한반도 상공에서의 비행운 생성 조건

지구환경과학부 강태한, 김태혁, 오영훈, 최원빈, 현동규

비행운(Contrail)

높은 고도에서 비행기가 날 때 뒤에 꼬리 모양으로 나타나는 얇은 구름

작은 물방울과 얼음 결정으로 이루어져 있음

공기 중에 있는 수증기가 응결되거나 동결될 때 형성

비행운의 종류

Short-lived

비행운의 종류

Persistent

비행운의 종류

Persistent spreading

비행운의 종류

Short-lived

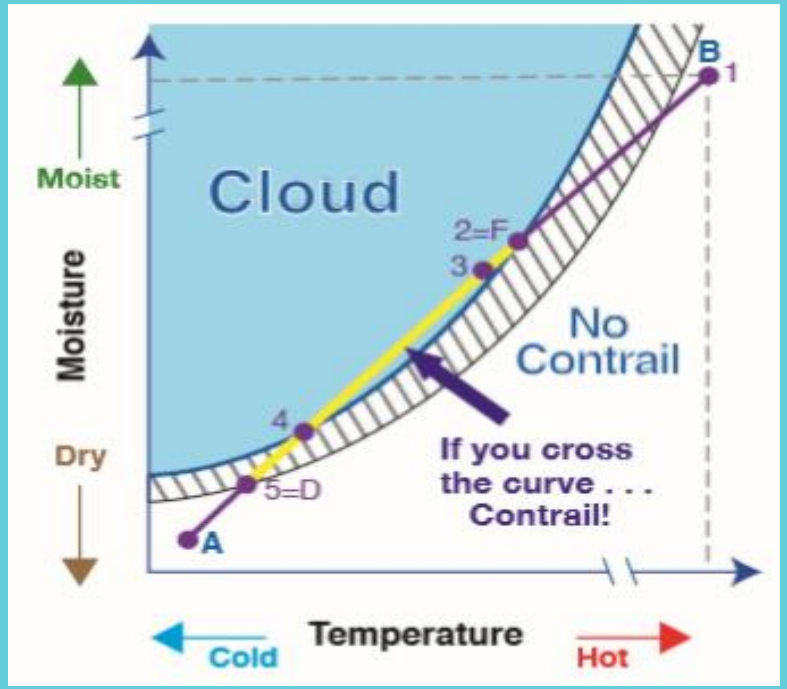
비행운의 종류

Persistent

비행운의 종류

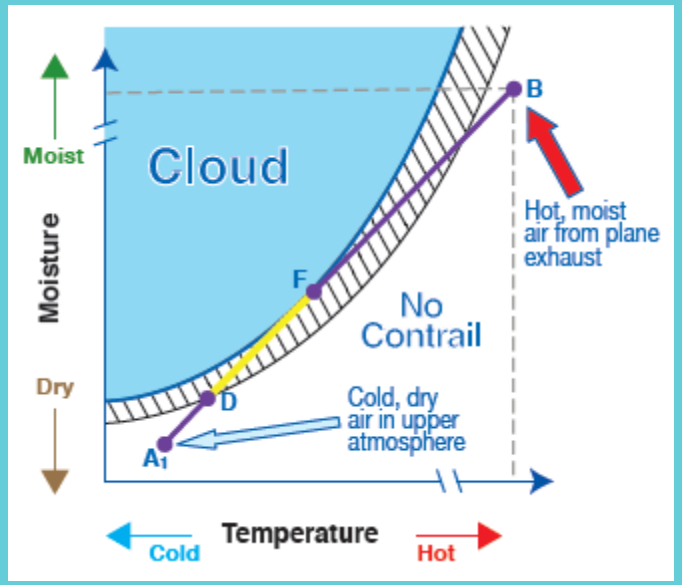
Persistent spreading

비행운의 생성 원리


Moist
Moisture
Dry
Cloud
B
1
2=F
3
No
Contrail
4
If you cross
the curve . . .
Contrail!
5=D
A
Cold
Temperature
Hot

