

# A Model for Evaluating the Radioactive Contamination in the Urban Environment

Wontae Hwang · Eunhan Kim · Hyojoon Jeong ·  
Kyungsuk Suh and Moonhee Han  
Korea Atomic Energy Research Institute

## 도시환경에서 방사성물질의 오염평가 모델개발

황원태 · 김은한 · 정효준 · 서경석 · 한문희  
한국원자력연구소

(2004년 12월 22일 접수, 2005년 7월 19일 채택)

**Abstract** - A model for evaluating radioactive contamination in the urban environment, named METRO-K, was developed as a basic step for accident consequence analysis in case of an accidental release. The three kind of radionuclides ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{131}\text{I}$ ) and the different chemical forms of iodine (particulate, organic and elemental forms) are considered in the model. The radioactive concentrations are evaluated for the five types of surface (roof, paved road, wall, lawn/soil, tree) as a function of time. Using the model, the contaminative impacts of the surfaces were intensively investigated with respect to with and without precipitation during the measurement periods of radionuclides in air. In addition, a practical application study was conducted using  $^{137}\text{Cs}$  concentration in air and precipitation measured in an European country at the Chernobyl accident. As a result, precipitation was an influential factor in surface contamination. The degree of contamination was strongly dependent on the types of radionuclide and surface. Precipitation was more influential in contamination of  $^{137}\text{Cs}$  than that of  $^{131}\text{I}$  (elemental form).

**Key words** : Urban environment, METRO-K, radioactive concentration, precipitation

**요약** - 원자력 시설의 사고로 대기 중으로 누출된 방사성 핵종의 도시환경 오염에 따른 사고결과해석을 위한 기본 단계로써 도시환경에 대한 오염평가 모델 METRO-K를 개발하였다. 모델은 3가지 방사성 핵종 ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{131}\text{I}$ )을 고려하며, 그 중에서 요오드는 3가지 다른 화학적 형태 (입자형태, 유기형태, 원소형태)를 구분하여 다루고 있다. 모델은 도시환경을 구성하는 5가지 주요 표면 (지붕, 포장도로, 벽, 잔디/토양, 나무)에 대해 시간에 따른 방사성물질의 농도를 평가한다. 개발된 모델을 사용하여 강우량에 따른 표면의 오염영향과 아울러 체르노빌 사고시 유럽지역에서 측정된 공기중  $^{137}\text{Cs}$  농도와 강우량 자료를 사용한 적용결과를 고찰하였다. 고찰결과 대부분 표면에서 강우량은 오염에 중요한 영향을 나타냈으며, 이러한 영향의 정도는 표면과 핵종에 따라 상이한 결과를 보였다.  $^{137}\text{Cs}$ 의 오염은  $^{131}\text{I}$  (원소형태)에 비해 강우에 보다 민감한 영향을 나타냈다.

**중심어** : 도시환경, METRO-K, 방사성물질 농도, 강우

## 서 론

원자력 시설로부터 대기 중으로 방출된 방사성 핵종

은 지상으로 침적되고 여러 환경매체를 거쳐 최종적으로 인체에 대한 방사능 위험을 주게 된다. 지상으로 침적된 핵종으로부터  $\beta$ 와  $\gamma$ 선에 의

한 외부피폭은 사고결과해석에서 인체에 대한 중요한 피폭경로로 고려된다. 영국의 Sizewell 가압경수로에 대한 가상 사고해석의 결과를 보면 지표 침적에 의한 외부피폭은 방사선에 의한 총 치사암 발생의 최대 74%까지 차지하며, 유형별 사고 발생확률을 고려한 가중 평균 치사암 발생에 대해서도 65%나 차지하는 것으로 나타났다[1].

원자력 시설의 사고로 대기로 누출된 방사성 핵종의 환경내 거동에 대한 실험적 또는 이론적 연구는 그동안 주로 인구가 밀집되어 있지 않고 또한 산업화가 상대적으로 낙후된 농촌환경 (일반적으로 토양)을 대상으로 이루어져 왔다. 그 이유는 우리나라를 포함한 대부분 나라에서 원자력 시설은 농촌지역에 위치하기 때문이다. 그러나 원자력 시설의 사고로 핵종이 대기로 누출되면 광범위한 지역까지 오염의 영향을 주게 되는데, 이러한 사실은 유럽의 대부분 지역까지 오염영향을 미친 1986년 체르노빌 원전사고의 경험에서 보다 명확하다. 도시지역의 표면은 농촌지역과 비교하여 상대적으로 시멘트 또는 아스팔트 등으로 포장된 지역이 많으며, 이러한 표면의 종류에 따라 핵종의 거동은 큰 차이를 나타낼 수 있다[1]. 뿐만 아니라 도시지역은 농촌지역에 비해 상대적으로 높은 인구밀도로 만일의 사고로 핵종이 대기로 누출된다면 도시집단의 인체에 대한 방사능 위해는 농촌집단보다 높을 수 있을 뿐 아니라 상대적 산업화 등으로 경제적, 사회적 영향 등은 보다 심각할 수 있다. 이러한 다양한 이유로 특히 체르노빌 사고 이후에 도시환경에 대한 핵종 거동연구는 전 세계적으로 많은 관심의 대상이 되고 있다.

