

대기열역학 Team Project

# 안개의 생성

2조

김윤종  
김정우  
소진우

# ※ 연구 목표

1. 안개에 관한 기본적인 지식을 습득하도록 한다.
2. 안개가 생성될 수 있는 조건을 수업 시간에 배운 내용을 통해 알아보고, 열역학에 대한 이해를 높인다.

# ※ 우리 조의 연구 내용

1. 안개란 무엇인가?
2. 혼합 안개의 생성 조건
3. 복사 안개의 생성 조건

# 1. 안개란 무엇인가?



## 안개(fog) ?

대기 중의 수증기가 냉각 또는 물의 증발로 인해서 응결하여 지표 가까이 작은 물방울이 떠 있는 현상



# 1. 안개란 무엇인가?

\* 생성 과정에 따른 안개의 분류

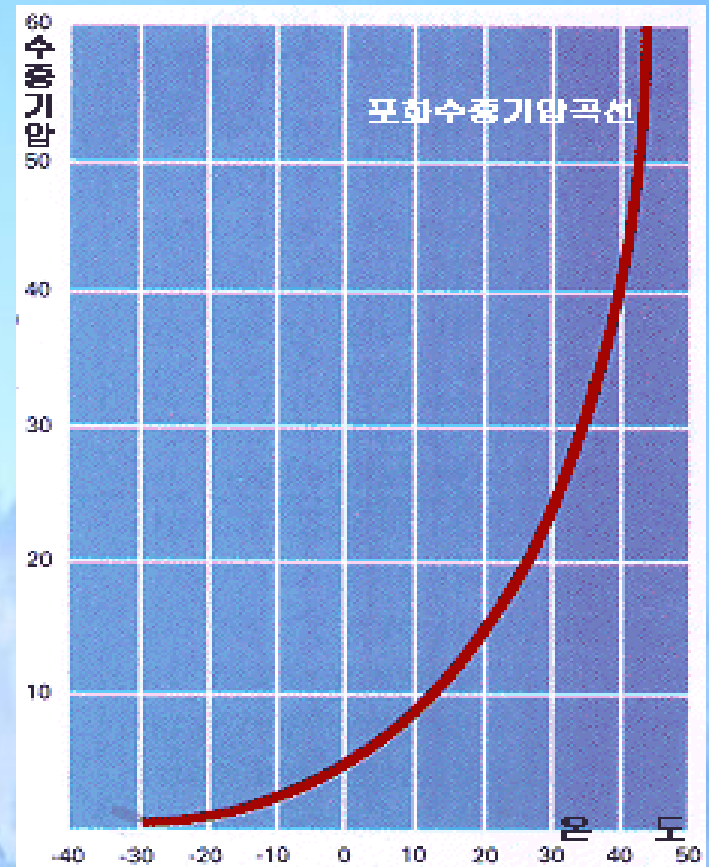
- 복사 안개(radiation fog)
- 활승 안개(upslope fog)
- 이류 안개(advection fog)
- 전선 안개(frontal fog)
- 혼합 안개(mixing fog)

# 1. 안개란 무엇인가?

\* 안개가 생성될 수 있는 과정들

안개가 생성되려면 공기가 포화에 도달해야 한다.

