

인공강우

신한솔 이명원

TOPIC / CO



목차

1. 인공강우의 개념과 원리

2. 인공강우의 역사와 다양한 사례들

3. 결론

목차

- 1. 인공강우의 개념과 원리**
- 2. 구름 형성과 강수 발달 과정**
- 3. 구름 조절의 미시물리**
- 4. 구름의 씨뿌리기 가능성과 측정**
2. 인공강우의 역사와 다양한 사례들
3. 결론

구름 형성과 강수 발달 과정

역학과정

- 단열감률

$$\left(\frac{dT}{dt} \right) = - r \, W$$

* 건조단열 $r: 0.98^{\circ}\text{C}/100\text{m}$

* 습윤단열 $r: 0.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$

- 상승 속도식

$$W(z) = \left(W_0^2(z) + 2g \int_{z_0}^z B(z) dz \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$B = (T_v - T_{ve}) / T_{ve}$$

g= 중력가속도

구름 운동을 기술을 위한 운동방정식

- Navier-Stokes 방정식
- 비탄성 연속 방정식
- 이상기체방정식
- 열역학 제 1법칙

미시물리 과정

(1) 물방울

- 균질핵화, 비균질핵화

$$N_c = CS^k \quad \frac{dr}{dt} = a \frac{S}{r}$$

- 병합(coalescence)
- 20마이크로미터 기준

(2) 빙정

- 균질핵화, 비균질핵화
- 비흡습성 ~ 적은 갯수
- 4가지의 핵화모드
- 부착(aggregation)
- 결착(riming)

(3) 구름 입자의 크기 스펙트럼

$$\begin{aligned}\frac{\partial f_i(m_i)}{\partial t} = & N_i \delta(m_i - m_{oi}) - \nabla \cdot (\vec{f_i v_i}) - \frac{\partial}{\partial m_i} (f_i m_i) \\ & + \sum_{j=1}^2 C_{ij} + B_i + F_i\end{aligned}$$

$N_i \delta(m_i - m_{oi})$ = 수적 또는 빙정의 형성을

$-\nabla \cdot (\vec{f_i v_i})$ = 입자의 이류

$-\frac{\partial}{\partial m_i} (f_i m_i)$ = 성장률에 기인한 f_i 의 수렴

$\sum_{j=1}^2 C_{ij}$ = 충돌에 의한 입자의 수농도 변화율

B_i, F_i = 부서짐, 융해(동결)에 의한 입자의 수농도 변화율

(4) 병합(포착)과정에 의한 강수과정

물방울

- 구름 입자의 크기 스펙트럼이 넓고
- liquid water content ↑
- 5mm 이상은 break up

(4) 병합(포착)과정에 의한 강수과정

빙정

- 구름 입자의 크기 스펙트럼이 넓고
- ice water content ↑
- aggregation ~ snowflake
- riming ~ graupel

(5) Bergeron의 강수 과정

- 영하의 평형상태, $es > esi$
- 빙정 쪽으로의 vapor gradient
- 과냉각 물방울 크기 ↓ 빙정의 크기 ↑
- 빙정의 성장 후 강수

구름 조절의 미세 몰리

1. 빙정과정의 조절~빙정생성 씨뿌리기

- 혼합구름(과냉각 물방울+빙정)
- 드라이아이스
- AgI(옥화은)
- 온도가 충분히 낮고, 수명이 긴 구름

2. 병합과정의 조절 (온난구름)

(1) 수적 씨뿌림

- Langmuir(1948)가 처음 제시
- Hocking limit(diameter >40마이크로미터)
- 직경 60마이크로미터~수백 마이크로미터의 물방울~embryo
- 반드시 강수 증가가 유발되지는 않음
- 비용 문제(상당한 물의 양)

2. 병합과정의 조절 (온난구름)

(2) 흡습성 입자 씨뿌리기

- 비교적 큰 인공 응결핵
- 구름 응결핵 스펙트럼 확장
- 수농도↑ 폭↓ ⇒ 수농도↓ 폭↑
- poison CCN ~ 기존 응결핵 덜 활성화
- giant CCN ~ 거대구름 응결핵

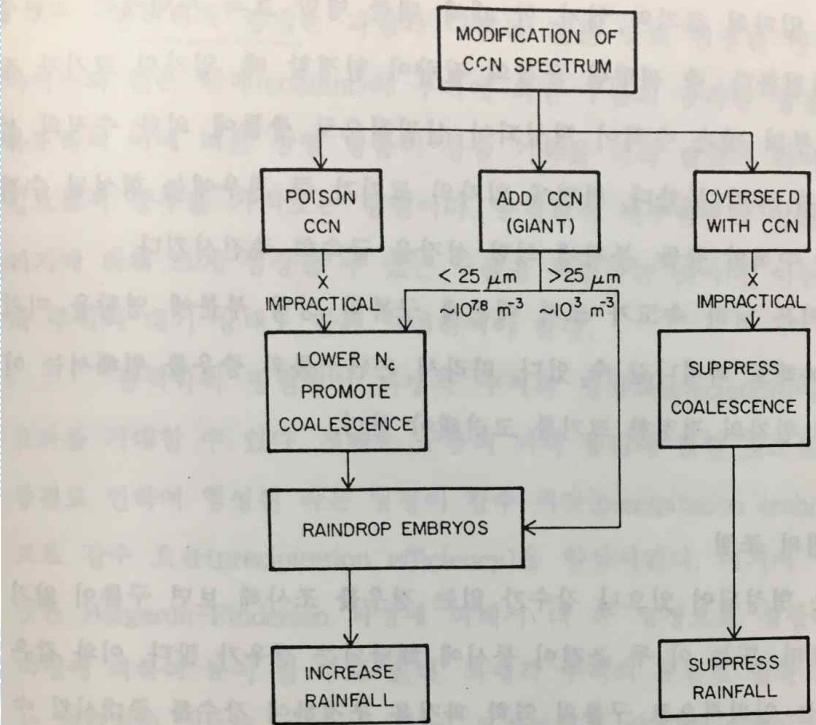


Fig. 3.3 Conceptual models for modifying the microphysics of clouds by altering CCN spectrum(Dennis, 1980)

3. 역학 과정의 조절

(1) 정역학적 방식(static mode)

- 미시물리 구조에 영향을 주어 증우
- AgI, 드라이아이스 ~ Begeon 과정
- 과냉각물방울을 가졌으나 강수현상 없는/
강수 과정을 거치지 않는 구름
- 복잡한 상호 작용 ~ 종종 강수를 감소시킴

