

大邱地域 地殼 γ -線의 照射線量率 測定

장시호 · 정춘균 · 강희동 · 이모성* · 최문규** · 김위수**

경북대학교 물리학과, 한국원자력안전기술원*, 한국전력공사 월성원자력본부**

요 약

본 연구는 대구지역의 지각 γ -선에 의한 조사선량을 측정하고 그에 따른성분별 공간선량을 및 지역적 분포 등의 환경방사선 특성을 조사하였다. γ -선 스펙트럼의 측정에는 4"φ×4" NaI (TI) 계측기와 휴대용 다중과고분석장치를 이용하여 이 지역내의 28개 지점에서 in-situ spectrometry를 수행하였으며, 측정된 스펙트럼으로부터 조사선량을 환산하여 지각 γ -선의 총선량율과 일반적으로 자연방사능의 주종이 되는 ^{40}K , ^{238}U 계열 및 ^{232}Th 계열의 성분별 조사선량을 구하였다.

조사결과 대구지역의 지각 γ -선에 의한 평균조사선량율은 9.4 $\mu\text{R}/\text{h}$ 였으며 지점별 분포는 7.6~11.0 $\mu\text{R}/\text{h}$ 범위로 다소 차이를 보였다. 측정시에 수반되는 기후나 우주선 등에 따른 일 변화폭을 고려한다면 지점간의 차이는 주로 표토층의 자연방사성핵종인 ^{40}K , ^{238}U 계열 및 ^{232}Th 계열의 핵종에 기인함을 알 수 있었으며, 성분별 선량율은 ^{40}K 2.9~4.6 $\mu\text{R}/\text{h}$, ^{238}U 계열 1.2~3.1 $\mu\text{R}/\text{h}$, ^{232}Th 계열 2.5~5.0 $\mu\text{R}/\text{h}$ 의 분포를 나타냈다.

Key Words : 조사선량율, γ -선, 환경방사선

서 론

원자력발전의 급속적인 증가와 방사선 이용의 확대에 따라 발생될 수 있는 인공 방사능핵종의 미소오염 및 장기적 축적효과에 대한 의문점이 제시됨에 따라, 이를 평가 및 분석할 수 있는 환경방사능에 관한 기초자료가 절실히 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 기초자료를 확보하기 위한 시도단계로서 대구지역의 지각 γ -선에 의한 조사선량율을 알아보고 그에 따른 일변화, 성분별 선량율, 지역적인 분포 등의 환경방사선 특성을 조사하였다.

환경방사능을 측정하기 위해 측정지점의 시료를 채취하여 실험실로 이동 후 방사선계측기를 이용하여 방사선측정 및 분석을 하는 방법은 절차가 복잡하며 긴 시간이 소요된다. 따라서 단반감기 방사성핵종의 존재여부 또는 지각 및 공기 중의 자연방사능으로 인한 환경에의 영향을 평가하기 위해서는 in-situ spectrometry 방법이 간편성 및 신속성으로 인하여 최적의 방법으로 평가된다.

환경방사선에 의한 조사선량을 측정에는 전리함, G.M관 및 섬광계수기 등을 이용한 survey meter, 그리고 적산선량계로서 film badge, 열형광선량계(TLD) 등이 보편적으로 사용되고 있으나,

자연방사선은 그 선량이 매우 낮을 뿐 아니라, γ 선 에너지의 분포가 복잡하여 에너지에 따른 응답특성이 일정치 않은 검출기로서 수십여 $\mu\text{R/h}$ 에 이르는 저준위선량을 정확히 평가한다는 것은 사실상 불가능하다. 따라서 본 조사에서는 측정의 정밀도가 높고 최소검출하한선량율도 $0.02\mu\text{R/h}$ 수준인 γ 선 분광분석방법을 택하여 휴대용 $4''\phi \times 4''$ NaI(Tl) 섬광계수기와 1,024 채널 다중과도분석장치(MCA)로서 in-situ spectrometry를 실시하였다. 또한 측정된 γ 선 스펙트럼으로부터 선량율을 계산함에 있어서 성분별 및 총선량율을 동시에 구하고 자료분석의 정확도 및 신뢰도를 높이기 위하여 일본원자력연구소(JAERI)의 Moriu-chi 등이 개발한 선량을 변환연산자(G(E))를 이용한 방법[2]과 미국 Environmental Measurement

Laboratory(EML)에서 주로 사용하는 energy band 방법[3,4] 및 저흡수에너지(total absorption energy) 정량방법[3]을 각각 적용하여 분석하였다.

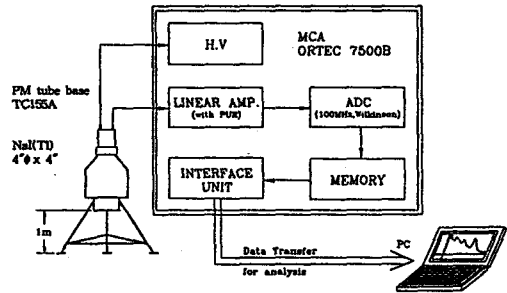


Fig. 1. Schematics of the terrestrial γ -ray measurement system in the field.

