

## 도시환경 방사선영향평가 기술 개발 I : 대기오염을 중심으로

정효준\* · 황원태 · 김은한 · 한문희  
한국원자력연구원 환경안전연구부  
E-mail: jeong1208@kaeri.re.kr

중심어 (keyword) : 방사선환경영향평가, 도시테러, Gaussian plume model, Computational Fluid Dynamics

### 서 론 (Introduction)

방사성 물질을 이용한 테러의 대상은 사회혼란을 극대화하기 위해 인구 밀집 지역에 위치한 다중 이용 시설이나 국가 주요시설이 될 수 있다. 또한, 그 형태는 지표, 지상 및 실내에서의 폭발로 인한 공기오염과 음용수와 관련된 시설물에 방사성물질을 투여함으로써 발생하는 식수오염 등이 있다. 두 가지 형태 모두 테러에 사용된 방사성물질의 양이 미미하다고 할지라도 대중의 불안 심리를 자극하기에 모자람이 없다. 따라서 테러에 사용되는 물질의 종류와 양 및 발생 장소에 따른 환경 중 방사성 물질의 농도와 인체에 미치는 영향을 파악해 볼 필요가 있다.

원자력시설의 운영 중 사고나 핵실험 등에 기인한 선원으로 인한 공기, 토양 및 지하수 오염 등은 과거 수 십년간 진행되어 왔었다. 방사능 테러도 원자력시설의 운영 중 사고나 핵실험 등과 크게 다르지 않으므로 테러로 인한 환경영향 및 위해도 평가도 동일한 방식으로 이루어질 수 있다. 본 연구에서는 방사성 물질로 인한 도시오염시 도시의 형상에 따른 농도분포를 모델링하였다. 서울 도심 임의의 지역 A에서 1987년 브라질 Goiania에서 분실된 Cs-137 50 TBq이 RDD (Radiological Disposal Device) 이용해 폭발하였을 경우를 가정하였다.

### 재료 및 방법(Materials and Methods)

도시환경에서 바람의 흐름을 해석하기 위한 유체의

흐름방정식은 비압축성 Navier-Stokes 방정식으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + f_x$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + f_y$$

여기서  $u, v$ 는  $x, y$ 에서의 바람의 속도이며,  $\rho$ 와  $P$ 는 각각 공기의 밀도와 압력을 나타낸다.  $f$ 는 압력과 중력 및 점성력을 제외하고 유체에 작용하는 에너지를 나타낸다. 확산과 이류를 고려한 Cs-137의 농도는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \nabla \cdot (-D\nabla c + cu) - kc = 0$$

$c$ 는 Cs-137의 농도( $Bq/m^3$ ),  $D$ 는 확산계수 ( $m^2/s$ ),  $u$ 는 속도벡터( $m/s$ )로 Navier-Stokes을 이용하여 구한 값을 사용한다.

RDD를 이용하여 50 TBq의 방사능이 공기 중으로 누출되었을 경우, 폭발지점에서의 공기 중 농도를 추정하기가 용이하지 않다. 이 값은 사용하는 RDD 종류 및 당시의 기상조건에 따라 크게 변동할 수 있다. 본 연구에서는 가우시안 플룸 모델식을 이용하여 도메인내에서 계산된 Cs-137의 최고지점의 농도를 폭발지점의 농도로 가정하였다. 풍하방향을  $x$ 라 하고, 풍하방향에 수평의 직각성분을  $y$ , 연직방향으로 수직인 성분을  $z$ 라고 할 때, 가우시안 플룸 모델식은 다음

과 같다.

$$C = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z U} \text{EXP}\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[ \text{EXP}\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \text{EXP}\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$$

여기서 Q는 선원항 (Bq/s), U는 풍속 (m/s), H는 폭발높이 (m),  $\sigma_y$  및  $\sigma_z$ 는 확산계수 (m)를 의미한다.

## 결과 및 고찰(Results and Discussion)

RDD에 의한 가우시안 플룸식에 의한 최대농도를 구하기 위해 50 TBq의 Cs-137이 5분간에 걸쳐 동일한 비율로 방출되었다고 가정하였다. 풍속은 2 m/s, 대기 안정도 등급은 B, 폭발높이는 3m로 가정하였다. 위와 같은 조건일 경우 최고농도는  $5.2E+8 \text{ Bq/m}^3$ 으로 나타났다.

그림 1에 서울 도심 임의의 지역 A의 건물 배치를 고려한 계산격자를 나타내었다. 안정적인 해를 얻기 위해 건물 밀집지역은 격자를 세밀하게 그 외의 지역은 거칠게 작성되도록 하였다. 계산하고자 하는 도메인에 대하여 Navier-Stokes 식을 이용하여 공기의 흐름을 모델링하고, 계산된 공기의 흐름 벡터에 이류향과 확산향을 연결하여 모델링한 Cs-137의 농도를 그림 2에 나타내었다. 그림 2에 나타난 바와 같이 폭발지점에서 최고농도를 나타내다가 거리가 멀어짐에 따라 농도는 급격히 감소함을 알 수 있다. 또한 건물 영향으로 바람의 방향이 일정하지 않아 농도의 분포가 가우시안 플룸 모델식으로 계산된 것과는 차이가 있음을 확인할 수 있다.

## 결론 (Conclusion)

도시와 같은 인구 밀집지역에서 RDD를 이용한 방사능 테러발생시, 예상피해 지역의 신속한 계산과 대책 마련을 위해서 가우시안 플룸 모델이 매우 유용하다. 그러나 가우시안 모델은 도시 건물로 인해 발생하는 공기의 흐름 변화를 반영하는 데 한계가 있기 때문에 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics;

CFD)을 이용한 공기흐름 모델링과 방사능 물질의 거동해석이 병행되어야 할 것으로 판단된다.

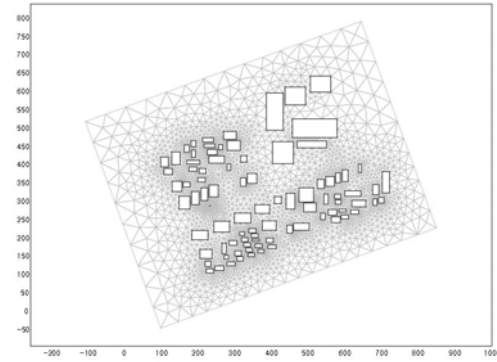


그림 1. 도시형상을 고려한 계산격자의 구성

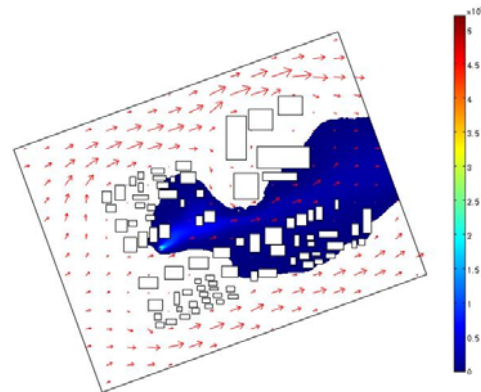


그림 2. Cs-137의 농도 분포

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국 과학재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다. (연구과제관리코드: M20702010001-08M0201-00110)

## 참고 문헌 (REFERENCES)

1. Jones, D., Domotor, S., Higley, K., Kocher, D., Principles and issues in radiological ecological risk assessment. Journal of Environmental Radioactivity66(1-2),9-39(2003)
2. Comsol Inc. Comsol multiphysics user's guide (2006)