

# 氣象의 人工調節



李 承 萬

〈延世大天文氣象學科教授〉

1946년 11월 13일 뉴욕교외의 비행장에서 출발한 한대의 비행기는 약 1.5 kg의 dry ice를 싣고 있었으며, Schaefer 박사의 지휘아래 운정고도 약 4 km되는 고적운에 인류사상 최초의 인공강우 실험을 실시하였다. 약간의 시간 경과후 그 구름으로부터 눈이 내리는것을 관측할 수 있다.

20세기에 있어서 가장 두드러진 과학적 발견을 말해 보라고 하면 누구나 원자에너지의 발견이라고 대답할 것이다. 그러나 어떤 학자는 자연에 인간이 개입하여 인공적으로 비를 오게하는 인공강우를 인간이 가장 기념할만 한 위업이라고 한다.

그것은 인간생활에 매우 중요한 날씨를 인공적으로 조절할 수 있는 길을 열었기 때문이라고 하겠다. 날씨가 우리생활에 중요하다는 것은 너무나도 명백한 사실이기에 오히려 잊기 쉽다. 날씨는 식량과 섬유생산 및 물분배의 主因子이며 교통, 건설, 오락등 인간생활의 모든 영역에 지대한 영향을 미친다. 날씨는 또한 홍수, 한발, 폭풍을 통해 막대한 재해를 우리에게 안겨 주기도 한다.

이처럼 우리에게 큰 영향력을 가진 날씨를 항상 우리 뜻대로 진행되어 가지는 않는다.

날씨는 고르지 못한다고 표현하는 것이 더욱 적절하다. 이렇게 고르지 못한 날씨를 인간생활에 도움이 되도록 조절할 수 있다면 여기서 얻어낼 수 있는 이익은 막대하다고 하겠다.

그러면 인간은 날씨를 어떻게 조절할 수 있는가? 다음 세가지 방식을 들 수 있다. 자연에 막대한 양의 에너지를 직접 주입하여 현상을 강제로 변화시키는 방식, 미소 에너지를 적절히 주입하여 현상을 일으키는 물리적 과정의 방향을 바꾸는 방식, 그리고 지표면 및 수면을 변화시켜 대기계와의 상호작용을 변화시키는 방식이다. 이 중에서 오늘날 기상조절 문제의 쟁점을 이루고 있는 것은 둘째 부류에 속하는 cloud seeding 이다.

날씨를 인위적으로 바꾸어 보려는 생각은 매우 오래되었다. 과학적인 방법은 아니었지만 가뭄때 기우제를 지냈던 것은 이런 생각의 한 면이라고 하겠다. 구름에 대포를 쏘아댄다든가, 재물을 받치거나 무당들의 굿은 금세기 초 강수이론이 확립될때(Bergeron, 1933)까지 흔히 행해진 헛된 노력이었다.

cloud seeding 은 강수이론에 입각하여 특정의 화합물질을 구름에 살포함으로써 구름속

에서 일어나는 물리적 과정을 촉진 또는 지연시키는 기술이다. 우선 Bergeron의 강수이론에 근거한 cloud seeding을 생각해 본다. 구름속에 과냉각상태의 구름방울과 빙정이 공존하는 층이 있으면 여기서는 물방울과 빙정사이에 존재하는 포화수증기압의 차이로 인해 물방울이 증발하여 빙정위에 승화되게 된다. 즉 이 구름층 내의 수증기압은 빙정에 대해서는 과포화상태이고 물방울에 대해서는 비포화상태를 이루고 있는 경우이다. 빙정은 계속되는 승화과정에 의해 성장하게 되며 성장한 빙정들이 모여서 눈송이가 된다. 눈송이는 낙하하는 동안 녹아서 비가 된다는 것이다.

관측에 의하면 자연상태에서는 이 과냉각수적층에 빙정을 만드는 핵, IFN(Ice Forming Nuclei)가 부족해서 강수기구의 제과정을 진행시키지 못하는 경우가 있다고 한다. 이런 경우에 IFN을 구름에 첨가하여 비를 오게 하는것을 static seeding 이라고 한다.

