

## Analysis of the Distributional Effects of Radioactive Materials on External Gamma Exposure

Moon-Hee Han, Eun-Han Kim, Kyung-Suk Suh,  
Won-Tae Hwang and Young-Gil Choi  
Korea Atomic Energy Research Institute

### 방사성물질의 분포특성에 따른 외부 감마피폭해석

한문희 · 김은한 · 서경석 · 황원태 · 최영길

한국원자력연구소, 원자력환경연구팀  
(1998년 8월 23일 접수, 1998년 12월 4일 채택)

**Abstract** - The distributional effects of radioactive materials on external gamma exposure have been analyzed. An approximate method for estimating external gamma dose given from an arbitrary distribution of radioactive material has been developed. The minimum gamma exposure given from a point source is shown at 0.07 MeV if the source to receptor distance is shorter than 10 m. But if the receptor to point source distance is longer than 20 m, gamma exposure rate increases monotonously according to the average gamma energy. For the analysis of the effects of volume source, we estimated the gamma dose given from different size of hemisphere in which radioactive materials are distributed uniformly. When the radius of hemisphere is longer than 40 m, external gamma dose rate increases monotonously. The gamma dose rate given from the radioactive materials deposited on the ground shows the minimum value at 0.07 MeV in any case. The analysis shows that external gamma exposure is strongly dependent on the distribution of radioactive materials in the environment and gamma energy.

**Key Words** : external gamma exposure, point source, area source, volume source

**요약** - 감마선원과 피폭자 사이의 거리, 방사선원의 크기 그리고 평균 감마에너지에 따른 외부 감마 피폭선량률의 변화를 분석하였다. 임의 형태로 공기중과 지표에 침적된 방사성물질로부터 외부 감마 피폭선량을 평가하기 위해 개발된 방법을 이용하여 분석을 수행하였다. 공기중의 점선원과 피폭자 사이의 거리가 10 m 이내로 짧은 경우에는 평균 감마에너지가 0.07 MeV에서 피폭선량률이 최소값을 나타내고, 거리가 20 m 이상으로 멀어지면 감마에너지의 증가에 따라 계속적으로 피폭선량률이 증가한다. 반경 40 m 이상의 반구형태의 방사능 구름으로부터 반구의 중심에 위치한 피폭자의 경우에는 감마에너지 증가에 따라 계속적으로 피폭선량률이 증가한다. 지표에 침적된 방사선원으로부터 피폭을 받는 경우에는 지표선원의 면적크기에 상관없이 0.07 MeV에서 최소 피폭선량률이 나타난다. 분석결과 방사선원의 분포형태와 평균 감마에너지가 외부 감마피폭선량의 변화에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

**중심어** : 외부감마피폭, 점선원, 면선원, 체적선원

### 서론

방사선 비상시 방호계획을 수립할 때 가장 중요한 판단기준은 환경으로 누출된 방사성물질의 이동경로와 인체에 미치는 방사선 피폭선량이다. 환경으

로 방사성물질이 누출되면 공기중 방사성물질에 의한 외부피폭, 지표에 침적된 방사성물질에 의한 내부피폭, 공기중 방사성물질의 호흡에 의한 내부피폭 그리고 오염된 음식물섭취에 의한 내부피폭 등 여러 경로를 통하여 인체에 방사선 피해를 줄

수 있다. 따라서 방사선 비상시에는 주변의 기상과 지형 등의 환경 특성을 고려하여 신속히 방사성물질의 이동경로를 파악하고 이동경로별 방사선 피폭선량을 예측할 필요가 있다.