(2) 동역학적 방식(dynamic mode)

- 많은 양의 안정한 빙정핵이나 드라이아이스
- 구름의 급속한 빙정화
 - > 잠열 방출 -> 상승기류 발달 -> 구름 성장
- 미시물리관련 효율 + 에너지 증가
- 성장할 수 있는 구름 확인
- 주위의 대기 상태도 고려

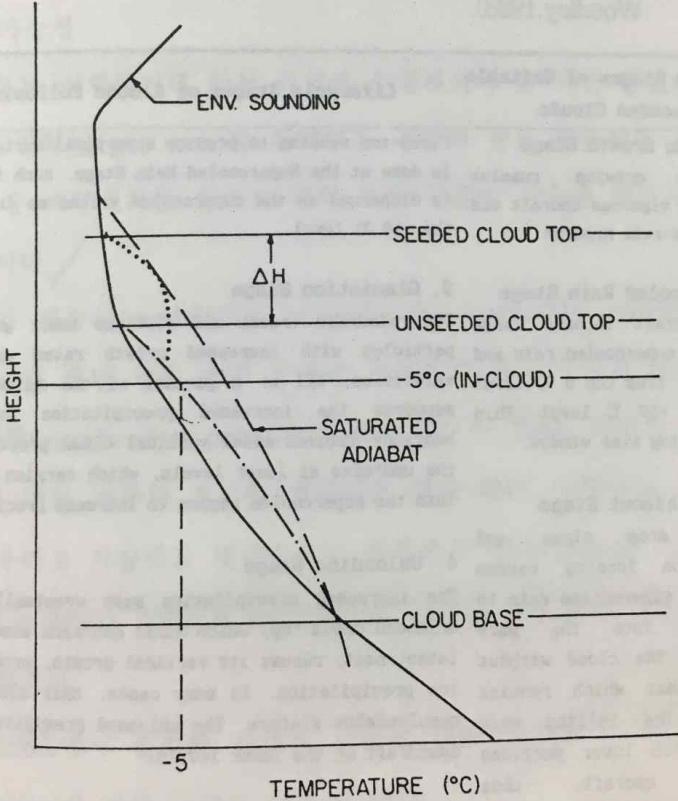


Fig. 3.4 Simplified thermodynamic chart indicating how artificial glaciation of cumulus towers could lead to increases in height

Table 3.1 Rain from Cumulus Clouds as Function of Precipitation Efficiency
 (Simpson and Dennis, 1974).

	Small cloud	Middle-sized cloud	Large cloud
Air density ρ (kg m^{-3})	~1	~1	~1
Mixing ratio (g g^{-1})	18×10^{-3}	18×10^{-3}	18×10^{-3}
Updraft area(km^2)	0.20	0.78	12.6
Updraft speed(m s^{-1})	0.5	1	2
Lifetime(s)	600	1800	3600
Rainfall(10^3 m^3)			
100% Eff	1.1	25.3	1633
50% Eff	0.5	12.6	816
10% Eff.	0.1	2.5	163

구름의 씨뿌리기 가능성과 측정

1. 씨뿌리기 가능성

- 인공 씨를 뿌릴 경우 강수 증가를 가능하게 하는 구름의 특성
 - a. 물방울 간의 충돌, 병합이 효과적으로 일어나지 않는 경우
 - b. 응결에 의한 과냉각수의 생성률이 소모율보다 크거나 거의 같은 경우
 - c. 씨뿌리기로 형성된 강수 입자들이 지상에 도달할 수 있을 만큼 성장할 시간이 충분히 있는 경우

1. 씨뿌리기 가능성

- 추정
 - a. 상승 기류의 속도
 - b. 운정의 온도
 - c. 과냉각수의 양
 - d. 강수률

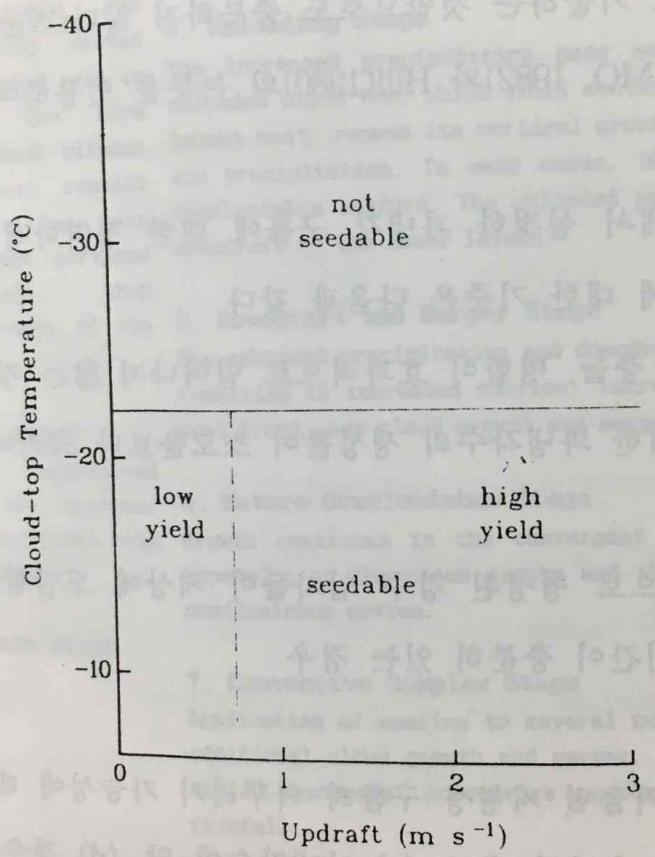


Fig. 3.5 Seedability of orographic clouds as a function of cloud top temperature and average vertical motion(Hill,1980).

