

우리나라에서의 인공강우 실용화의 가능성

홍 성 길*

1. 서론

우리나라의 연평균 강수량은 1,274mm이다. 이 양은 세계의 연평균 강수량인 973mm의 1.3배나 되어 비교적 풍부한 수자원을 가지고 있는 것으로 인식되고 있으나 우리나라는 인구밀도가 높기 때문에 1인당 강수량은 3,000m³로서 세계 평균 1인당 강수량인 34,000m³의 1/11에 불과한 수자원 빈국에 해당된다. 아울러 강수량의 계절적인 편중이 심하여 때에 따라 갈수현상이 심하다는 것도 큰 특징 중의 하나다.

더구나 해가 가면서 우리나라의 용수 수요는 급격히 증가하여 용수의 부족 현상이 곧 나타나게 된다. 더우기 이상기상으로 인한 가뭄과 함께 지역적인 수자원량의 불균형을 감안하면 수자원 부족 현상은 더욱 심화될 전망이다.

어떤 사회나 국가가 인공강우를 시행하지 않는 이유를 다음과 같이 열거할 수 있을 것이다.

- 1) 강수 또는 수자원이 풍부하여 인공강우의 필요성이 없음
- 2) 너무 건조한 지역이어서 인공강우 부적절
- 3) 인공강우 기술의 결과에 대해 과소 평가
- 4) 환경 변화 및 환경 오염에 대한 우려
- 5) 정치적, 법적문제가 발생할 우려
- 6) 종교적으로 신의 뜻을 거스른다고 간주
- 7) 인공강우 시행기술 부족이거나 시행재원 부족

이웃 일본의 경우는 인공강우를 실용화하지 않고 있는데 그 이유는 1)의 경우에 해당한다고 볼수있고, 중국의 경우는 인공강우를 실용화하고 있는바 지방정부의 재정으로 요청에 의해 중앙정부에서 시행하고 있는 이른바 수요자부담 원칙을 적용하고 있는 나라이다.

기상청 기상연구소*

2. 인공강우의 역사

과학적인 인공강우는 1946년 Vincent Schaefer (미국 General Electric 연구소)가 항공기를 이용하여 구름 속에 드라이 아이스를 살포하는 인공강우 실험에 성공함으로써 시작되었다. 1947년 같은 GE연구소의 Benard Vonnegut가 요드화은(AgI)이 얼음과 매우 비슷한 결정구조를 가지고 있어서 인공강우용 Seeding 물질로써 적당하다는 것을 알아냈다. 그후 그는 AgI 연소기를 개발하여 인공강우 실험에 성공하였다. 이것을 계기로 1950년과 1960년대에 세계 곳곳에서 많은 인공강우 실험연구가 진행되었다. 1950년에는 기상조절학회(Weather Modification Association)가 창설되기에 이르렀다.

1970년대에 들어와서는 과학적인 인공강우 실험 연구가 계속 진행되면서도 또 한편으로는 인공강우에 대한 회의와 반대 의견도 생겨나기 시작하였다. 아이러니컬한 것은 1980년대에 들어 한때 기상조절에 대한 관심과 지원이 다소 줄어들어 갔으나 한편으로는 과학기술의 발달로 인해 그때부터 새로운 측정기기들의 개발과 컴퓨터의 발달로 측정데이터 분석이 용이해졌으며 구름 및 강우 수치모델 등이 개발되어 이들을 기상조절 도구로 활용하는 것이 가능해졌다. 1980년대부터 미국에서의 인공강우를 포함한 기상조절에 대한 연구비 투자는 다소 감소되었으나, 현재 미국은 물론 세계 30여개국에 넘는 여러 나라에서 새로운 또는 지속적인 기상조절 프로그램들이 진행되고 있다.