외부 감마피폭선량은 피폭선량 평가의 기본이 되며 특히 방사선 비상초기에 주민보호를 위한 방호대책을 결정할 때 가장 중요한 자료이다. 대기 중에 임의 형태로 분포된 방사성물질로부터 주어지는 외부 감마피폭선량의 계산은 매우 복잡하다. 그 이유는 (1) 방사성물질을 포함한 방사능 구름이 대기중을 이동함에 따라 분포형태가 시간에 따라 변하고, (2) 방사성물질은 대기중을 이동하며 일부가 지표면에 침적되며 그리고 (3) 감마선의 영향력이 공기중에서 수 백미터의 먼 거리까지 미치기 때문이다[1]. 지금까지 대기중의 방사성물질의 분포를 정규분포 형태로 가정한 여러가지의 단순 모델들이 개발되어 왔다[2~5]. 이들 모델들은 기본적으로 넓고 평탄한 지형을 대상으로 하고 있다. 따라서 우리나라와 같이 복잡한 산악지형에 정규분포 형태를 가정한 단순모델을 적용할 경우 오염물질의 확산예측과 피폭평가 결과에 큰 오차가 발생할 수 있다. 그러므로 복잡한 지형에 임의 형태로 분포된 방사성물질로부터 피폭계산이 가능한 상세 모델의 개발이 필요하다. 상세 피폭 해석모델을 개발하기 위해서는 방사성물질의 분포 특성이 외부 감마피폭에 미치는 영향을 분석할 필요가 있다.

외부 감마피폭선량률은 방사성물질의 분포특성과 감마선원의 평균 감마에너지에 따라 다르게 나타난다. 본 연구에서는 공기중에 위치한 점선원(point source), 체적선원(volume source) 및 지표에 침적된 방사성물질의 면선원(area source)에 의한 외부 감마피폭선량률을 분석하였다. 점선원으로부터의 외부 감마피폭선량률은 널리 사용되는 기본 산술식을 이용하였다. 체적선원과 면선원으로부터 주어지는 외부 감마피폭의 평가는 매우 복잡하여 수치적분법이나 몬테칼로 적분법[6,7]을 적용하여 임의 분포의 방사선원으로부터의 피폭평가를 할 수 있다. 본 연구에서는 Romberg 구적법[8]을 이용하여 면선원과 체적선원에 의한 외부 감마피폭선량을 평가하였다[9].

### 외부 감마피폭 평가방법

#### 공기중 점선원으로부터의 피폭

공기중에  $E_\gamma$ [MeV]의 평균에너지와  $q$ [Ci]의 세기를 갖는 점선원으로부터 거리  $r$ [m] 만큼 떨어진

지점에 피폭자가 위치해 있을 때, 점선원으로부터 주어지는 외부피폭선량률  $\gamma \dot{D}$ [rad·sec<sup>-1</sup>]는 아래의 식으로 나타낼 수 있다[2].

$$\gamma \dot{D}_{(x,y,z,t)} = 0.0404 \frac{\mu_a \cdot q \cdot E_\gamma \cdot B(\mu, \mu_a, r) \cdot e^{-\mu r}}{r^2} \quad (1)$$

여기서,  $\mu_a$ 는 공기중에서의 에너지 흡수계수[m<sup>-1</sup>],  $\mu$ 는 공기중에서의 총 감쇄계수[m<sup>-1</sup>], 그리고 B는 재생계수(buildup factor)로 다음식으로 표현된다.

$$B(\mu, \mu_a, r) = 1 + k \mu r, \quad (2)$$

$$k = (\mu - \mu_a) / \mu_a \quad (3)$$

공기중에서의  $\mu$ 와  $\mu_a$ 값은 그림 1에 나타난 바와 같이 평균감마에너지에 따라 변화한다[10]. 본 연구에서는 그림 1로부터  $\mu$ 와  $\mu_a$ 에 대한 최적함수를 구하여 임의의 감마에너지에 대한 피폭계산이 가능하도록 하였다.

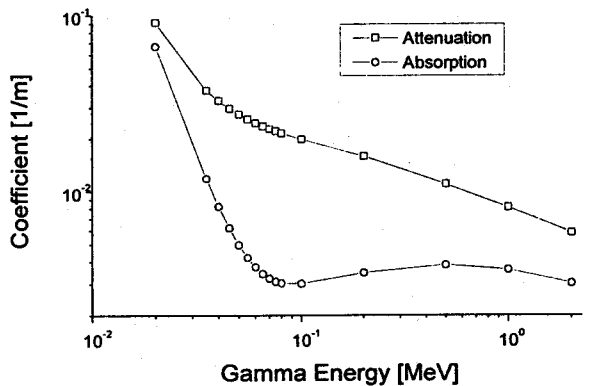


Fig. 1. Attenuation coefficients and absorption coefficients for gamma rays as a function of energy in the air.