2. 씨뿌리기 가능성의 측정

- 항공기에 의한 미시물리 구조 관찰
- microwave radiometer를 이용하여 대기 내의 수증기량과 액체 수함량 측정
- 레이더를 이용하여 구름의 규모, 강수입자 성장 영역, 구름 입자의 phase 조사

구름 조절에 의한 인공증우와 증설

1. 과냉각 구름의 조절

- 지형성 구름
- 층상운
- 적운~ 강수률이 가장 높다

2. 온난 구름

- 커다란 증우효과를 기대하기 어려움

목차

1. 인공강우의 개념과 원리
2. 인공강우의 역사와 다양한 사례들
 - (1) 전 세계의 weather modification 현황
 - (2) 미국, 호주, 중국의 인공강우 역사
 - (3) 다양한 실제 사례들
 - (4) 우리나라의 인공강우 현황
3. 결론

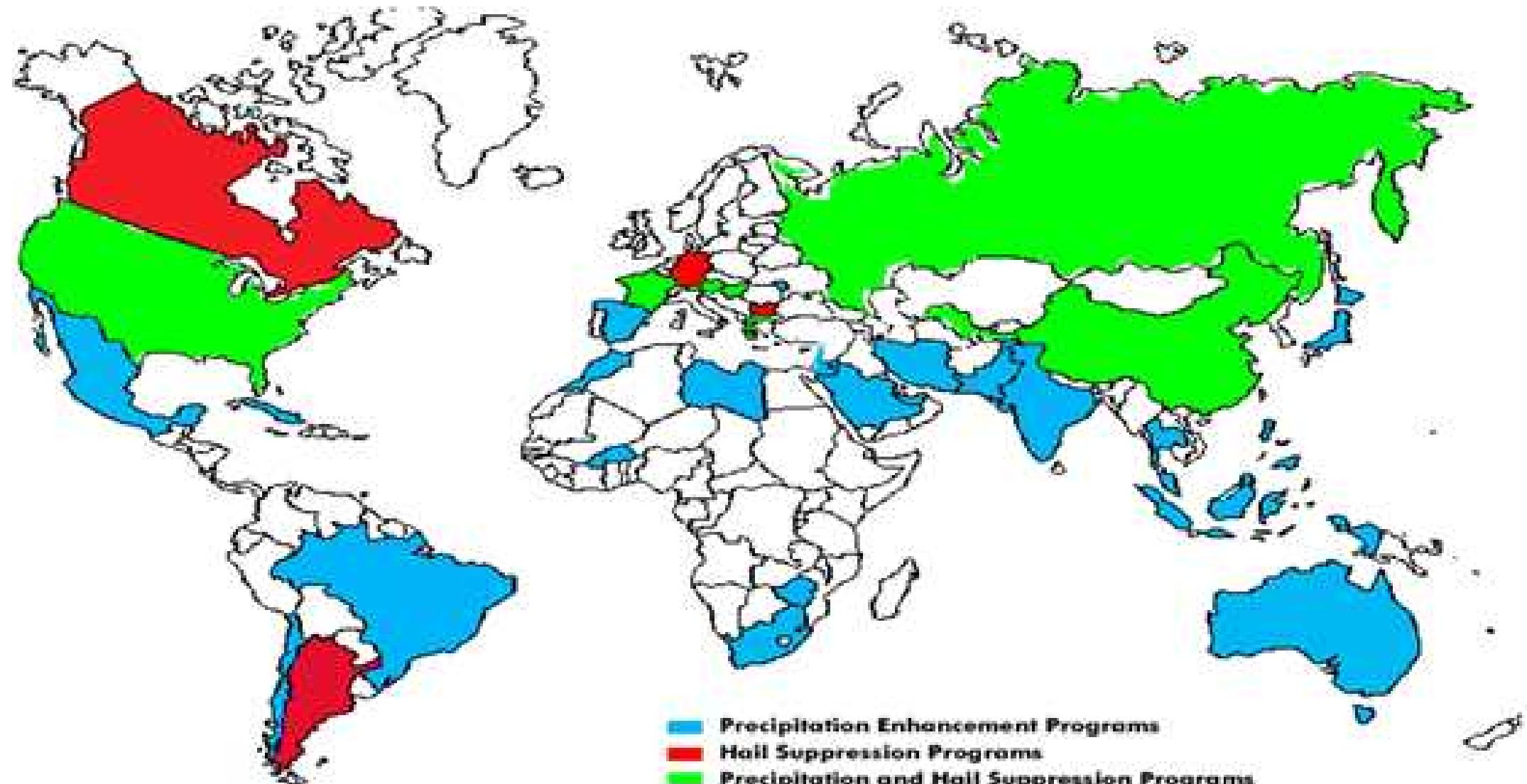
2. 인공강우의 역사와 다양화 사례들

- * 세계적으로 기상조절(인공증우, 안개소산, 우박억제)하는 총 56개국
- * 2013년 47개 -> 2015년 56개로 증가
- * 요오드화은이 제일 많이 쓰임

Table 2. Current weather modification programs in the world.

