

## 방사성먼지립자들의 크기분포결정

리철만, 안정도

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《우리는 과학기술분야에서 이룩한 성과에 만족하지 말고 나라의 과학기술을 새로운 높은 단계으로 발전시키기 위하여 적극 투쟁하여야 합니다.》(《김정일선집》 증보판 제11권 133페이지)

원자로사고를 비롯하여 핵물질에 의해 형성된 방사성먼지립자는 잔류핵복사를 일으키는 기본원천이다. 이 방사성먼지립자들은 일정한 고도까지 올라갔다가 바람마당속에서 수송확산된다. 수송 및 확산과정에 방사성먼지립자는 중력과 비에 의하여 지면으로 침하되어 방사성오염마당을 형성한다. 방사성먼지립자들의 크기분포는 이 립자들의 수송확산과 침하에서 매우 중요한 특성량이다.

지난 시기 방사성물질의 크기분포평가에서는 초미세립자의 운동특성을 연구하는 리산계의 일반동력학적방정식을 리용하였다.[1, 3, 4]

론문에서는 몽떼-까를로(MC: Monte Carlo)방법을 리용하여 방사성먼지립자들의 크기분포결정에 대하여 고찰하였다.

### 1. MC방법에 의한 방사성먼지립자들의 크기분포결정

MC방법을 제외한 수값풀이방법들에서는 일반동력학적방정식을 풀이대상으로 하고있으며 립자크기분포에 대하여 리산화한다. 그러나 MC방법은 그자체가 리산특성을 가지고있고 초미세립자의 진화특성에 기초한 물리적모형을 대상으로 한다.

MC방법으로 방사성먼지립자들의 크기분포를 결정하기 위하여 우선 일정한 구역안에 존재하는 방사성먼지립자에 대하여 다음과 같은 가정을 하였다.

전체 계가 충분히 혼합되어 립자마당이 공간적으로 등방이며 그안에  $10^4 \sim 10^7$ 개의 실제립자가 포함되어있다고 본다. 대상하는 립자의 수를 줄이기 위하여 체적이 같거나 비슷한 립자들은 같은 속성과 운동특성을 가지는 가상립자로 본다. 따라서 실제립자들은 가상립자에 속하게 되며 가상립자는 실제 립자들의 특성을 그대로 가지게 된다.

론문에서는 계산구역안에 있는 실제립자들을 크기에 따라 분류하여 매 부류에 대응하는 가상립자를 발생시킨다. 씨립자의 직경은  $0.06\mu\text{m}$ [2]로 하고 그것들의 팽각응결과 합성, 파열과정을 MC방법으로 고찰하였다.

가상립자  $i$ 에는 무게  $W_i$ 를 주는데 이것은 해당 구역에서 가상립자  $i$ 가 대표하는 실제립자의 개수와 같다. 또한 가상립자  $i$ 의 체적은 그것이 대표하는 실제립자들의 체적의 합과 같다. 합성과 팽각응결, 파열과정에 씨립자의 개수와 크기분포가 변한다. 합성에 의한 개수감소에 대하여 가상립자의 수를 유지하기 위하여 무게  $W_i$ 를 조절한다.

계산시간결음은 이 시간동안 매 립자들이 합성, 파열, 팽각응결의 어느 한 사건만 한

번 걸치도록 설정하였다. 씨립자형성에서 그것의 발생함수는

$$T_0(V_{\text{최소}}, t) = \sqrt{\frac{2\sigma}{\pi m_i}} \frac{V_i N_i^2}{S} \exp\left[-\frac{16\pi V_i^2 \sigma^3}{3(k_B t)^3 (\ln S)^2}\right] \quad (1)$$

이고  $V_{\text{최소}} = 3.8 \cdot 10^{-23} \text{m}^3$ 로 하였다. 여기서  $S$ 는 증기포화률,  $N_i$ 는 립자농도,  $V_i$ 는 가상립 자체적,  $\sigma$ 는 걸면장력,  $m_i$ 는 립자질량,  $k_B$ 는 볼츠만상수,  $t$ 는 온도이다.