#### 3차원 공간내에 임의 분포형태의 방사성물질로부터의 피폭

환경으로 누출된 방사성물질은 바람을 타고 대기중에서 이동하고 확산되어 넓은 공간에 분포하

게 된다. 바람장은 주변의 지형과 기상 상태에 따라 결정되므로 지형이 복잡한 경우에는 방사성물질의 분포 또한 복잡하게 나타난다. 공간에 분포한 방사성물질로부터 주어지는 피폭선량은 식 (1)로 표현되는 점선원에 의한 피폭계산식을 방사성물질이 존재하는 모든 공간에 대하여 아래와 같이 적분하여 얻을 수 있다.

$$\gamma \dot{D}_{cl} = \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \gamma \dot{D}(x,y,z,t) dx dy dz \quad (4)$$

실제의 경우에 식 (4)를 적용하여 피폭선량을 계산하는 일은 매우 어렵다. 더구나 복잡한 지형과 기상조건에 의해 방사성물질의 분포가 산술식으로 단순하게 표현되지 않는 경우에는 그 계산이 더욱 어려워진다. 그런데 평지에서 오랜 시간 바람이 한 방향으로 지속적으로 부는 경우에는 오염물질의 분포형태가 정규분포를 갖게 된다. 지금까지 정규분포를 가정한 피폭선량 평가모델이 많이 개발되어 왔다. 이들 정규분포를 가정한 모델은 계산이 쉽고 결과가 보수적인 특성이 있어 널리 이용되고 있다. 그러나 이들 단순모델을 복잡한 산악지형에 적용할 경우에는 큰 오류가 발생할 수 있다.

복잡한 지형을 반영하여 현실적인 피폭평가를 수행하기 위해서 수치적분모델을 적용한 상세모델이 개발되어 활용된다[12]. 이들 상세모델의 경우에는 3차원 공간을 육면체 격자의 집합으로 취급한다. 각 격자에서의 바람장과 방사성물질의 농도 분포를 계산한 후 각 격자로부터 지표면 위의 피폭자에게 주어지는 피폭선량을 합산하면 임의 분포의 방사성물질로부터 받게되는 총 피폭선량을 구하게 된다.

$$\gamma \dot{D}_{tot} = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n \gamma \dot{D}(x_i, y_j, z_k, t) \quad (5)$$

여기서 l, m, n은 각각 x, y, z 방향의 격자의 수를 나타내고, i, j, k는 각각 x, y, z 방향에서의 격자의 위치를 나타낸다.

**지표면위 반구형태의 방사성물질 분포로부터의 피폭**

공기중으로 누출된 방사성물질이 지표면과 접하

며 넓게 퍼지는 경우를 고려할 필요가 있다. 계산의 편의를 위하여 반구형태의 방사성물질의 분포로부터의 외부감마피폭을 고려하였다. 이 계산은 구(sphere) 형태의 방사성물질의 분포로부터의 피폭계산식을 변형하여 수행할 수 있다. 그림 2와 같이 반경 R [m]의 반구형태의 방사성물질의 분포로부터의 피폭선량은 식 (6)과 같이 중적분의 형태로 나타낼 수 있다[9].

$$\gamma \dot{D}_{cl} = \int_0^{\theta_{max}} \int_{r_{min}}^{r_{max}} \gamma \dot{D}(x,y,z,t) dV, \quad (6)$$

여기서  $dV = 2\pi r^2 \cos\theta d\theta dr$  이다. 식 (6)에 식 (1)을 대입하고  $\sin\theta$ 를 s로 치환하면 아래와 같은 단일 적분식을 얻을 수 있다.

$$\gamma \dot{D}_1 = C \int_0^1 [e^{-\mu r_{min}} \cdot (a r_{min} + \beta) - e^{-\mu r_{max}} \cdot (a r_{max} + \beta)] ds, \quad (7)$$

여기서  $C = 0.0404\mu_a q E_r 2\pi/\mu$ ,  $a = k\mu$ ,  $\beta = k + 1$  그리고  $r_{min}$ 은 0,  $r_{max}$ 는 반구의 반지름 R을 나타낸다. 본 연구에서는 Romberg 구적법을 식(7)에 적용하여 반구형태의 방사성물질의 분포로부터의 피폭선량을 평가하였다.