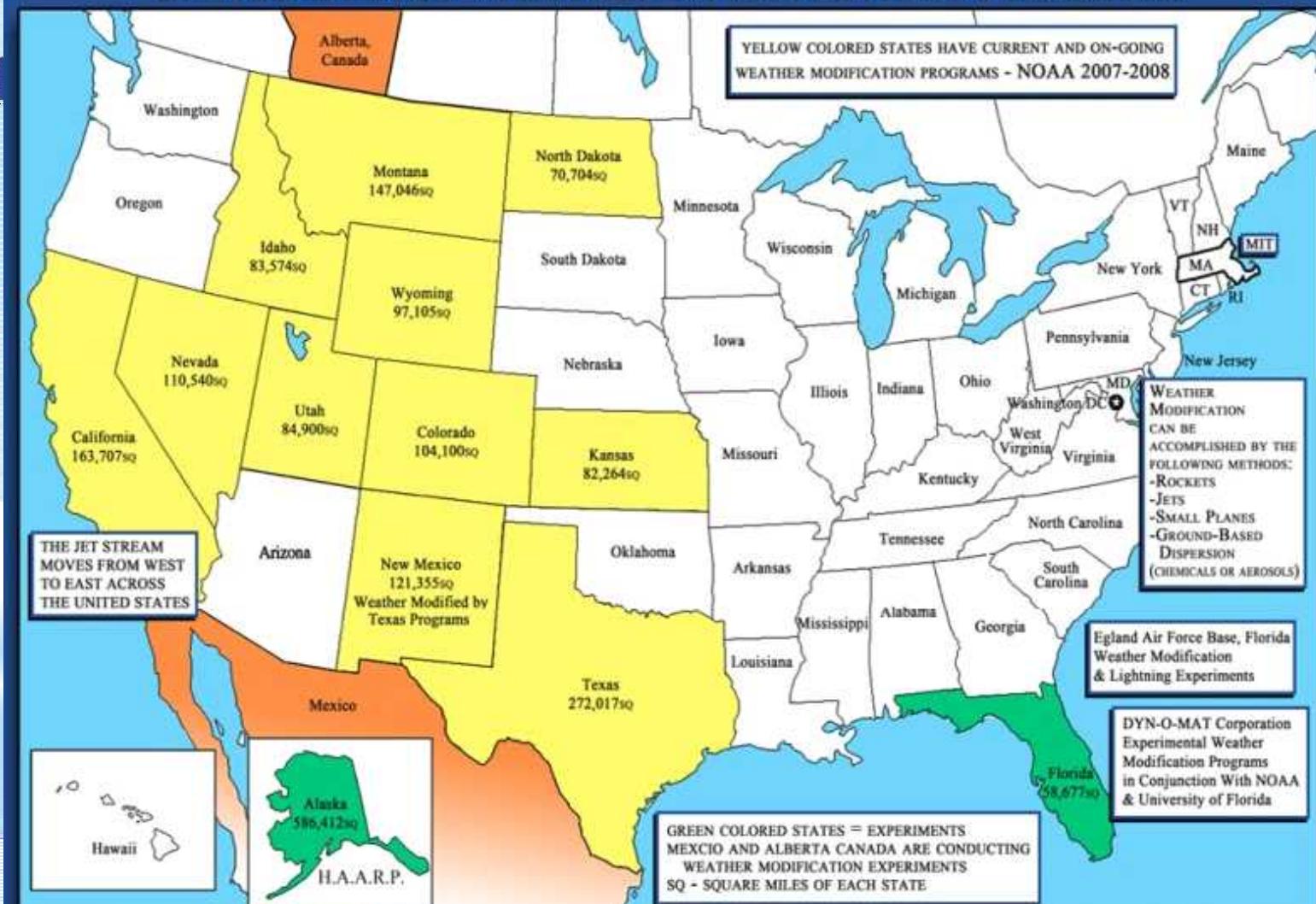
실용화:● / 개발중:○ / 기초연구:△ (1994년 기준) * 세부내역비공개 : ?

국가	기상조절 유형 및 상태		프로그램	제료 및 사용량(kg)	실시 범도		실시방법	평가	
	기상조절 수	우박억제 수			연	간월		환경 영향	비용 / 편익
인도네시아	●	●	●	DryIce (700)	●	●	로켓	Y	Y
아프리카	●	●	●	DryIce (700)	●	●	?	?	?
호주	●△	●	2	DryIce(700) AgI (30)	△	●	항공기(1)	N	Y
오스트리아	●	●	2	AgI (247)	●	●	항공기(3)	N	N
불가리아	△	●△	2	AgI (151)			로켓	N	Y
일본	△	●△	●	AgI (168) DryIce 액화질소(1,500)	●	●	항공기(4) 로켓/대포	Y	Y
관할	●	●	●	DryIce (261) 액화질소(1,500)	●	●	항공기(4) 로켓/대포	Y/N	Y
코스타리카	●		1	AgI (21.5)	●	●	항공기	N	Y
크로아티아	●○△		2	AgI (250)	●	●	지상/로켓	Y	Y
프랑스	●△		1	AgI (784)	●	●	지상	Y	Y
독일	●		1	AgI (120)	●	●	항공기(2)	Y	Y
이스라엘	●△		1	AgI (400)	●	●	항공/지상	N	Y
이태리	△		1	AgI (?)	●	●	항공기	Y	N
아랍에미리트	●		1	AgI (6)	●	●	항공기(3)	N	N
마케도니아	●		1	AgI (?)	●	●	로켓	N	PY
말레이시아	●		1	NaCl	●	●	항공기	N	N
몽고	●○△		1	AgI (10)	●	●	대포	N	Y
도로고	△		1	AgI (33) Propane PbI ₂ /NaI	△	●	항공기/ 지상	N	Y
노르웨이		●	1	Dry Ice	●	●	항공기	?	?
러시아	●	●	3	AgI (6.8이상) Dryice (150)	●	●	항공/로켓/ 대포	Y/n	Y
슬로바니아		●	1	AgI (50)	●	●	로켓	N	Y
남아프리카	△		1	NaCl/KCl/MgO	△	●	항공기	N	Y
스페인		●	1	AgI (325)	●	●	지상	?	?
태국	●		1	NaCl + ?	●	●	항공기(3)	Y	Y
우크라이나	●	●	3	AgI (205이상) DryIce(650)	●	●	항공기(2) 로켓	Y	Y
미국	●	●	●	AgI(917) Propane(16kl) DryIce(6,077)	-		지상/항공	Y/N	?
우즈베키스탄		●	4	AgI (10.1)	●	●	로켓/대포	Y	Y
유고슬라비아		●	1	AgI (?)	●	●	로켓	N	Y
계	14	17	2						



미국	인공강우가 가장 활발히 운영되고 있는 국가로서 국가적 지원하에 각주에서 기상조절 연구 프로젝트가 진행되고 있다. 캘리포니아, 네바다, 유타, 아리조나주 등에서는 겨울철 산악지역의 대단위 강 설 증가 프로그램을 통하여 수자원을 확보하고 있목화 재배 및 농장이 발달한 텍사스주 등에서는 여름철에 인공강우를 실시하여 농작물 재배의 수익을 높이고 있고, 인공강우를 전문적으로 수행하는 용역 회사도 다수 설립되어 있다.
호주	미국과 마찬가지로 인공강우에 있어 오랜 역사를 지니고 있으며, 남부지역의 타스마니아 섬에서는 매년 인공강우를 실시하여 수력발전, 식수 공급에 이용 하고 있다.
중국	중앙정부와 성 정부의 예산 지원과 주도하에 인공강우 연구와 실용화를 실시하고 있으며, 특히 화북성, 산서성, 길림성 등지에서 적극적으로 인공강우를 실시하고 있고 강수량이 부족한 화북성 지역에서는 항공기를 이용한 인공강우로 수자원을 확보하고 있으며, 과수원이 많은 길림성에서는 강하게 발달하는 뇌우에 인공강우 포탄을 쏘아 터지게 함으로써 강수를 증가시키고 우박의 세력을 약화시켜 과수 피해를 줄이고 있다.