도시환경은 방사성 핵종의 침적에 중요한 영향을 미치는 표면 뿐 아니라 주민의 거주형태와 생활유형, 주변의 환경 등에 있어서 농촌환경과 상당한 차이를 나타낸다. 따라서 대기로 누출된 핵종에 의한 다양한 피해를 최소화하기 위해서는 도시환경에 대한 이들의 체계적 연구가 필수적이다. 본 연구는 원자력시설의 사고로 대기로 누출된 핵종으로 도시환경 오염에 따른 사고결과해석을 위한 기본 단계로서 핵종의 농도를 모사할 수 있는 모델을 개발하는데 그 목적이 있다.

## 본 론

도시환경에 대한 핵종 거동연구는 1980년대 초부터 이미 유럽을 중심으로 부분적으로 시작되었

다. 특히 체르노빌 사고는 이에 대한 연구동기의 기폭제가 되었으며, 사고의 직접적 영향을 받은 유럽국가를 중심으로 현재 연구가 활발히 진행 중에 있다. 이에 발맞추어 국제원자력기구 (IAEA)에서는 1988년부터 약 6년간에 걸쳐 국제 공동프로그램 VAMP (**V**alidation of **E**nvironmental **M**odel **P**rediction)[2]를 주관하여 각 국에서 도시환경에 대한 핵종거동의 지식을 집대성할 수 있는 기회를 마련하였다. 또한 최근에 IAEA에서는 도시환경에 대한 핵종거동의 보다 나은 이해를 얻고자 VAMP 프로그램을 확장하여 2003년부터 국제 공동프로그램 EMRAS (**P**rogramme on **E**nvironmental **M**odeling for **R**adiation **S**afety)를 운영하고 있는 중이다. 현재까지 개발된 도시환경 오염평가 주요 모델로는 영국 NRPB (National Radiological Protection Board)의 EXPURT[3], 캐나다 AECL (Atomic Energy of Canada Limited)의 CHERURB-95[4], 브라질과 독일 GSF (Institute of Radiation Protection) 연구소가 공동 개발한 PARATI[5] 등을 들 수 있다.

원자력 시설은 대부분 도시지역으로부터 수 십 km 이상 떨어진 농촌지역에 위치하기 때문에 도시지역까지 방사성물질이 도달하기까지는 상당한 시간이 걸리며, 대기에서 이동에 따른 확산 또는 희석 등으로 방사선에 의한 인체의 급성적 (acute) 영향보다는 주로 만성적 (chronic) 영향을 주게 된다. 따라서 대기확산모델로부터 공기중 핵종 농도의 예측값은 많은 불확실성을 나타내기 때문에 실측값으로부터 도시환경의 피해 최소화를 위한 대응책을 수립하는 것이 보다 효과적일 것이다. 다만 신속한 예측이 필요한 경우 또는 실측치 자료가 부족한 경우에는 대기확산모델로부터 예측된 공기중 농도 자료가 유용할 수 있다. 이러한 이유로 현재까지 개발된 대부분 도시환경 오염평가 모델은 대기확산모델과는 독립적으로 구성되어 있다. 본 연구를 통해 개발된 도시환경 오염평가 모델 METRO-K (**M**odel for **E**valuating the **T**ransient Behavior of **R**adiOactive Materials in **K**orean Urban Environment)에서는 아직까지 국내 자료의 부족으로 모델 변수값은 주로 EXPURT와 CHERURB-95의 고찰을 통해 선택하여 적용하였다. 그림 1은 METRO-K의 평가 흐름도를 보여주며, 누구나 쉽게 이용할 수 있도록 MS Excel로 작성하였다. 시간대별 공기중 농도 ( $Bq\ m^{-3}$ ), 강우량 (mm), 핵종의 화학적 형태별 방출분율이 사용자에게 의해 프로그램에 입력되면, 최종적으로 시간에 따른 표면별 농도가 평가된다. 현