1. 수증기량의 증가
2. 기온의 하강
3. 두 공기의 혼합



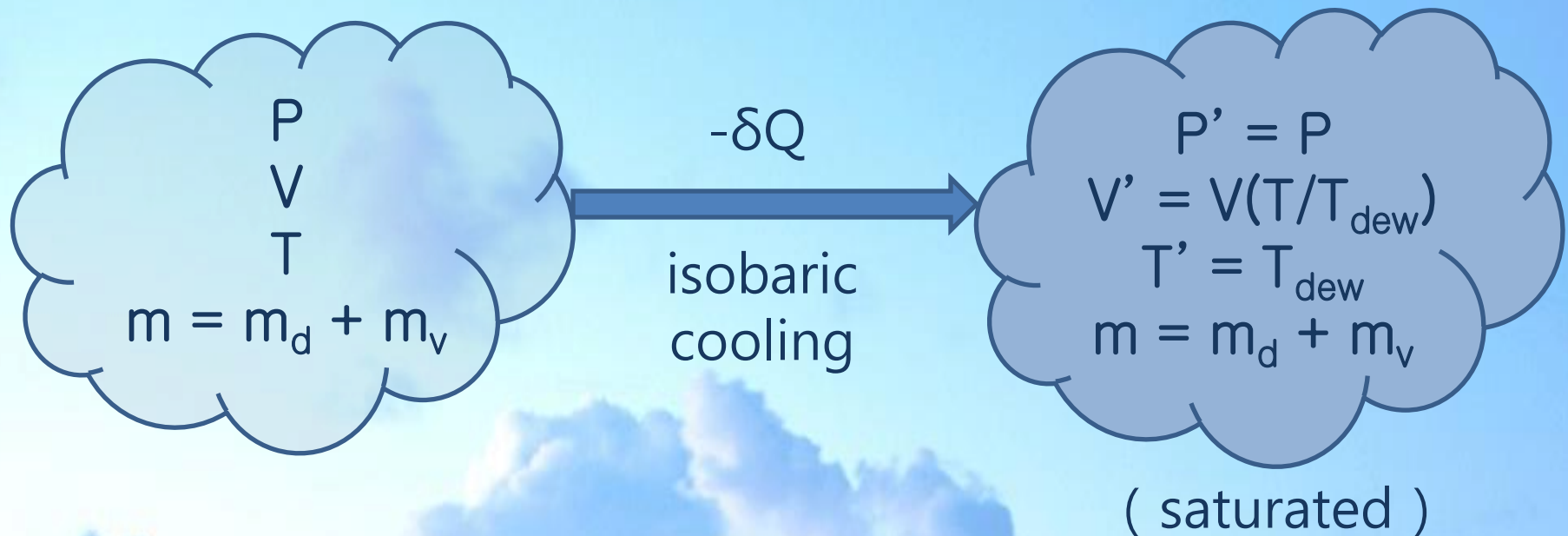
## 2. 안개의 생성조건 : 복사안개

### \* 기본적인 가정들

- 안개 생성 과정은 isobaric cooling 과정
- 건조 공기와 수증기는 이상 기체라고 가정
- 건조 공기와 수증기의 비열, 응결 잠열 등은 온도에 관계없이 일정
- 공기의 냉각은 공기 덩이의 모든 부분에서 균일
- 열 교환 이외의 모든 물리적인 과정은 무시
- 안개의 생성 시점은 응결 시점과 동일하게 간주

## 2. 안개의 생성조건 : 복사안개

### \* 복사 안개의 생성



지표의 복사 냉각으로 인해 잃은 열의 양을  $\delta Q$ 라 하면,  
 $\delta Q = m \cdot c_p \cdot (T - T_{dew})$ 가 된다. ( $c_p$ : moist air의 등압 비열)  
 $\delta Q$ 의 값이 작을수록 안개가 잘 생성된다고 할 수 있다.



## 2. 안개의 생성조건 : 복사안개

\* 복사 안개의 생성

$$\delta Q = \delta Q_d + \delta Q_v = m_d \delta q_d + m_v \delta q_v$$

$$\delta q = \frac{m_d}{m_d + m_v} \delta q_d + \frac{m_v}{m_d + m_v} \delta q_v$$

specific humidity(**q**)를 이용하면  $\delta q = (1 - \mathbf{q})\delta q_d + \mathbf{q}\delta q_v$

$$\frac{\delta q}{dT} = (1 - \mathbf{q}) \frac{\delta q_d}{dT} + \mathbf{q} \frac{\delta q_v}{dT}$$

$$\therefore c_p = (1 - \mathbf{q})c_{pd} + \mathbf{q}c_{pv}$$

## 2. 안개의 생성조건 : 복사안개

### \* 복사 안개의 생성

C-C equation 에서  $\frac{de_{sw}}{dT} = \frac{l_v}{T(\alpha_v - \alpha_w)} \approx \frac{l_v}{T\alpha_v}$