가상립자  $i$ 의 합성사건판단과 합성립자의 추적은  $[0, 1]$ 구간에 균일분포된 우연수  $r_1$ 로 한다.  $r_1 \leq c_i \Delta t$ 의 조건이 만족되면 합성사건이 일어나며 그 확률은  $P_{ij} = W_j \beta_{ij} \Delta t$ 이다.

$c_i$ 는  $i$ 립자에 대한 상수,  $\beta_{ij}$ 는  $i$ 와  $j$ 립자의 합성함수이다.

$$\sum_{k=1}^{j-1} P_{ik} \leq r_1 \leq \sum_{k=1}^3 P_{ik} \quad (2)$$

의 관계가 만족되면 가상립자  $j$ 는  $i$ 와 합성된다.

가상립자  $i$ 와  $j$ 가 합쳐지면 체적은  $(V_i + V_j)$ 로 되며  $\frac{W_i + W_j}{2}$ 개의 새로운 립자가 생긴다. 가상립자의 총 개수를 유지하기 위하여 두 가상립자의 무게와 체적들을

$$\begin{cases} W_{i,\text{새}} = \frac{W_{i,\text{낱}}}{2} \\ V_{i,\text{새}} = V_{i,\text{낱}} + V_{j,\text{낱}} \end{cases} \quad (3)$$

과 같이 변화시킨다.

가상립자  $i$ 가  $\Delta t$  시간동안 파렬되면

$$r_2 \leq s_i \cdot \Delta t \quad (4)$$

의 관계가 성립한다. 여기서 우연수  $r_2$ 는  $[0, 1]$ 구간에서 발생시킨다.  $s_i$ 는  $i$ 립자에 대한 상수이다. 립자  $i$ 가 파렬되어 립자  $j$ 로 될 확률  $P_j$ 와 파렬생성핵의 개수를 리용하여 파렬상태를 고찰한다.  $i$ 가 파렬되어  $j$ 와  $k$ 가 생길 때

$$W_i = W_j + W_k, \quad V_i = V_j + V_k \quad (5)$$

의 관계가 성립한다. 파렬로 하여 가상립자의 개수가 하나 더 커지는데 개수보존을 위하여 생성립자  $j$ 로 파렬립자  $i$ 를 교체한다.

랭각응결에 의하여  $\Delta t$  시간동안 가상립자  $i$ 의 체적은

$$\Delta V_i = I_i \cdot \Delta t \quad (6)$$

로 변한다. 여기서  $I_i$ 는 랭각응결률이며 이 사건이 일어난 다음 립자  $i$ 의 체적은

$$V_{i,\text{새}} = V_i + \Delta V_i \quad (7)$$

로 된다.

이와 같은 물리적과정에 기초한 방사성물질의 크기분포계산알고리즘은 그림 1과 같다.

프로그램검증은 지수분포함수를 리용하여 진행하였다. 초기립자분포는

$$N(V, 0) = \frac{N_0}{V_0} \exp\left(-\frac{V}{V_0}\right) \quad (8)$$

로 주었다. 여기서  $N_0$ 은 초기립자밀도로서  $106 \text{cm}^{-3}$ ,  $V_0$ 은 초기립자의 평균체적으로서  $0.029 \mu\text{m}^3$ 이다.

모의결과는 표준편차  $\sigma=1.1$ 로서 오차범위내에서 실지분포함수와 일치하였다.

