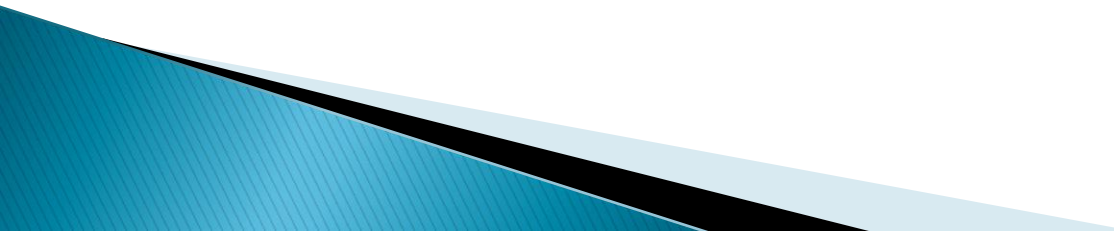


창공을 가로지르는 하얀 길

1조

국형석 김동진 김문기 김상욱

목 차

1. 비행기 구름
 1. 비행기 구름이란
 2. 비행기 구름의 종류
 2. 이전 발표의 한계점
 3. 비행기 구름 생성 모델
 1. 가정
 2. 비행기 구름 생성 모델
 4. Appleman의 모델
 5. 결론
- 

비행기 구름

- ▶ 비행기 구름(비행운, Contrail)
 - 높은 고도를 나는 비행기 뒤에 꼬리모양으로 생기는 얇은 구름의 층.



비행기 구름



2) 날개 끝의 와류에 의한 비행기 구름

- 1) 날개 상하의 바람 속도 차에 의해 난류가 발생
- 2) 난류에 의한 감압으로 구름이 발생

이전 발표의 한계

3. 우리조의 연구과정☆

○데이터 대입 후 비교 2



$$\begin{array}{ll} T_e = 1000K & T_0 = 233K \\ P_e = 5000mb & P_0 = 200mb \\ e_e = 50mb & e_0 = 0.1mb \end{array}$$

$$T' = 1000 \left(\frac{5000}{200} \right)^{\frac{1-1.4}{1.4}} = 398.68K \approx 367.19K$$

$$e_e' = 50 \left(\frac{650}{238.674} \right)^{\frac{1.4}{1-1.4}} = 1.50mb \approx 1.01mb$$

T', e_e'

비행기 구름의 생성모델

▶ 가정

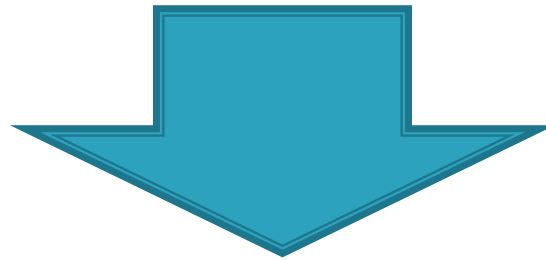
- 비행기 엔진으로부터 충분한 양의 CCN이 공급된다.
- 구름의 생성/소멸 과정
 - 주변기압과 기압이 같아질 때까지 팽창하는 과정
 - 주변과 섞이는 과정으로 나누어 생각한다.
- 팽창과정은 Adiabatic process로 팽창한다.
- 혼합은 isobaric process로 이루어지며 이동이 없다.

비행기 구름의 생성모델

- ▶ 필요한 변수

$$T = 570K, r = 0.0001, v = 300m/s$$

$$T_0 = 233K, r_0 = 0.01, p_0 = 300mb$$



$$p, T, e, w, e_0, e', \bar{T}, \bar{e}, \bar{r}$$

비행기 구름의 생성모델

1. 배기된 공기의 압력을 구하는 과정 p

$$\frac{p}{\rho} + gh + \frac{1}{2}v^2 = \text{Const}$$

$$\frac{p}{\rho} + \frac{1}{2}v^2 = \frac{p_0}{\rho'}$$

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 = \left(\frac{\rho}{\rho'}\right)p_0 = \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{1}{\gamma}}p_0$$