Ideal gas law를 이용하면  $\frac{de_{sw}}{e_{sw}} = \frac{l_v dT}{R_v T^2}$

이를  $T_{dew}$ 부터  $T$ 까지 적분하면  $\ln \frac{e_{sw}}{e} = -\frac{l_v}{R_v} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{dew}} \right)$

위 식을  $T_{dew}$ 에 대해서 정리하면,

$$T_{dew} = \frac{T}{1 - \frac{R_v T \ln r}{l_v}} \quad (r = \frac{e}{e_{sw}})$$

## 2. 안개의 생성조건 : 복사안개

### \* 복사 안개의 생성

앞에서 구한  $c_p$ 와  $T_{\text{dew}}$ 를  $\delta Q = m^*c_p^*(T-T_{\text{dew}})$  에 대입한다.

공기 덩이가 처음 상태에서 잃게 되는 열의 양이

$$\delta Q = mT[(1-q)c_{pd} + qc_{pv}] \left( 1 - \frac{1}{1 - \frac{R_v T \ln r}{l_v}} \right)$$

이상이 되어야 안개의 생성이 일어날 수 있다.

## 2. 안개의 생성조건 : 복사안개

\* 실제 수치의 대입

$$\delta Q = mT[(1 - q)c_{pd} + qc_{pv}] \left( 1 - \frac{1}{1 - \frac{R_v T \ln r}{l_v}} \right)$$

Case 1.  $T=283K$ ,  $r=0.8$ ,  $m=1kg$   
→ 계산해 보면,  $\delta Q=3293 \text{ J}$

Case 2.  $T=298K$ ,  $r=0.8$ ,  $m=1kg$   
→ 계산해 보면,  $\delta Q=3682 \text{ J}$

Case 3.  $T=298K$ ,  $r=0.9$ ,  $m=1kg$   
→ 계산해 보면,  $\delta Q=1752 \text{ J}$

## 2. 안개의 생성조건 : 복사안개

### \* 결론

- 이상 기체 법칙과 C - C equation 등을 이용하여 복사 안개의 생성 조건에 관한 식을 유도할 수 있었다.
- 온도가 같을 경우, 상대습도가 더 높은 공기에서 안개의 생성이 더 잘 일어난다.
- 상대습도가 같을 경우, 온도가 더 낮은 공기에서 안개의 생성이 더 잘 일어난다.



