

방사능분산장치 (RDD) 폭발시 강우에 의한 도시환경 방사능오염 영향

황원태, 정효준, 김은한, 한문희

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

wthwang@kaeri.re.kr

1. 서론

도시환경 방사능오염은 원자력시설의 사고로 인한 방사성핵종 누설, 방사성동위원소의 분실, 방사능 분산장치 (Radiological Dispersal Device ; RDD)의 폭발 등에 의해 야기될 수 있다. 그동안 환경에서 방사성핵종의 거동연구는 주로 토양이나 농경지를 대상으로 수행해 왔으나 최근에는 도시환경의 주요 특징인 아스팔트나 콘크리트 등과 같은 인공표면에서 핵종거동에 관한 관심이 증가하고 있는 추세이다. 특히 체르노빌 원전사고, Goiania 방사선원 분실사고, 911테러 등은 이들 연구의 중요성 인식에 대한 계기가 되었다고 할 수 있다. 국제원자력기구 (IAEA)에서는 2003년에 국제비교프로그램 EMRAS-1 (Environmental Modelling for Radiation Safety)을 발족하였으며, 7개로 구성된 분과 중에 하나가 도시오염평가분과이다. EMRAS-1의 일정에 맞추어 동 분과는 2007년 말까지 수행된 결과로부터 도시환경에서 핵종거동에 대한 지식 부족과 다양한 이해 차이가 있음을 보였다. EMRAS-1의 후속프로그램인 EMRAS-2가 2009년 초에 새롭게 조직되었으며, 동 프로그램에서도 도시환경오염이 중요 의제로 다루고 있다. 강우는 표면오염의 중요 인자이며 본 논문에서는 EMRAS-1에서 수행된 RDD 폭발의 가상 도시오염 시나리오 결과를 바탕으로 폭발 당시의 강우에 따른 방사능 오염 영향을 고찰하였다.

2. 본론

EMRAS-1의 도시오염평가분과에서는 RDD 폭발로 인한 도시환경오염에 대한 시나리오를 작성하여 이들에 대한 장기적 오염영향을 평가하도록 요구하였다. 동 시나리오에 대해 국내모델 METRO-K[1]를 사용한 계산결과가 제출되어 세계 각국의 다른 모델의 결과와 비교, 논의되었다. RDD 시나리오에서는 Goiania에서 Cs-137의 분실사고와 동일한 50 TBq이 대도시 중심가의 지표에서 폭발되는 것으로 가정하였으며, 이들로부터 거주자의 위치에 따른 각기 다른 오염 표면의 피폭영향 등을 평가하도록 요구받았으나 강우에 의한 오염영향은 다루지 않았다.

RDD의 폭발로 인한 공기중 방사성물질은 확산과 중력 (건침적) 뿐 아니라 강우 (습침적)에 의해 침적된다. 건침적된 방사성물질 중에서 일정 부분은 표면의 습기 등에 의해 고착되는데, 고착된 핵종은 바람이나 강우 등과 같은 외부의 환경적 요소에 의해 쉽게 제거되지 않는다. 반면 나머지 일정 부분은 핵종과 표면 간에 고착정도가 약해 상대적으로 환경적 요소에 의해 쉽게 제거된다. 전자를 고착성 분율 (fixed fraction), 후자를 이동성 분율 (mobile fraction)이라 한다. 습침적된 핵종은 대부분 고착성이 되며, 표면에 따라 일정 강우량 이상에서는 run-off가 일어난다. Run-off가 일어나는 최소 강우량을 임계량 (critical amount of precipitation ; CAP)이라 하며 이는 표면의 종류와 상태 등에 따라 다르다. 임계량을 초과한 강우는 모두 run-off 되지만 run-off water에 포함된 일정 부분의 방사성물질은 표면에 잔류하게 된다. 건침적된 이동성 핵종은 시간이 경과함에 따라 습기 등으로 인해 계속해서 일정부분은 고착성 핵종이 되며, 만일 도중에 강우가 있다면 모두 고착성이 되고 임계량 이상에서는 run-off가 되어 일정 부분은 표면에서 제거된다. 이를 수학적으로 표현하면 다음과 같다.