$$p^{1-\frac{1}{\gamma}} + \frac{1}{2}\left(\frac{p^{1-\frac{1}{\gamma}}}{RT}\right)v^2 = p_0^{1-\frac{1}{\gamma}}$$

$$p = p_0 \left(1 + \frac{v^2}{2RT}\right)^{\frac{\gamma}{1-\gamma}}$$

비행기 구름의 생성모델

2. 배기된 공기가 팽창하는 과정 T e'

$$T' = T \left(\frac{p_0}{p} \right)^{k_d}$$

$$e = r e_{sw}(T) \quad e_0 = r_0 e_{sw}(T_0)$$

$$w = \epsilon \frac{e}{p - e}$$

$$e' = \frac{wp}{\epsilon + w}$$

비행기 구름의 생성모델

3. 팽창한 공기가 섞이는 과정 \bar{r}

$$\bar{e} = e'(1-x) + e_0x$$

$$\bar{T} = T'(1-x) + T_0x$$

$$\bar{r} = \frac{\bar{e}}{e_{sw}(\bar{T})}$$

비행기 구름의 생성모델

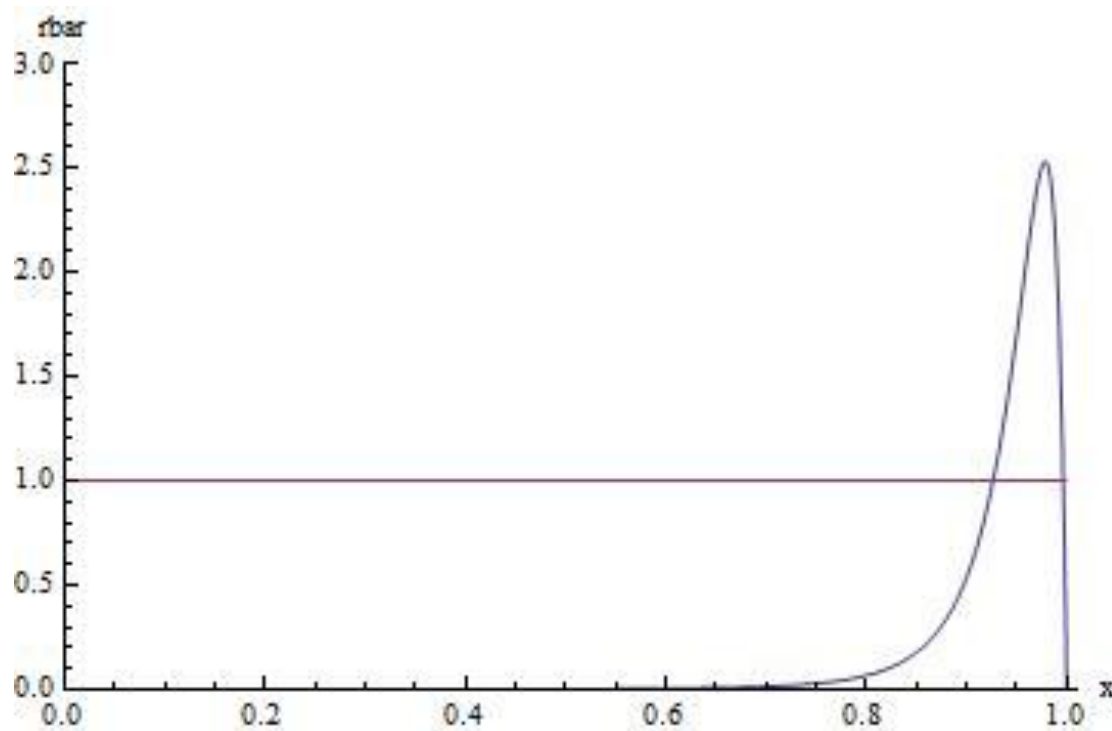
3. 팽창한 공기가 섞이는 과정 \bar{r}

$$\bar{r} = \frac{\frac{p_0 \left(1 + \frac{v^2}{2RT}\right)^{\frac{\gamma}{1-\gamma}} \epsilon \frac{re_{sw}(T)}{p_0 \left(1 + \frac{v^2}{2RT}\right)^{\frac{\gamma}{1-\gamma}} - re_{sw}(T)}}{\epsilon + \epsilon \frac{re_{sw}(T)}{p_0 \left(1 + \frac{v^2}{2RT}\right)^{\frac{\gamma}{1-\gamma}} - re_{sw}(T)}} (1-x) + r_0 e_{sw}(T_0)x}{e_{sw} \left(T \left(1 + \frac{v^2}{2RT}\right)_{pd}^c (1-x) + T_0 x \right)}$$