UNITED STATES WEATHER MODIFICATION PROGRAMS



A SUMMARY OF WEATHER MODIFICATION ACTIVITIES REPORTED IN 2011*

미국의 인공강우 현황

* 인공강우 관련 기관

- NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration; 미국 해양대기관리처)

- DRI(Desert Research Institute), NCAR 등의 연구기관,
AI(Atmospheric Incorporated), WMI(Weather Modification Inc.),
NAWC(North American Weather Consultant)

호주의 인공강

- * 대륙의 대부분이 연강수량(1000mm)
- * 1947년 2월부터 인공강우 개발
- * CSIRO(Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization) 주도
- * 1955년부터 1959년까지 Northern Territory
-> 첫해: 30% but 마지막해: 100%
: 시딩 물질인 요오드화은은 간 이상 지속
- * 64년부터 HECT(Hydro Electric Commission of Tasmania)이 지역 수력발전소의 집수였고, 이 실험은 현재까지(90%)



호주의 인공강우 현황

* 1단계 사업(1964 - 1971)

- 초기 실험에서 나타난 몇몇 결점을 보완 -> 가을과 겨울철 동안에는 강수를 상당히 증가 시키는데 성공
- 강수 환경이 정상 상태로 회복되는 기간을 주기 위하여 1년 교대로 실험과 휴식을 반복 -> 그럼에도 매년 실험 초기에는 강수증가가 눈에띄게 증가하다가 같은 해 말 증우가 현저히 감소하는 경향을 보임
- 총 64회의 실험결과 평균 23%의 증우 효과를 나타내 상당히 투자효과가 있다는 평가를 받음
- 증우효과를 회귀분석한 결과는 다음과 같다.

$$T = 2.53 + 0.979C + 0.2276C*S$$

T ~ 목표지역의 평균 강우량

C ~ 풍상측 비교지역에서의 평균 강우량

S ~ 씨뿌리기를 한 경우에는 1이고 그렇지 않으면 0

- Shaw et al.에서는 다음과 같이 요약함

“가을 철 씨 뿌리기에 의한 목표지역의 동쪽 반 지역에서 확실한 증우가 있다는 확실한 통계적 증거가 있다. 또한 가을과 겨울철에 나머지 반 정도의 지역에서도 그리 강 하지는 않지만 증우효과가 있다는 증거가 있다. 증우 효과는 가을에 30%, 겨울에 12%로 추정된다”

호주의 인공강우 현황

* 2단계 사업(1979 - 1983)

- 1971년 HEC의 발전용 저수지가 만수위에 다달았기 때문에 1979년 2단계사업이 시작되기 전까지 더 이상 인공강우의 필요성이 없었다

- 2단계사업은 항공기에 탑재된 씨뿌리기 장비와 각종 측정 장비를 개선하후 시행됨

- 1단계보다 향상된 30%의 증우효과를 보임

- 이 실험기간동안 증우효과를 회기분석한 것

$$T = 2.53 + 0.979C + 0.2276C*S$$

- Shaw et al. 은 2단계 사업을 다음과 같이 평가했다.

“4~9월에 시행된 2단계 인공강우 실험에 대한 통계적 물리적 분석을 통해 목표 지역의 서부 반정도에서 116mm의 강우 증가를 확인하는 증거를 확보하였다. 동부에서도 66mm의 증우를 확인하였다.”

호주의 인공강우 현황

* 가뭄 극복 사업(1988-1991)

- 1988년 장기간에 거친 건기로 HEC 저수지는 최저수위로 저하 -> 과거보다 더 넓은 지역에 인공강우 시행됨
- 주간에 발생된 모든 적정 구름에 씨뿌리기를 시행
- 평년 강우량 백분율 분석을 이용하여 평가한 결과 약 30%까지 증우효과가 있는 결과를 얻음

호주의 인공강우 현황

* 3단계 사업(1992~1994)

- 요오드화은 대신 드라이아이스가 사용
- 요오드화은을 사용한 과거의 실험에 비하여 상대적으로 중우량이 적은 것으로 평가 : 비용-편익 효과가 6:1로서 요오드화은의 1/5에 불과
- > 드라이 아이스 효과가 상대적으로 적은 것은 요오드화은이 오랜시간 빙결핵으로 효과가 있는 반면 드라이아이스는 거의 순간적으로만 효과가 있기 때문

중국의 인공강우 현황

- * 미국과 호주 다음으로 역사가 깊음 ; 1958년 정부주도로 인공강우에 대한 기초연구가 시작
- * 중국기상청 주관 -> 1978년 중국기상과학원 설립
: 중국 12개지역에서 인공증우와 안개소산 및 우박억제 프로그램이 대규모로 실시중
- * 지상실험 vs 항공실험
 - 지상실험 : 지상연소기, 37mm 대공포, 지상발사용 로켓
 - 항공실험 : AgI연소기, 분출탄 투하기, 전투기용 30mm기관포

중국의 인공강우 현황

* 인공강우 관련기관

- 중국기상과학원 산하 인공영향천기판공실(人、modification office): 구름물리에 대한 기초연
AgI산화 실험, 중규모 구름 챔버를 이용한 강
공강우 실험용 장비의 설계 및 테스트 등의 연
지방정부의 관련기관에 인공강우 실시에 대한
- 중국인공강우센터 : 실용적 실험

* 주요 장비

- 중규모 구름챔버(Mesoscale Cloud Chamber)
- 항공기에는 좌측 하단에 대기중의 미립자를 measuring system)이, 우측에는 구름 입자나 FSSP(forward scattering spectra-meter probe) (PMS: 대기중의 에어로졸 등의 고체성 미립자 FSSP: 구름입자나 빗방울 등 기상현상에 관련하는 장비)