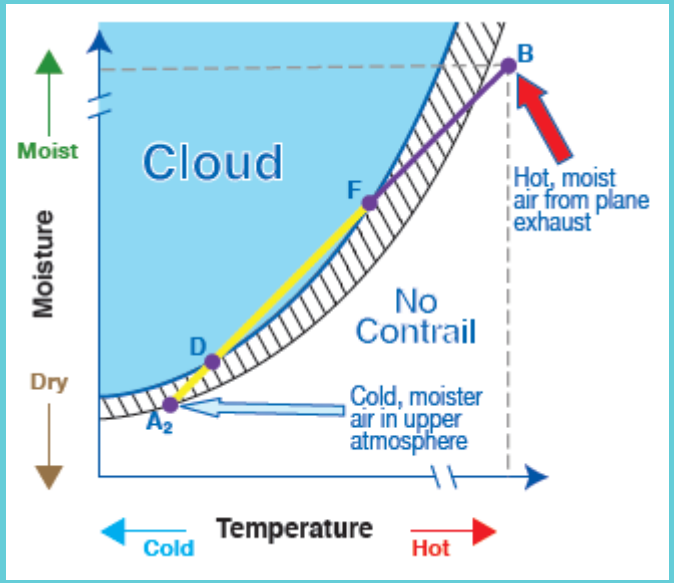
비행운의 생성 원리

Short-lived: Contrails in Dry air



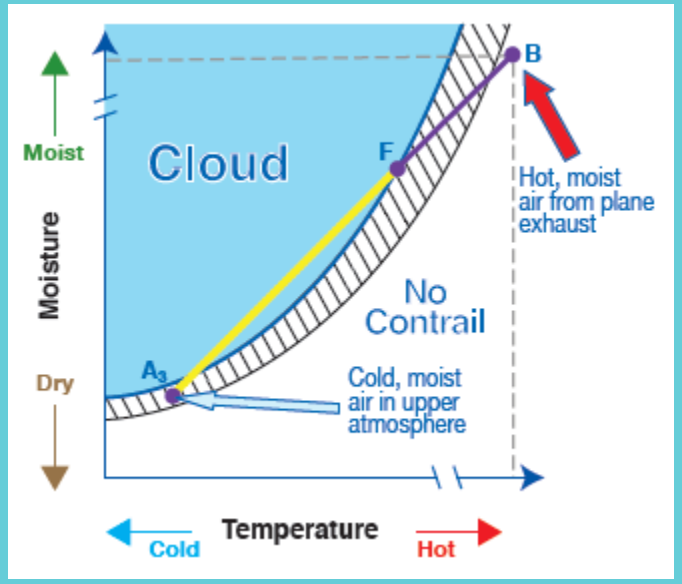
비행운의 생성 원리

Persistent: Contrails in Colder Air

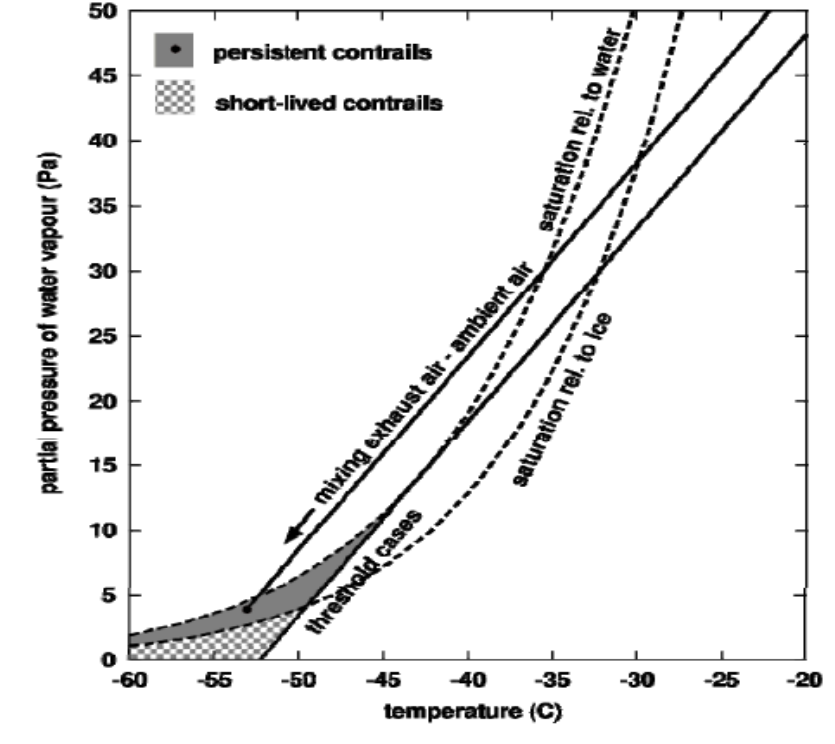


비행운의 생성 원리

Persistent spreading: Contrails in Moister air



비행운의 생성 조건


persistent contrails
short-lived contrails
saturation rel. to water
