

# METRO-K를 사용한 방사능으로 오염된 도시지역에서 대응행위효과 평가 : EMRAS II 도시오염평가분과 시나리오의 이행

황원태, 정해선, 정효준, 김은한, 한문희  
한국원자력연구원

2012년 5월 11일 접수 / 2012년 6월 15일 1차 수정 / 2012년 6월 27일 2차 수정 / 2012년 6월 29일 채택

국제원자력기구(IAEA)에서 주관하는 국제비교프로그램 EMRAS-2(Environmental Modelling for Radiation Safety, Phase 2)의 도시오염평가분과에서는 도시지역의 방사성핵종 거동 모델에 대한 평가능력의 시험과 향상을 위해 방사능 사고 시나리오를 설계하였다. 모델간 예측결과와 비교를 위해 선정된 도시지역에서 방사능오염 사건이 발생한 계절(여름철, 겨울철) 및 사건이 발생한 당일의 경우조건(강우 없음, 약한 강우, 강한 강우)을 고려하였고, 각기 다른 피폭자 위치에서의 다양한 대응행위에 대한 공기중 흡수선량률의 시간에 따른 변화를 분석하였다. 국내모델 METRO-K를 사용한 예측결과가 모델간 비교를 위해 도시오염평가분과에 제출되었다. 본 논문에서는 동 시나리오에 대해 METRO-K로 예측한 결과의 일부로써 대상 도시지역에 위치한 24층 상업용 건물의 1층 실내에서의 대응행위에 따른 선량저감의 효과를 제시하고 분석하였다. 평가 결과, 방사능오염 사건이 발생한 당일의 강우강도 및 계절에 따른 대응행위별 피폭 저감 효과는 분명한 차이를 나타냈다. 이는 방사성핵종의 각기 다른 표면으로의 침적량과 침적 후 거동, 적용되는 대응행위에 대한 저감효과의 차이에 기인한 것으로 분석된다. 이러한 결과로부터 만일의 원자력발전소 사고나 방사능분산 장치의 폭발 등과 같은 불의의 사건이 발생하여 도시지역에서 방사능오염이 발생될 경우, 방사능피폭에 따른 인체 위해 뿐 아니라 경제·사회적 영향을 최소화하기 위해서는 사건이 일어난 시점의 계절 및 강우조건을 고려한 대응행위의 선택이 중요한 것으로 확인되었다.

중심어: 기상사고, 단기 대기확산인자, 결합빈도분포자료, PAVAN

## 1. 서론

국제원자력기구(IAEA)에서 주관하는 국제비교프로그램 EMRAS-2 (Environmental Modelling for Radiation Safety, Phase 2)는 이전 프로그램인 EMRAS-1 (2003~2007)의 후속 프로그램으로, 변화하는 방사선환경방호의 새로운 관심사에 대한 국제적 조화를 목적으로 2009년 초에 조직되어 2012년까지 운영될 예정이다[1]. EMRAS-2는 9개의 분과(working group)로 구성되어 있다. 그 중에서 도시오염평가분과(urban areas working group)는 방사성물질의 대기중 확산과 표면으로 침적을 포함하여 도시지역에서 오염평가를 위해 사용할 수 있는 각국의 모델 예측결과를 비교·논의하고, 이를 통해 얻어진 지식과 경험 등으로부터 모델의 개선과 향상을 도모하는 것을 목표로 한다. 동 분과에서는 모델 예측결과를 비교하기 위해 1) 단거리 대기확산 시나리오, 2) 중거리 대기확산 시나리오, 그리고 3) 표면 침적 후 대응행위 시나리오를 설계하였다. 방사성물질의 침적 후 대응행위 시나리오에

는 서울의 한 도심지역이 대상지역으로 선정되었으며 한국원자력연구원에서 개발한 도시오염평가모델 METRO-K의 평가결과가 참여 중에 있다[2,3].

도시환경은 자연표면 뿐 아니라 포장도로와 같은 인공 표면으로 구성되어 있으며 방사성 핵종의 거동은 이들 표면에 따라 다양한 차이를 나타낼 수 있다. 따라서 원자력발전소의 사고로 방사성물질이 대기중으로 이동·확산되어 도시지역까지 유입되는 경우나 도시지역에서 테러분자에 의한 방사능분산장치(Radiological Dispersal Devices; RDDs)의 폭발과 같은 불의의 사건이 발생할 경우 피해를 최소화하기 위해서는 해당 오염지역의 다양한 환경을 고려하여 적절한 대책을 수립하여야 한다.

본 논문에서는 EMRAS-2의 도시오염평가분과에서 설계한 방사성물질의 침적 후 대응행위 시나리오에 대해 METRO-K를 사용하여 피폭저감 측면에서 대응행위의 효과를 평가하였다. 대응행위에 따른 피폭저감은 방사능 오염이 발생한 계절(여름철, 겨울철)과 사건이 발생한 당일의 강우 조건(강우 없음, 약한 강우, 강한 강우)을 고려하여 분석되었다.

