

## 로케트다중선원천살포방식에 의한 인공촉매제확산수치모의실험

김철, 김현우

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《나라의 과학기술을 세계적수준에 올려세우자면 발전된 과학기술을 받아들이는것과 함께 새로운 과학기술분야를 개척하고 그 성과를 인민경제에 적극 받아들여야 합니다.》  
(《김정일선집》 증보판 제11권 138~139페이지)

오늘날 수치모의방법은 구름물리과정에 기초한 인공강우와 같은 어렵고 복잡한 문제 해결에서 위력한 수단으로 되고있다.

론문에서는 컴퓨터모의기술을 리용한 로케트다중선원천살포방식에 따르는 인공촉매제 확산과정의 수치모의실험정형에 대하여 서술하였다.

### 1. 최대확산반경과 확산시간

파랭각층상운속에서 선원천형태의 인공촉매제 확산모의실험시 대기조건은 등방대기로 가정하며 립자호상간의 병합과정을 무시한다. 바람속도는  $x$  축에 평행이고 초기에 확산은 균일하게 진행된다고 가정하면 주어진 초기 및 경계조건하에서 확산방정식은 다음과 같이 쓸 수 있다.[1, 2]

$$q = \frac{Q}{4\pi Kt} \exp\left[-\frac{(x-ut)^2}{4Kt}\right] \times \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{4Kt}\right] - \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{4Kt}\right] \right\} \exp(-\alpha N_c)$$

여기서  $q$ 는 인공촉매제농도(개/L),  $Q$ 는 단위선원천의 성핵률(개/m),  $K$ 는 막흐름확산결수( $\text{m}^2/\text{s}$ ),  $u$ 는  $x$  축방향의 바람속도( $\text{m/s}$ ),  $t$ 는 확산시간( $\text{s}$ ),  $H$ 는 선원천확산높이( $\text{m}$ ),  $\alpha$ 는 구름물방울포획결수( $\alpha = 6 \cdot 10^{-12}$ ),  $N_c$ 는 구름물방울농도( $N_c = 1.0 \cdot 10^8$ )이다.

관측결과에 의하면 인공강우시 요구되는 구름속의 빙정수농도는 립계값이  $q=10/L$ 이다. 때문에 이 값을 인공촉매제살포에 의한 구름의 유효살포농도한계값으로 정하였다.

확산방정식에 의하면 막흐름확산결수  $K$ 와 바람속도  $u$ 가 주어질 때 임의의 시각에 로케트살포에 의한 인공촉매제의 확산범위를 알 수 있다.

관측자료를 연구한데 의하면 층상운의 경우 막흐름확산결수는  $10 \sim 40 \text{ m}^2/\text{s}$ , 적상운의 경우  $80 \text{ m}^2/\text{s}$  이상의 값을 가진다.

모의실험에서는 각이한 막흐름확산결수(20, 40, 60, 80,  $100 \text{ m}^2/\text{s}$ )들에 대한 요드화은의 시간에 따르는 확산곡선을 그림 1에 제시하였다.

그림 1로부터 인공촉매제의 확산범위는 시간에 따라 증가하는데 확산결수  $K$ 값의 크기와 촉매제 확산반경의 크기는 정비례하며  $K$ 값이 커질수록 확산반경도 커진다는것을 알 수 있다.

또한  $K$ 값의 크기와 최대 확산 반경에 도달하는 시간은 반비례하는데 즉  $K$ 값이 커질수록 최대 확산 반경에 도달하는 시간은 짧아진다.(표 1)

실례로  $K=80\text{m}^2/\text{s}$  일 때 38min 20s에 확산반경은 최대값 1 352m에 도달하며 1h 26min 38s에 농도가 10/L인 확산구역은 소산된다.

결국 막흐름확산결수가  $80\text{m}^2/\text{s}$  일 때 1발의 로케트탄살포시 10/L 값을 가지는 유효확산구역은 약 1h 26min 38s정도 존재한다는것을 알 수 있다.