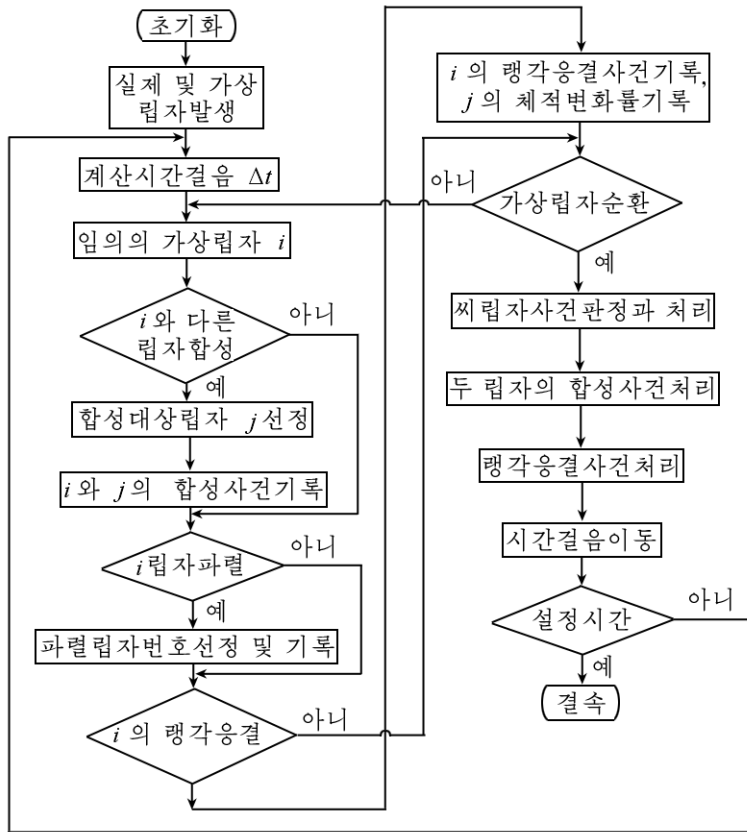


그림 1. 크기분포계산알고리즘

## 2. 방사성먼지립자의 크기결정

높은 온도의 일정한 공간에서 방사성먼지립자들의 형성과 진화과정은 아주 복잡하며 많은 요인들의 영향을 받는다. 특히 방사성먼지립자들이 분포된 공간의 체적이 동적으로 변하며 국부막흐름세기는 평가하기가 매우 어렵다.

고도가 높은 곳에 분포된 방사성먼지립자의 계에서 적은 량의 주위물질, 핵분열생성물과 비분열성물질들이 방사성먼지립자의 형성에 참가한다. 고도가 낮으면 모래, 흙, 암석 등이 분출되어 방사성먼지립자를 만드는데 참가한다.

이로부터 고도가 높은 조건에서 방사성먼지립자의 크기를 평가하였다.(그림 2) 씨립자형성이 크기분포에 주는 영향이 심하지 않으므로 초기조건으로 단일분산립자를, 계산온도대역은 1 600~2 800K으로 주었다.

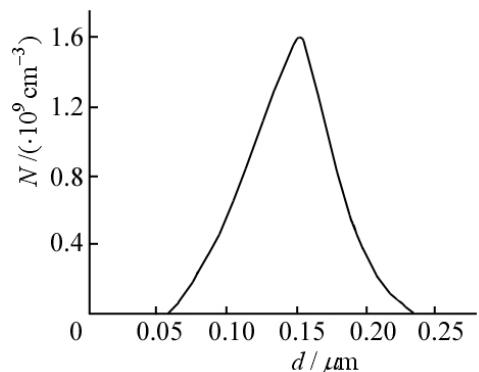


그림 2. 방사선립자크기분포

그림 2에서 보는바와 같이 흙, 모래, 암석 등이 없는 조건에서 방사성먼지립자의 크기는  $0.06 \sim 0.23 \mu\text{m}$  사이에 분포되며 평균직경이  $0.15 \mu\text{m}$  라는것을 알수 있다.

## 맺 는 말

1) MC방법으로 방사성먼지립자의 크기분포를 결정하는 방법을 제기하고 합리적인 알고리즘을 작성하였다.

2) 제기한 방법에 대한 검증을 진행하고 방사성먼지립자의 크기분포를 평가하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] G. E. Liston et al.; Thor. Appl. Climatol., 66, 29, 2000.
- [2] R. Venkatesan et al.; Atmospheric Environment, 36, 29933, 2002.
- [3] M. Svenerik et al.; France Gif-Sur Yvette., 66, 75, 2012.
- [4] 谢朝阳 等; 中国安全科学学报, 20, 4, 161, 2010.

주체107(2018)년 6월 5일 원고접수

## The Determination of the Size Distribution of the Radioactive Dust Particles

*Ri Chol Man, An Jong Do*

In this paper, we suggested a method to determine the size distribution of the radioactive dust particles and a rational algorithm, and considered the size distribution of the radioactive dust particles.

Key words: radiation dust particles, algorithm