책임저자 : 정해선, haesunin@kaeri.re.kr  
대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111 한국원자력연구원

## 2. 시나리오 적용 및 평가

### 2.1 METRO-K의 개요

공기중 방사성물질은 확산과 중력 또는 강우에 의해 표면으로 떨어지게 되는데 전자를 건침적(dry deposition), 후자를 습침적(wet deposition)이라 한다. 건침된 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. 습침된 핵종은 대부분 고착성이 되며, 표면에 따라 일정 강우량 이상에서는 run-off가 일어난다. Run-off가 일어나는 최소 강우량을 임계량이라 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. 건침된 이동성 핵종은 시간이 경과함에 따라 습기 등으로 인해 계속해서 일정부분은 고착성 핵종이 되며, 만일 도중에 강우가 있다면 모두 고착성이 되고 임계량 이상에서

는 run-off가 되어 일정 부분은 표면에서 제거된다. 방사성물질의 환경누설은 체르노빌 원전사고에서 보았듯이 십 수일동안 지속될 수 있는데 METRO-K에서는 하루 단위로 공기중 평균농도( $Bq \cdot m^{-3}$ )와 강우량(mm) 자료를 사용하여 단계적으로 각기 다른 표면에서의 총 침적량을 계산한다. 핵종의 침적이 진행되는 동안에는 이전 시간에 침적된 핵종에 대해 방사능 붕괴와 run-off를 고려하여 표면농도를 보정하고 기타 다른 환경적 요소에 의한 제거는 고려하지 않는다. 침적이 완료된 시점에서 각기 다른 표면에 대한 총 침적량이 계산되면 공기 커마(kerma)에 대한 데이터 라이브러리를 사용하여 피폭자의 거주 위치에 따른 선량률을 평가한다. 공기에 있는 방사성핵종의 침적이 완료된 후 표면의 농도는 계절 및 강우 등 환경적 요소에 의해 희석된다. 이러한 방사성핵종의 도시환경내 거동은 핵종 뿐 아니라 표면의 종류 등에 따라 다르며 METRO-K에 적용하고 있는 변수값은 참고문헌[2]에 기술되어 있으며, 선량평가 흐름도를 그림 1에 나타냈다. METRO-K는 표면의 방사능오염에 따른 외부피폭선량을 평가하며, 표면의 침적후 재부유물의 흡입 등 다른 경로에 의한 피폭영향은 고려하지 않는다.

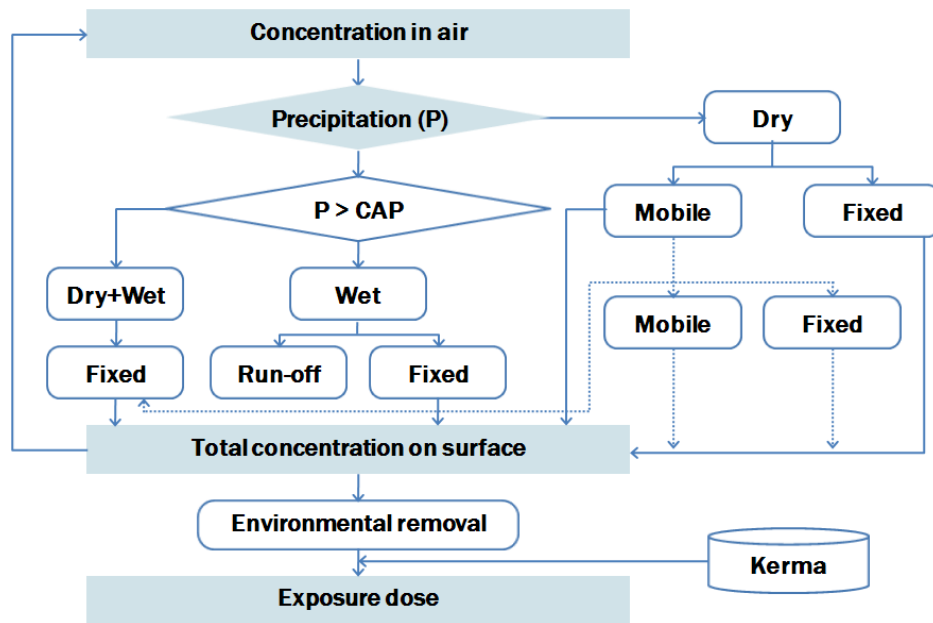
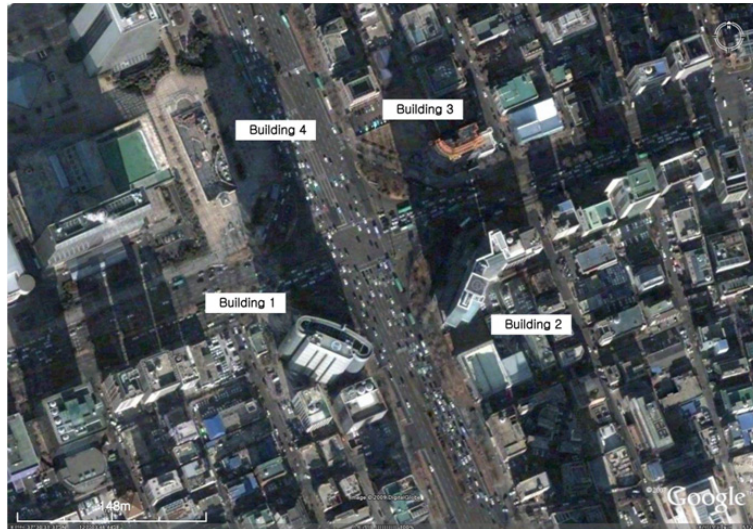


Fig. 1. Schematic diagram for radiological dose assessment of the METRO-K (CAP represents the minimum precipitation amount which occurs run-off, and it is an abbreviation of the critical amount of precipitation).



