

# 여러 나라들에서의 우박방지기술의 응용실태와 우박방지 활동에서 제기되는 몇가지 불확정성문제

정상일, 김철

위대한 수령 김일성동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《우박에 의한 피해를 막아야 하겠습니다.》(《김일성전집》 제43권 397페이지)

우박은 짧은 시간동안에 좁은 지역의 적란운에서 내리는 고체강수의 일종으로서 그 발생이 돌발적이며 지속시간이 짧고 피해지역이 비교적 좁은 범위에 제한되는 특징을 가진다. 때문에 우박예보만으로는 우박피해를 막을수 없으며 좋은 방도는 적란운에 인공적작용을 가하여 사전에 우박을 제거하는것이다.

론문에서는 여러 나라들의 우박방지활동의 실태에 대한 분석과 함께 우박방지활동에서 제기되는 몇가지 불확정성문제들에 대하여 서술하였다.

## 1. 여러 나라들에서의 우박방지활동의 실태분석

우박방지활동은 1950년대말부터 시작되었다고 볼수 있으며 오늘날 과학기술의 발전과 함께 우박구름형성기구와 미시구조특징해명, 활동방법과 기술, 방안설계 등에 대한 연구가 활발히 벌어지고있다.[1-3]

초기에 진행된 우박방지활동들은 많은 경우 시험적성격을 띠었으며 설비들로는 재래식포와 로켓 등이 리용되었다. 당시 우박구름형성의 물리적기구와 우박방지에 대한 원리적인식이 부족한것으로 하여 과학성이 부족하였지만 우박방지활동의 경제적효과성으로 하여 규모는 부단히 확대되었다.

현재도 여러 나라들에서는 우박방지활동에 고사포, 로켓가 많이 리용되고있는데 구체적인 리용실태는 나라들마다 일련의 차이가 있다.

어느 한 나라에서는 1954년부터 퇴운과 우박에 대한 예보를 시작한데 기초하여 1962년-1965년기간에 요드화은 및 염분에 의한 우박방지시험들을 진행하였다. 1966년-1973년기간에는 시험면적을 25 000km<sup>2</sup>로 확대하였으며 그후 시험면적을 110 000km<sup>2</sup>로 확대하고 여기에 13개의 기상레이다를 설치하여 우박방지활동을 광범히 전개하였다.

또한 1970년대부터 수분루적구역리론에 기초하여 자체의 레이다식별체계를 수립하고 37mm고사포와 로켓을 결합한 우박방지활동들을 진행하였으며 10여년간 우박연구기지 와 시험구역에 설치된 레이다, 고층관측설비를 리용한 우박구름에 대한 종합분석을 진행하여 일련의 성과들을 거두었다.

어느 한 나라에서는 1970년대초에 현재 리용되는 우박방지개념모형의 하나인 성장제한경쟁리론을 수립하였는데 이에 의하면 구름속에서 상승기류는 높이에 따라 증가하며 최대상승기류는 구름의 상, 중부에서 출현한다는것, 이러한 수직분포는 구름상층에 과랭각물루적현상을 초래한다는것이다.[2, 3]

이 리론에 기초하여 구름속에 인공우박맹아를 살포하면 과랭각물방울에 대한 수분쟁탈을 촉진시킬수 있으며 더우기는 구름발달이 폭발적으로 진행되기 전에 구름의 더운 구

역에 대한 인공적축진을 결합하면 강수형성과정을 가속화하여 우박성장에 필요한 다량의 과냉각물을 제거할수 있다.

이에 따라 레이다반사파세기가 45dB인 구름층두께를 지표로 하여 이 두께가 2km이상인 우박발생확률에 따르는 우박방지방법들이 연구개발되었다.

1990년대초부터 일부 나라들에서는 우박방지활동에 37mm고사포를 널리 리용하였으며 1990년대 후반기에는 우박방지용로켓들이 연구개발되었다.

객관분석통계자료에 의하면 일정한 기술조건이 구비된 조건에서 진행한 우박방지활동들은 우박피해를 67~80%정도 감소시키는것으로 평가되었다.