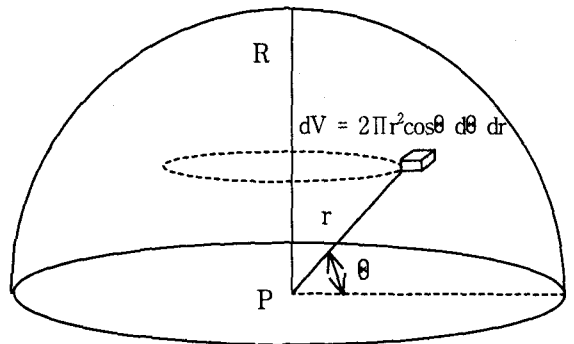


Fig. 2. Geometry used for the calculation of cloud-dose.

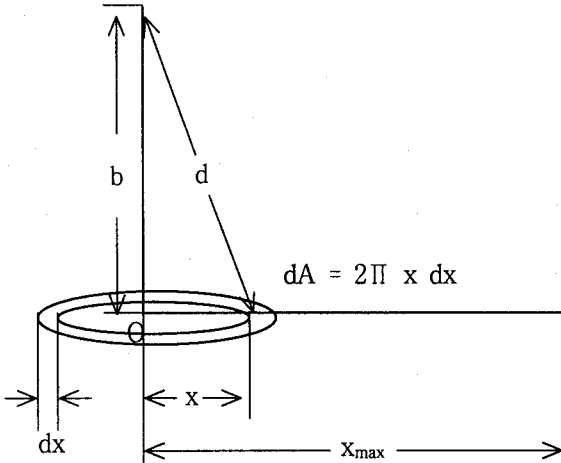


Fig. 3. Geometry used for the calculation of ground-dose.

지표면에 침적된 방사성물질로부터의 피폭

대기중으로 누출된 방사성물질의 일부는 공기중을 이동하는 중에 지표에 침적된다. 이들 방사성물질은 제염조치가 취해지지 않으면 오랜동안 지표에 존재하며 외부감마피폭에 기여하게 된다. 지표에 침적된 방사성물질에 의해 받게되는 외부감마피폭선량률은 아래의 식으로 나타낼 수 있다 [2].

$$D_{gr} = 0.0404 \mu_a \cdot q \cdot E_\gamma \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{(1+k/2\mu) \cdot e^{-\mu r}}{r^2} dx dy \tag{8}$$

여기서 재생계수를 나타내는 부분의 k/2 항은 지표에서의 산란에 의한 영향을 반영한다. 방사선원과 피폭자 사이의 거리 r은  $(b^2 + x^2 + y^2)^{1/2}$  로 표현되며 b는 피폭자와 지면 사이의 최단거리를 나타낸다.

넓은 지역의 지표면에 방사성물질이 침적된 경우 그림 3에서와 같이 지표면 위의 원판으로부터의 피폭계산을 가정하면 계산식을 단순화시킬 수 있다. 면적소 dA는  $2\pi x dx$ 로 나타낼 수 있으므로 이를 식 (8)에 대입하면 아래와 같이 단일적분식으로 전환된다.

$$D_{gr} = 0.2538 \mu_a \cdot q \cdot E_\gamma \int_0^{x_{max}} \frac{(1+k/2\mu d) \cdot e^{-\mu d}}{d^2} x dx, \tag{9}$$

여기서  $d = (b^2 + x^2)^{1/2}$ , 그리고  $x_{max}$ 는 원판

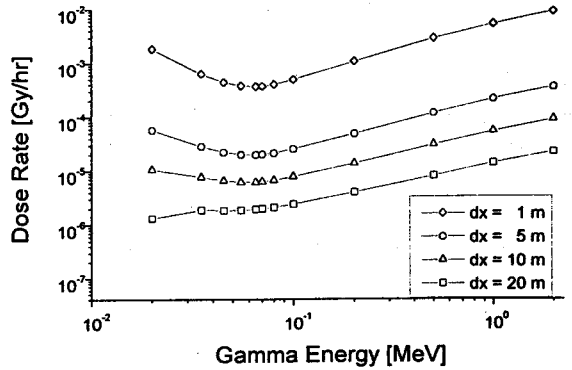


Fig. 4. Effects of receptor to point source distance on gamma dose rate.

형 방사선원의 최대 반경을 나타낸다. 공기중 반구형태의 방사선원으로부터의 피폭계산에서와 같이, Romberg 구적법을 식(9)에 적용하여 지표면의 원판형태의 방사성물질의 분포로부터의 피폭선량을 평가하였다.