(a) Business area



(b) Park area

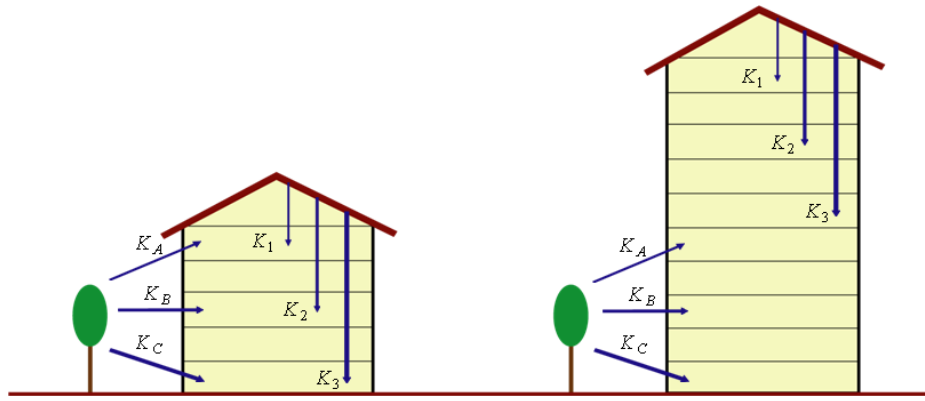
Fig. 2. An urban area designed for the countermeasure scenarios following a radioactive contamination.

## 2.2 방사능오염 시나리오

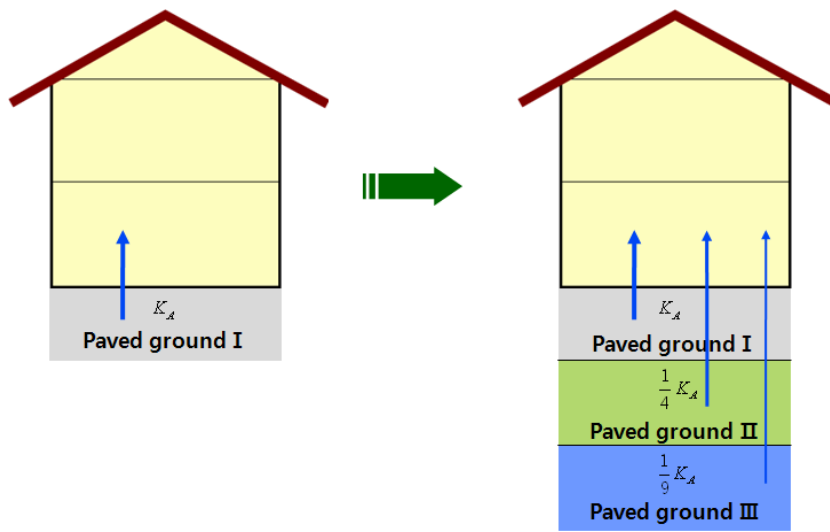
EMRAS-2 도시오염평가분과에서는 대형 빌딩, 공원, 도로 등 다양한 도시환경의 특성을 대표할 수 있는 지역의 선정에 검토하였다. 방사성물질의 침적 후 대응행위 시나리오 대상지역으로 면밀히 검토한 결과 그림 2와 같이 서울의 한 지역이 최종적으로 선정되었다. 국내 참여자는 평가 참여자들을 위해 동 지역의 지형, 기후, 생활, 건물특성 등에 대한 자료를 문서화하여 제공하였으며, 보다 상세자료를 요구하는 평가 참여자들을 위해 건물의 좌표 및 속성(건물높이, 표면구성, 재질 등), 주변 환경구성(건물, 도로, 공원 등)에 대한 속성자료를 GIS (Geographical Information System)로 구현하여 제공하였다. 방사능오염의 발단은 명확하게 정의하지는 않았지만 도시 지역에서 테러분자에 의한 방사능분산장치의 폭발을 고려하여  $^{60}\text{Co}$ 와  $^{239}\text{Pu}$ 이 선택되었다. 사건 발생으로 두 핵종의 공기중 농도는 전 평가영역에 걸쳐 각각 1 MBq day

$\text{m}^3$ 로 균일하다고 가정하였다.