3. 인공강우의 실행

가. 인공강우 실행 조건

인공강우는 한랭구름의 경우 과냉각 구름 입자중 일부를 얼게하여 빙정을 만들어 줌으로서 주위의 과냉각입자로부터 수분이 빙정으로 옮겨오게하여 비를 내리게 한다. 온난구름의 경우에는 구름속에 흡습성 물질을 투입하여 처음부터 큰 물방울이 발생케 하여 강수를 유발시킨다. 인공강우에 성공을 거두기 위해서는 다음과 같은 조건들에 대한 정교한 고려가 선행되어야 한다. 즉,

- ① 인공강우시행 적정 대기상태인가?
- ② 적절한 Seeding 약제가 안정적으로 살포되는가?
- ③ 과냉각 구름 속에 Seeding 물질의 성공적인 투입이 가능한가?
- ④ 강수물로 성장하기 위한 적절한 과냉각 구름이 있는가 그리고 적당한 시간인가?
- ⑤ 증발이나 승화되어 말라 버리기 전에 목표지역에 강수될 수 있는가?

사실상 이상의 조건을 정확히 확보하기가 쉽지 않다. 과거의 많은 인공강우 Project가 실패했던 것도 이런 조건의 구비가 어려웠던 데 있다. 결국 매우 정교한 과

학적인 실행이 인공강우 성공의 비결이다.

나. 인공강우 시행방법과 장비

인공강우 시행방법은 크게 나누면 다음과 같이 지상에서 Seeding하여 구름 속으로 투입하는 방법과 항공기를 이용하여 구름 속으로 투입하는 방법이 있다. 즉

1) Ground Seeding

- ① Ground AgI generator 를 이용하는 방법
- ② Ground-to-air rocket 을 이용하는 방법

2) Aloft Seeding

- ① 항공기로 직접 구름속에 살포하는 방법
(Pyrotechnics and Liquid generator)
- ② 항공기로 운정에서 구름속에 투하하는 방법
(Droppable pyrotechnics)
- ③ 항공기로 운저를 비행하며 상승기류에 살포하여 구름속에 투입하는 방법
(Pyrotechnics and Liquid generator)

그리고 인공강우를 시행하기 위해서는 ①Seeding 물질을 적절하게 발생시키는 장비 ②목표하는 구름에 Seeding 물질을 투입하는 장비 ③구름의 성질을 파악하는 장비 ④인공강우 실험의 결과를 평가하는 장비가 필요하다.

다. 세계 여러 인공강우 활동의 비용 편익 분석

최근 10여년간 세계 각국의 인공강우 시행 사례를 모아 보면 1980년대 중반을 경계로하여 인공강우에 대한 순수연구 Project 보다는 상업성 인공강우 활동이 더 많아지고 있다. 상업성의 인공강우 사업이나 조직화된 인공강우 연구에서 강수의 증가는 확실하고 대체로 평균 10~20%에 이르고 있으며 적운이나 적란운을 대상으로 하는 경우에는 강수 증가가 더 많아서 증가율이 50~100%에 이르기도 한다. 잘 계획된 조직적인 인공강우에 의한 증가는 ton당 비용이 \$ 0.001~0.015(1~20원) 정도로 매우 효율이 높다.

4. 우리나라의 인공강우 실용화 계획

가. 우리나라의 구름 자원

우리나라의 경우 근래에 가장 가물었던 1994년 여름의 인공강우 시행가능성을 분석하므로써 우리나라의 전반적인 인공강우 시행 가능성을 점검할 수 있다. 1994년 여름의 강수량은 200~700mm로서 평년대비 30~70%수준이었으며, 특히 경북내륙과 전남내륙, 남부 해안지방은 같은 기간 평년 값에서 약 400~500mm의 강수량이 부족하였다. 6월부터 남부지방으로부터 시작된 가뭄은 전국적으로 확산되어 1952년 이래 가장 극

심한 가뭄해로 기록되었다. 그러나 우리나라는 가뭄기간이라도 빈번한 기압골의 통과로 강수의 가능성이 큰 구름이 주기적으로 형성되고 있다. 즉 한반도에서는 극히 가뭄기간이라도 예년 강수량의 30~70% 수준의 강수량이 내린다. 이는 한반도 상공에 상당량의 구름이 몰려온다는 것을 의미한다. 이러한 구름, 특히 조직적인 강수 시스템이 한반도를 지날 때는 인공강우를 시행할 호조건이 형성된다는 것을 의미한다.