재까지 METRO-K에서는 원자력발전소 사고시 지표침적에 의한 외부피폭에 중요하게 영향을 미치는 3가지 핵종 ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{131}\text{I}$ ), 도시환경을 구성하는 5가지 주요 표면 (기와지붕, 포장도로, 콘크리트벽, 잔디/토양, 가로수 나무)을 고려하고 있다. 요오드는 크게 3가지 다른 화학적 형태 (입자, 유기, 원소형태)로 환경으로 방출될 수 있는데[6], 이들 화학적 형태에 따라 환경에서 거동은 상당한 차이를 나타낸다. 따라서 요오드의 경우에는 입자, 유기, 원소형태를 구분하여 적용된다. 다음은 METRO-K에 적용된 도시환경 오염평가 과정을 기술한다.

1. 건침적에 의한 표면 오염

원자력 시설로부터 누출된 방사성 핵종은 여러 과정을 거쳐 대기로부터 제거된다. 강우와 안개 등이 존재하지 않는 기상조건에서 확산과 중력 등에 의해 제거되는 과정을 건침적 (dry deposition)이라 하며, 침적되는 정도는 주변의 기상조건, 입자의 크기, 핵종의 물리적/화학적 특성, 침적되는 표면의 특성 등 50여 가지 이상의 요소가 복합적으로 작용한다[7]. 이러한 복잡한 현상 때문에 침적되는 정도는 일반적으로 핵종과 표면의 상태만을 고려하여 실험적으로 구한 비례상수인 건침적속도 ( $v_g$ ,  $\text{m sec}^{-1}$ )를 사용하여 모사한다[6].

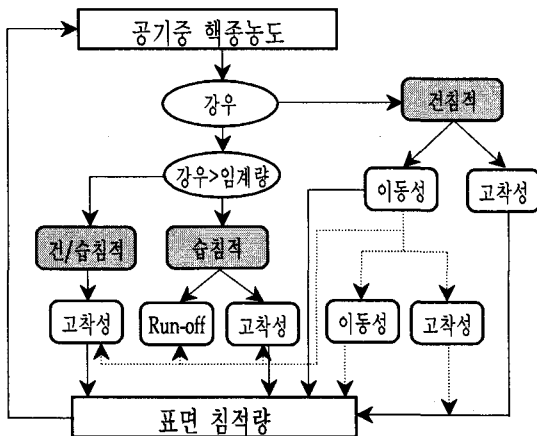


Fig. 1. Schematic diagram of METRO-K ; The dotted lines represented the behavior of radionuclides being deposited previously.

$$v_g = \frac{C_A(x, y, T)}{\int_0^T x(x, y, z, t) dt} \quad (1)$$

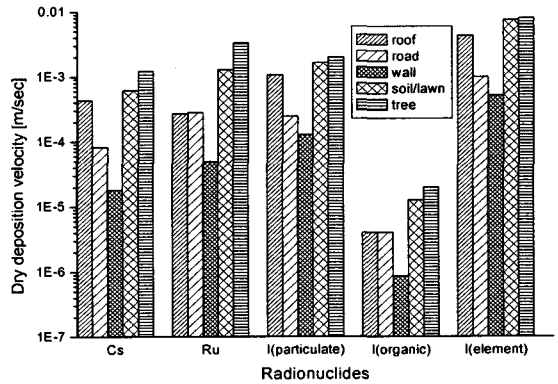


Fig. 2. Deposition velocity for the major surfaces of urban environment[4].

여기서,

$C_A(x, y, T)$  :  $x, y$  지점에서 시간  $T$  동안 침적으로 인한 표면농도 ( $\text{Bq m}^{-2}$ )

$x(x, y, z, t)$  :  $x, y, z$  공간의 시간  $t$  에서 공기중 농도 ( $\text{Bq m}^{-3}$ )

침적속도에 대한 실험은 지난 수 십년 동안 수행되어 오고 있으며, 특히 체르노빌 원전사고는 이를 실제적으로 재평가할 수 있는 기회를 제공하였다. CHERURB-95에서는 체르노빌 이후 재평가된 건침적속도를 적용하고 있는데, 그림 2는 도시환경을 구성하는 주요 표면에 대한 건침적속도를 나타냈다[4].

