
→ 우리나라는 평탄지형 모델 많지 X (산지 많음)  
NIER (National Institute) 등

Source-Receptor : 확산모델 (수용모델)  
배출원 & 중첩. receptor 모델.  
수용부 & 중첩.

예측범위  
국지규모 200~300km. '도' 단위.  
중규모 200~300km. '도' 단위.  
지역규모 regional scale, 500~1000km (환경부)  
글로벌 scale, 1000~1500km.

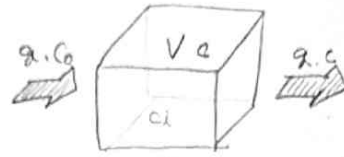
- 분류

결정론적 모델 ... 확산식에 기원 ☒  
- 통계 모델 ... 통계적 특징 분석. 작업 ☐  
- 물리 모델 ... 실제 지형, 건물 등 모형 사용, ☐  
확산 특성 분석

\* 상자 모델 (Box model)

: 대상지역 → Box. 3 볼

오염물질 → 혼합물 내에서 순간적으로 확산



Rate of  
물질수지 :  $(Acc = Input - Output + Gen - Cons)$

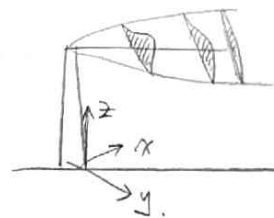
$$V \cdot \frac{dc}{dt} = Q \cdot C_0 - Q \cdot C + S - (K \cdot C) \cdot V$$

generating ex. 단위부피당 이므로.

( \* "한계가 없 될 경우" →  $K=0$ .  
"농도는 0이다" →  $K=0$ .  
"한계는 되고 반응은 X" →  $K=0$ .  
"한계는 되고 반응도 0" → 원래의 그대로.)

\* 가우시안 플룸모델

Gaussian 정규분포.  $f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$   
 $\mu$  : 평균,  $\sigma$  : 표준편차



- Fick's Law :  $J = -K \cdot \frac{dc}{dx}$   
flux  $g/cm^2 \cdot s$

1) - (2-6) (5-26) : J, 모를 같이 표현.  
지면 조건 (5-27) :  $Dx$   
(5-28) :  $dy$  (높이)가 불로 자유, 면적을 높이시켜야 해서.  
 $dy$  (밀도)  $d2$  (높이)  $d3$

(5-29) : c의 변화  
 $c \sim x \rightarrow c = x + dx$

(5-30) :  $\frac{dc}{dx}$ 로 나타냄 (5-31)

(5-32) 내지.

① x 방향으로의 확산은 물질 자체의 운동보다  
매우 작으므로  $\frac{dc}{dx} \left( \frac{\partial(c \cdot x)}{\partial x} \right)$  생략  
② 라변  $\frac{dc}{dx} = 0$ . ← 정상상태  
③ u가 일정하다  
→ (5-36) 식!!

(5-36) 라변, x 함수 무한, y, z 함수.

(5-44)  $\sigma_y, \sigma_z$ 를 지어진 함수로 표현.

2) 임의의 H에서의 정점모델

→ 2 대신 2-H 대입 ... (5-49)

2 대신 2+H의 배출원이 포함된다고 가정

반사도 ... (5-50)