IFN으로서는 Schaefer가 사용한 dry ice (dry ice 조각을 구름속에 낙하시키면 극심한 저온 때문에 낙하하는 길 주위에 수많은 빙정이 생겨난다)와 Bernard Vonnegut가 발견한 옥화은(AgI)의 결정이 사용된다. 즉 cloud seeding은 강수조건이 모두 구비되었으나 IFN이 부족한 경우 이것을 첨가함으로써 비를 오게 하는 인공강우의 한 방식이다. 이 방식을 이용해서 구름은 생기지만 강수가 적은 지방에 강수를 증가시키기 위해서 많은 실험을 해왔고 어느 곳에서는 실용적으로 이 방법을 적용하고 있다는 보고도 있다.

한 구름에서 실제로 강수량을 결정짓는 요인은 구름 내의 상승기류속도, 구름의 크기 그리고 구름의 수명이다. 이러한 견지에서 비를 내리고 있는 구름에다 seeding을 실시하여 구름을 한층 더 발달시켜 비를 더 많이 오게 하는 경우를 dynamic seeding이라고 한다.

또 하나의 강수이론을 소개한다. 이것은 warm cloud (빙정이 없고 순전히 물방울로만 이루어진 구름)에서 일어나는 강수과정을 설

명한다. 우선 응결핵위에 구름방울이 생기고 이 구름방울들은 초기단계에 순전히 응결과정을 통해서 성장을 한다. 구름방울이 커지면 응결과정은 거의 효과가 없어지며, 반경 20 $\mu$ m 정도의 물방울이 생기면 다른 구름방울과의 충돌병합이 효과적으로 일어나 삼시간에 빔방울로 성장할 수 있다는 것이다.

반경 20 $\mu$ m 정도의 물방울이 필요하다는 연구결과(Bowen, 1950; Ludlam, 1951)와 핵염핵중 거대핵(Giant Nuclei)이 반경 20 $\mu$ m의 물방울을 만들어내는 역할을 할 수 있다는 연구결과(Woodcock, 1951)가 발표됨으로써 warm cloud로 부터의 강수를 설명하는 이론이 확립되었다. 따라서 warm cloud에는 거대핵을 seeding하여 비를 증가시키는 방식을 채택하게 된 것이다. 그러나 최근의 연구결과(Woodcock, 1971; Takahashi, 1976)는 거대핵의 역할에 의문점을 제기하고 있다.

미국상무성에서 작성한 인공기상조절에 관한 보고서(The Management of Weather Resources, Volume I, 1978)를 보면 다음과 같다.

cloud seeding에 의한 강수증가 실험은 제한된 규모에서 성공한 예가 많지만 아직 객관적이고 확실한 예측을 가능케 하는 수준에는 달하지 못하고 있다. Colorado 산악지방에서 겨울 storm seeding한 결과 10~20%의 강수증가를 보고했고, Israel에서는 적운계 구름에 seeding하여 10~15%의 강수증가를 보았다고 전하며, 실용적으로 seeding을 적용하고 있다고 한다. 이 외에도 호주, 일본등 세계 도처에서 많은 긍정적인 실험결과가 발표되었다.

그러나 실험도중에 seeding이 항상 예기한 효과를 나타내지 않는다는 사실을 알게 되었다. 구름은 겉보기에 모두 비슷하게 보이지만 내부의 구조는 모두 다르고 강수과정도 구름의 구조에 따라 다르기 때문에 동일한 방법으로 seeding을 해도 결과는 다르게 나타난다는 것이다. 다시 말하면 구름구조에 따라 seeding 방법의 달라야 조절이 가능하다는

것이다. 이것은 구름에 대한 연구가 더 필요하다는 것을 의미하며, 많은 연구보고서들이 이 점을 강조하고 있다. 즉 우리는 구름에 대해서 알지 못하는 것이 아직 많다는 이야기이다.

seeding 이 비를 더 오게 하는 실험 이외에 어떤 분야에 이용되고 있는가 알아보자. 그중 가장 극적인 실험은 미국에서 수행한 “Storm Fury” 라는 이름의 태풍제어 실험이다. seeding 으로 태풍의 위력을 약화시키고 진로를 바꾸는 것이 그 목적이었다. 이 실험은 다음과 같은 가설을 실제 태풍에서 실험해 본 것이다. 태풍의 눈 주위에는 발달한 적란운이 벽을 이루고 있다(eye wall).