서유럽의 일부 나라들에서는 공동으로 성장제한경쟁리론에 기초한 기술과 방법을 리용하여 우박방지활동들을 진행하고있는데 1977년 5월-1981년 9월기간 진행된 시험분석결과들은 지면으로 떨어지는 우박의 운동에너지가 60%정도 감소시켰다는것을 보여주었다.

시험대상으로는 레이다반사도가 45dB이상인 구름덩이중의  $-5^{\circ}\text{C}$ 층을 경계로 정하고 시약을 살포하였다. 시험결과  $-5^{\circ}\text{C}$ 등온선상의 과냉각물루적구역리론에 대한 성장제한경쟁리론의 유의성이 검증되었다.

## 2. 우박방지활동에서 제기되는 몇가지 불확정성문제들

지난 50여년간 세계의 많은 나라들에서 다양한 형태의 우박방지활동들이 진행되고있으나 그 경제적효과성문제가 심중히 논의되고있다.

자료에 의하면 어느 한 나라에서 진행된 우박방지효과성은 거의 100% 수준에 달하였으며 이로 하여 우박에 의한 농작물피해는 2~10배정도 줄어들었고 지어 어떤 해에는 우박피해를 거의나 받지 않았다고 한다. 이 나라에서는 우박방지효과성평가를 위하여 다음의 물리적평가지수( $E_i$ )를 도입하고있다.[1]

$$E_i = n_k q_i / n_i$$

여기서  $n_k$ 는 우박방지활동전의 루년평균우박일수,  $n_i$ 는 우박방지활동이 진행된 년들중에서  $i$ 번째 년의 우박일수,  $q_i$ 는  $i$ 번째 년의 우박위험도이다.

$q_i$ 를 정확히 결정하는 문제가 어렵기때문에 현재 우박방지활동이 진행된 년들의 루년우박일수  $n$ 을 리용하여 물리적효과성평가지수  $E_n$ 을 다음과 같이 계산한다.

$$E_n = n_k / n$$

실험자료에 의하면 이 나라에서 1933년-1968년간 루년평균우박일수는  $n_k = 2.5$ , 우박방지활동을 진행한 1969년-1987년간 루년평균우박일수는  $n = 1.5$ 로서 우박일수는 1.67배 감소되었다.

우박방지활동이 진행된 년들의 년평균뢰우출현일수는 진행하지 않은 년들에 비하여 1.17배나 더 많았는데 이것은 방지활동이 우박성구름을 뒤흔구름으로 전환시킴으로써 우박형성능력을 크게 저하시키며 따라서 그 효과성에 대한 물리적증거로 된다.

오늘날 우박방지활동체계들은 기상레이다와 결합된 자동원격조종체계로 전환되고있으며 주요살포시약인 요드화은의 성핵률은  $10^{15}$  개/g이상으로서 지난 시기에 비하여 그 성능이 1 000배이상 제고되었다.

문제는 작용방법과 기술수단들의 개선, 살포면적의 증가에도 불구하고 많은 나라들에서 진행된 우박방지효과성은 여전히 50~95% 수준에 머물러있으며 최신우박방지기술

체계들이 가동하는 오늘날에도 효과성은 이전보다 별로 높아지지 않았다는 점이다.

이것은 현재의 우박방지활동에서는 여러가지 불확정성문제들이 내재하며 그에 응당한 주목을 돌려야 할 필요성을 제기하고있다.

인공강우실천에서는 흔히 3대타당성문제 즉 살포시간, 살포량, 살포구역문제가 중요하게 논의되고있는데 여기에 귀착하여 우박방지활동과 관련하여 제기되는 일부 불확정성문제들에 대하여 논의한다.

첫째로, 시약살포구역선정과 살포면적확장과 관련한 문제이다.

초시기 우박방지활동들에서는 시약살포구역으로 대체로 구름중심구역을 선택하였다면 1970년대말부터 반사파지표를 받아들여 구름발달단계마다 서로 다르게 선정하고있다.

실례로 구름발달초기와 성장한 우박알들을 포함하고있는 충분히 발달한 구름인 경우에는 반사파세기가 높은 구름앞면을, 약한 바람이 존재하는 단세포우박구름의 경우에는 반사파세기가 높은 구름주변, 바람절면이 존재하는 단세포구름과 최대로 발달한 다세포구름인 경우에는 반사파선을 경계로 반사파세기가 높은 구역앞면의 넓은 면적을 살포구역으로 선정한다.

