

가뭄! 걱정 없습니다 -인공강우-



오 성 남
연세대학교 지구환경연구소
smoh@yonsei.ac.kr



장 기 호
기상청 국립기상연구소

1. 개요

인공강우는 강수를 내릴 만큼 발달되지 못한 구름에 인위적으로 구름의 응결입자를 뿌려(cloud seeding) 구름의 발달과 강수 응결을 더욱 활성화시켜 더 많은 강수를 내리게 하는 강제성 있는 구름물리 기술이다(오성남, 2005; Bruintjes, 2003; Wallace and Hobbs, 2006).

기술적인 사항을 나열하여 보면 다음과 같다. (1) 대기에 구름층은 형성되어 있으나 구름 속의 수분을 수직이나 빙정으로 응결시키는 응결핵 또는 빙정핵 역할을 하는 작은 미립자의 양이 적을 때 이를 인위적으로 뿌려(cloud seeding) 줌으로써 강수를 유도하는 방법이다. (2) 구름 속 응결핵과 수분은 충분하나 구름의 발달이 미약하여 빗방울을 형성하는 구름의 물방울 병합이 원활하지 못할 때 구름 역학적 요란을 유도하는 방법이다. 첫번째 방법을 정적시딩(static seeding)이라 하며 두 번째 방법을 동적시딩(Dynamic seeding)이라 한다. 이들 모두 항공기를 이용함이 가장 효과적이다. 그러나 구름 한 점 없는 하늘에

서 비를 내리게 할 수는 없고 강수 가능성이 있는 구름과 대기 조건이 형성되어 있을 때 가장 적합하다.

우리나라는 중위도 편서풍대에 위치해 있어 4계절을 통하여 평균 주 1회 정도 기압골이 통과하며 여름철 바다로부터 유입되는 많은 수분은 구름 발달을 활성화시키고 있다. 특히 북으로부터 남서쪽으로 얽어져 뻗어 내려오는 태백산맥은 3월부터 11월까지 불어오는 남서풍의 습기 찬 바람을 그대로 받고 산악효과에 의한 강수응결이 생성된다. 때문에 설악산을 위시한 이들 강원도 산악지대는 대부분 안개에 휩싸여 있어 산악 응결효과에 따른 북한강의 원천인 소양강댐과 남한강의 충주댐에 항시 풍부한 물을 공급하고 있다. 한편 남서쪽으로 내리워져 겨울철 북서풍을 받고 있는 소백산맥은 충분한 산악의 바람 활승효과에 의하여 풍상 측의 호남지역에 강설을 공급함으로써 이 지역의 물 걱정을 해소한다. 그러나 산맥 넘어 풍하 측의 때마른 바람이 영남지역에는 산악효과와 강수를 기대하기가 어렵다.

우리나라는 년 중 강수량의 65% 이상을 장마기에 집중

되어 한강을 비롯한 전국 4대강의 수자원 주공급원이다. 그러나 요즘 장마전선의 부실한 형성으로 예년 강수의 절반을 따르지 못하고 있다. 2,500만 수도권 인구의 생명을 줄인 한강의 수자원 공급 원산지인 소양댐과 충주댐의 저수량이 매우 낮아 불안한 것도 약한 장마에서 비롯된 것이다. 따라서 가뭄을 타는 농경지도 크게 늘어나고 있다(오성남, 2005).

2. 강수과정

인공강우를 이해하기 위해서는 먼저 비가 내리는 과정에 대한 이해가 필요하다. 하늘에 떠 있는 구름은 대기 중의 수증기가 응결하거나 빙결해서 형성되는 수적 또는 빙정의 집합체라고 할 수 있다. 대기 중에서 구름은 응결핵 역할을 하는 반지름 0.1 μm 정도의 에어로솔 입자 주위에 응결과정을 통해 수증기가 모여들어 수적의 크기가 20~25 μm 까지 성장함으로써 형성된다. 수적의 크기가 반지름 20~25 μm 이상이 되면 더 많은 수증기가 이미 반지름이 크게 되어 있는 수적에 공급되어야 하므로 성장속도는 둔화된다. 구름입자는 평균 반지름 10 μm 내외로 아주 작아 구름내의 난류에 의해 떠있게 된다. 일반적으로 강수 입자의 크기가 1,000 μm 정도이므로 수증기와 빙방울의 반지름 차이는 그림1과 같이 100배가 된다. 즉 하나의 강수입자가 형성되려면 약 100만개의 구름입자가 뭉쳐져야 한다. 강수 발달 과정의 연구결과 대기 중에서 수증기의 응결과정만으로 구름입자에서 강수 입자로 성장하는 것은 구름의 지속시간 이내에 거의 불가능하다. 즉 응결과정으로 구름입자가 형성될 수는 있지만 응결과정만으로 구름 입자가 빙방울로의 성장을 설명하기는 어렵다. 강수입자의 형성을 위해서는 응결과 입자들 끼리 충돌 병합하는 과정들을 겪어야 한다.