결과 및 고찰

공기중 점선원으로부터의 피폭

실내 방사선 작업이나 실험 그리고 환자의 방사선 치료시에 사용되는 방사성물질은 대부분 점선원으로 취급될 수 있다. 공기중에서 점선원과 피폭자 사이의 거리를 변화시켜가면서 감마에너지에 따른 외부 감마피폭선량률을 평가하여 그림 4에 제시하였다. 이 결과를 살펴보면 점선원과 피폭자 사이의 거리가 10m 이내로 짧은 경우에는 0.07 MeV에서 피폭선량률의 최소값이 나타나고 있다. 그러나 선원과 피폭자간의 거리가 20m 이상 떨어진 경우에는 최소값이 나타남이 없이 감마에너지의 증가에 따라 피폭선량률이 계속 증가한다. 외부 감마피폭선량률에 영향을 미치는 주요 인자는 흡수계수, 감쇄계수 그리고 평균 감마 에너지 등이 있다. 특히 감쇄계수의 역수 값은 감쇄거리 (relaxation length)라 정의하며 감마선의 세기를 나타내는 광자의 수가 매질과의 충돌로 인하여 1/e로 감소되는 거리를 나타낸다. 에너지가 낮은 경우 감쇄거리는 10 m 정도로 매우 짧다. 따라서 에너지 값이 낮은 경우에는 선원과 피폭자 사이의 거리가 20 m 이상 멀어지게 되면 흡수계수의 특

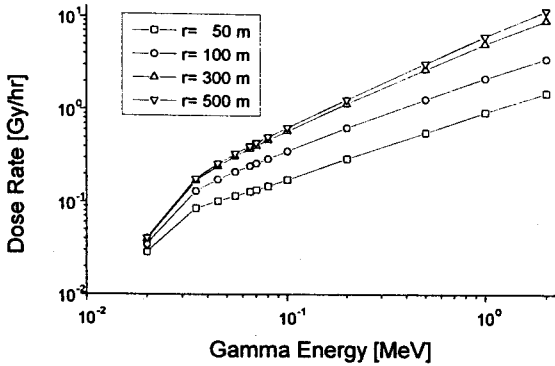


Fig. 5. Gamma dose rate given from sphere source of radius  $r$  aparting 10 m from the receptor.

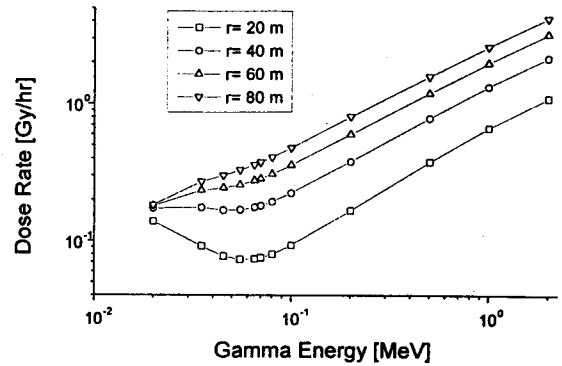


Fig. 6. Effects of the volume of radioactive materials in the air.

성에 따른 피폭선량률의 감소 후 증가 유형이 사라지고 평균 감마에너지에 비례하여 에너지 증가에 따라 계속 증가하는 형태가 나타난다. 이 현상은 또한 멀리 떨어진 선원의 기여도는 감마에너지가 낮을수록 낮아지기 때문이기도 하다. 그림 5는 피폭자와 방사성물질을 포함한 구의 최단거리를 10 m로 고정시켜 놓고 구의 크기를 변화시켜 가면서 감마에너지의 함수로 계산된 외부 감마피폭선량률을 나타낸다. 이 결과를 살펴보면 에너지가 0.02 MeV의 경우에는 구의 크기 증가에 따른 선량률의 증가율이 에너지가 높은 경우에 비하여 상대적으로 낮다. 특히 구의 반경이 300 m인 경우와 500 m인 경우를 비교하면 외부 피폭선량률의 증가가 낮은 감마 에너지의 경우에는 거의 나타나고 있지 않는다. 점선원이 1 m 거리에 근접해 있는 경우 0.02 MeV에서의 피폭선량률이 0.07 MeV에서의 피폭선량률에 비해 5배 정도 높다. 따라서 10m 이내의 짧은 거리에서의 작업이 대부분인 실내 방사선 작업의 경우에는 0.07 MeV 이하의 낮은 감마에너지를 갖는 선원에 대해서도 신중한 취급이 요구된다.