시약살포구역을 어떻게 선정하는가에 따라 살포면적은 수십  $\text{km}^2$  까지 증가될수 있으며 이것은 때로 해당 구역들에서의 살포작업이 여러개의 구름층들을 대상으로 진행할것을 요구한다.

그러나 많은 야외시험결과들은 살포면적의 증가가 결코 우박방지효과성을 제고하는데 큰 작용을 하지 못한다는것을 보여주고있다.

둘째로, 최적시약살포량과 관련한 문제이다.

현재 구름속에서 빙정형성과 관련한 공인된 리론은 없지만 대체로 다음의 4가지 방식 즉 빙정승화, 응결동결, 접촉동결, 침윤동결방식으로 진행된다고 보는 견해가 우세하다.

연구에 의하면 승화에 의한 빙정립자의 출현확률은 비교적 적으며 구름의 비교적 더운 구역에서는 물방울속에 들어있는 이질핵립자에 의한 물방울동결 즉 침윤동결과정이 우세하다.

이것은 살포시약이 대류운의 더운 구역에 류입되는 경우에만 구름방울속에 시약립자들이 들어갈수 있으며 상승흐름을 따라 부의 온도구역에 도달할 때 빙정으로 결정화될수 있다는것을 보여준다.

한 연구자는 물방울속에 포함된 립자들의 총표면적과 온도덕값사이의 관계를 연구하면서 물방울이 결정화되기 위해서는 물방울에 포함된 립자농도가 커야 하며 이를 실현하자면 방대한 량의 시약소비가 요구되므로 효과적인 방법으로는 될수 없다는 결론을 내렸다.

응결동결물림새는 현재 혼합구름에 대한 인공적작용의 주되는 방식으로 간주되고있지만 여기에도 일련의 난점이 있다.

측정결과에 의하면 우박맹아중에  $0.5 \mu\text{m}$  이하의 반경을 가진 립자들이 없다는것이 확인되었다. 밀도가  $5.67\text{g}/\text{m}^3$ 인  $1\text{g}$ 의  $\text{AgI}$ 가  $10^{12}$ 개의 립자들을 형성한다고 볼 때 립자들의 평균체적은  $0.18 \mu\text{m}^3$ , 평균반경은  $0.35 \mu\text{m}$ 이며  $0.5 \mu\text{m}$  이상인 큰 립자들의 량은 무시할 정도로 작운데 바로 이 립자들이 우박맹아로 작용하는것으로 볼수 있다.

최근 우박방지기술에서는 시약립자들을 보다 분말화하여 성핵률을 높이는 방향으로 나가고있는데 실례로  $\text{AgI}$   $26.4\text{g}$ 을 장약한 최신우박방지로케트의  $1\text{g}$ 당 성핵률은  $2.5 \cdot 10^{14}$ 개로 증가하였다.

1g의 AgI체적을 립자개수  $2.5 \cdot 10^{14}$ 로 나눌 때 립자당 평균체적은  $0.00072 \mu\text{m}^3$ 로서 이것은 평균립자반경이  $0.056 \mu\text{m}$ 인 매우 미세한 교질립자로 된다는것을 말해준다. 이러한 조건에서 관측되는 우박방지효과는 살포된 립자농도가 충분히  $10^{10}$ 개/ $\text{m}^3$ 로 보장되는것으로 볼수 있다.

두텁게 발달하는 우박구름에 대응한  $n_0 > 10^{11}$ 개/ $\text{m}^3$  이상의 초기농도를 보장하자면 로케트발사시간간격을 3~4min으로 줄이고 살포선간격을 0.5km로 줄이는 문제가 제기되는데 현존기술로써 이것이 과연 가능한가 하는것이다.

셋째로, 자연구름속에 많은 자연우박맹아립자들이 존재한다는것이다.

우박과 싸락눈스펙트르에 대한 분석결과에 의하면 구름속에 존재하는 우박맹아의 자연농도는 성장한 우박농도보다 훨씬 더 크다는것을 보여준다.

여러 나라들에서 진행한 비행기관측연구에 의하면 우박맹아 및 성장구역에서 1 000~10 000개/ $\text{m}^3$ 에 달하는 싸락눈농도가 발견되었으며 이것은 떨어지는 우박알의 농도를 100~1 000배로 증가시키는 작용을 한다.

