

기상이변 왜 일어나나

으로 본 것이 올바른 가정일 수 있겠느냐가 문제인데, 일반적으로 지구 온난화의 한 특징적 효과로 제트 기류의 약화와 방색 빈도의 증가를 가정하는 것은 무리가 아니다.

이런 의미에서 기후 변화는 기상 이변의 임계 조건을 충족시키는 방향으로 일어날 수 있는 것이며, 대기의 방색과 엘니뇨 현상과의 위상 맞춤

(phase locking)에 따라 기상 이변이 현실화될 수 있는 것이다.

보통 대기의 방색은 15일 정도가 지나면 풀리는 경향이 있으나, 그 생성과 소멸은 극히 카오스적이어서 예측하기가 매우 힘든 현상이다. 이로 인한 하류 효과(down-stream effect) 예로서 유럽 서부의 폭우는 적어도 방색이 완성된 다음 2~3일 정도 이후

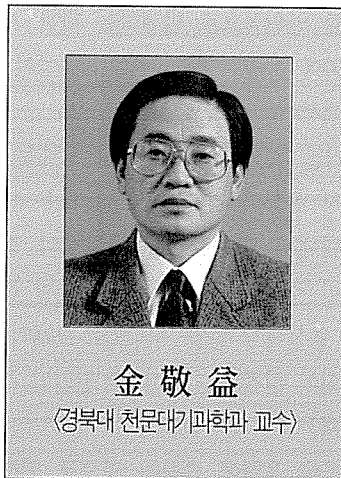
에 생길 일이므로 이 시나리오의 활용성은 앞으로 탐색될 만한 것으로 사료된다. 결론적으로, 기상 이변의 직접적인 원인은 엘니뇨 현상과 카오스 현상의 위상 맞춤이며, 이러한 이변의 출현 빈도를 높이는 조건 형성에 기후 변화가 어떤 역할을 맡고 있는 것으로 사료된다. (57)

인공강우 가능한가

美서 드라이아이스 이용, 46년 첫 성공
구름씨 뿌려 10~20% 강수량 증가 가능

첫 시도 1942년 체코서

최근 국내의 신문과 TV방송은 구름씨뿌리기(cloud seeding)에 의한 강수현상을 '인공강우(artificial rainfall)'라는 용어로 기술하고 있지만, 이 용어는 다른 나라에서는 현재 사용되고 있지 않고 그 대신 인공증우(artificial precipitation enhancement) 또는 증우라는 표현을 쓰고 있다. 그 까닭은 인공으로 구름을 형성하고 비를 내리게 하기보다는 강수의 가능성이 있는 자연상태의 구름에 인공 응결핵이나 빙정핵을 뿌려 강수 발달을 촉진시켜 강수량을 증가시키기 때문이다. 따라서 인공강우보다는 인공증우라는 용



金敬益
(경북대 천문대기피학과 교수)

어를 쓰는 것이 적절하다.

작년에 우리나라 남부지방의 극심한 가뭄이 금년 2월까지 연장되어서 이를 해소하기 위한 한 방법으로 가뭄지역

에 인공증우 실시에 대한 내용이 지난 2월 중순부터 신문과 TV에 보도되었다. 그러던 중 드디어 5월 3일 경북과 충북의 경계지점인 소백산맥의 이화령에서 국내에서는 처음으로 인공증우가 시도되었다. 따라서 앞으로 이를 실용화하기 위한 연구가 국내에서 활발히 진행될 것으로 예상된다.

〈인공 빙정핵의 발견〉 예로부터 많은 사람들이 구름조절(cloud modification)을 함으로써 필요시에 비를 내리게 하거나 사전에 우박을 방지할 수 있지 않을까 하는 생각을 했었다. 이와 같은 생각에서 산의 정상에서 연기를 피워 올리거나 19세기 후기에는 구름 속에 대포를 쏘아 인공증우를 시도

하였으나 실질적인 효과는 없었다.

구름조절에 의한 인공증우의 가능성을 이론적으로 처음 인식한 사람은 독일의 기상학자 핀다이젠(Findeisen)이었다. 그는 1942년 9월 체코슬로바키아에서 다량의 과냉각 수적을 포함하고 있는 고층운에 구름의 빙정핵 역할을 할 수 있을 것으로 기대되는 규조토를 뿌려 인공증우를 시도한 바 있다. 물론 핀다이젠의 인공증우 실험은 실효를 거두지 못했지만 그의 시도는 높이 평가할 만하다.

세계 2차대전 후 인공빙정핵에 관한 많은 연구가 수행되었는데 이 중에서 주목할 만한 것은 1946년에 미국의 제너럴 일렉트릭(G.E.)에 있는 쉐퍼(Schaefer)의 드라이 아이스(dry ice : 고체 상태의 CO₂)를 이용한 빙정핵 실험이다.