saturation rel. to ice
mixing exhaust air - ambient air
threshold cases
partia pressure of water vapour (Pa)
temperature (C)
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
-60
-55
-50
-45
-40
-35
-30
-25
-20

한반도 상공에서의 비행운 생성

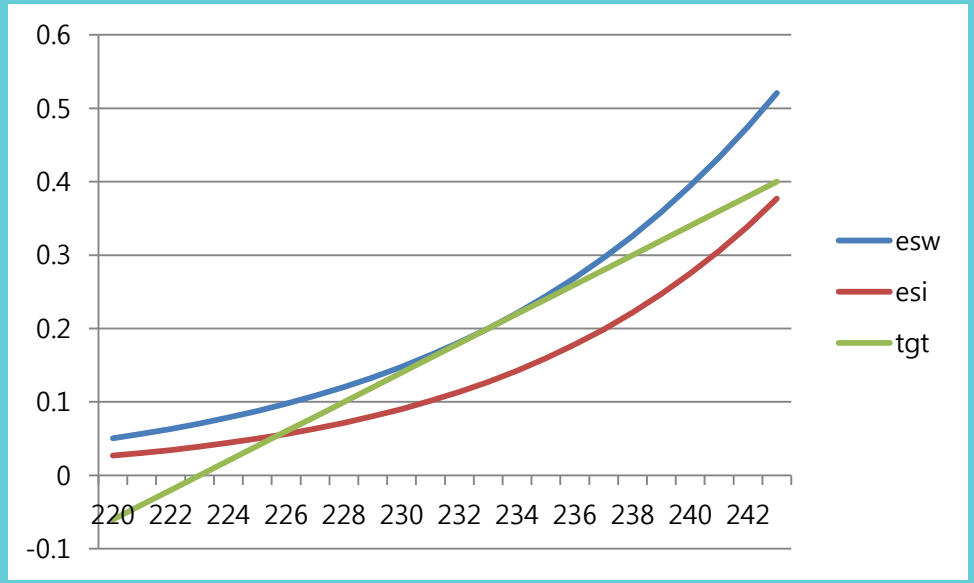
$$e_{sw} = 6.11 exp\left(19.83 - \frac{5417}{T}\right) \quad (6.17)$$