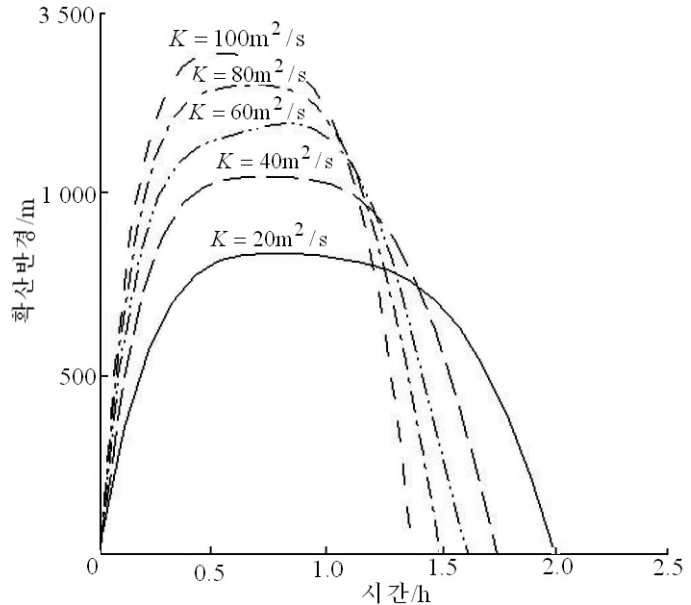


그림 1. 요드화은의 시간에 따르는 확산곡선

표 1. 막흐름확산결수에 따르는 최대확산반경 및 시간

막흐름확산결수 $/(m^2 \cdot s^{-1})$	최대 확산반경/m	최대 확산시간	소산시간
20	876.1	53min 20s	1h 56min 8s
40	1 095.0	45min 36s	1h 40min 1s
60	1 241.0	41min 40s	1h 31min 41s
80	1 352.0	38min 20s	1h 26min 38s
100	1 442.0	36min 40s	1h 21min 40s

## 2. 로케트살포시 인공촉매제 확산특성

### ① 로케트의 발사방위협각확정

대상구름을 향하여 2기의 인공강우로케트를 발사할 때(그림 2) 발사각에 따르는 선원천들사이의 중첩효과를 고려하여 유효확산면적(10/L이상의 농도구역)이 하나로 연결되도록 방위협각( $\alpha$ )을 정확히 보장하는 문제는 작업방안설계시 중요한 요구의 하나이다.

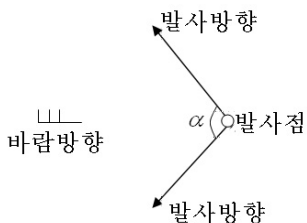


그림 2. 2기의 인공강우 로케트발사방식

인공촉매제 확산마당은 대기중 막흐름확산결수의 영향을 크게 받는다. 때문에 우리는 각이한 막흐름확산결수( $20 \sim 100\text{m}^2/\text{s}$ )에 대하여 우의 확산방정식에 따라 발사고도각을 조종하는 방법으로 두 로케트탄사이 합리적인 발사방위협각  $\alpha$ 를 계산하였다.

표 2에서 보는바와 같이 방위협각의 변화범위는  $31 \sim 180^\circ$ 로서 매우 넓으며 확산결수가 일정할 때 고도각이 낮을수록 방위협각은 작다. 실례로 발사고도각  $45^\circ$ , 막흐름확산결수  $20\text{m}^2/\text{s}$  일 때 두발사이 발사방위협각은 최소  $31^\circ$ 이며 발사고도각이  $74^\circ$ 일 때  $180^\circ$ 에 이른다. 이때 두 로케트의 발사방향은 서로 반대로 되어 바람방향과 수직을 이룬다.

표 2. 막흐름확산결수, 발사고도각에 따르는 발사방위협각( $\alpha$ )

발사고도각/(°)	막흐름확산결수 $K/(m^2 \cdot s^{-1})$				
	20	40	60	80	100
48	32	40	45	50	53
52	35	45	51	56	60
56	39	49	56	62	66
60	43	55	63	70	75
64	49	64	73	81	88
68	59	75	88	98	107
72	73	95	114	132	154
76	98	142	180	180	180
80	180	180	180	180	180
84	180	180	180	180	180

② 유효구름살포구역

인공촉매제살포에 의한 전체 영향구역면적을 확정하기 위하여 살포후 수농도 10/L이상 인 살포구역의 이동루계면적을 지면에 투영하는 방법으로 해당 로케트의 유효구름살포 구역을 계산할수 있다.

계산결과에 의하면 유효구름살포면적의 크기는 막흐름확산결수, 주변바람마당, 발사고도각과 밀접한 련관을 가진다. 즉 막흐름확산결수와 촉매제의 확산반경이 서로 비례하는것으로 하여 막흐름확산결수가 증가함에 따라 유효살포면적도 증가한다.