쉐퍼는 과냉각 상태의 안개가 가득한 냉장고 속에 드라이 아이스를 떨어뜨렸더니 드라이 아이스가 지나간 경로를 따라 많은 작은 빙정이 형성됨을 발견하였다. 그는 이 발견을 토대로 1946년 11월에 마사추생의 서부에서 과냉각 수적을 포함한 구름에 드라이 아이스를 뿌려 눈을 내리게 함으로써 처음으로 구름씨뿌리기에 성공했다.

드라이 아이스의 표면온도는 섭씨 영하 78도나 된다. 따라서 대기 중에서 드라이 아이스가 기체 상태의 CO₂로 바뀌게 되면, 승화

열 공급에 따른 열 손실로 인하여 기온은 급격히 낮아지고 대기는 높은 과포화 상태가 된다. 그 결과 대기 중의 응결핵이 활성화되면서 다수의 과냉각 수적이 형성되고 이 수적은 곧 빙정으로 바뀐다. 0도 미만에서 1g의 드라이 아이스가 승화할 경우 1천12~1천13개의 빙정이 생성된다.

쉐퍼의 드라이 아이스 발견에 이어 1947년 제너럴 일렉트릭(G.E.)의 보네겐(Vonnegut)은 매우 효과적인 인

공 빙정핵 요오드화은(silver iodide)을 발견하여 인공증우를 실용화하는데 크게 기여하였다.

보네겐이 발견한 요오드화은은 대부분의 자연 빙정핵이 활성화가 일어나는 영하 20도보다도 훨씬 높은 온도인 영하 4도에서 활성화되는 것이 그 특징이다.

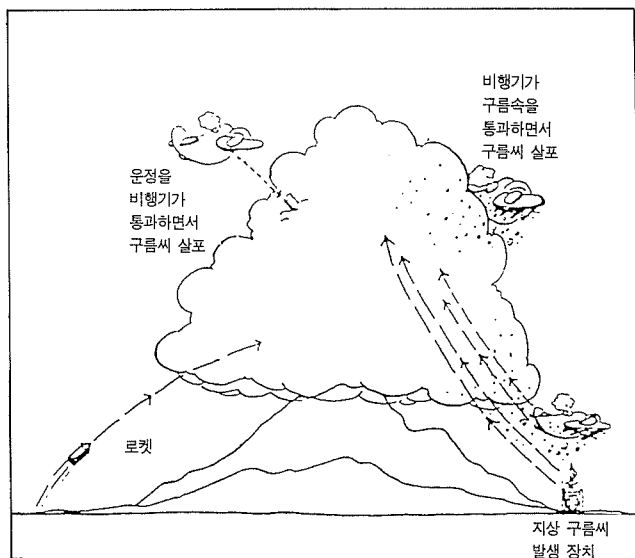
이는 요오드화은의 결정구조가 얼음의 결정구조와 매우 유사한데서 비롯된다. 요오드화은 1g이 포함된 용액을 태웠을 경우 기온이 영하 10도에서 생성되는 빙정핵의 수는 약 1천13개 정도이며 온도가 낮아질수록 그 수는 증가한다.

구름씨 뿌린 후 30분내 강우

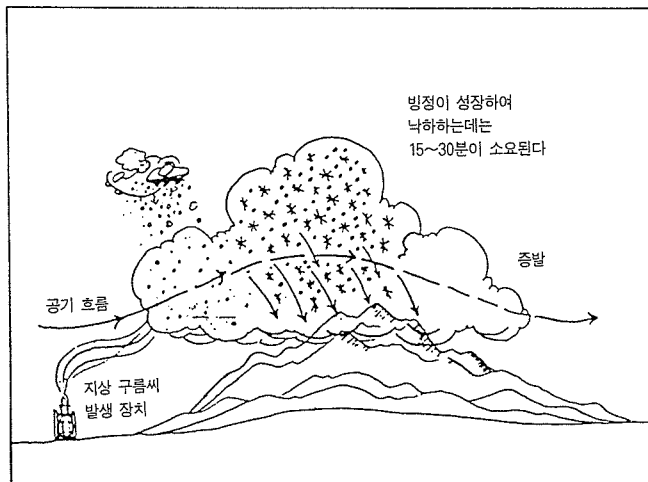
구름은 운정(雲頂)의 온도에 따라 크게 온난운(warm cloud)과 한랭운(cold cloud)으로 구분한다. 온난운은 운정의 온도가 0도 이상인 구름으로 전체가 수적으로 되어 있어서 강수 발달은 수적간의 충돌, 병합에 의해 이루어진다.

한편 한랭운은 운정고도의 온도가 0도보다 낮은 구름으로 결빙고도(0도)의 상부는 과냉각 수적과 빙정으로 되어있다. 한랭운에서 강수발달은 베르게론(Bergeron)의 빙정설에 의해 과냉각 수적의 증발에 따른 빙정성장이다. 따라서 온난운에서 인공증우는 수적간의 충돌을

〈그림1〉 구름씨 뿌리는 방법



〈그림2〉 구름씨가 뿌려진 산악운



인공강우 가능한가

촉진시키므로서 이루어지는데 비하여 한랭운의 인공증우는 빙정과 과냉각 수적의 공존층에 있는 빙정의 수를 증가시키고 성장을 촉진시키므로서 이루어진다.