강수형성과정을 설명하는 이론에는 구름속 빙정의 성장에 의한 강수과정인 빙정설과 구름내의 기류의 상하 작용으로 물방울의 충돌과 병합에 의한 병합설이 있다(그림

2). 중위도와 고위도 지역의 구름 꼭대기가 0°C 이하로 냉각되어 있는 구름은 빙정(얼음결정)뿐 아니라 과냉각물방울(supercooled droplet, 0°C 이하의 저온에서도 얼지 않고 존재하는 물방울)이 존재하고 있다. 이때 과냉각물방울의 포화수증기압이 빙정의 포화수증기압보다 높기 때문에 과냉각물방울로부터 증발된 수증기가 빙정 표면에 달라붙는 승화·응결 과정으로 빙정이 성장하게 된다.

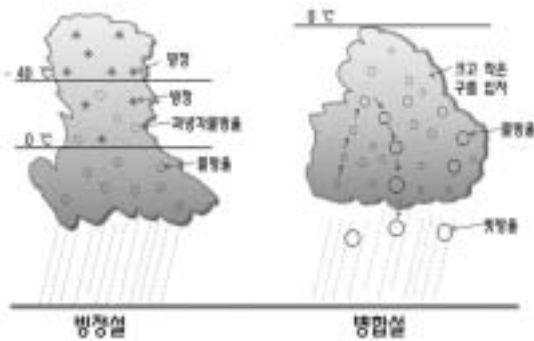


〈그림 1〉 구름입자와 빙방울 크기 비교(Wallace and Hobbs, 2006)

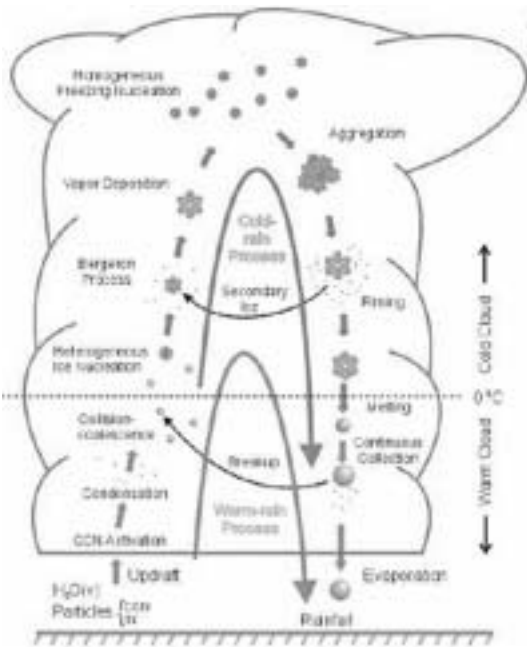
빙정끼리 달라붙어 성장한 결과 싸락눈(graupel)되고 이들 싸락눈은 그림3과 같이 다른 싸락눈이나 과냉각 물방울과 충돌, 병합하여 급격하게 성장하게 됨으로서 무거워져서 지상으로 떨어지게 된다. 만일 지상이 0°C 이상이면 눈송이는 녹아 비로 내리게 된다. 1938년 핀다이젠(Findeisen)은 강수형성의 핵심이 되는 빙정이 빙정핵(ice nuclei)의 작용으로 생성된다고 하여 이를 빙핵설 또는 빙정핵설이라 한다. 현재는 이를 구별하지 않고 베르게론-핀다이젠(Bergeron-Findeisen)설 또는 빙정설이라고 한다(Wallace and Hobbs, 2006).