건침적된 핵종의 일정 부분은 표면의 습기 등에 의해 고착되는데, 고착된 핵종은 바람이나 강우 등과 같은 외부의 환경적 요인에 의해 쉽게 제거되지 않는 반면 나머지 부분은 상대적으로 쉽게 제거된다. 전자를 고착성 분율 (fixed fraction) 후자를 이동성 분율 (mobile fraction,  $f_m$ )이라 한다. 현재까지 개발된 여러 도시환경 오염모델[3,4]에서는 핵종에 관계없이 초기 침적량 중에서 90%는 고착성, 나머지 10%는 이동성으로 가정하고 있다. 이들의 자료를 사용하여 하루당 건침적량은 다음 식으로 평가될 수 있다.

$$D_m(\Delta t, s) = 86400 \cdot f_m(s) \cdot C_{air}(\Delta t) \cdot v_g(s) \quad (2)$$

$$D_f(\Delta t, s) = 86400 \cdot [1 - f_m(s)] \cdot C_{air}(\Delta t) \cdot v_g(s) \quad (3)$$

여기서,

$D_m(\Delta t, s)$  :  $\Delta t$  시간동안 표면  $s$  에 대한 이동성 핵종의 침적량 ( $Bq\ m^{-2}$ )

$D_f(\Delta t, s)$  :  $\Delta t$  시간동안 표면  $s$  에 대한 고착성 핵종의 침적량 ( $Bq\ m^{-2}$ )

$C_{air}(\Delta t)$  :  $\Delta t$  시간동안 평균 공기중 농도 ( $Bq\ m^{-3}$ )

86400 : 단위환산인자

표면에 잔류하는 이동성 핵종은 습기 등 환경적 요인으로 침적 후 하루당 70% 정도가 고착되고[4], 나머지는 여전히 이동성으로 남게 된다. 핵종의 환경방출 후 시간에 따른 건침적에 의한 표면에서 농도는 방사능 붕괴를 고려하여 각 시간 동안 평가된 농도를 누적하여 얻는다.

### 2. 습침적에 의한 표면 오염

강우와 안개 등은 대기로부터 방사성물질을 제거하는데 중요한 환경적 요소인데, 이들에 의해 제거되는 과정을 습침적 (wet deposition)이라 한다. 습침적되는 정도는 일반적으로 washout ratio ( $w_p$ ,  $m^3\ air/m^3\ rain$ )에 의해 정량적으로 나타낸다[6].

$$w_p = \frac{c_p}{\bar{\chi}(z)} \quad (4)$$

여기서,

$c_p$  : 강우중 핵종 농도 ( $Bq\ m^{-3}\ rain$ )

$\bar{\chi}(z)$  : 지표면 부근 높이  $z$  에서 공기중 핵종 농도 ( $Bq\ m^{-3}\ air$ )

Washout ratio는 입자상 핵종 (입자상 요오드 포함)의 경우  $9.26 \times 10^5$ , 유기 및 원소형태 요오드의 경우 각각  $8.44 \times 10^3$ ,  $2.03 \times 10^5$ 의 값을 갖는다[4]. 습침적의 경우 일정 강우량 이상에서는 표면에서 핵종의 run-off가 일어나는데 이러한 run-off가 일어날 수 있는 최소 강우량을 임계 강우량 (critical amount of precipitation ; CP)이라 한다[3,4,7]. 이는 그림 3에 나타낸 바와 같이[4] 표면에 따라 다른데 CP가 크다는 것은 강우를 보유할 수 있는 능력이 커서 run-off가 잘 일어나지 않는다는 것을 의미한다. CP 이하의 강우에서는 건침적과 습침적이 동시에 일어나며[4], CP 이상의 강우에서는 습침적만 일어난다고 가정한다. 이때 CP 이하의 강우에서 건침적되는 핵종은 모두

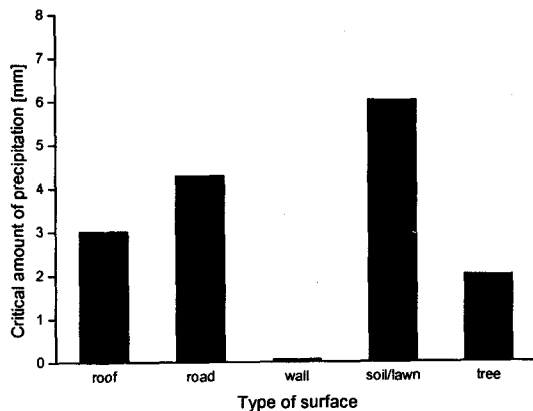


Fig. 3. Critical amount of precipitation[4].