도시오염평가분과에서는 평가 지역에 대해 사건이 발생한 당일에 강우가 없는 경우, 약한 강우( $3 \text{ mm} \cdot \text{day}^{-1}$ )가 있는 경우와 강한 강우( $20 \text{ mm} \cdot \text{day}^{-1}$ )가 있는 경우를 가정한 시나리오를 구성하였다. 또한 그러한 사건 당일의 강우 조건이 여름철(7월 1일)과 겨울철(1월 1일)에 각각 발생한 경우를 가정하였다. 일반적으로 서울의 기후 특성상 겨울에는 비 대신 눈이 오는 경우가 많지만 참여하는 대부분의 평가모델이 눈에 의한 표면 침적 및 거동을 잘 모사하지 못하고 있어 이 경우에서 눈은 비와 동일한 표면 침적 및 거동을 갖는다고 가정하기로 평가자 간에 합의하였다. 평가지점은 그림 2에 나타난 바와 같이 상업지구에 위치한 24층 건물(그림 2의 (a)에서 Building 1으로 표시)의 외부를 포함한 4개 지점(Building 1의 1층, 10층, 24층의 실내와 외부)과 공원지역의 2개 지점(공원내 오솔길과 주차장)이며, 9가지 각기 다른 대응행위의 조합된 시나리오가 주어졌다.



(a) For the different height of building



(b) For the different width of road

Fig. 3. Approach for the modification of kerma to apply to the hypothetical countermeasure scenarios.

### 2.3 METRO-K의 적용

METRO-K에서는 우리나라의 거주형태를 고려한 대표적 도시환경에 대해 조사하고 있지만 특정한 환경에 적용하기 위해서는 적절한 가정과 함께 모델의 수정이 요구된다. EMRAS-2에서 설계한 시나리오에 적용하기 위해 위치에 따른 공기중 커마(kerma) 값이 새롭게 수정되었다. METRO-K에서 공기중 커마는 Mehbach 등이 Monte Carlo 방법을 사용하여 평가한 값을 수정하여 활용하고 있다[3]. 그림 3은 EMRAS-2에서 설계한 시나리오에 적용하기 위해 공기중 커마를 수정한 방법을 나타냈다. 그림에서 나타낸 바와 같이 5층 건물의 오염지붕으로부터 3층 실내의 공기 커마( $K_2$ )는 10층 건물의 오염 지붕으로부터 8층 실내의 공기 커마와 같다고 가정하였다. 또한 오염나무로부터 5층 건물의 3층 실내에서 커마( $K_B$ )는 10층 건물의 3층 실내에서 공기 커마와 같다고 가정하였다. 도로의 폭이 다른 경우 동일한 도로의 폭으로 세분화하고, 각 세분화된 도로로부터 받는 공기커마는 거리의 제

곱에 반비례한다고 가정하여 추산하였다.

도시환경을 구성하는 각기 다른 표면의 오염농도가 평가되면 핵종의 감마 에너지 방출률과 공기중 커마 등을 사용하여 피폭자의 위치에 따른 선량률을 평가한다.

$$H_i(t) = 8.64 \times 10^{-14} DCF_i \sum_k y_k \sum_j \omega_j C_j(t) K_{ijk} \quad (1)$$

여기서,

$i$  : 피폭자 위치

$j$  : 오염 표면

$k$  : 에너지

$H_i(t)$  : 시간  $t$ 에서 선량률( $Sv \cdot d^{-1}$ )

$DCF_i$  : 감마선 선량환산인자( $Sv \cdot Gy^{-1}$ )

$\omega_j$  : 오염 표면의 거칠기에 따른 선량감쇄인자

$y_k$  : 감마선 방출률( $photon \cdot sec^{-1}Bq^{-1}$ )

$C_j(t)$  : 시간  $t$ 에서 표면농도( $Bq \cdot m^{-2}$ )

$K_{ijk}$  : 공기커마( $pGy$  per  $photon \cdot mm^{-2}$ )

### 2.4 대응행위

EMRAS-2 프로그램의 도시오염 평가분과에서는 방사능 테러 후 피폭선량을 줄이기 위한 아무 대응행위를 취하지 않는 경우를 포함하여 9가지의 대응행위와 이들의 적용시점을 평가자에게 제공하고(표 1), 이들 각 대응행위를 독립적으로 적용함에 따른 피폭영향을 평가하도록

요구하였다. 대응행위에 따른 선량의 저감은 다음과 같이 정의된 선량률 저감인자(DRRF)에 의해 모사될 수 있다.

$$DRRF = \frac{DR_{before}}{DR_{after}} \quad (2)$$

**Table 1.** Countermeasures Applied Following the Explosion of a Radiological Dispersal Device and Their Dose Rate Reduction Factors.

Countermeasures	Time applied following an event	dose rate reduction factor
No action	-	-
Relocation of population	For the first 6 weeks	-
Removal of trees (or leaves)	Day 30	20
Vacuuuming or sweeping of roads	Day 14 (no rain)	2.5
Washing or hosing of roads	Day 14 (no rain)	5
Cutting and removal of soil (5 cm) and grass (park location)	Removal grass : Day 7 Removal soil : Day 180	5 20
Removal of trees plus washing of roads	-	-
Relocation plus washing of roads	-	-
Washing buildings	Day 14	Roof : 5 Outer wall : 7

여기서  $DR_{before}$  ( $mSv \cdot hr^{-1}$  또는  $mGy \cdot hr^{-1}$ )와  $DR_{after}$ 는 각각 대응행위를 수행하기 전과 후의 선량률을 나타낸다. 특정 대응행위에 대해  $DRRF=2$ 는 50%,  $DRRF=10$ 은 90%의 선량률 감소를 의미하며, 결과적으로  $DRRF$  값이 높을수록 선량의 저감 측면에서 보다 유용한 대응행위라 할 수 있다.  $DRRF$  값은 사건이 발생한 후 적용시기 등에 따라 차이를 나타낼 수 있으나 현재까지 그러한 자료가 부족하기 때문에, 본 평가에서는 문헌 [4]에 나타난 저감 효과와 서울의 도시 특성을 고려하여  $DRRF$  값을 결정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