**지표면위 반구형태의 방사성물질로부터의 피폭**

체르노빌 원자력 사고와 같이 넓은 지역에 다량의 방사성물질이 누출되는 경우에는 피폭자가 방사성물질을 포함한 공기 덩어리 속에 갇히게 되는 경우가 있을 수 있다. 이 같은 경우를 분석하기

위하여 본 연구에서는 반구형태의 방사성물질을 포함한 공기 덩어리를 가정하여 크기에 따른 외부 감마피폭선량률의 변화를 분석하였다. 그림 6은 반구형태의 공기 덩어리의 반지름의 크기에 따른 변화를 나타낸다. 본 계산에서는 피폭자가 반구의 중심에 위치해 있는 경우에 대하여 평가를 수행하였다. 이 결과를 보면 반구의 반지름이 20 m로 작은 경우에는 근접해 있는 점선원의 경우와 같이 0.07 MeV에서 피폭선량률이 최소가 되는 경향을 나타내고 있다. 그러나 반구의 반지름이 40 m 이상으로 커지게 되면 감마에너지 증가에 따라 계속적으로 증가하는 것으로 나타났다. 표 1을 통해 이 같은 현상을 설명할 수 있다. 표 1에는 점선원의 경우 감마선의 세기가 1/e 로 줄어드는 감쇄거리, 점선원으로부터 1 m 떨어진 거리에서의 피폭선량률에 대한 특정 거리에서의 피폭선량률의 비 그리고 각 거리별로 0.02 MeV 에서와 0.07 MeV 에서의 피폭선량률의 비를 나타냈다. 0.02 MeV의 경우에는 감쇄거리가 10.9 m로 짧기 때문에 거리증가에 따른 피폭선량률의 감소율이 매우 크게 나타나고 있다. 또한 0.02 MeV와 0.07 MeV 두 에너지 값에서의 피폭선량률의 비는 거리 증가에 따라 급격히 감소하고 있다. 점선원과 피폭자 사이의 거리가 20 m 인 경우에는 0.02 MeV의 감마선원은 0.07 MeV 선원의 기여분의 13.3% 정도이고 50 m 인 경우에는 1.3% 정도로 급격히 감소한다. 따라서 체적선원의 경우 부피가 커지게 되면 20 m 이상 떨어진 거리에 위치한 낮은 에너지의 선원은

Table 1. Ratio of gamma dose rate at r meter to that at 1 meter.

Gamma Energy [MeV]	Relaxation Length [m]	$\gamma\dot{D}(r) / \gamma\dot{D}(1\text{ m})$				
		5 m	10 m	20 m	50 m	100 m
.020	10.9	3.138E-02	5.687E-03	7.143E-04	1.184E-05	5.006E-08
.035	26.6	4.471E-02	1.193E-02	2.964E-03	2.960E-04	2.038E-05
.045	33.7	4.987E-02	1.461E-02	4.150E-03	5.552E-04	5.812E-05
.055	38.7	5.288E-02	1.624E-02	4.918E-03	7.567E-04	9.713E-05
.065	42.4	5.413E-02	1.695E-02	5.293E-03	8.776E-04	1.264E-04
.070	43.9	5.424E-02	1.704E-02	5.361E-03	9.102E-04	1.365E-04
.080	46.4	5.375E-02	1.685E-02	5.326E-03	9.317E-04	1.482E-04
.100	50.2	5.172E-02	1.588E-02	4.967E-03	8.899E-04	1.519E-04
.200	62.8	4.566E-02	1.289E-02	3.748E-03	6.697E-04	1.314E-04
.500	90.6	4.139E-02	1.071E-02	2.811E-03	4.652E-04	1.011E-04
1.000	123.1	4.027E-02	1.013E-02	2.550E-03	4.006E-04	8.913E-05
2.000	171.5	3.991E-02	9.944E-03	2.465E-03	3.792E-04	8.579E-05
D(0.02)/D(0.07)		0.5786	0.3337	0.1332	0.0130	0.0004

영향을 미치지 않기 때문에 0.07 MeV에서 최소값이 나타나는 경향이 사라지게 된다.