비행기 구름의 생성모델

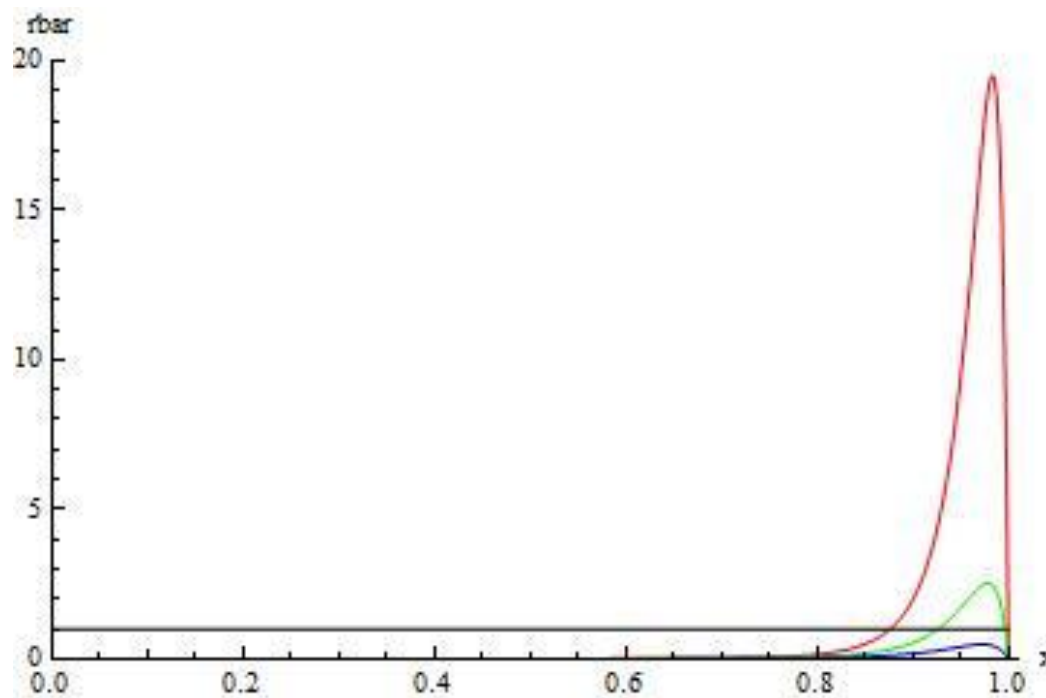
4. 결과

▶ 대조군



비행기 구름의 생성모델

1) Comparison with p_0, T_0



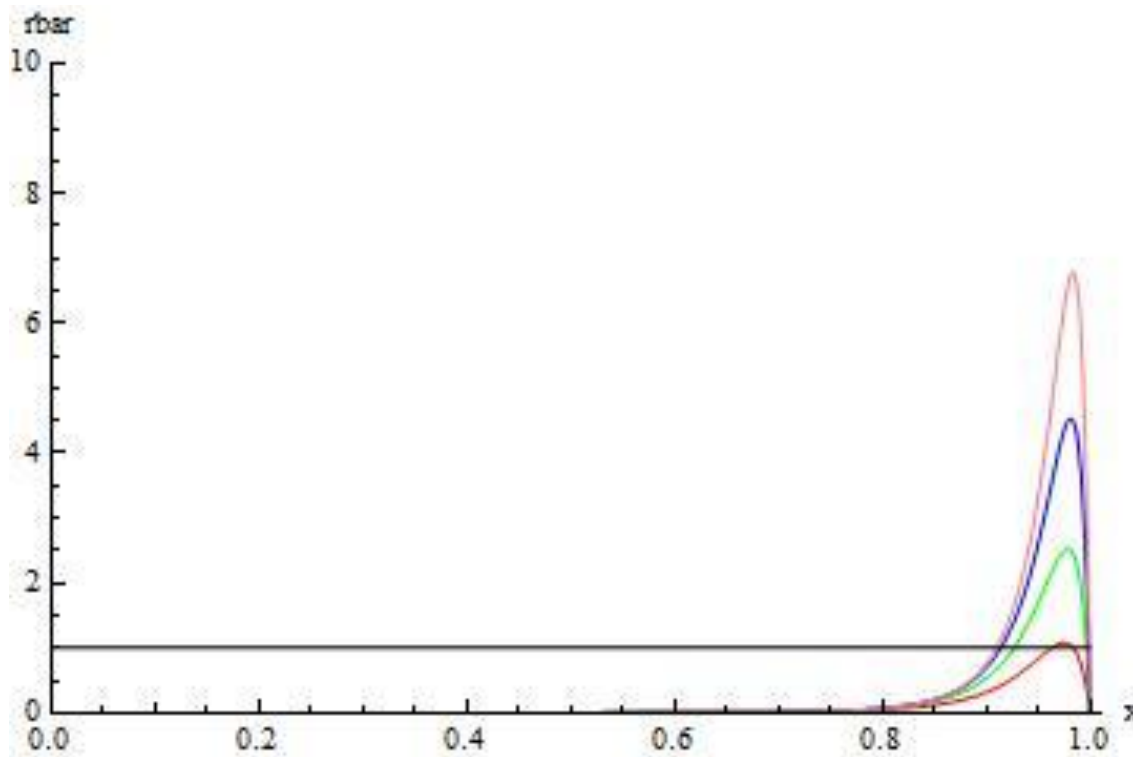
빨강: 500mb 253K

녹색: 300mb 233K