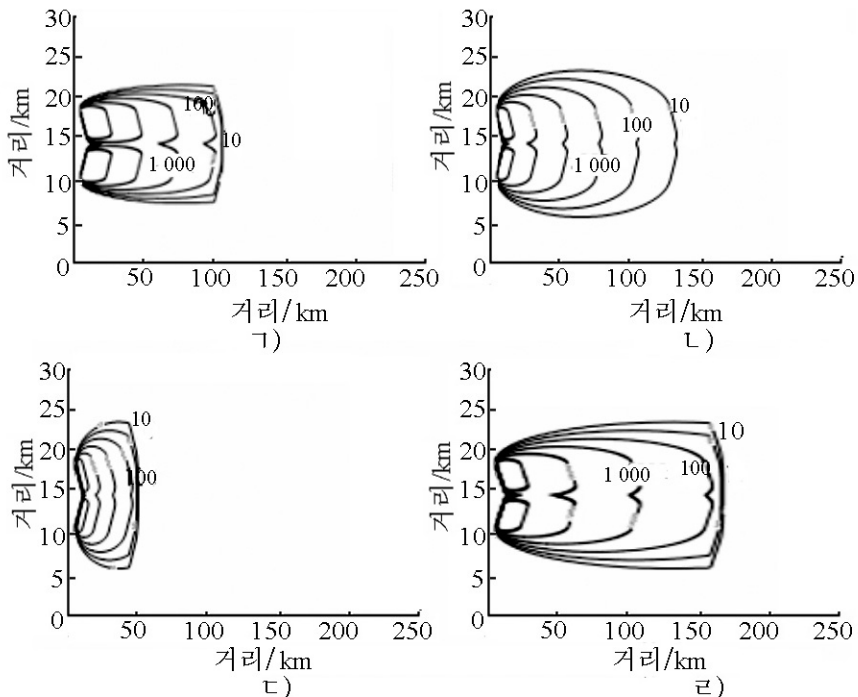


그림 3. 각이한 조건에 따르는 유효확산마당분포(발사고도각 60°)

ㄱ)  $K=20m^2/s$ ,  $u=10m/s$ , ㄴ)  $K=80m^2/s$ ,  $u=10m/s$ ,

ㄷ)  $K=80m^2/s$ ,  $u=5m/s$ , ㄹ)  $K=80m^2/s$ ,  $u=15m/s$

그림 3에서는 바람마당, 확산결수, 발사고도각과 확산구역에 대한 모의결과를 보여준다. 실례로 발사고도각이  $60^\circ$ ,  $u=10\text{m/s}$ , 막흐름확산결수  $K=20\text{m}^2/\text{s}$ 인 경우 확산구역폭이 좁고 확산거리가 길며 유효살포면적은 비교적 작다.

한편  $K=80\text{m}^2/\text{s}$ 일 때 비교적 확산구역은 넓고 확산거리는 짧으며 유효구름살포구역면적은  $K=20\text{m}^2/\text{s}$ 인 경우에 비해 훨씬 넓다.

확산결수와 바람속도가 변하지 않을 때 즉  $K=20\text{m}^2/\text{s}$ ,  $u=10\text{m/s}$ 일 때 발사고도각이 다르면 선원천길어도 각이하며 유효살포면적도 차이난다. 한편 바람마당은 확산구역내의 촉매제에 대한 수송작용을 일으킨다.

확산결수와 발사고도각이 일정할 때 실례로  $K=80\text{m}^2/\text{s}$ , 고도각  $60^\circ$ 일 때 바람속도  $u=5\text{m/s}$  하에서 인공촉매제의 확산거리는  $100\text{km}$ 이하이지만  $10\text{m/s}$ 이상일 때 확산범위는  $150\text{km}$ 까지 확장되어 유효구름살포구역면적도 확장된다는것을 알수 있다. 즉 바람속도가 2배이상이면 유효확산면적은 2배정도 증가한다. 보는바와 같이 바람마당의 세기는 유효구름살포구역면적의 크기에 영향을 주는 주요인자로 된다.

## 맺 는 말

로케트에 의한 인공촉매제살포시 막흐름확산결수가 클수록 확산반경은 커지며 최대확산반경에 도달하는 시간은 보다 짧아진다.

2기의 로케트발사시 발사고도각이  $64\sim 66^\circ$ 일 때 유효살포구름면적은 최대로 되며 특히 바람마당의 세기는 유효살포면적의 크기에 영향을 주는 주요인자로 된다.

## 참 고 문 헌

- [1] 王晓玲 等; 气象学报, 60, 2, 205, 2002.
- [2] 王以琳; 资源与环境, 23, 5, 46, 2013.

주체108(2019)년 7월 5일 원고접수

## Artificial Agent Diffusion Numerical Simulation Experiment by Rocket Multi Line Source Seeding Method

Kim Chol, Kim Hyon U

In this paper, we analyzed the diffusion characteristics of artificial precipitation catalyzer in rainmaking project by rocket, and made the numerical experiments in the different environments in order to settle down the reasonable parameters that maximized the area of effective scattering clouds.

Key words: artificial rainfall, artificial agent