EMRAS-2 도시오염평가분과의 대응행위 시나리오에서 선택된  $^{60}Co$ 과  $^{239}Pu$ 는 각각 5.3년,  $2 \times 10^4$ 년의 방사능 반감기를 가진다.  $^{60}Co$ 은 베타 붕괴하여 안정원소인  $^{60}Ni$ 이 되며,  $^{239}Pu$ 는 알파 붕괴하여  $^{235}U$ 가 된다.  $^{60}Co$ 은 붕괴하면서 0.69382 MeV, 1.1732 MeV, 1.3325 MeV의 주요 감마에너지를 방출하며 각각의 수율(yield)은 0.0163%, 100%, 100%이다. 현재 단계에서 METRO-K에서는 0.3~3.0 MeV의 에너지에 대해 평가가 가능하며 매우 약한 감마에너지와 수율을 갖는  $^{239}Pu$ 의 외부오염에 의한 선량률은 관심범위에서 제외하였다.

본 연구에서는 그림 2의 상업지역에 위치한 Building 1의 1층 실내에 대한  $^{60}Co$ 의 오염에 따른 공기중 흡수선량률(이하 선량률)의 저감효과에 대해 분석하였으며, 이에 따라 EMRAS-2의 도시오염평가분과에서 제시한 9가

지 대응행위 중에서 Building 1의 1층 실내의 선량률 저감효과에 유효한 5 가지 대응행위(가로수 또는 가로수 잎의 제거, 가로수 제거와 도로의 물세척, 도로의 물세척, 도로의 진공청소, 건물의 벽과 지붕의 물세척)에 대해 수행한 결과를 제시하였다. 일반적으로 가로수는 낙엽수로 구성되어 있으며, 겨울철에 사건이 발생하는 경우 가로수에 침적되는 방사성물질은 여름철에 사건이 발생하는 경우의 5%로 가정하였다. 겨울철에 사건이 발생하는 경우 상대적으로 적은 가로수 나뭇잎으로 이들의 제거는 비용과 선량저감의 측면에서 유효하지 않다고 가정하였다.

그림 4는 METRO-K를 사용하여 여름철과 겨울철에 사건이 발생한 경우 그리고 그러한 사건이 발생한 당일에 강우의 정도에 따른 Building 1의 1층 실내에서 선량률의 변화를 보여준다. 사건이 발생한 계절에 관계없이 사건 당일에 강우가 많을수록 높은 선량률을 나타냈는데 이는 공기중 방사성물질이 강우로 인해 표면으로 침적이 상대적으로 많기 때문이다. 동일한 강우 조건에서는 사건이 겨울철에 발생한 경우보다 여름철에 발생한 경우가 초기에는 상대적으로 높은 선량률을 나타냈으나 시간이 지남에 따라 선량률은 거의 같아졌다. 이는 여름철에 사건이 발생한 경우에 도로 주변 가로수의 오염이 사건이 발생한 후 초기에 선량률에 큰 영향을 주나 시간이 지남에 따라 낙엽 등으로 인해 도로와 같은 다른 표면에 비해 방사성물질의 농도가 상대적으로 빨리 희석되어 방사선영향이 감소하기 때문이다. 결과에서 나타난 바와 같이 방사성물질의 표면으로 침적은 사건 당일에 강우의 강도보다는 강우의 유무에 보다 민감하게 작용한다는 사실을 알 수 있었다.



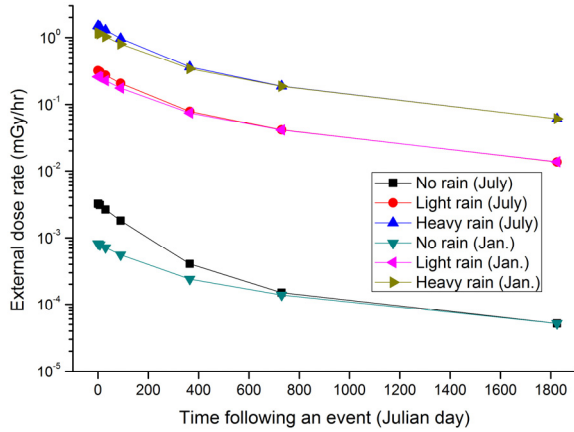


Fig. 4. Predicted external dose rate on the ground floor of a 24-story building (as shown in Fig. 2) as a function of time following an event. The conditions for calculation were set up based on the rainfall intensity and the accidental season. No countermeasure was assumed during the event.