파랑: 100mb 213K

비행기 구름의 생성모델

2) Comparison with T



빨강: 500K

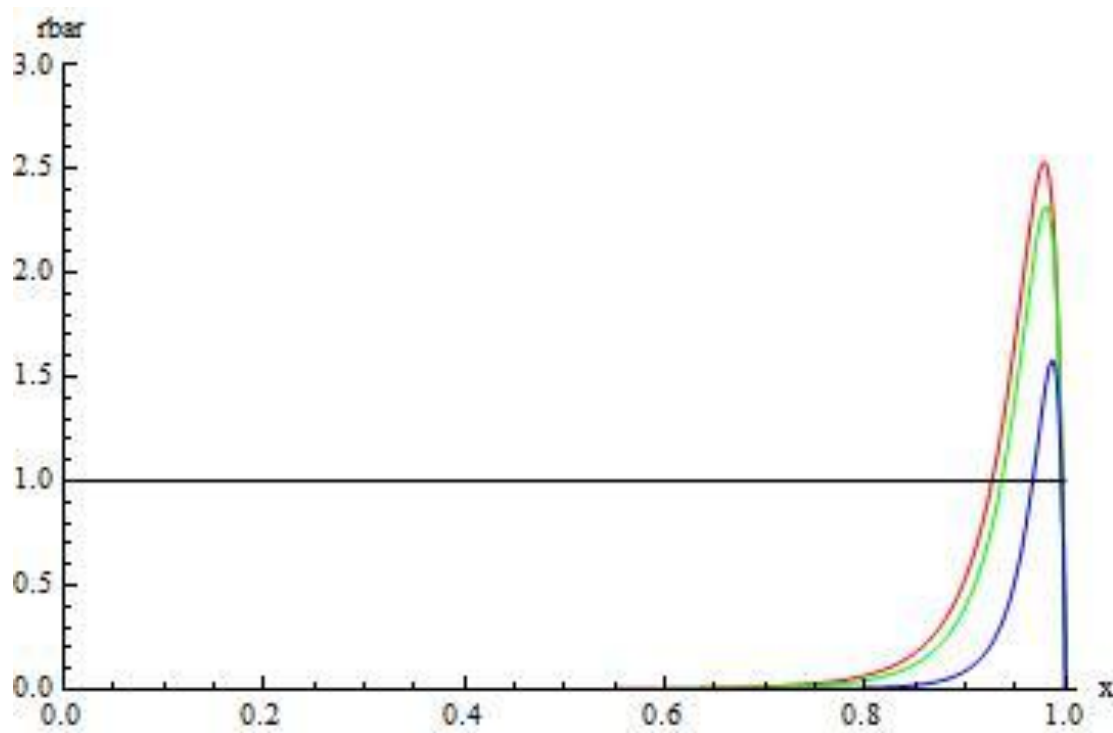
녹색: 570K

파랑: 640K

분홍: 710K

비행기 구름의 생성모델

3) Comparison with V