지표면에 침적된 방사성물질로부터의 피폭

방사성물질을 포함한 공기덩어리가 대기중을 이동하게 되면 중력 또는 비나 눈의 영향으로 지표면에 방사성물질이 침적되어 이들로부터 피폭을 받게된다. 그림 7은 반지름 R인 원판 형태의 지표면 위의 선원에 대하여 원판의 중심에 위치한 피폭자에게 미치는 감마피폭선량률을 원판의 크기와 감마에너지별에 대하여 계산한 결과를 나타냈다.

이 결과를 보면 그림 6에 나타낸 체적선원의 경우에서와는 다르게 지표면 침적 방사성물질로부터 피폭의 경우에는 원판의 크기에 상관없이 0.07 MeV에 피폭선량률의 최소값이 나타난다. 이 이유는 체적선원의 경우에는 3차원 공간에 수없이 많이 분포한 0.02 MeV 보다 큰 감마에너지를 갖는 선원이 거리가 멀어져도 피폭에 기여를 하지만 면선원의 경우에는 2차원 평면상에 존재하는 선원의 수가 적어 20 m 이상 떨어진 선원은 피폭선량률의 분포에 기여를 못하기 때문이다. 공기중 선원과 지표에 침적된 선원으로부터의 선량률 평가식

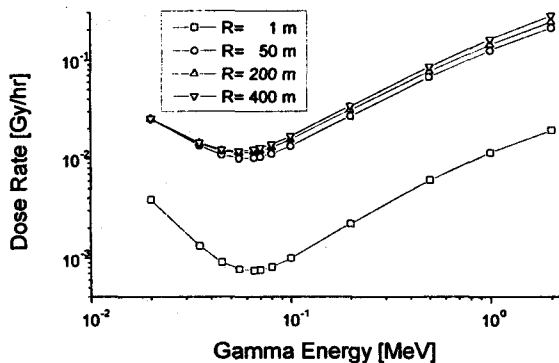


Fig. 7. Effects of the area of radioactive materials deposited on the ground.

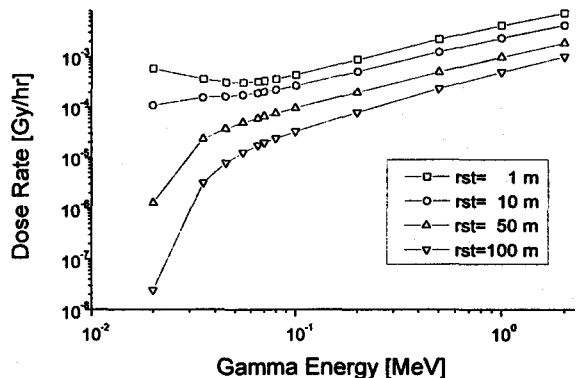


Fig. 8. Gamma dose rate given from radius "r<sub>st</sub>" to 500 m circular plate.

인 식 (1)과 식 (10)이 형태가 거의 유사함에도 불구하고 이같은 차이가 나타나는 이유 또한 체적선원과 면선원의 차이 때문이다. 그림 8을 통해서도 이 사실을 확인할 수 있다. 그림 8은 피폭자가 위치한 중심으로부터 반경  $r_{st}$ 까지는 방사성물질이 존재하지 않고  $r_{st}$ 부터 반경 500m 까지 방사성물질이 존재한다고 가정하여 감마피폭을 평가한 결과를 나타낸다. 이 결과를 보면 원판선원의 경우에도 피폭에 기여를 시작하는 반경이 10 m 이상인 경우에는 감마에너지의 증가에 따라 계속적으로 피폭이 증가하는 현상이 나타나고 있다.

## 결론

외부 감마피폭은 방사선사고 초기에 비상대응책을 결정하는데 기본적인 정보를 제공해준다. 따라서 외부 감마피폭에 대해 충분한 이해와 지식은 방사선 비상대응기술 개발에 필수적인 조건이 된다. 본 연구에서는 방사선원과 피폭자 사이의 거리, 방사선원의 크기 그리고 평균 감마에너지의 변화에 따른 외부 감마피폭선량률의 특성을 분석하였다.