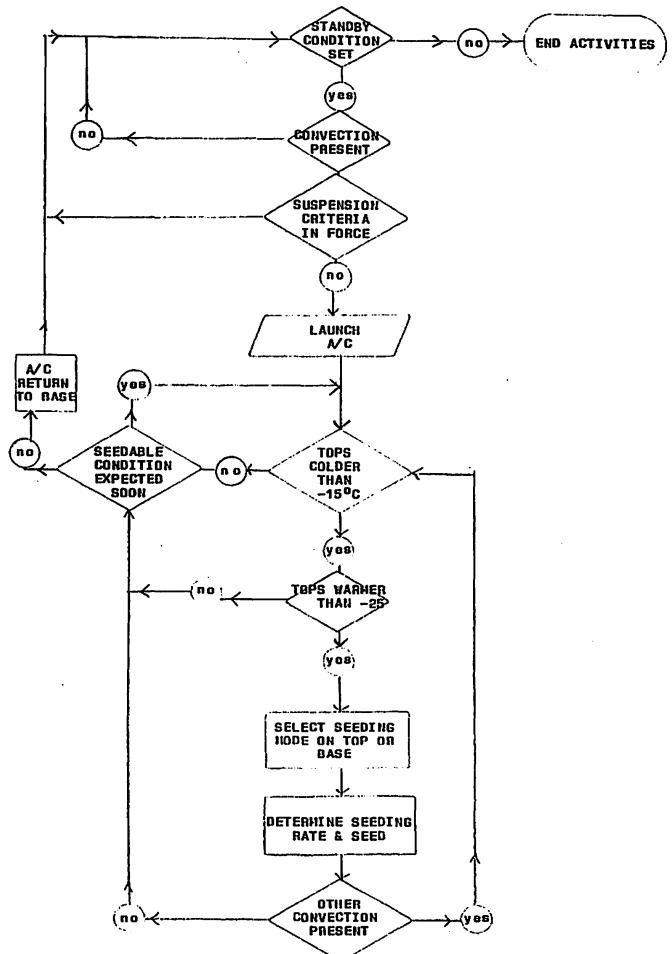


Figure 3.1 Seeding Decision

중국의 인공강우 현황

* 인공강우 실시현황

* 지상실험

- 지상연소기: 중국은 중부와 동부에 산악이 없어서 성공가능성이 없음.

현재 중단된 상태

- 37mm대공포: 구형무기의 재활용, 취급용이, 기동성이 양호,

현재 가장 많이 활용됨

증우효과보다 우박억제용으로 더 효과적

태국에서 수입하여 실험에 사용중

- 지상 발사용 로켓: 중국 서부의 산악지역에 대한 실험이 주목적

로켓은 구름에 비씨를 너무 많이 투입시켜 강수입자의 성장을
오히려 억제시킬 우려가 있어서 주로 겨울철에 선별적인 구름
에 대해서만 실시

중국의 인공강우 현황

* 항공실험

- 항공실험용 AgI 연소기: 구소련제 쌍발추진 항공기 기종(AN-26)를 인공 강우 전용기로 개조한 후 동체 하단 양쪽에 장착하여 사용
월 평균 4회정도 실시
비용이 많이 소모되어 실시효과는 높지만 횟수를 늘리지 못하고 있다

- 항공기용 AgI 연소탄 발사기: 144개의 AgI연소안을 동시에 투하하여 다량으로 AgI 미립자를 구름으로 분출하는 장치.
95년 북경시 근처에서 성공적으로 실험이 수행된적 있음
2001년 6월 옌칭, 하이뎬, 평구 등 교외 지역에 모두 40발의 최우탄을 쏘았다
이효과로 베이징 지역에 약 15분간 소나기가 쏟아졌으며 베이징 시 정부는 비를 만드는데 든 비용은 2만 위안 안팎이나 그 효과는 80만이 넘는 것으로 경제적 이익이 약 40배라고 밝혔다.

그 외 국가들

* 이스라엘

- 국토의 60%는 사막이며, 나머지는 건조한 지역
- 1960년대부터 3차례 걸친 장기 계획으로 인공강우 실험

* 태국

- 1960년대 후반부터 과학적이며 기술적인 조작에 의해 기상조절을 통한 강수증대를 위해 계속적인 실험과 시행 프로그램을 통하여 운영
- BRRAA(Bureau of Royal Rainmaking and Agricultural Aviation)의 설립으로 1975년 체계화
- 1986년부터 미국 AID로부터 일부 원조를 받아 미국 개척국(Bureau of Reclamation)의 자문을 받아 AARRP(the Applied Atmospheric Resources Research Program)를 수행
- 기술이전을 받아 기상레이더, 인공강우용 항공기, 측정장비를 도입하여 독자적으로 인공강우 실시

- * 1952년 8월 영국 군대의 비밀인공강우 실험
 - 21시간만에 300mm가 넘는 폭우가 쏟아져 홍수
 - 린머스 해안 근처 마을이 휩쓸리고 34명의 인명

* CIA의 기상학 무기

- 1963년 인공비를 내리기 위해 남베트남 승려의 당시 뉴욕타임즈는 인공비에 대해 “공식적으로 상학 무기”
 - 쿠바에 과도한 비를 유도하여 설탕수확에 피해