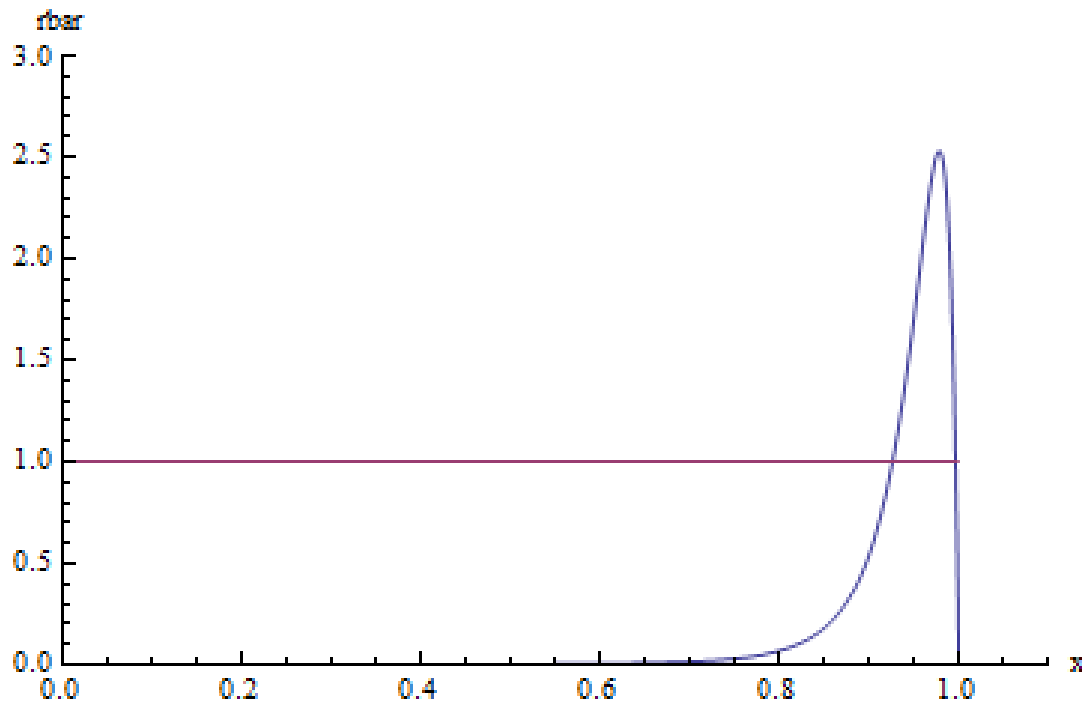
빨강: 300m/s

녹색: 340m/s

파랑: 510m/s

비행기 구름의 생성모델

4) Dynamics with ν 300–640



Appleman의 모델

Appleman(1955)

비행운의 생성 >>

따뜻한 배기 가스가 주변공기에 의해 냉각,
포화상태에 다다르면 응결 발생.