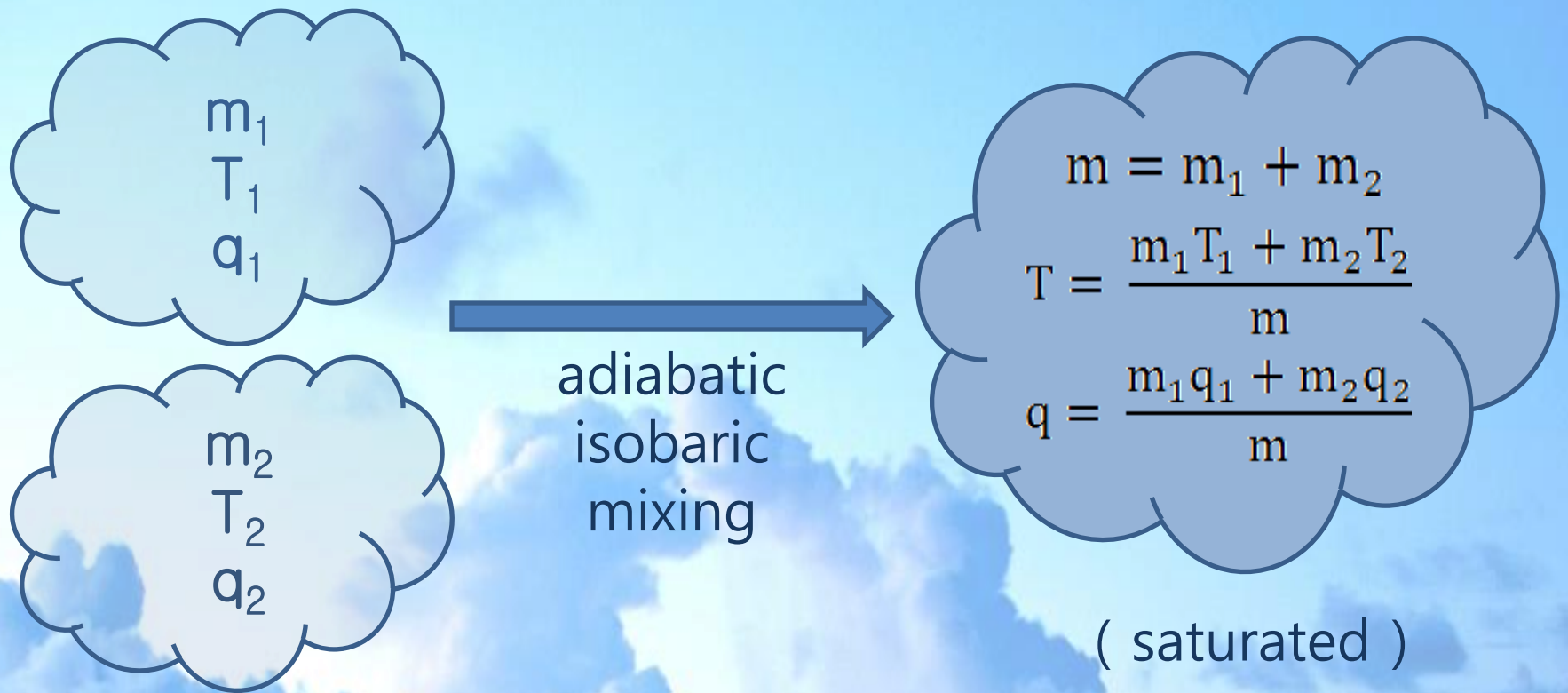
# 3. 안개의 생성조건 : 혼합안개

## \* 기본적인 가정들

- 안개 생성 과정은 adiabatic isobaric mixing 과정
- 건조 공기와 수증기는 이상 기체라고 가정
- 건조 공기와 수증기의 비열, 응결 잠열 등은 온도에 관계없이 일정
- 공기의 혼합은 공기 덩이의 모든 부분에서 균일
- 열 교환 이외의 모든 물리적인 과정은 무시
- 안개의 생성 시점은 응결 시점과 동일하게 간주

### 3. 안개의 생성조건 : 혼합안개

\* 혼합 안개의 생성



### 3. 안개의 생성조건 : 혼합안개

#### \* 혼합 안개의 생성

등압 단열 과정이므로, 등엔탈피(isenthalpic) 과정이다.

$$\begin{aligned}\text{따라서, } \Delta H &= m_1 \Delta h_1 + m_2 \Delta h_2 \\ &= m_1 c_{p1}(T - T_1) + m_2 c_{p2}(T - T_2) = 0\end{aligned}$$

$c_p = c_{pd}(1 + 0.87q)$  를 이용하여  $T$ 에 대해서 정리하면,

$$T = \frac{(m_1 T_1 + m_2 T_2) + 0.87(m_1 q_1 T_1 + m_2 q_2 T_2)}{m(1 + 0.87q)} \quad \text{이 되고,}$$

$q \ll 1$  이므로 위 식에서 수증기에 관한 항을 무시하면,

$$\text{혼합 기체의 온도 } T = \frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{m} \quad \text{를 얻는다.}$$

### 3. 안개의 생성조건 : 혼합안개

#### \* 혼합 안개의 생성

물의 포화 수증기압  $e_{sw} = 6.11 \exp \left( 19.83 - \frac{5417}{T} \right)$  와

혼합 기체의 온도  $T = \frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{m}$  을 이용하면,

혼합 기체의 포화 수증기압  $e_{sw}(T)$  는

$e_{sw} = 6.11 \exp \left( 19.83 - \frac{5417m}{m_1 T_1 + m_2 T_2} \right)$  로 나타내어진다.