- ① 강우가 없는 경우 (건침적)

$$C_s = 86400 C_a v_d \quad \dots \dots \dots (1)$$

- ② 강우가 CAP보다 적은 경우 (건침적+습침적)

$$C_s = 86400 C_a v_d + 1 \times 10^{-3} C_a P w_p \quad \dots \dots \dots (2)$$

- ③ 강우가 CAP보다 많은 경우 (습침적)

$$C_s = 1 \times 10^{-3} C_a [P_c + (P - P_c) f_{ret}] w_p \quad \dots \dots \dots (3)$$

C_s : 표면오염 (Bq/m²)

C_a : 시간 적분 공기중 농도 (Bq d/m³)

v_d : 건침적속도 (m/sec)

P : 강우율 (mm/d)
 w_p : washout ratio (m^3 -air/ m^3 -rain)
 P_c : 임계강우율 (mm/d)
 f_{ret} : run-off되는 핵종 중에서 표면에 남는 분율

그림 1과 2는 각각 RDD가 폭발한 지점에서 가장 인접해 있는 60층 상업용 건물의 외부와 20층 실내에서 강우 (폭발 첫날에만 강우고려)에 따른 흡수선량율의 변화를 보여 준다. 거주 위치에 관계없이 강우에 따라 거주자의 피폭영향은 큰 차이를 나타냈다. 특히 흡수선량율은 강우의 강도보다는 강우의 유무에 보다 민감하게 나타났다.

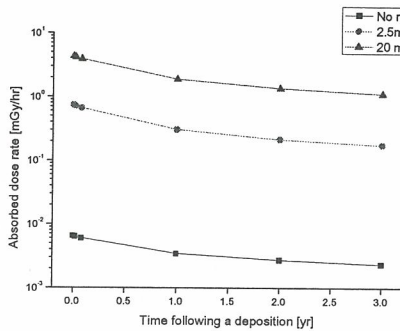


그림 1. 건물 외부에서 흡수선량율

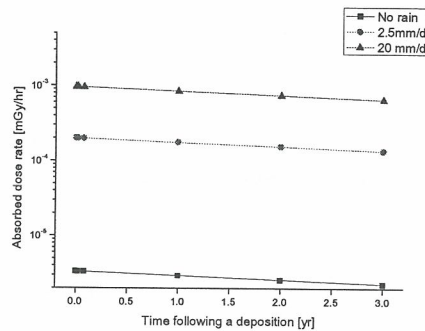


그림 2. 20층 실내에서 흡수선량율

그림 3과 4는 각각 건물 외부의 선량율에 대해 강우에 따른 오염 나무와 도로의 기여를 보여준다. 강우에 따라 선량율에 대한 오염표면의 기여는 뚜렷한 차이를 나타냈다.

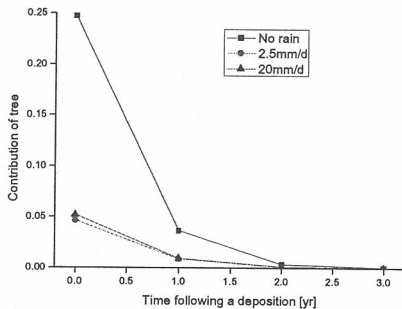


그림 3. 강우에 따른 나무의 선량기여

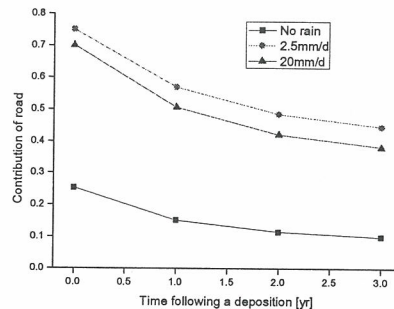


그림 4. 강우에 따른 도로의 선량기여

3. 결론

EMRAS-1에서 수행된 결과를 바탕으로 도시환경을 구성하는 표면의 강우에 따른 오염영향을 고찰하였다. 강우는 표면의 오염도를 결정하는 중요한 요소였으며, 오염도는 강우량의 차이보다는 강우의 유무에 보다 민감하다는 사실을 알 수 있었다.

사 사

본 연구는 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국과학재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다. (연구과제 관리코드 : M20702010001-08M0201-00110)

참고문헌

[1] 황원태 등, 대한방사선방어학회지, 30(3), 99-105, 2005.