열대지방이나 여름철 중위도 지방에서 형성되는 구름은 구름의 최상부의 온도가 0°C 이상이 된다. 이를 따뜻한 구름(warm cloud)이라고 하며 구름 전체가 서로 크기가

다른 물방울(수직)로만 존재함으로써 크기에 따라 낙하 속도와 상승 속도가 다르다(Malkus, and Simpson, 1964). 큰 물방울은 작은 물방울보다 빨리 떨어지게 되므로 작은 물방울과 합쳐지는 병합현상이 발생한다(그림 3). 물방울은 구름내부에 존재하는 아주 작은 입자 즉 응결핵(nuclei condensation) 주위에 수분이 응결하여 형성되는데 그 응결핵은 주로 화산폭발, 산불, 공장이나 자동차의 오염과 바다의 물보라에 의한 염핵 등 에 어려움이 주 원인이다.



〈그림 2〉 구름온도에 따른 경우입자 형성과정



〈그림 3〉 구름 내부의 물방울의 크기에 따라 응결과 병합이 반복되어 성장하여 낙하한다.

3. 인공강우 원리

인공강우(설)의 원리를 간단히 말하면 구름에 응결핵(구름씨) 물질을 뿌려서 구름에 있는 수증기를 물방울로 응결시켜 비로 떨어뜨리는 것이다. 비를 내리지 못하고 있는 구름(응결핵 부족으로 과냉각물방울이 다량 존재)에 응결핵을 뿌려 비를 오게 하는 방법으로 하늘에 구름은 있으나 공기 중에 응결핵 역할을 하는 먼지나 가스 등이 적어 구름이 빗방울로 커지지 못하고 있을 때 인위적으로 구름 씨를 뿌려 비가 내리게 하는 것이다. 구름이 계속 상승하여 그 구름 상부의 온도가 0°C 이하일 때 구름내부의 과냉각된 물방울은 결빙되어 빙정이 되거나 결빙되지 않고 과냉각수로 남아 있게 된다. 이러한 현상은 빙정핵의 존재 여부에 달려 있다. 순수한 물방울은 온도가 거의 영하 40°C에 이르기까지 결빙이 일어나지 않지만 적절한 빙정핵이 존재하면 -2 ~ -3°C 환경에서도 결빙이 일어날 수 있다. 그러므로 과냉각물방울이 풍부한 구름에 인위적으로 빙정핵을 공급하면 과냉각물방울들이 빙정핵에 달라붙어 성장하게 되고 무거워져서 지상으로 낙하하게 된다. 이러한 원리를 이용한 것이 바로 인공강우이다. 구름의 빙정은 구름의 내부 상승기류나 하강기류들의 움직임은 요란에 의하여 빠른 속도로 부딪쳐 싸락눈(graupel)으로 되고 이어 성장한 싸락눈은 무거워져 지상으로 떨어지면서 녹아 비가 되고 지상의 기온이 영하이면 눈 또는 우박이 된다 (Wallace and Hobbs, 2006).

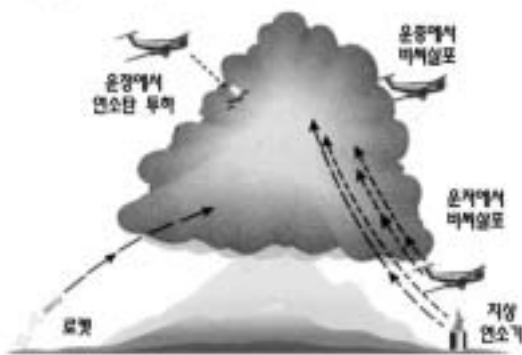
3.1 인공강우 방법

일반적으로 냉구름(0°C 이하의 구름)에는 구름 씨로 요오드화은(AgI)과 드라이아이스(Dry ice)를 사용하며 온난구름(0°C 이상의 구름)에는 구름 씨로 흡습성물질(주위의 수분을 흡수하는 물질로 NaCl, CaCl₂등 이 있다.)을 사용한다. 구름의 온도에 따라 뿌려주는 구름 씨의 종류가 다른 이유는 표1과 같이 구름이 강수까지 되는 물리과정에서 냉구름과 온난구름의 그 과정이 다르기 때문이다.