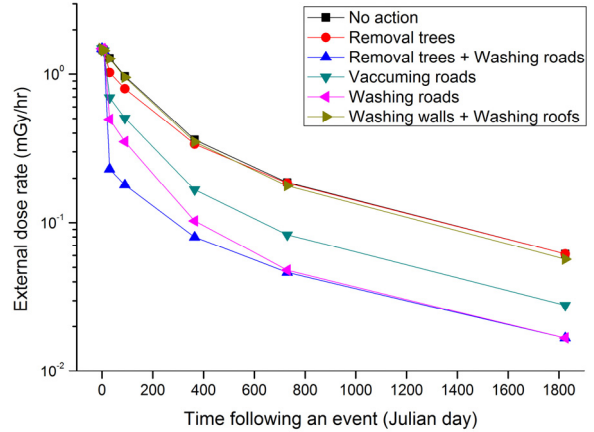


Fig. 7. Predicted external dose rate as a function of time following an event. The conditions for calculation were set up depending on the type of countermeasure, assuming that the event takes place in summer and there is heavy rain on the day of an event.

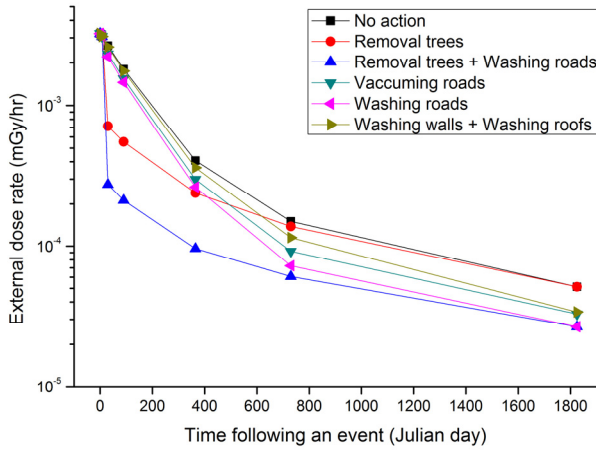


Fig. 5. Predicted external dose rate as a function of time following an event. The conditions for calculation were set up depending on the type of countermeasure, assuming that the event takes place in summer and there is no rainfall on the day of an event.

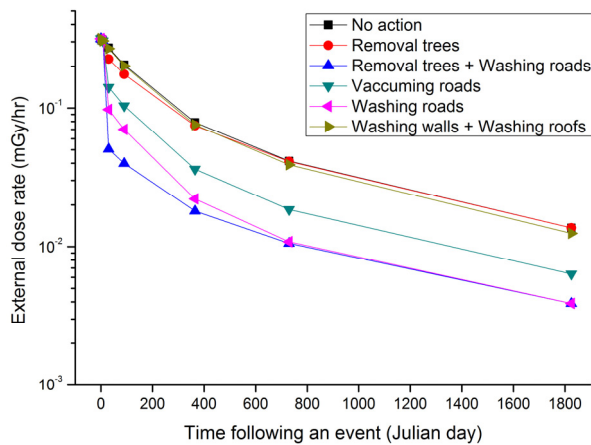


Fig. 6. Predicted external dose rate as a function of time following an event. The conditions for calculation were set up depending on the type of countermeasure, assuming that the event takes place in summer and there is light rain on the day of an event.

그림 5는 여름철에 사건이 발생하였고 사건이 발생한 당일에 강우가 없는 경우 대응행위에 따른 Building 1의 1층 실내에서 선량률의 변화를 보여준다. 선량률의 저감에 가장 효과적인 대응행위는 가로수 나뭇잎의 제거와 도로의 물세척을 동시에 수행한 경우이며, 초기에는 가로수의 제거로 선량률을 크게 낮출 수 있는 반면 시간이 경과함에 따라 도로의 물세척에 의한 선량률 저감효과가 보다 지배적으로 나타났다.

그림 6은 여름철에 사건이 발생하였고 사고당일 약한 강우( $3 \text{ mm} \cdot \text{day}^{-1}$ )가 있는 경우 대응행위에 따른 Building 1의 1층 실내에서 선량률을 보여준다. 사건 당일에 강우가 있는 경우에는 강우가 없는 경우(그림 5)에 비하여 선량률이 약 100배 정도 높게 나타났다. 강우가 없는 경우와 마찬가지로 선량률의 저감에 가장 효과적인 대응행위는 가로수의 나뭇잎의 제거와 도로의 물세척을 동시에 수행한 경우였다. 다만 사건 당일에 약한 강우가 있는 경우는 전 기간에 걸쳐 가로수 나뭇잎의 제거에 의한 선량저감효과보다는 도로의 물세척에 의한 효과가 보다 큰 영향을 미쳤다. 따라서 비용과 선량저감 측면에서 강우가 있는 경우 가로수 나뭇잎의 제거는 피폭저감효과가 미미하다고 판단할 수 있다.

그림 7은 여름철에 사건이 발생하였고 사건 당일에 강한 강우( $20 \text{ mm} \cdot \text{day}^{-1}$ )가 있는 경우 대응행위에 따른 Building 1의 1층 실내에서 선량률의 변화를 보여준다. 사건 당일에 강한 강우가 있는 경우에는 약한 강우가 있는 경우(그림 6)에 비해 선량률이 약 10배 정도 높게 나타났다. 대응행위에 따른 선량률 저감효과에 대한 전반적인 경향은 약한 강우의 경우와 유사하였다.