나. 기상연구소의 인공강우 실험

1994년 여름 이래 가뭄이 깊어지면서 가뭄 피해경감 방안의 하나로 1995년 3월말 과학기술처 특정연구과제로 “인공강우 실험연구” Project가 출발되었다. 이 Project에서 4월에 AgI ground generator를 6대 자체 제작하였고, 5월 3일에는 경북 문경에서 소백산맥을 향해 AgI 연소입자를 남서풍에 실어 구름까지 붙여 올리는 인공강우 실험을 시행하였다. 그러나 일기예측이 정확하지 못해 인공강우 실험 자체는 성과가 없었다. 그후 지상실험은 기온이 이미 높아져 인공강우 실험에 유효한 -5~-10℃의 구름이 있는 지상 3~4km까지 AgI 연소입자를 상승시킨다는 것이 불가능하여 일시 중단하였다.

다시 겨울에 접어들면서 95. 12. 11에 강원도 인제군 백담사 입구에서 제2차 지상 실험을 실시하였고, 제3차 실험은 96. 1. 27에, 제4차 지상실험은 2월 8일에 각각 강원도 인제에서 시행하였다. 제4차 실험의 경우 강설이 너무 적어 눈 채집을 못했으나 제2차, 제3차의 경우는 눈을 채집하여 Ag 성분을 검출분석한 결과 그 지역의 일반적인 눈 속의 Ag의 배경 농도 보다 상당히 높은 것으로 분석되어 이들 인공강우 실험이 증설효과를 나타냈던 것으로 보인다.

한편 항공기를 동원한 항공실험을 위해서는 공군의 협조(CN-235M)로 현재까지 3차에 걸쳐 실험을 시행하였다. 1차실험은 적용실험이었고, 제2차(95. 12. 14)와 3차(96. 1. 25)의 Dry ice를 사용한 실험에서는 각각 과냉각 구름입자가 빙정으로 변하면서 구름방울이 성장 낙하하므로 생기는 구름의 소산이 관측되었고, 특히 3차 실험의 경우는 지상에 소량의 강수가 확인 되었다.

다. 인공강우 실용화 계획

인공강우 기술을 국내에서 개발함에 있어 선행되어야 할 점들은 첫째 장기간에 걸친 종합적인 연구개발계획에 따른 인공강우 프로그램을 지속적으로 수행하는 것이다. 일시적인 가뭄해소의 방안으로 연속성이 없이 간헐적으로 인공강우를 시도하는 것은 인력과 예산의 낭비만 초래할 것이다. 따라서 국가적 차원에서 대체 수자원 확보를 위한 인공강우의 필요성에 대한 공감대가 형성되어 장기적 안목의 지원이 있어야 할 것이다. 둘째는 연구 및 기술인력의 확보 및 양성이고, 셋째는 각종 측정장비, 구름내 살포 및 측정을 위한 항공기, 기상레이더 및 컴퓨터 수치모델 등에 대한 투자가 동시에 이루어져야 할 것이다. 이러한 것들은 실측을 통해 적정조건 분석 및 인공강우 시

행 효과평가를 위해서 꼭 필요한 것이다. 넷째는 외국과의 기술협력을 통한 신속한 기술습득을 토대로 자체 기술개발을 추진하는 것이다. 이는 대부분의 기술정보가 비교적 자유롭게 교환되고 있기 때문에 가능할 것이다. 또한 외국이 경험했던 시행착오를 반복하지 않게 하기 위해서도 필요하다.