[표-1] 구름 종류에 따른 구름씨 뿌리기 방법

빙정핵 구름씨 뿌리기	- 대상: 냉구름 (0°C 이하의 구름) - 빙정핵(요오드화은)이나 냉각물질(드라이아이스)을 뿌려 냉구름 속 과냉각 물 입자를 얼음으로 전환시켜 빙정을 생산하거나 강화시키는 방법
응결핵 구름씨 뿌리기	- 대상: 온난구름 (0°C 이상의 구름) - 염 입자를 뿌려 온난구름의 병합과정을 촉진시켜 강수를 유발하는 방법

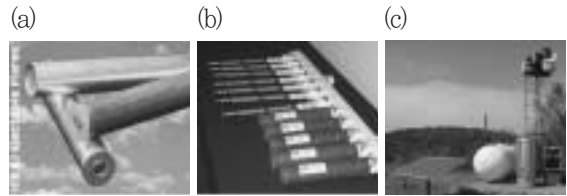
인공강우(설) 실시에는 그림4와 같이 비행실험과 지상 실험으로서 두가지가 있다. 비행실험은 항공기를 이용하여 상공 2 ~ 3 km의 구름에 강수 응결핵을 뿌려주는 방법으로 효과가 높다. 지상실험은 지상에 장착된 지상연소기나 로켓을 사용하여 구름 씨를 올려 주는 방법이다. 항공기에 의한 실험도 구름의 종류와 상태에 따라 구름 씨를 살포하는 고도와 그 양 그리고 응결핵이 되는 종류가 결정되어 진다. 구름의 운정(cloud top), 운중(cloud penetrations), 운저(cloud base) 살포로 구분되며 지상 실험은 운정까지 구름 씨가 도달하기 어렵기 때문에 로켓 등을 이용하여 운중이나 운저 고도에 살포하거나 산악의 강한 상승기류를 이용하기도 한다.



<그림 4> 인공증설 비행실험과 지상실험 개념도.

구름 씨 살포 방법은 (1)비행기에서 직접 구름 씨가 들어있는 점화 연소탄(그림 5a)을 떨어뜨려 구름 속에서 연소기 되도록 하는 주입식 (Ejectable Flares) 비행기를 이용한 운정 살포 방법이 있다. (2) 그림 5b와 같이 비행기 양 쪽 날개 부분에 연소탄을 매달아 비행경로에 따라 구름 씨가 구름 중에 확산되도록 하는 운중이나 운저 살포 방법

(Burn-in-Place Flare)과 (3)구름 씨가 용액에 용해되어 있어 이 용액을 태우는 방법으로서 비행기를 이용한 그림 4c와 같이 운정 살포나 지상연소기를 이용한 운저, 운중 살포 방법(Solution Burning Generators)로 나뉘진다 (Bruitjies, 2003; Field P. R., 1999).



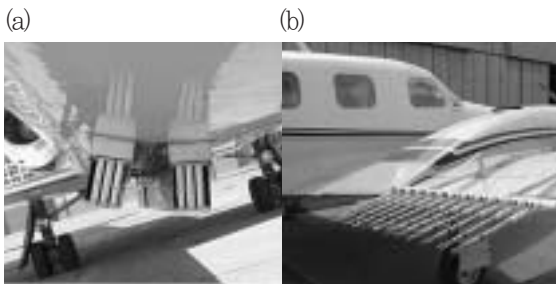
<그림 5> 구름 씨 살포 장치의 종류. (a) Ejectable Flares, (b) Burn-in-Place Flare, and (c) Solution Burning Generators. (a)는 20 g의 요오드화은(AgI)이 내재되어있으며 (b)의 뒤 쪽 기다란 막대에는 150 g의 요오드화은, 앞 쪽의 짧고 굵은 원통형 막대에는 1 kg의 흡습성 물질이 들어있다.