... 비행운이 생성될 수 있는 대기 조건?

Appleman의 모델

기본 가정

1. 연소로 발생한 모든 열과 물은 배기가스로 방출
→ 주변 공기와의 혼합으로 희석됨
2. 응결된 물... 초기상태 액체; 최종상태 고체
3. 최소 $0.004\text{g}/\text{m}^3$ 의 수분 포함해야 관찰 가능

Appleman의 모델

가정 1 정량화

$$\frac{\Delta\omega}{\Delta T} = 1000 \frac{Wc}{H} \quad \text{gm per kg C,}$$

W: 연료 1g당 발생하는 물의 양

c : 공기의 비열

H: 연료의 연소열

0.0336 (Appleman) → 0.0295

Appleman의 모델

주변공기 환경 E

배기 가스 ~A~B~E

직선 AE의 기울기

$$\frac{\Delta\omega}{\Delta T} = 0.0295$$

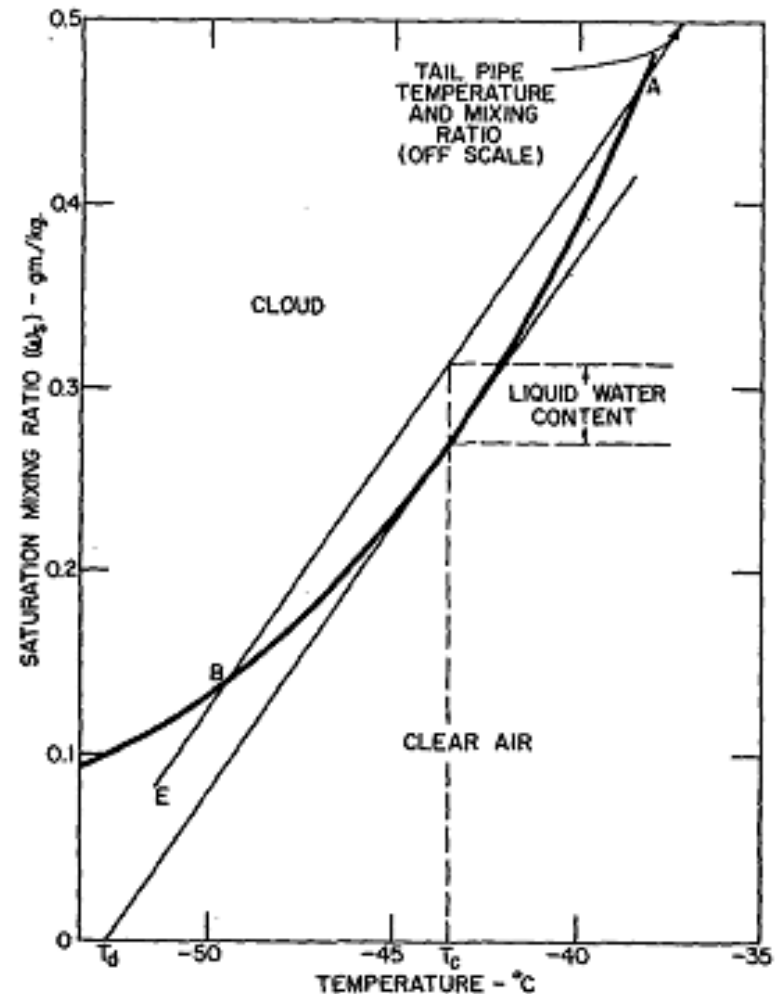


FIG. 2. 300-mb contrail predictor diagram. The curved line represents saturation mixing ratio versus temperature while the straight lines indicate aircraft wake conditions.

Appleman의 모델

직선:

Appleman 모델
구름 발생 조건

곡선:

실제 생성 빈도

오차 이유..?