1995년 4월부터 시작된 인공강우 실험연구를 계기로 우리나라의 인공강우 실용화 계획 일정을 다음과 같이 선택할 수 있을 것이다. 즉,

- 1995년 인공강우 실험연구 착수
- 1996년 인공강우 기초기술 확보
- 1997년 인공강우 시행용 항공기 및 장비 도입예산 확보, 인공강우실험 경험 축적
- 1998년 항공기, 장비 도입 및 활동부서 조직
- 1999년 인공강우 국제공동연구 및 실용화 작업
- 2000년 인공강우 실용적 운영

5. 결론

기상이변에 의해 가뭄 피해가 날로 늘어남에 따라 기상조절 특히 인공강우 실용화의 필요성이 더욱 절실해졌다. 이미 과학기술의 발달은 인공강우 실용화가 일부 현실화 되고 있으며 곧 머지않은 장래에 인공강우가 보편화될 날이 올 것으로 기대할 수 있겠다. 앞으로 우리나라에서도 세계적으로 현재까지 개발된 기법을 실용화하여 단기적인 목적에 사용하는 것과 병행하여 장기적인 연구개발 계획을 통해 현존의 기법을 보완 개선하고 새로운 인공강우 기법을 개발해 나가는 것이 바람직하다.

우리나라는 건조기라 하더라도 인공강우 실행에 매우 적합한 구름자원을 가지고 있어서 수자원확보 차원에서 인공강우를 실용화하는 것이 바람직하다. 아울러 인공강우 시행시에 자주 거론되는 다음과 같은 의문사항을 점검하는 것도 인공강우 실용화에 큰 의미를 가진다.

- Seeding이 시행된 후 지상에 떨어지는 강수 속에 포함된 요드화은이나 기타 Seeding 물질이 인체나 환경에 해롭지 않은가?

이 질문에 대한 대답은 그렇지 않다는 것이다. Seeding의 결과로 내린 강수를 받았다면 그 강수 속에 은(Ag)의 함량은 1ppb(10억분의 1)미만이다. 이 함량은 미국 보건부에서 정한 환경 기준치인 0.05mg/l 보다 훨씬 적다. 25년이상 계속적으로 인공강우를 시행한 지역에서도 이러한 양의 인공강우 Seeding 물질이 식물, 동물 및 미생물 등 환경에 미치는 영향이 거의 없었다.

- 인공강우 시행 지역 풍하측에는 강수량이 줄어드는 것 아닌가?

그렇지 않다. 이는 인공강우에 대한 잘못된 인식 중의 하나다. 여러차례 인공강우를 시행한 지역이나 그 주위 지역에 대한 “extra area effect(주변지역 효과)”가 상세하게

연구된 바 있다.

- 인공강우 작업이 정말 실제로 기능을 하는 것인가?

이 질문에 대한 답으로 지난 30년 동안 세계 24개국에서 전문가에 의해 적절하게 계획·시행된 연구나 사업성 인공강우 시행의 결과는 강수량이 10~25% 증가한 것을 나타내고 있다.

6. 참고문헌

- 양인기, 1964: 인공강우에 관한 기초적 조사 및 예비적 야외실험. 기상학회지, 1-1, p8-17.
- Atmospherics Incorporated, 연도미상: 회사의 기상조절에 대한 활동 안내서. 17pp.
- Cotton, William R., Roger A. Pielke, 1995 : Human Impacts on Weather and Climate. Cambridge Univ. Press, N.Y., 288pp.
- Finnegan, William G., Alexis B. Long, Richard L. Pitter, 1994: On the Selection of silver Iodide Ice Nucleus Aerosols for Precipitation Augmentation. Atmospheric Science Center, Desert Research Institute, Reno, Nevada, 13pp.
- Henderson, Thomas J., 1995: A Summary of Cloud Seeding Activities Conducted Over the Kings River During the Period 1 Dec. 1993-31 May 1994. Kings River Conservation District, CA., USA., 46pp.
- Huggins, Arlen W., 1994: Report on the 1993/94 Nevada State Cloud Seeding Program. Atmospheric Science Center, Desert Research Institute, c-37pp.
- Roger, R.R.: A Short Course in Cloud Physics. Pergamon Press, Oxford, U.K., 227pp.
- WMO, 1994: Sixth WMO Scientific Conference on Weather Modification Volume I. WMP Report No. 22, WMO/TD-No. 596, 348pp.
- WMO, 1994: Sixth WMO Scientific Conference on Weather Modification Volume II. WMP Report No. 22, WMO/TD-No. 596, 704pp.