3.2 인공강우(설)에 사용하는 응결핵 물질과 살포 시스템

최초로 인공강우를 위해 사용된 응결 물질은 드라이아이스였다. 뉴욕 스케베티티 소재의 제너럴 일렉트릭사의 빈센트 웨퍼(오성남, 2005)팀과 버나드 보네거트(오성남, 2005) 팀에 의해 실시된 실험을 통해 과냉각 수적을 빙정으로 성장시키는 것이 가능하다는 것이 밝혀졌다. 그 후 보네거트에 의해 추가 실험이 계속적되어 요오드화은과 요오드화납(PbI2)이 효과적인 빙정핵으로 작용할 수 있음이 밝혀졌다. 일본의 후쿠타는 유기화합물 또한 빙정핵이 효율적이라는 것을 밝힌 바 있으나 물을 흡수하는 성질을 가진 흡습성 물질도 사용된다. 흡습성 물질은 구름 방울을 모아 빗방울 크기로 성장시킨다(Woodley, W. L., and D. Rosenfeld, 2002). 아직까지는 흡습성 물질을 이용한 인공강우 실험은 자주 실시되지 않고 있으나 온난구름을 대상으로 사용이 점차 늘고 있다. 일반적으로 소금, 요소, 질산나트륨 등이 좋은 흡습성 물질로 간주되고 있다. 인공강우에 사용할 수 있는 약제로는 여러 가지 물질이 가능하지만 구름 속에서 쉽게 확산이 가능하며 많은 응결핵이나 빙정핵을 생성할 수 있는 물질이 적합하다. 특히 빙정핵으로 작용하는 경우 0 °C 근처에서 쉽게 활성화 될 수 있어야

한다. 또한 빛이나 화학작용에 의해 활성을 잃지 말아야 하며 자연환경에 해를 끼치지 않으면 값이 저렴한 게 좋다 (Woodley, and Rosenfeld, 2002).

인공강우 약재 살포에는 크게 지상 약재 살포 시스템과 항공 약재 살포 시스템으로 구분된다. 약재 살포 시스템의 선택은 일반적으로 인공강우 프로젝트의 목적과 디자인에 따라 달라진다. 일반적으로 인공강우 비행실험은 항공기에 약재 살포 시스템을 장착하여 적합한 구름에 약재를 뿌려주게 된다. 항공 빙정핵 살포 시스템에는 아세톤에 용해된 요오드화은 용액을 연소시키는 연소기와 요오드화은이나 흡습성물질 연소탄 발사대(Racks)가 있다. 연소탄은 한 쪽 끝에서부터 발화되어 수초에서 수분까지 다양한 시간동안 연소가 진행된다. 이 연소탄들은 요오드화은 양을 다르게 포함시킴으로써 여러 형태로 만들 수 있다. 연소탄 발사대는 항공기 양 날개 끝이나 항공기 동체 아래 부분에 부착한다(그림6). 항공기 아래쪽으로 떨어뜨린 Ejectable 연소탄은 항공기를 떠나자마자 발화되어 완전히 연소되기 전까지 약 200~500 m 정도의 응결핵 물질이 살포된다. 일반적으로 연소탄은 1분에 10~100 g의 요오드화은을 연소시키고 아세톤 연소기는 한 시간에 100~200 g의 요오드화은을 연소시킨다. 그림6에서 (a)의 랙은 102 발의 20 g의 Ejectable 요오드화은 연소탄을 장착할 수 있고 (b)의 랙은 한 쪽 날개에 12 발씩 양 쪽 총 24 발의 Burn-In-Place 요오드화은 연소탄이나 흡습성 물질 연소탄을 장착할 수 있다.



〈그림 6〉 요오드화은 아세톤 용액 연소기가 부착된 항공기 동체 아래 부분과 (a) 항공기 날개 부분에 설치된 요오드화은 연소탄 발사 랙(b).

드라이아이스는 인공강우 실험을 위해 개조된 항공기의 수하물 구획 바닥이나 비상용 좌석 근처에 있는 출입구를 통해 살포되어진다. 이 살포 입구는 알갱이나 작은 입자 형태의 드라이아이스가 뿌러지도록 디자인된다. 드라이아이스 알갱이는 상업적으로 제조가 가능하며 직경 0.6~1 cm, 길이 0.6~2.5 cm가 적합하다. 항공기 밖으로 뿌려진 드라이아이스 입자는 완전히 승화되기 직전까지 약 1~2 km 정도를 낙하된다.