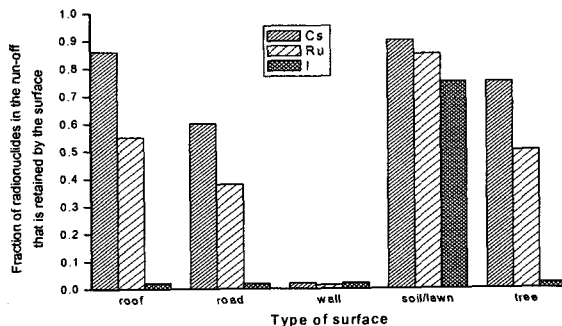


Fig. 4. Fraction of radionuclides in the run-off that is retained by the surface[4].

고착성으로 가정한다. CP 이상의 강우에서 CP를 초과한 강우량은 run-off되며, 이 중에서 일정 분은 표면에 여전히 남게 되고 나머지는 run-off되는 빗물과 함께 다른 지역으로 이동된다. Run-off되는 빗물과 함께 이동되지 않고 표면에 잔류하게 되는 핵종 분율 ( $f_{ret}$ )은 그림 4[4]에 나타낸 바와 같이 핵종과 표면에 따라 다르다. 이러한 가정에 따라 CP 이하와 이상에서 하루당 침적량은 각각 식 (5)와 식 (6)으로 평가될 수 있다.

$$D_{LR}(\Delta t, s) = 1 \times 10^{-3} \cdot C_{air}(\Delta t) \cdot P(\Delta t) \cdot w_p + 86400 \cdot C_{air}(\Delta t) \cdot v_g(s) \quad (5)$$

$$D_{HR}(\Delta t, s) = 1 \times 10^{-3} \cdot C_{air}(\Delta t) \cdot [CP(s) + (P(\Delta t) - CP(s)) \cdot f_{ret}(s)] \cdot w_p \quad (6)$$

여기서,

$D_{LR}(\Delta t, s)$  : CP 이하의 낮은 강우에서  $\Delta t$  시간 동안 표면  $s$ 에 대한 침적량 ( $Bq\ m^{-2}$ )

$D_{HR}(\Delta t, s)$  : CP 이상의 높은 강우에서  $\Delta t$  시간 동안 표면  $s$ 에 대한 침적량 ( $Bq\ m^{-2}$ )

$P(\Delta t)$  :  $\Delta t$  시간 동안 강우량 (mm)

$1 \times 10^{-3}$  : 단위환산인자

식 (5)에서 오른쪽 첫 번째 항은 습침적, 두 번째 항은 건침적에 의한 영향을 나타낸다. CP 이하의 강우에서는 이전 시간까지 건침적된 이동성 핵종은 모두 표면에 고착되며, CP 이상에서는 이들 핵종은 모두 run-off 된다고 가정한다. 핵종의 환경방출 후 시간에 따른 표면에서 농도는 방사능 붕괴를 고려하여 각 시간동안 평가된 농도를 누적하여 얻는다.

### 결과 및 고찰

본 연구를 통해 개발된 도시환경 오염평가 모델 METRO-K를 사용하여 가상 사고 시나리오에 대해 도시환경을 구성하는 주요 표면별 방사성 핵종의 농도를 고찰하였다. 핵종의 환경방출은 5일 동안 일정하게 진행되고 도시지역의 공기중 농도도 같은 기간동안 일정하게 유지된다고 가정하였다. 장반감기 핵종  $^{137}Cs$  (반감기 : 30년)과 단반감기 핵종  $^{131}I$  (반감기 : 8일)이 각기  $1\ Bq\ m^{-3}$ 의 공기중 농도가 도시지역에서 측정되었으며,  $^{131}I$ 의 경우에는 전량이 원소형태로 방출되었다고 가정하였다.

그림 5는 측정기간 내내 강우가 없는 경우 표면에서  $^{137}Cs$ 과  $^{131}I$ 의 농도변화를 나타냈다. 두 핵종 모두 나무, 잔디/토양, 지붕, 포장도로, 벽의 순으로 농도가 높았는데, 이는 표면에 따른 핵종의 건침적 속도와 직접 관계한다. 원소형 요오드의 상대적 높은 침적속도로  $^{131}I$ 의 농도가  $^{137}Cs$ 의 농도보다 높게 나타났다.