*캐나다 Alberta 우박 감소 프로젝트

* 2008년 베이징 올림픽

- ## - 개막식 & 폐막식



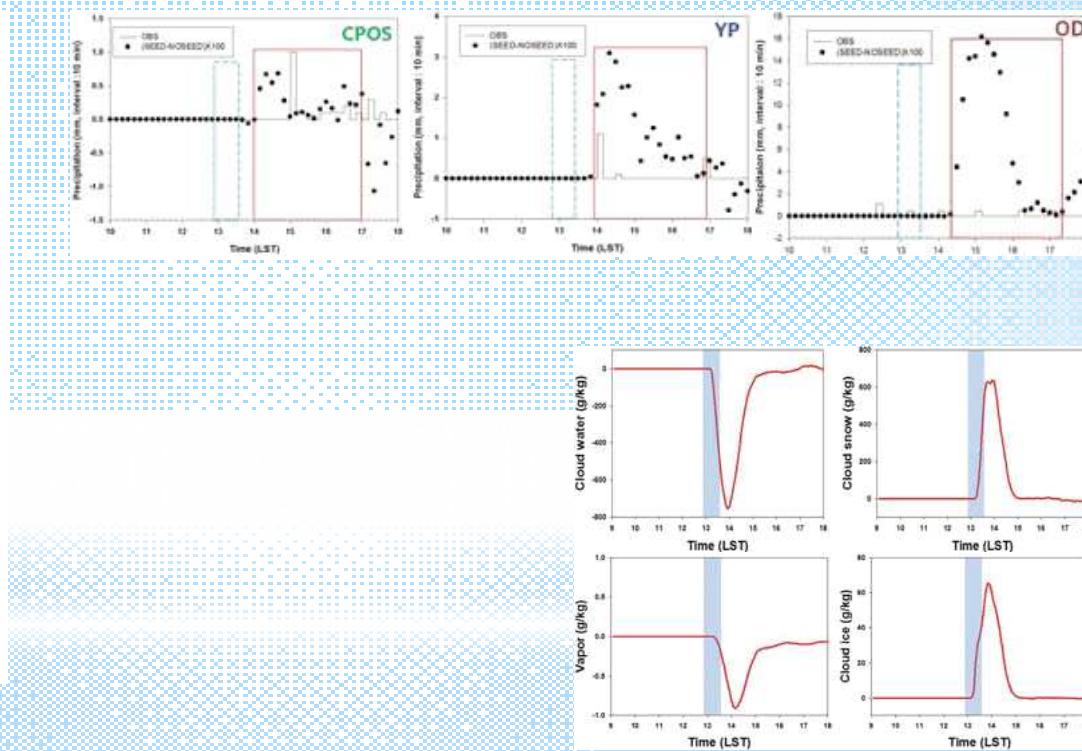
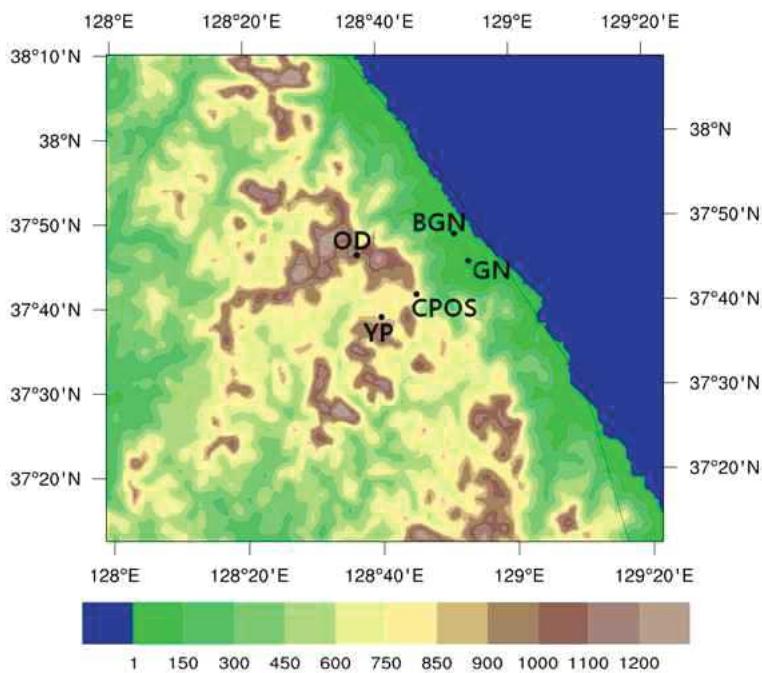




우리나라 현황

- * 1963년 동국대학교 양인기 교수팀이 지상연소 실험과 드라이아이스를 이용한 항공실험을 시도한 것이 최초
-> 실패 후 30년동안 인공강우 실험중단
- * 1994-1995년 극심한 가뭄 속 수자원 확보방법으로 재개
- * 국립기상과학원 주관으로 2006년부터 대관령에서 구름씨뿌리기 를 통한 인공증설 가능성을 연구
: 동해로부터 수증기유입되어 하층운 자주발생, 산사면을 타고 과포화된 상태로 대관령에 유입 -> 인공증설실험에 효과적
- * 2010-2015 겨울철(매년 12~4월) 지상기반 seeding 실험

*2016 인공증설 항공실험



* 지상기반 seeding 실험

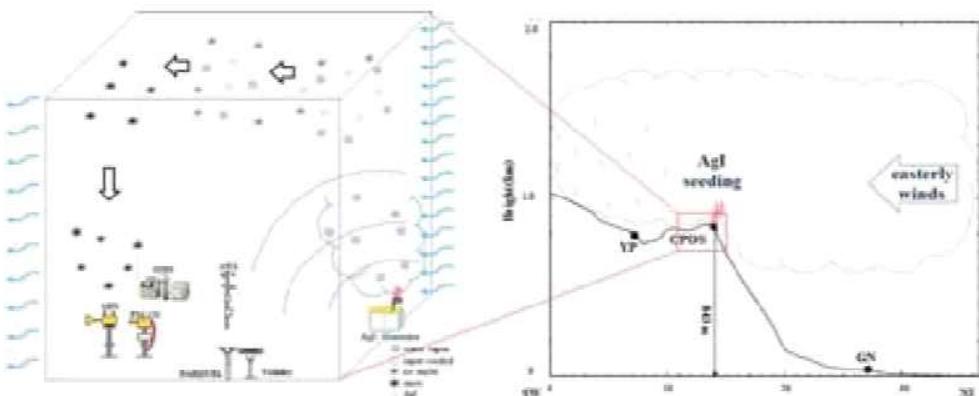


Fig. 1. Schematic diagram of the ground-based seeding experiments at the Daegwallyeong, CPOS site.

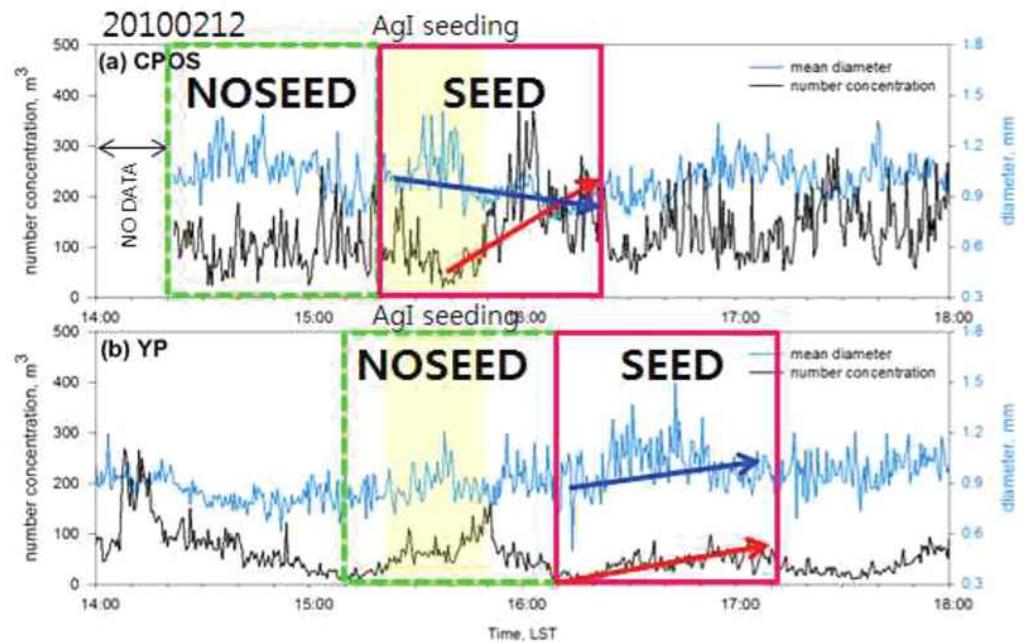


Fig. 2. Time-series of particle size distribution from PARSIVEL at (a) CPOS and (b) YP.