인공강우 실시에는 임시 단발엔진 항공기부터 이보다 몸집이 큰 쌍발엔진 항공기까지 활용되어지고 있다. 인공강우 장비를 장착하는 항공기 개조는 미구의 경우 미연방항공청(Federal Aviation Administration)의 승인을 받아야 한다. 인공강우 전용 항공기는 살포시스템과 구름관측 및 분석 장비 등을 탑재하여 수 시간동안 임무를 수행해야 한다. 따라서 여압 장치와 구름 내 이동에도 충분히 견딜 수 있는 내구성을 갖는 중대형 항공기가 적합하다. 현재 8 인승의 세스나(Cessna)나 12 인승의 킹에어(King Air)가 주로 비행실험을 위해 사용되고 가끔 50 인승 이상의 대형 항공기도 이용된다. 미국 국립 대기 연구센터(National Center for Atmospheric Research, NCAR)에서 인공강우 및 대기과학 연구를 위해 이용되고 있는 킹에어 내외부에는 각종 구름물리 및 대기과학 연구를 위한 관측 장비가 탑재되어 있으며 관측 자료는 자동으로 수집, 처리, 표출, 저장되어진다.

겨울철 산악지역에서의 인공강우 실험 결과 항공기 날개에 요오드화은 아세톤 연소기를 장착하고 실험을 하는 것이 가장 간단하고 효율적인 방법이다. 그 이유는 30 리터의 용액 탱크로 5시간의 비행실험에 충분한 인공강우 용액을 보유할 수 있고, 과염소산을 첨가한 요오드화은 용액이 -5 ℃ 근처에서 가장 효율적이기 때문이다. 그러나 이 장비는 비행환경에서 용액 이용 시 고장이 잦을 수 있어 사용이 간편한 플레이어가 더 많이 사용되고 있다. 대부분의 지상연소기는 요오드화은 빙정핵을 만드는 장치이다. 요오드화은 입자들을 정확히 원하는 크기대로 생성시

키기 위해 전기스파크 연소기, 아세톤 용액 연소기 그리고 지상용 연소탄 발사대 등의 장치가 개발되어졌다. 전기스파크 연소기는 요오드가 있는 은 전극에 전기를 흐르게 하여 요오드화는 입자들을 생산한다. 그러나 가장 일반적인 지상연소기는 아세톤 용액 연소기로서 일반적으로 1~5% 정도의 요오드화은이 아세톤 용액에 용해되어있다. 프로판가스로 연소를 시키며 질소가스로 분사 압력을 주게 된다 (Field, 1999).

지상연소기는 수동이나 자동으로 운영되게 디자인 할 수 있다. 수동 지상연소기는 주민들이 거주하는 상승기류 효과가 있는 고도가 낮은 지역에 설치되며 중앙 관할관서의 기기 전원 on/off 명령에 따라 교육받은 지역 주민들에 의해 운영되어진다. 원격조정 지상연소기는 지역 주민의 도움을 받을 수 없거나 약재가 상층(온도가 매우 낮은 고도)에 쉽게 도달할 수 있게 높은 고도에 설치한다. 지상연소탄 발사대는 앞에 언급한 항공용 살포 시스템의 Ejectable 연소탄 랙과 원리는 같다. 발사대에 수 십 개의 연소탄들을 장착하고 정해진 살포율로 이 연소탄들을 점화시켜 연소가 되게 한다(그림 7).

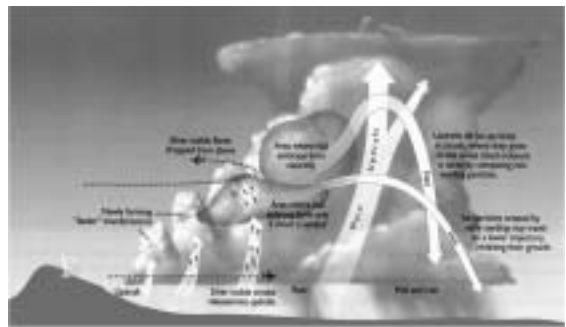
이 외에도 지상 약재 살포시스템에는 로켓 및 대공포가 있다. 이는 지상과 항공 살포 시스템의 장점이 결합된 시스템이다. 러시아에서 개발되어 중국에서 가장 빈번하게 사용되고 있는 이 시스템은 요오드화는 분말을 가진 소형 로켓을 지상으로 부터 2~3 km 고도에 있는 구름 속으로 쏘아주어 분말이 자동으로 구름 속에서 연소되게 디자인된다. 보통 10~20개 정도의 로켓이 신속하게 연속적으로 발사되도록 다중 발사 장치를 이용한다. 그러나 이 방법은 초기 비용이 많이 들며 화재 유발 등의 위험성이 있을 수 있다.