$$e_{si} = 6.11 exp\left(22.49 - \frac{6142}{T}\right) \quad (6.19)$$

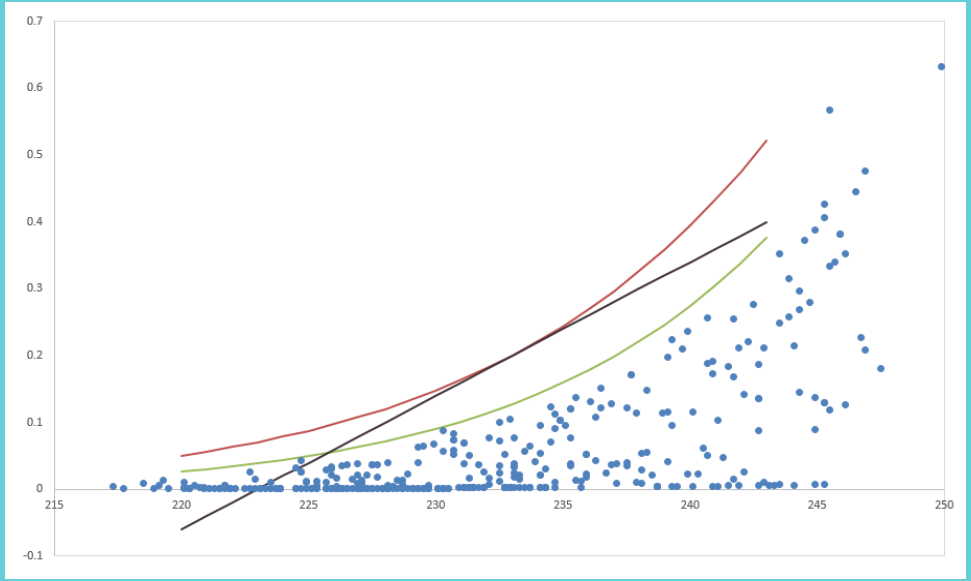
$$r = \frac{e}{e_s} \quad (7.7)$$

$$T - T_{dew} = -R_v T T_{dew} \frac{\ln r}{l_v} \quad (7.16)$$

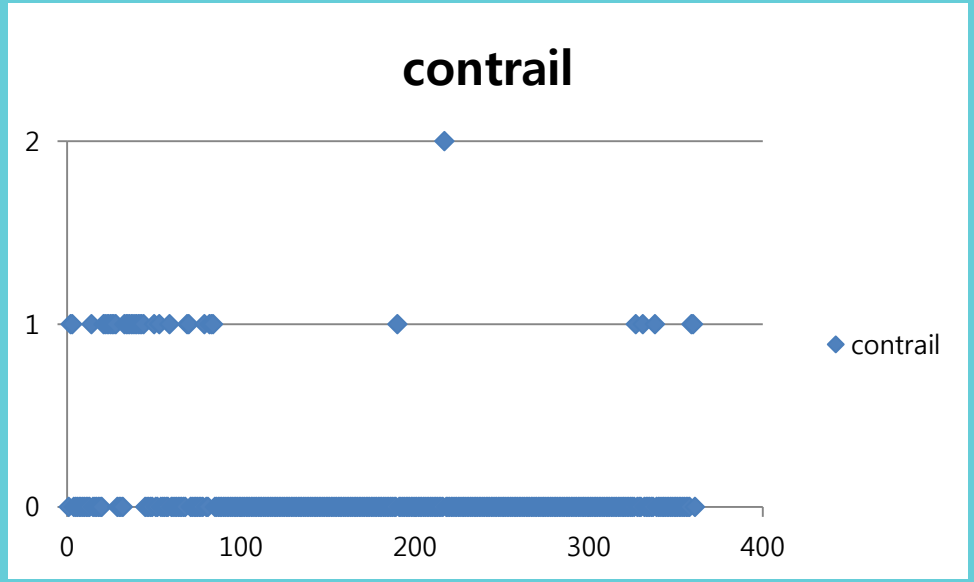
한반도 상공에서의 비행운 생성



한반도 상공에서의 비행운 생성



한반도 상공에서의 비행운 생성



요약

비행운의 생성 원리

한반도 상공에서의 비행운 생성

한계

자료의 단편성

근사식

배기 가스 온도의 다양성

응결핵

의의

비행운과 기후변화의 관련성

군사적 중요성

참고자료

Anastasios A. Tsonis, “An introduction to Atmospheric Thermodynamics” Second Edition, Cambridge University press, 2007.

Klaus Gierens, “Physical fundamentals of contrail formation - the Schmidt-Appleman criterion and the role of particles”.

NASA, “Contrail Identification Chart and Formation Guide”, 2013.

NASA, “Contrail Science”, https://science-edu.larc.nasa.gov/contrail-edu/science.php.

Schumann, “Atmospheric Physics: Background – Methods – Trends”, 2013.

Schumann, “Formation, properties and climatic effects of contrails”, Comptes Rendus Physique Vol.6 No.4, 2005.

University of Wyoming, http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html

WISC, “Contrails”, http://cimss.ssec.wisc.edu/wxwise/class/contrail.html.

감사합니다