그림 6은 측정이 시작된 후 2일 동안은 하루당 1 mm의 약한 강우가 있고 나머지 기간 동안은 강우가 없는 경우 표면에 따른  $^{137}Cs$ 과  $^{131}I$ 의 농도를 나타냈다. 두 핵종 모두 표면에서의 농도는 습침적에 의한 기여가 건침적에 의한 기여보다 우세하다는 것을 보여준다. 측정이 종료된 직후

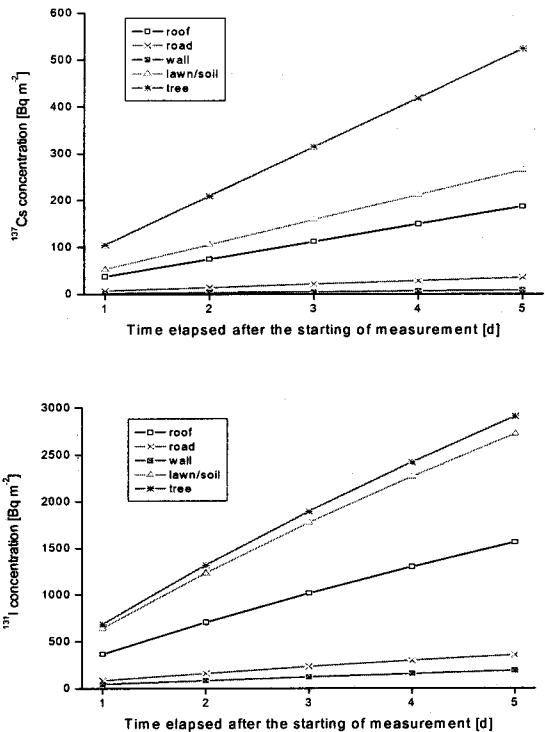


Fig. 5. Radionuclide concentration on the different surfaces in case of no precipitation for 5 days after the starting of measurement ; It is assumed that the radionuclide concentration in air is  $1\ Bq\ m^{-3}$  over all measurement period.

표면에서  $^{137}Cs$ 의 농도는 습침적에 의한 기여가 85% 이상을 차지하였다. 반면  $^{131}I$ 은 상대적으로 강우에 영향을 적게 받는다는 것을 알 수 있다.

그림 7은 측정이 시작된 후 2일 동안은 하루당 10mm의 많은 강우가 있고, 나머지 기간 동안은 강우가 없는 경우 표면에 따른  $^{137}Cs$ 과  $^{131}I$ 의 농도를 나타냈다. 강우는 핵종의 침적에 있어서 매우 중요한 요소라는 사실을 확연히 나타내며,  $^{137}Cs$ 의 경우는 더욱 더 그러하다. 그림 6에 나타난 바와 같이 강우량이 적은 경우에는 나무에서  $^{137}Cs$  농도가 가장 높은 반면 많은 경우에는 잔디/토양에서 가장 높았다. 그 이유는 잔디/토양이 나무보다 임계 강우량 (CP)과 run-off되는 핵종 중 표면에 잔류분율이 상대적으로 높기 때문이다.  $^{131}I$ 의 경우 잔디/토양과 도로의 표면은 강우기간 중 농도의 증가가 뚜렷한 반면, 나무에서는 강우가 없는 기간에서 농도의 증가율이 더 높게 나타났다. 이는  $^{137}Cs$ 과 달리 요오드는 빗물에 용해되기 쉬우며, 결과적으로 run-off되는 빗물 내 핵종의 표면 잔류성이 매우 낮기 때문이다. 즉 표면의

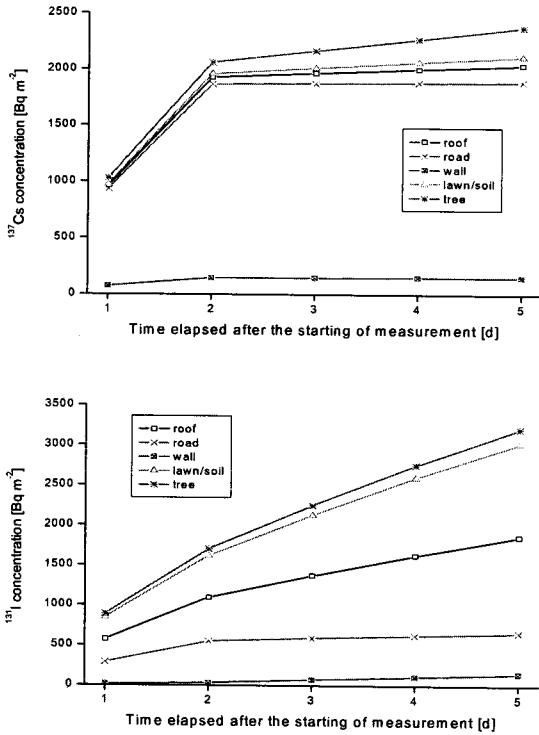


Fig. 6. Radionuclide concentration on the different surfaces in case of light precipitation of 1 mm per day for 2 days after the starting of measurement and no precipitation for 3 days ; It is assumed that the radionuclide concentration in air is 1 Bq m<sup>-3</sup> over all measurement period.