이 적란운 내에 존재하는 과냉각수적층에 옥화은을 seeding 하면 뒤따르는 응결과정에서 막대한 열을 방출하게 된다. 따라서 주위의 기온을 상승시키는 결과를 가져온다. 태풍의 눈 외곽에서 기온이 상승하면 태풍중심부근의 수평기압경도를 완화시키게 되어 바람이 약화된다는 것이다. 1969년 8월 18~20일에 Hurricane “Debbie” 에 실시된 실험에서의 결과는 다음과 같다. 최종 seeding 이 끝난후 5시간이 경과했을때 처음에 50m/sec 였던 풍속이 35m/sec 로 약화된것을 확인하였다. 이 성공적인 실험은 인간이 언젠가는 태풍을 조절할 수 있게 되리라는 가능성을 비친 셈이다.

다음은 우박억제실험이다. 우박은 직경이 0.5mm 로 부터 수cm 에 이르는 것이 많으며 극단의 경우는 14cm 정도인 것도 관측되었다. 우박에 관한 피해는 농산물 뿐만 아니라 인명에도 막대하여 그 실험의 중요성이 강조되고 있다. 그 원리는 다음과 같다. 우박이 성장하는 적란운내에 우박의 싹이 되는 씨를 seeding 에 의해 많이 뿌려 놓으면 작은 우박이 많이 생기게 된다. 이 많은 우박들 사이에는 수분에 서로 경쟁적으로 쟁탈하려는 상황이 형성되어 각각의 우박은 크지 못하고 떨어지면서 녹아 비가 된다는 것이다. 아직 우박억제는 실험단계이며, 많은 관심을 모으

는 분야이다. 옥화은을 비행기로 seeding 하거나 옥화은폭탄을 만들어 지상에서 roket 나 또는 고사포로 쏘아 올리는 방법도 고안되었다.

다음은 끝으로 안개소산실험에 관해 적어본다. 안개는 시정을 약화시켜 교통, 특히 항공교통수단에 큰 장애가 된다. 과냉각 물방울로 이루어진 cold fog 는 옥화은이나 dry ice 를 seeding 하면 앞에 말한 이유로 눈송이가 되어 떨어지므로 쉽게 소산시킬 수 있다. 그러나 층이 두껍고 안정한 warm fog 에 대해서는 아직 경제적인 소산방법을 개발하지 못했다.

위에 적은바와 같이 인공기상조절은 인류의 복지를 위해서만 사용될 수 있는 것이 아니고 군사적 목적에도 사용될 가능성이 있다. 만약 기상조절이 자유로이 그리고 확실하게 의도대로 된다면 그 보다 더 가공할 무기는 없으리라고 생각한다. 다행인지 불행인지 판단하기 어렵지만 현재 인공기상조절 기술은 그러한 수준에 미치지 못한것 같다. 앞에 지적한 미국 상무성 보고서를 보면 월남전 말기에 인공강우에 의한 후방교통장애를 형성해 보려는 시도가 있었다고 한다. 이에 관계있었던 전문가들은 이 노력이 군사적으로 효과가 없었다고 판정하고 있다.

그러면 인공기상조절의 실용화는 아직 요원한가? 이에 대한 대답을 같은 보고서에서 찾아본다. 만약 조직적이고 계속적인 연구가 수행된다면 1980년 후반기에는 인공증우가 실현될 것이며, 1990년대까지는 태풍약화와 우박억제가 가능해 질 것이다.

강수의 증가는 10~30% 정도이고, 풍속약화는 10~20% 그리고 우박은 60% 정도 까지 감소시킬 수 있다고 한다. 그러나 앞에 전제 한 바와 같이 구름에 대한 기초연구가 부단히 이루어져야 한다는 것이 그 열쇠라고 본다. 인공기상조절기술이 의미하는 바가 너무 크기 때문에 기상학자들은 다투어 연구에 박차를 가하고 있다.