"인공비로 미세먼지 차단"

KTC

너희 미세먼지 가스카트

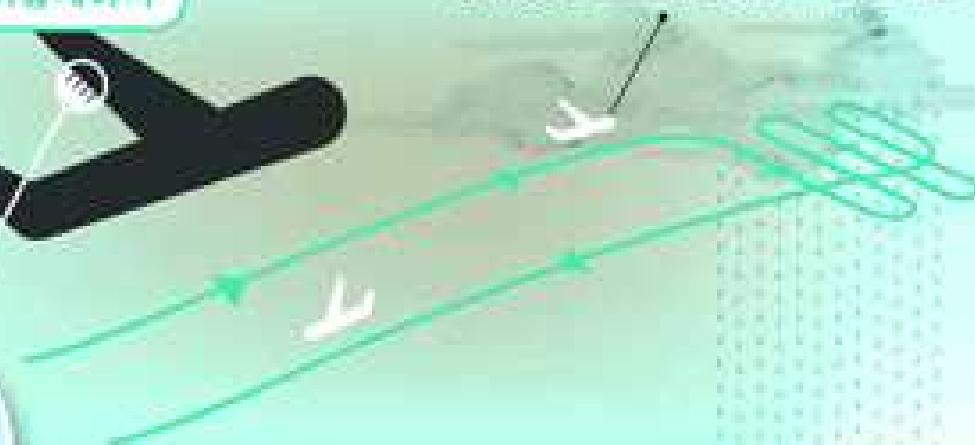
인공증우 실험 어떻게하나



모든 걸
한 번 살피



구름 씨앗인 유후드화은(Ag)과 액체질소 살포



서해

경기도
(미세먼지 프리존)

- * 우리나라는 1년 강수량이 여름에 집중되는 기후 특성 때문에 봄철 가뭄을 면할 길이 없음
- * 1997년 기상청 연구에 따르면 우리나라의 충주댐 상공에서 실시할 경우 t당 1.25원이 들 것으로 예상

VS

현재 공업용수 가격이 t당 1백70원, 황성댐 개발 비용이 1t당 101.3원

- * 우리나라는 중위도 편서풍대에 위치하고 있어 1주일에 한 번은 기압골이 통과 -> 이 때 비교적 구름이 많아 다른 나라에 비해 인공 강우를 실험하기가 유리

- * 우리나라 인공 강우 기술은 선진국의 30~40%수준
- * 30년이 넘도록 기술 축적도, 전문 인력 양성도 이루지 못함
- * 1994년과 1995년은 1943년 아래 최악의 가뭄이 든 해
 - > 급하게 기상청 기상연구소에 인공 강우 실험연구팀 구성
 - > 선진국 인공강우 연구센터를 찾아다니며 기술을 자문
 - > “한 달 전 예약한 날에 비행기를 띄우고, 그나마 전용기가 아니어서 장비를 제대로 갖추지 못해 비 씨를 정확하게 뿌리지 못했다. 허술한 설비로 무리하게 시행했기 때문에 성공적인 결과를 기대할 수 없었다.” 당시 연구팀을 이끌었던 엄원근씨의 주장
 - > 1997년 홍수가 일어나자 ‘홍수 대책이 더 급해 인공 강우 연구에 예산을 지원할 수 없다’며 지원 끊김

결론

- * 여러 국가에서 실용화 단계에 이르렀지만, 사실상 실험의 일종
- * 대기물리 과정에 예측할 수 없는 변수들이 너무 많음
- * 날씨 조작으로 인해 홍수·가뭄 등 예기치 못한 피해가 발생할 가능성이 있어 과학 윤리 문제
-> 인공강우 반대 시민연합(1973, 사우스다코타 주), 구름도둑
- * 경제적으로 효율적 - 수자원 확보에 용이
-> 실적이 적은 우리나라로 좀 더 연구 필요

- * 인공강우 실험 연구(1), 기상청 기상연구소, 1996
- * 인공강우 실험 연구(2), 기상청 기상연구소, 1997
- * 환경보전을 위한 인공강우기술 개발, 기상청 국립기상연구소, 2007
- * WMO Expert Team on Weather Modification Research
- * 수치모의를 통한 2016년 인공증설 항공실험 시딩효과 분석, 국립기상과학원 응용기상연구과, 2016
- * 지상기반 구름씨뿌리기에 의한 강수의 미세물리변화 분석, 국립기상과학원 응용기상연구과, 2016
- * <http://www.agriculturedefensecoalition.org/content/weather-modification>
- * <https://m.blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=leehs7524&logNo=220490657218&proxyReferer=https%3A%2F%2Fwww.google.co.kr%2F>
- * <http://www.nytimes.com/1972/07/03/archives/rainmaking-is-used-as-weapon-by-us-cloudseeding-in-indochina-is.html>
- * [http://env1.kangwon.ac.kr/project/sdwr2004/litsurv/korstatus/%EC%8B%9C%EC%84%A4%ED%98%84%ED%99%A9/%EC%88%98%EC%9E%90%EC%9B%90\(%EA%B1%B4%EC%84%A4%EA%B5%90%ED%86%B5%EB%B6%80\)/%EC%9D%B8%EA%B3%B5%EA%B0%95%EC%9A%B0.htm](http://env1.kangwon.ac.kr/project/sdwr2004/litsurv/korstatus/%EC%8B%9C%EC%84%A4%ED%98%84%ED%99%A9/%EC%88%98%EC%9E%90%EC%9B%90(%EA%B1%B4%EC%84%A4%EA%B5%90%ED%86%B5%EB%B6%80)/%EC%9D%B8%EA%B3%B5%EA%B0%95%EC%9A%B0.htm)
- * <https://youtu.be/PINsoHtbEw4>
- * <https://youtu.be/guhqPXUTg6k>
- * listverse.com/2017/09/21/10-examples-of-cloud-seeding-and-weather-control/
- * www.sisapress.com/journal/article/97221