〈그림 7〉 (a) 요오드화는 지상연소기, (b) 자동 요오드화는 지상연소기 및 (c) 지상용 연소탄 장착 랙.

3.3 인공강우(강설) 프로그램

표 2와 3은 냉구름 및 온난구름 대상의 실험 중 대표적인 인공강우(설) 프로그램의 명칭과 참고문헌을 정리한 것이다. 인공강우 프로젝트가 전 세계 각지에서 실시되고 있음을 알 수 있다. 그림 8은 항공기를 이용한 인공강우 실시와 평가 관측 모식도 이다. 대류운의 중간부분과 운저고도에 응결핵을 뿌려 줌으로서 구름속 상승 및 하강 기류의 효과를 이용한다.



〈그림 8〉 항공기를 이용한 인공강우 실시와 그 효과 평가를 위한 복합관측

〈표-2〉 냉구름 대상 인공강우 빙정핵 및 냉각 물질 이용 프로그램.

대상구름	정책 및 프로그램명(해당국)	참고문헌
Convective clouds	Arizona projects(미국)	Battan and Kassander, 1967
	Israeli experiment(이스라엘)	Gagin and Newmann, 1974
	Project Whitetop(미국)	Brahan, 1964, 1979
	High Plains Experiment HIPLEX I (미국)	Smith et al., 1984
Winter Orographic clouds	Lake Almanor experiment (미국)	Mooney and Lunn, 1969
	Sierra Cooperative Pilot Project (SCPP) (미국)	Reynolds and Dennis, 1986; Deshler et al., 1990; SCPP, 1982
	Climax I and II(미국)	Grant and Mielke, 1967; Mielke et al., 1981
	Bridger Range experiment(미국)	Super and Heimbach, 1983; Super, 1986
	Tasmanian experiments(호주)	Ryan and King, 1997

〈표-3〉 온난구름 대상 인공강우 흡습성물질 이용 프로그램.

정책 및 프로그램명(해당국)	참고문헌
South African experiments (미국 주도, 남아공)	Mather et al., 1997
Indian experiments (미국 주도, 인도)	Murty et al., 2000
Thailand experiments (미국 주도, 태국)	Silverman and Sukarnjanasat, 2000
Mexico experiment(미국)	WMO, 2000

4. 일본의 토네 강 수자원과 도쿄 지역 사람들

일본의 관동지방 도쿄메트로폴리탄 지역 3,000만 명의 식수와 용수를 공급하는 강은 토네강이다. 나가노시를 위시한 니가타 관서지방과 에치고 산맥으로부터 전장 322 km 도쿄만으로 흘러내리는 토네강은 일본의 아버지요 신이다. 19세기 까지 철도를 대신하여 곡물과 간장 등을 운반하여 관동지방 사람들의 생활의 젖줄이던 이 강은 이제 어떤 선박도 다니지 못하고 오직 맑고 깨끗한 수자원의 보고가 되어 있다. 상류 니가타 지역에는 몇 개의 수자원 댐이 있어 필자는 일본 기상연구소(MRI) 연구팀과 도쿄에서 토네강 최 상류니카타 산악지역 까지 이틀을 꼬박 버스로 강을 탐사하였다. 그들의 수자원확보를 위한 노력은 필자적이며 눈물겨웠다.

1월이라 그런지 일본의 서북 니가타 지역은 눈의 천국이었다. 일본의 노벨 문학자 가와바타 야스나리가 쓴 설국(雪國)이었다. 밀림의 눈 숲을 지나는 버스 곁에는 끝없이 내리는 눈뭉치가 창가를 내리치고 있었다.

옛날 어머니께서 일러준 새끼줄을 돌려서 눈 터널을 만 들어 다녔던 전설 같은 이야기가 현실로 눈앞에 펼쳐져 있었다. 산 속 호텔의 저녁, 눈 구경을 위하여 바깥 정원을 밝게 비추준 실내 식당에서 조용한 눈 속의 식사는 꿈속의 동화 같았다.