### 3. 안개의 생성조건 : 혼합안개

#### \* 혼합 안개의 생성

수증기의 specific humidity  $q = \frac{w}{1+w} = \frac{\frac{\epsilon e}{p-e}}{1 + \frac{\epsilon e}{p-e}} \approx \frac{\epsilon e}{p}$

위 식을  $q = \frac{m_1 q_1 + m_2 q_2}{m}$  에 대입하여 정리하면

두 공기가 혼합된 이후의 수증기압은

$$e = \frac{m_1 e_1 + m_2 e_2}{m} \text{ 로 나타내어진다.}$$



### 3. 안개의 생성조건 : 혼합안개

#### \* 혼합 안개의 생성

안개가 생성되려면, 혼합 후의 수증기압이 혼합 후 온도에서의 포화 수증기압보다 크거나 같아야 한다. 따라서, 안개가 생성되려면

$$\frac{m_1 e_1 + m_2 e_2}{m} \geq 6.11 \exp \left( 19.83 - \frac{5417m}{m_1 T_1 + m_2 T_2} \right)$$

의 조건을 만족하여야 한다.

### 3. 안개의 생성조건 : 혼합안개

#### \* 실제 수치의 대입

Case 1. parcel 1 :  $m_1=1\text{kg}$ ,  $T_1=278\text{K}$   $r_1=0.8$   
parcel 2 :  $m_2=1\text{kg}$ ,  $T_2=308\text{K}$   $r_2=0.8$   
→  $T=293\text{K}$ ,  $e=26.46\text{mb}$ ,  $e_{\text{sw}}(293\text{K})=23.38\text{mb}$   
: 안개의 생성이 일어난다.

Case 2. parcel 1 :  $m_1=0.5\text{kg}$ ,  $T_1=278\text{K}$   $r_1=0.8$   
parcel 2 :  $m_2=1.5\text{kg}$ ,  $T_2=308\text{K}$   $r_2=0.8$   
→  $T=300.5\text{K}$ ,  $e=36.24\text{mb}$ ,  $e_{\text{sw}}(300.5\text{K})=37.09\text{mb}$   
: 안개의 생성이 일어나지 않는다.

### 3. 안개의 생성조건 : 혼합안개

#### \* 실제 수치의 대입

Case 1. parcel 1 :  $m_1=1\text{kg}$ ,  $T_1=278\text{K}$   $r_1=0.8$   
parcel 2 :  $m_2=1\text{kg}$ ,  $T_2=308\text{K}$   $r_2=0.8$   
→  $T=293\text{K}$ ,  $e=26.46\text{mb}$ ,  $e_{\text{sw}}(293\text{K})=23.38\text{mb}$   
: 안개의 생성이 일어난다.

Case 3. parcel 1 :  $m_1=1\text{kg}$ ,  $T_1=288\text{K}$   $r_1=0.8$   
parcel 2 :  $m_2=1\text{kg}$ ,  $T_2=298\text{K}$   $r_2=0.8$   
→  $T=293\text{K}$ ,  $e=19.54\text{mb}$ ,  $e_{\text{sw}}(293\text{K})=23.38\text{mb}$   
: 안개의 생성이 일어나지 않는다.

# 3. 안개의 생성조건 : 혼합안개

## \* 결론

- adiabatic isobaric mixing에서의 온도와 습도에 관한 식을 이용해 복사 안개의 생성 조건에 관한 식을 유도할 수 있었다.
- 같은 공기 덩이라도 두 공기 덩이 사이의 상대적 혼합 비율에 따라 안개의 생성 여부가 달라질 수 있다.
- 두 공기 덩이의 상대습도, 상대적 혼합 비율 등의 다른 조건이 같더라도, 두 공기의 온도 차이에 따라 안개의 생성 여부가 달라질 수 있다.