이런 조건은 우박방지를 위해 반경  $1 \mu\text{m}$  이하의 미세한 인공빙정핵들을 살포할 필요성이 있겠는가 하는 의심을 가지게 한다.

넷째로, 우박형성에 대한 초거대핵립자들의 역할문제이다.

연구에 의하면  $0^\circ\text{C}$ 에 가까운 부의 온도조건에서 빙정을 형성하는 기본립자들로서는 거대 혹은 초거대립자들이다.

자연강수형성시초에 거대 및 초거대립자들은 비록 에이트젠핵(기상학적응결핵)이나 큰 립자들에 비하여 농도가 작지만 전체 총빙정수농도에서는 큰 비중을 차지한다.(약 70%) 이러한 초거대핵들은 중력병합에 의하여 강수립자로 급속히 성장할수 있으며 이러한 작용은 립자크기가  $1 \mu\text{m}$ 로부터  $100 \mu\text{m}$ 까지 커짐에 따라 거의 4~5배정도 증가된다. 그럼에도 불구하고 우박방지방안설계시 우박형성에서 초거대립자들의 역할에 대해서는 크게 고려되지 않고있다.

다섯째로, 시약살포방법과 관련한 문제이다.

무선전파탐지기, 라디오존데 등에 의한 실험 및 이론연구결과에 의하면 주변공기는 주로 구름밀면과 구름밀의 앞측면을 통하여 구름속으로 류입된다는것이 확인되었다. 즉 반사파가 최대인 구역, 모루형구름의 앞부분, 모루형구름변두리와 대기경계면, 구름주변의 대기에 대한 시약살포실험결과는 3~4km높이이상에서는 구름앞면을 통하여 공기가 류입되지 않으며 기본공기류입과정은 1~2km이하의 낮은 층에서 진행된다는것이 확인되었다.

주변대기로부터 축대칭대류운내부으로의 공기류입과정은 구름밀면을 통하여, 이동하는 적란운인 경우에는 밀면과 구름밀앞측면을 통하여 이루어진다는 연구결과들은 반사파 경계밖에 대한 시약살포는 무의미하다는것을 보여준다.

어느 한 나라에서는 지난 1950년대부터 현재까지 지면발생기에 의한 시약살포를 정기적으로 진행하고있는데 우박방지효과는 긍정적이었으며 이것은 구름밀살포가 효과적인 시약살포방법으로 된다는것을 보여준다.

현재 일반적으로 적용되는 살포방법들에서는 이상의 문제들을 충분히 고려하지 못하고있기때문에 로케트를 리용한 우박방지활동에서 자연적 및 인공적맹아들의 동시적인 형성 및 성장을 고려한 구름밀면이나 구름앞면의 아래부분에 대한 시약살포는 효과성을 높일수 있는 방법으로 될수 있다.

## 맺 는 말

자연적인 우박형성과정은 복잡한 구름미시물리과정의 산물로서 그것에 대한 리해는 아직 부족한 상태이다. 이것은 우박방지사업에서의 여러가지 복잡한 불확정성문제들을 산생시킨다. 그러므로 우박방지활동의 효과성을 제고하자면 우박형성의 미시물리과정에 대한 구체적인 조사연구와 많은 실험자료들이 필요하다.

## 참 고 문 헌

- [1] Б. А. Камалов; Мет. и гид., 4, 113, 2017.
- [2] 许焕斌 等; 雹云物理与防雹的原理和设计, 气象出版社, 148~151, 2004.
- [3] 张佃国 等; 人工影响天气试验研究和应用, 气象出版社, 202~213, 2011.

주체109(2020)년 7월 5일 원고접수

## **Application State of Hail Suppression Technology in Several Countries and Some Uncertain Problems Arising in the Hail Suppression Event**

*Jong Sang Il, Kim Chol*

The hail formation process is a complex microphysical process and the research on it is a hard work. This leads to the complicated uncertainty in implementing the artificial hail suppression work. Therefore, the further study on the natural hail formation mechanism is required to expect the successful hail suppression work.

Keywords: hail suppression, rocket, artificial precipitation