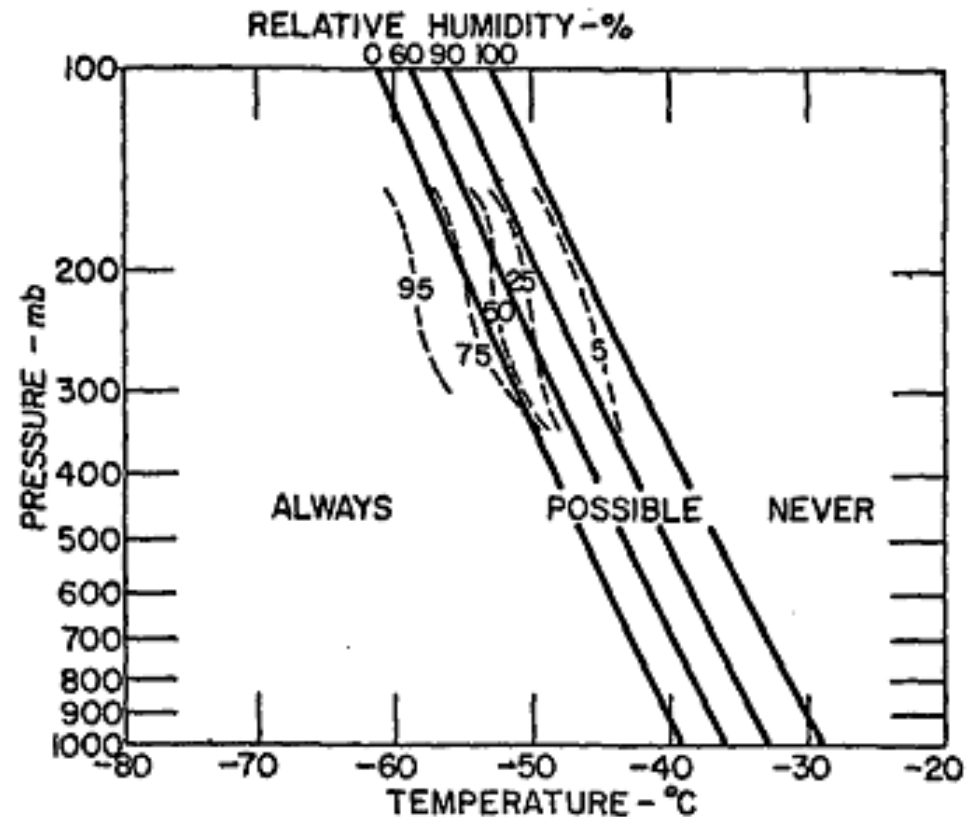


FIG. 1. Contrail formation as a function of pressure, temperature and relative humidity of the environment. Solid lines were theoretically derived by Appleman. Dashed lines are empirically derived curves of contrail probability in per cent as obtained by project CLOUD TRAIL.

결론

- ▶ 비행운은 배기가스와 주변공기의 혼합에 의해 발생한다.
- ▶ 비행운의 형성은 주변공기의 상태, 배기가스의 온도, 비행기의 속도 등에 큰 영향을 받는다.
 - 높은 고도 일수록
 - 배기가스의 온도가 낮을수록
 - 비행기의 속도가 빠를수록비행운이 적게 생긴다.

참고문헌

- ▶ Tsonis, *An Introduction to Atmospheric Thermodynamics*
- ▶ Williams&Elder, *Fluid Physics for oceanographers and physicists*
- ▶ Schrader, *Calculation of Aircraft Contrail Formation Critical Temperature*
- ▶ Pilie & Jiusto, *A Laboratory Study of Contrails*
- ▶ 한국추진공학회, 항공우주추진기관개론

사진자료

- ▶ Schiphol – Amsterdam Netherlands, December 13, 2009
- ▶ Schiphol – Amsterdam Netherlands, March 8, 2009
- ▶ Gatwick – London UK England, May 23, 2009
- ▶ Blagnac – Toulouse France, April 28, 2010