로 낙하된 초기 빗물과 run-off되는 빗물에서 <sup>131</sup>I의 농도는 거의 차이가 거의 없다는 것을 의미한다. 도로의 표면에서 <sup>131</sup>I의 농도는 강우가 종료된 후 계속해서 건침적이 일어남에도 농도는 상대적으로 짧은 반감기로 농도는 서서히 감소함을 나타냈다.

METRO-K를 보다 실제적 사고 시나리오에 적용하고 그 결과를 고찰하였다. 체르노빌 사고당시 유럽에서 측정된 <sup>137</sup>Cs의 공기중 농도와 강우량 자료[2]를 사용하여 METRO-K로의 적용결과를 그림 8에 나타냈다. 공기중 <sup>137</sup>Cs은 12일 동안 관측되었는데 측정이 시작된 후 3일째 되는 날에 최대치를 보였다. 측정이 시작된 후 8일째 되는 날에는 공기중 농도는 상대적으로 크게 감소한 반면 많은 양의 강우가 있었다. 결과에서 보여준 바와 같이 강우는 표면 농도에 있어서 매우 중요한 요소라는 사실을 알 수 있었다. 그 예로 측정이 시작된 후 8일째에 관측된 <sup>137</sup>Cs의 공기중 농도는 관측된 전 기간에 대해 상대적으로 높지는

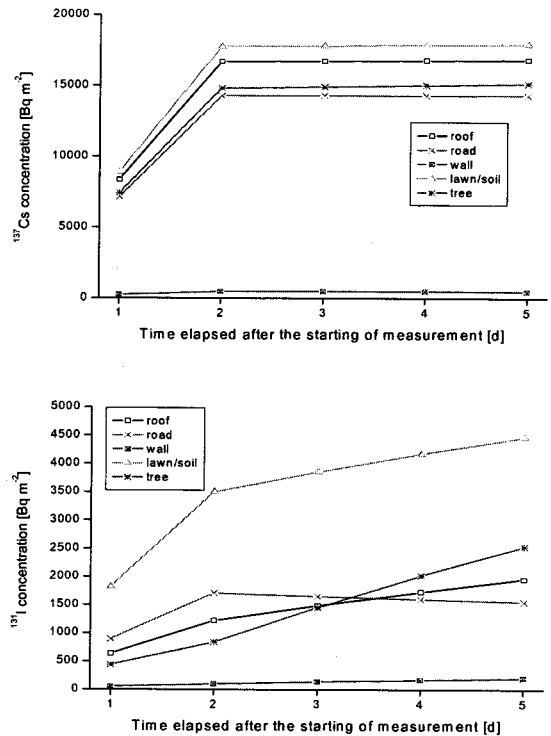


Fig. 7. Radionuclide concentration on the different surfaces in case of heavy precipitation of 10 mm per day for 2 days after the starting of measurement and no precipitation for 3 days ; It is assumed that the radionuclide concentration in air is 1 Bq m<sup>-3</sup> over all measurement period.

않지만, 당시 많은 강우로 인한 표면 농도의 증가는 다른 기간에 비해 훨씬 높게 나타났다. 측정이 종료된 후 <sup>137</sup>Cs의 표면 농도는 나무에서 가장 높게 나타난 반면, 건물의 벽에서는 그것의 1/15 정도에 불과하였다.