눈 내림을 배경으로 아침식사를 한 우리는 일본 기상연구소가 안내한 인공강우 현장으로 또 버스를 타고 올라갔다. 그다지 크지 않은 협곡속의 토네강 댐은 경사가 급한 수심이 깊은 수자원 저수지였다. 맑은 물이 가득하였다. 댐 옆 언덕의 유리로 된 3층 건물 전망대의 넓은 홀에 몇 줄로 널어선 우리에게 무라카미 연구실장은 댐의 기능과 저수량 그리고 이곳의 지형과 강설을 설명하였다. 내리는 눈이 쌓여 저수지의 깊은 물을 생산한다는 것이다.

풍부한 눈이 내림에도 불구하고 왜 불필요하게 또 인공강우를 실시하느냐는 우리의 질문에 아무리 많이 와도 혹시나 모자랄까 염려가 된다는 것이다. 이렇게 3달 한 겨울

내내 인공강우를 실시하여도 부근 주민들은 불평한마디 없다는 것이다. 도쿄 지역의 주민들의 수자원을 위한 일본 정부의 노력에 국민들도 이해하며 적극 협조하는 것이다.

수자원의 풍부함을 유지 할려는 이들의 노력은 가히 필사적이었다. 물이 많아야 수질도 좋아 진다는 이들의 이해와 과학적 접근에 감탄할 뿐이다.

5. 결론

오늘날 가뭄을 해소하는 것 중에서 효과 있는 방법은 인공강우 실시이다. 특히 대기가 습하여 수분의 공급이 원활하고 인공강우에 적합한 층운이나 적운계 구름이 항시 존재하며 바람의 영향도 크지 않을 요즈음이 더없이 인공강우 실시에 적기라할 수 있다. 지구 온난화에 의한 기후는 대기 중에 구름은 많은 나 응결에 의한 강수 효과가 낮아 강우가 형성되지 못하고 날씨만 잔뜩 흐리고 지나간다. 인구 밀도가 가장 높고 특히 지하수가 적은 우리나라는 이러한 시기에 인공강우를 실시하여야 한다. 홍수 보다 수십 배 무서운 것이 가뭄이다.

인공강우를 실시하려면 충분한 장비와 기술 그리고 경험이 있어야 하는데 이 또한 국립기상연구소를 중심으로 충분하다 할 수 있다. 1994년부터 연구가 이어져 현재까지 수십 차례 실험을 수행한 바 있고 지난 1월에는 대관령 지역을 중심으로 항공기에 의한 인공강설 실험이 크게 성공한 바 있다.

미국의 캘리포니아주와 네바다주를 위한 타호 호수와 일본의 동경시의 생명인 토네강을 위한 니가타 지역 호수에 충분한 물이 있음에도 불구하고 만일을 대비하여 일년 365일 인공강우를 실시하고 있다.

요즈음 이보다 더 좋은 인공강우 시기가 없다. 우리나라는 민간 대역 항공기이지만 사용이 가능하고 실시할 인공강우 약재도 있고 경험도 있다. 모든 조건이 구비된 이러한 가뭄시기에 물이 필요한 농림부나 수자원 공사 등은 왜 인공강우를 실시를 요구하지 않은지 의아스럽다. 가장

좋은 적기에 인공강우를 지속적으로 실시하여 어려운 물 문제를 쉽게 해결하기 바란다. 가뭄은 돈으로 해결할 수 없다는 것을 알아야 한다.

참고문헌

- 오성남, 2005: 인공강우 기상조절, Water Resources Information, 여름호, 한국수자원학회, 6-17.
- 오성남, 2005: 한반도 기상재해와 인공강우 기술개발, 한국 방재학회지, 5, 57-65.
- Bruintjes, R. T., 2003: The current situation of weather modification in the world. 기상조절기술 포럼 및 국제워크숍. 인공강우를 이용한 자연재해 경감 대책 포럼, 기상청, 국회 재해대책특별위원회, 2003년 9월 15-16일, 3-6.
- Field P. R., 1999: Aircraft observations of ice crystal evolution in an altostratus cloud, J. Atmos. Sci. 56, pp. 1925-1941.
- Malkus, J. S., and R. H. Simpson, 1964: Modification experiments on tropical cumulus clouds, Science, 145, 541-548.
- Wallace, J. M., and P. V. Hobbs, 2006: Atmospheric Science, Second Edition, Academic Press, 206-251.
- Woodley, W. L., and D. Rosenfeld, 2002: Secondary seeding as a means of propagating seeding effects in space and time. The J. of Weather Modification, Weather Modification Association, 34, 31-38.