그림 8은 겨울철에 사건이 발생하였고 사건 당일에 강우가 없는 경우 대응행위에 따른 Building 1의 1층 실내에서 선량률의 변화를 보여준다. 가로수 나뭇잎의 제거와 도로의 물세척을 동시에 수행한 경우 또는 도로의 물세척만을 수행한 경우에 높은 선량률의 저감효과를 나타냈다. 이는 겨울철에는 여름철에 비해 가로수 나뭇잎이 거의 없으며 이에 따라 가로수 나뭇잎의 제거는 대응행위로써 유

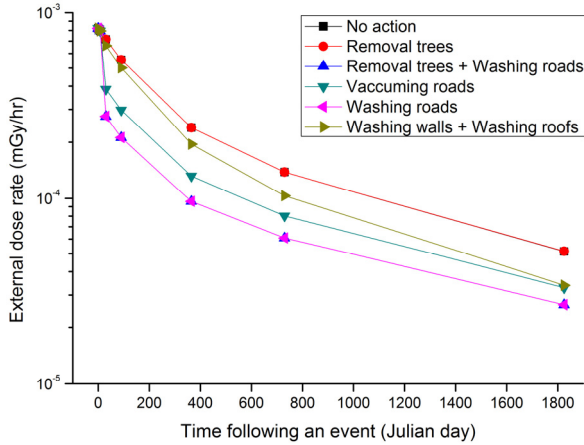


Fig. 8. Predicted external dose rate as a function of time following an event. The conditions for calculation were set up depending on the type of countermeasure, assuming that the event takes place in winter and there is no rainfall on the day of an event.

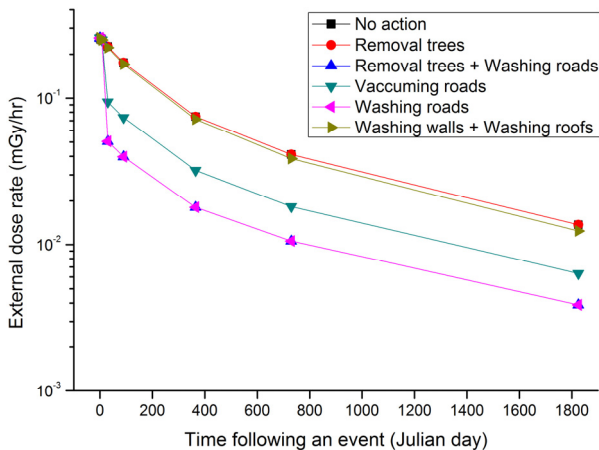


Fig. 9. Predicted external dose rate as a function of time following an event. The conditions for calculation were set up depending on the type of countermeasure, assuming that the event takes place in winter and there is light rain on the day of an event.

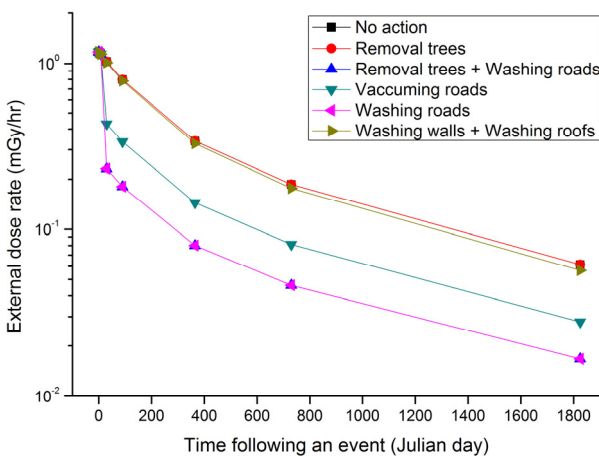


Fig. 10. Predicted external dose rate as a function of time following an event. The conditions for calculation were set up depending on the type of countermeasure, assuming that the event takes place in winter and there is heavy rain on the day of an event.

효과가 없다고 가정하였기 때문이다. 결과적으로 선량률의 저감 측면에서 두 대응행위의 선량률 저감효과가 동일하다 하더라도 비용측면을 고려하는 경우 도로의 물세척만 수행하는 것이 보다 효과적이라고 할 수 있다.

그림 9은 겨울철에 사건이 발생하였고 사고당일 약한 강우( $3 \text{ mm} \cdot \text{day}^{-1}$ )가 있는 경우 대응행위에 따른 Building 1의 1층 실내에서 선량률의 변화를 보여준다. 사건 당일에 약한 강우가 있는 경우에는 강우가 없는 경우(그림 8)에 비해 상대적으로 높은 표면침적으로 선량률이 약 100배 정도 높게 나타났다. 사건 당일에 강우가 없는 경우와 마찬가지로 가로수 나뭇잎의 제거와 도로의 물세척을 동시에 수행한 경우 또는 도로의 물세척만 수행한 경우에 선량률의 높은 저감효과를 나타냈다. 가로수 나뭇잎 제거의 대응행위 효과는 상대적으로 크지 않기 때문에 비용측면에서 도로의 물세척만 수행하는 것이 보다 효과적일 것이다.