온난운의 인공증우 수단으로 처음에는 비행기가 구름 위를 지나가면서 물을 뿌리는 것으로 시도되었으나 이 방법은 곧 중단되고 직경 10~20m인 분말상태의 염화나트륨(NaCl)이나 염화칼슘(CaCl₂)이 사용되고 있다. 구름 속에서 NaCl이나 CaCl₂는 응결핵으로 작용하여 단시간 내에 수적이 된다.

한랭운의 인공증우 수단으로는 요오드화은과 드라이 아이스가 사용된다. 요오드화은은 운정의 온도가 영하 7~영하 20도 범위인 경우에 뿌리며 드라이 아이스는 운정의 온도가 영하 7도 이하인 구름에 뿌린다. 일반적으로 구름씨를 뿌린 후 강수발달은 30분 이내에 이루어진다.

인공증우를 실시하기 전에 반드시 해야 할 일 중의 하나는 구름씨를 뿌리려는 지역으로 이동해 오는 구름의 인공증우 가능성, 즉 구름의 씨형성 가능성(seedability)을 조사하는 일이다. 구름의 씨형성 가능성은 구름 속에 포함된 물의 양, 상승기류 크기, 운정 및 운저의 온도, 구름의 형태, 대기의 수증기 함량, 풍향과 풍속 등을 고려하여 결정한다.

구름의 씨형성 가능성이 결정되면 기상상태 및 지형을 고려하여 구름씨로 어떤 물질을 어떤 방법으로 뿌릴 것인지 결정한다. 구름씨를 뿌리는데는 <그림1>과 같이 비행기가 구름 위나 구름 속을 통과하면서 뿌리는 방법, 로켓을 이용하여 구름씨를 쏘아 올리는 방법, 지상에서 구름씨 발생장

치를 풍상층에 설치하여 구름씨를 분산시키는 방법 등이 있다.

인공증우의 결과에 관해서는 더러 논란이 있기는 하지만 인공증우는 세계 여러 나라에서 수행되고 있으며 세계기상기구(WMO), 세계기상협회(WMA) 그리고 미국기상학에서는 구름씨뿌리기는 강수량을 10~20%까지 증가시킬 수 있다고 평가하고 있다.

현재 인공증우를 실시하고 있는 나라는 미국, 중국, 오스트레일리아, 이스라엘, 태국 등이며 이외에도 인도, 프랑스, 모로코 등 다수의 나라에서 실시할 것으로 예상된다. 이들 나라 가운데서 특히 미국은 인공증우에 관한 지속적인 연구와 새로운 장비의 개발을 통하여 인공증우에 관한 기술과 방법을 크게 향상시키고 있다.

한국은 예전에는 인공증우의 필요성을 크게 실감하지 못했으나 작년의 극심한 가뭄이 금년 2월까지 지속됨에 따라 인공증우에 크게 관심을 가지게 되었다. 현재 인공증우에 관한 한국의 연구와 기술 수준은 매우 초보단계이다.

실제로 전문인력이 전무한 실정이라고 해도 과언이 아니다. 그러므로 정부와 국민들이 관심을 가지고 있는 이 때를 인공증우 기술확보를 위한 출발점으로 생

각하여야 한다.

그 까닭은 지구온난화에 따른 이상기상으로 앞으로도 작년과 같은 가뭄에 직면할 가능성이 크기 때문이다.

또한 머지 않은 장래에 부딪칠 비행장과 고속도로변의 안개 소산 그리고 우박의 사전예방을 위한 기상조절(weather modification)에 관한 기술 확보도 인공증우에 관한 지속적인 연구와 기술 개발의 확장으로서 가능하다. 따라서 인공증우에 관한 연구와 기술획득이 절실히 요구되며, 이에 관한 연구와 기술 개발은 한국의 기상학 발전에도 크게 기여하게 될 것이다. ①

지난 5월2일 밤부터 3일 새벽에 걸쳐 소백산맥 이화령 인근에서 국내 최초로 인공강우 실험이 실시됐다. 올 가을에는 항공기를 이용해 공중 구름씨 살포실험을 계획하고 있다.

인공강우법 개략도

①버너로 요오드화은(AgI)을 태운다(괴산쪽 골짜기 3개소에 연소가 2대씩 설치) → ②요오드화은 연기가 바람(서풍)을 타고 상승, 구름속으로 침투 → ③요오드화은이 구름 속에서 습기를 흡수해 빔방울이 됨 → ④서풍에 밀려 비구름이 문경쪽으로 이동 → ⑤빠르면 30분 후 비가 내린다