공기중에 점선원이 존재하는 경우, 점선원과 피폭자 사이의 거리가 10 m 이내로 짧은 경우에는 0.07 MeV에서 피폭선량률이 최소값을 나타낸다. 그러나 선원과 피폭자간의 거리가 20 m 이상으로 멀어지면 감마에너지의 증가에 따라 계속적으로 피폭선량률이 증가하는 경향을 나타낸다. 따라서 10m 이내의 짧은 거리에서의 작업이 대부분인 실내 방사선 작업의 경우에는 0.07 MeV 이하의 낮은 감마에너지를 갖는 선원의 경우에 신중한 취급이 요구된다.

반구형태의 방사능 구름으로부터 감마피폭이 주어지는 경우, 반구의 반지름이 20 m로 작은 경우에는 0.07 MeV에서 피폭선량률이 최소가 되는 경향을 나타내고 있다. 그러나 반구의 반지름이 40 m 이상으로 커지게 되면 감마에너지 증가에 따라 계속적으로 증가하는 것으로 나타났다. 원전사고와 같이 다량의 방사성물질이 대기로 누출되는 경우에는 대부분 방사능 구름의 크기가 반지름이 40m 이상인 경우가 된다. 따라서 원전사고의 경우에는 감마에너지의 증가에 따라 감마피폭선량률은 계속적으로 증가한다고 생각할 수 있다.

지표에 침적된 방사선원으로부터 피폭을 받는 경우에는 지표선원의 크기에 상관없이 0.07 MeV에서 최소 피폭선량률이 나타난다. 공기중의 방사능 구름으로부터의 피폭 유형과 다르게 0.07 MeV

에서 최소값이 나타내는 이유는 면선원의 경우 2차원 평면상에 존재하는 선원의 기여분이 0.02 MeV에서의 값을 초과하지 못하지 때문이다.

연구결과 방사선원의 분포형태가 외부 감마피폭 선량에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. 본 연구결과는 다양한 감마에너지를 갖는 방사성물질이 동시에 환경으로 누출되는 원전사고의 해석에 활용될 수 있을 것이다. 또한 부지 주변의 지형효과를 고려한 실시간 방사선피폭해석에도 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술부에서 주관하는 원자력증장 기연구를 통해 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. S. R. Hanna, G. A. Briggs, and R. P. Hosker, Jr., "Handbook on Atmospheric Diffusion," DOE/TIC-11223, U.S. DOE(1982).
2. J. W. Healy and R. E. Baker, 1968, "Radioactive Cloud-Dose Calculation," In: D. H. Slade, ed. Meteorology and Atomic Energy, Oak Ridge, TN:U.S. Atomic Energy Commission, Technical Information Center, 301-377(1968).
3. K. Imai and T. Iijima, "Assessment of Gamma - Exposure due to a Radioactive Cloud released from a Point Source," *Health Phys.* 18, 207-216(1970).
4. G. P. Lahti, R. S. Hubner, and J. C. Golden, "Assessment of  $\gamma$ -ray Exposures Due to Finite Plumes," *Health Phys.* 41, 319-340(1981).
5. Y. P. Nie, T. J. Overcamp, and R. A. Fjeld, "An approximate Method for Estimating the Short-term Centerline  $\gamma$  Absorbed Dose Due to a Continuous, Ground-Level Release," *Health Phys.* 49, 100-105(1985).
6. Rubinstein R. Y., Simulation and the Monte Carlo Method. New York: John Wiley and Sons(1981).
7. Gray K. G. and Travers K. J., The Monte Carlo Method. Illinois: Stipes Publishing Company(1978).
8. B. Carnahan, H. A. Luther, and J. O. Wilkes, "Applied Numerical Methods," John Wiley and Sons, New York(1969).

9. M. H. Han, M.H. Chun, K.J.Lee, and G.S. Choi, "Approximation in Gamma Dose Calculations and Its Application to an Emergency Response Action at Kori Reactor Site in Korea," *Ann, Nucl. Energy* Vol. 22, No. 7(1995).
10. H. Cember, *Introduction to Health Physics*, Pergamon Press, New York(1983).
11. Lamarsh J. R. "Introduction to Nuclear Engineering," Addison Wesley(1983).
12. Imai K. et al., SPEEDI: A computer Code System for the Real-Time Prediction of Radiation Dose to the Public Due to an Accidental Release. Tokai JAERI: JAERI-1297(1985).