그림 10은 겨울철에 사건이 발생하였고 사건 당일 강우가 많은 경우( $20 \text{ mm} \cdot \text{day}^{-1}$ ) 대응행위에 따른 Building 1의 1층 실내에서 선량률의 변화를 보여준다. 사건 당일에 강우가 많은 경우는 강우가 적은 경우(그림 9)에 비해 공기중 방사성물질의 상대적으로 많은 표면침적으로 선량률에 있어 약 10배 정도 높게 나타났다. 대응행위별 선량률 저감효과에 대한 전반적인 경향은 사건 당일에 약한 강우가 있는 경우와 유사하였다.

국내모델 METRO-K를 사용하여 EMRAS-2 도시오염평가분과의 비상대응 시나리오를 성공적으로 수행하였으며, 분석결과 대응행위별 피폭저감 효과는 방사능오염 사건이 발생한 당시의 강우조건과 사건이 발생한 계절에 따라 차이가 있음을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

국제원자력기구(IAEA)에서 주관하는 국제비교프로그램 EMRAS-2의 도시오염평가분과에서 설계한 도시지역(서울의 중심가)의 가상 방사능오염 시나리오에 대해 국내모델 METRO-K를 사용하여 피폭저감 측면에서 대응행위의 효과를 분석하였다. 방사능오염 사건이 발생한 당시의 강우조건과 사건이 발생한 계절에 따라 대응행위별 피폭저감의 효과는 차이를 나타냈다. 만일의 원자력발전소 사고나 방사능분산장치의 폭발 등과 같은 불의의 사건이 발생으로 도시지역 방사능 오염시 방사능피폭에 따른 인체 위해 뿐 아니라 경제적 및 사회적 영향을 최소화하기 위해서는 해당지역의 주변 환경특성 뿐 아니라 방사능오염 사건이 발생한 당시의 강우조건과 사건이 발생한 계절 등을 고려하여 적절한 대응행위를 선택하는 것이 주민 보호에 있어 중요하다는 사실을 알 수 있었다. 본 논문의 결과는 특정 시나리오에 국한한 결과이며, 실제 사건이 발생할 수 있는 여러 시나리오의 일반적인 결과가 아님을 밝힌다. EMRAS-2는 변화하는 방사선환경방호에 맞추어 구성된 IAEA 주관 국제비교프로그램이다. EMRAS-2의 도시오염평가분과의 대응행위 저감효과 시나리오에 국내모델이 평가에 참여하고 있으며, 세계 각국의 여러 모델로

계산한 결과와 비교·논의 중에 있다. 동 프로그램은 2012년에 완료될 예정이며, 모델 예측결과의 지속적 논의를 거쳐 최종적으로 IAEA 기술보고서로 발간할 예정이다.

### 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 중장기연구개발사업(과제 번호 : 2012011939)으로 수행 되었습니다.

### 참고문헌

1. <http://www-ns.iaea.org/projects/emras/emras2>.
2. 황원태, 김은한, 정효준, 서경석, 한문희. 도시환경에

- 서 방사성물질의 오염평가 모델개발. Journal of Radiation Protection, 2005;30(3):99-105.
3. 황원태, 김은한, 정효준, 서경석, 한문희, 도시환경에서 방사성물질 오염에 따른 선량평가모델. Journal of Radiation Protection, 2007;32(1):1-8.
4. Charnock T, Adersson K, Source of information on urban recovery countermeasures for use in models. Draft report for the preparation of IAEA safety report series, 2006.

## Evaluation of Countermeasures Effectiveness in a Radioactively Contaminated Urban Area Using METRO-K : The Implementation of Scenarios Designed by the EMRAS II Urban Areas Working Group

Won Tae Hwang, Hae Sun Jeong, Hyo Joon Jeong, Eun Han Kim, and Moon Hee Han  
Korea Atomic Energy Research Institute

**Abstract** - The Urban Areas Working Group within the EMRAS-2 (Environmental Modelling for Radiation Safety, Phase 2), which has been supported by the IAEA (International Atomic Energy Agency), has designed some types of accidental scenarios to test and improve the capabilities of models used for evaluation of radioactive contamination in urban areas. For the comparison of the results predicted from the different models, the absorbed doses in air were analyzed as a function of time following the accident with consideration of countermeasures to be taken. Two kinds of considerations were performed to find the dependency of the predicted results. One is the 'accidental season', *i.e.* summer and winter, in which an event of radioactive contamination takes place in a specified urban area. Likewise, the 'rainfall intensity' on the day of an event was also considered with the option of 1) no rain, 2) light rain, and 3) heavy rain. The results predicted using a domestic model of METRO-K have been submitted to the Urban Areas Working Group for the intercomparison with those of other models. In this study, as a part of these results using METRO-K, the countermeasures effectiveness in terms of dose reduction was analyzed and presented for the ground floor of a 24-story business building in a specified urban area. As a result, it was found that the countermeasures effectiveness is distinctly dependent on the rainfall intensity on the day of an event, and season when an event takes place. It is related to the different deposition amount of the radionuclides to the surfaces and different behavior on the surfaces following a deposition, and different effectiveness from countermeasures. In conclusion, a selection of appropriate countermeasures with consideration of various environmental conditions may be important to minimize and optimize the socio-economic costs as well as radiation-induced health detriments.

**Keywords** : Urban environment, Radioactive contamination, Countermeasure, Dose reduction