국제공동 프로그램 VAMP에서는 모델결과의 상호비교를 위해 블라인더 테스트 (blind test)를 수행하였다. 그중 하나는 강우가 없는 경우 <sup>137</sup>Cs의 1.0 x 10<sup>5</sup> Bq hr m<sup>-3</sup> 공기중 농도에 대해 도시환경을 구성하는 표면의 농도를 예측하는 것이다. 참가한 모델로부터 평가한 최적 값 (best estimates)은 지붕, 포장도로, 벽, 잔디/토양, 나무 표면에 대해 각각 3 x 10<sup>4</sup> ~ 3 x 10<sup>5</sup> Bq m<sup>-2</sup>, 2 x 10<sup>4</sup> ~ 2 x 10<sup>5</sup> Bq m<sup>-2</sup>, 2 x 10<sup>3</sup> ~ 5 x 10<sup>4</sup> Bq m<sup>-2</sup>, 3 x 10<sup>4</sup> ~ 1 x 10<sup>6</sup> Bq m<sup>-2</sup>, 2 x 10<sup>5</sup> ~ 3 x 10<sup>6</sup> Bq m<sup>-2</sup>의 범위를 나타냈다[2]. METRO-K의 평가결과는 각각 1.56 x 10<sup>5</sup> Bq m<sup>-2</sup>, 2.93 x 10<sup>4</sup> Bq m<sup>-2</sup>, 6.48 x 10<sup>3</sup> Bq m<sup>-2</sup>, 2.20 x 10<sup>5</sup> Bq m<sup>-2</sup>, 4.36 x 10<sup>5</sup> Bq m<sup>-2</sup>을 나타냈으며,

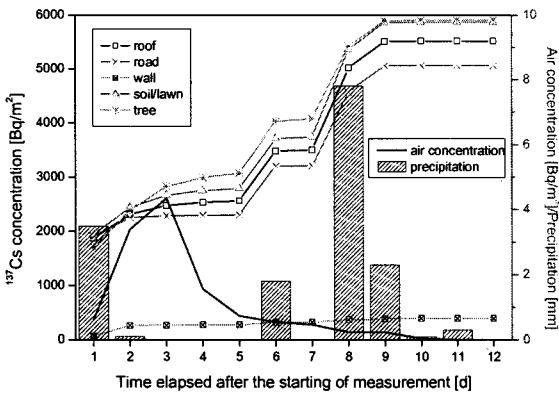


Fig. 8. Radionuclide concentration on the different surfaces using the data measured at an European country at the Chernobyl accident.

VAMP 프로그램에 참가한 모델결과의 범위내에서 잘 일치함을 알 수 있었다.

### 결 론

원자력 시설의 사고로 대기로 누출된 방사성 핵종의 도시환경 오염에 따른 사고결과해석을 위한 기본 단계로써 도시환경에 대한 침적모델 METRO-K를 개발하였다. 개발된 모델을 사용하여 강우량에 따른 표면의 오염영향과 아울러 체르노빌 사고시 유럽지역에서 측정된 공기중 <sup>137</sup>Cs 농도 자료를 사용한 적용결과를 고찰하였다. 고찰 결과 대부분 표면에서 강우량은 오염에 중요한 영향을 나타냈으며, 이러한 영향의 정도는 표면과 핵종에 따라 상이한 결과를 보였다. <sup>137</sup>Cs의 침적은 <sup>131</sup>I (원소형태)에 비해 강우에 보다 민감한 영향을 나타냈다.

본 연구를 통해 개발된 METRO-K는 향후 피폭자의 거주 위치에 따른 각 표면별 피폭 선량평가 등 그 기능을 확장할 예정이다. 이러한 연구는

도시 거주민에 대한 신뢰성 있는 방사선 피폭평가와 함께 적절한 대응책 수립에 기여할 것이다.

### 참고문헌

- G. N. Kelly, "The Importance of the Urban Environment for Accident Consequences", Radiation Protection Dosimetry Vol. 21 No. 1/3, 13-2 (1985)
- IAEA, "Validation of Environmental Model Predictions (VAMP) : A Programme for Testing and Improving Biospheric Models Using Data from the Chernobyl Fallout", STI/PUB/932 (1993).
- M. J. Crick and J. Brown, "EXPURT : A Model for Evaluating Exposure from Radioactive Material Deposited in the Urban Environment", NRPB report, NRPB-R235 (1990)
- S-R. Peterson et al., "CHERURB-95 : Urban Contamination and Dose Model", A research report prepared for the Atomic Energy Control Board(1995)
- E. R. Rochedo, L. F. Conti and H. G. Paretzke, "PARATI - A Dynamic Model for Radiological Assessments in Urban Areas ; Part I. Modelling of Urban Areas, Their Contamination and Radiation Fields", Radiat. Environ. Biophys., 35, 243-261(1996)
- John E. Till and H. Robert Meyer, "Radiological Assessment - A Textbook on Environmental Dose Analysis", U. S. NRC, NUREG/CR-3332, ORNL-5968(1983)
- IAEA, "Modelling the deposition of airborne radionuclides into the urban environment : First report of the VAMP Urban Working Group", IAEA-TECDOC-760(1994)