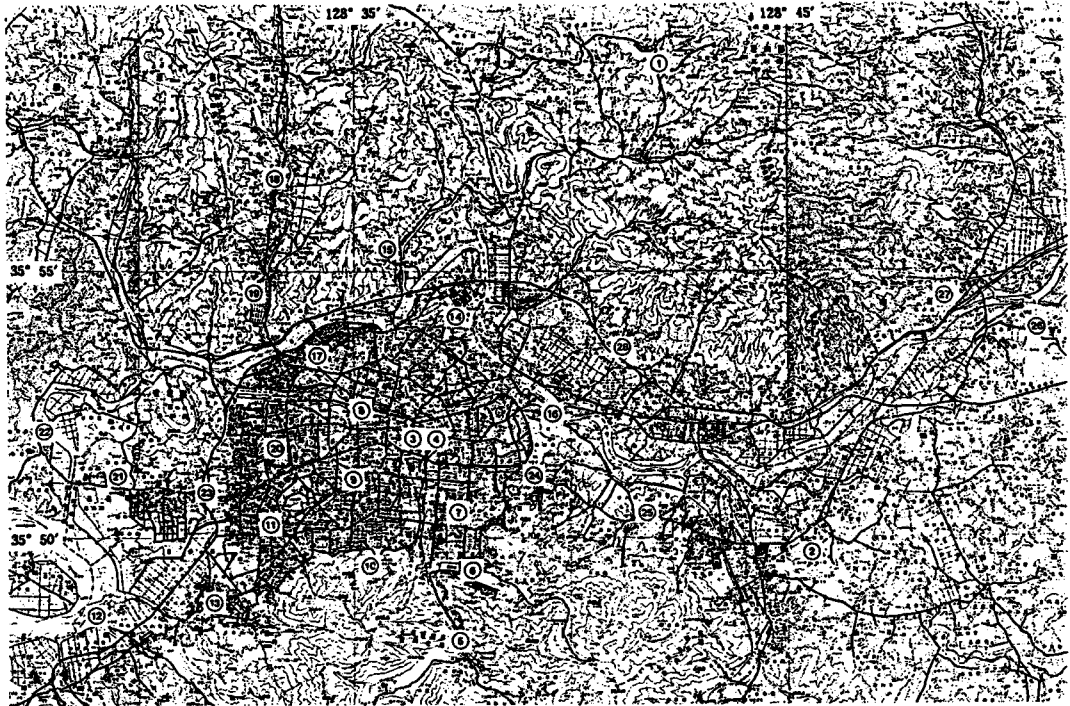


Fig. 2. Measurement points of in-situ spectrometry in Taegu area.

측 정

각 조사지점의 In-situ 스펙트럼 측정을 위한 시스템은 Fig. 1과 같이 NaI(Tl) 섬광계수기 및 PM tube base(TC 155)와 휴대용 다중과고분석기(ORTEC 7500B), 휴대용 battery 등으로 구성된 휴대용 장비들을 이용하였다.

측정지점의 선정은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 대구지역 전체를 포함하는 영역내에서 비교적 일정한 거리에 위치하는 28개 지역에 주위환경의 변화가 적을 것으로 판단되는 평지를 택하여 스펙트럼을 측정하였다. 측정시 검출기를 제외한 장비들을 검출기로 입사하는 방사선에 장애를 주지 않도록 검출기로부터 5m 이상 이격시킨 위치에 설치하였으며 적어도 사방 10m 이내가 평탄하고 나무나 바위 등의 인접물이 없는 곳에 설치하였다. 또한 NaI(Tl) 섬광계수기의 검출부가 지면을 향하도록 지상 1m 높이에 설치하여 광증배관의 고전압은 750V로 고정하였으며, 1,024 채널의 다중과고 분석장치로서 γ 선 스펙트럼을 측정하였다. 이때 증폭기의 이득은 100 keV~3 MeV 범위의 γ 선이 측정되도록 조정하였으며 측정은 20분간 실시하였다. 측정시 불감시간은 1~2% 정도였으며, 측정된 스펙트럼은 RS-232C port를 통하여 PC로 전송·저장한 다음 분석하였다.

측정된 스펙트럼으로부터 필요한 자료를 얻어내기 위해서는 검출시스템의 교정은 필수적인 절차로서 특히 공간선량율을 구하기 위해서는 에너지교정이 가장 중요한 문제로 대두된다. 그러나 여러 지점의 환경방사선 측정시 측정시스템의 상태가 동일한 동작조건이 아니며 특히 기온변화에 따른 증폭기의 증폭특성의 변화에 따라 에너지와 채널과의 관계는 매 측정시마다 변할 수 있다. 따라서 표준선원을 이용하여 교정한 에너지

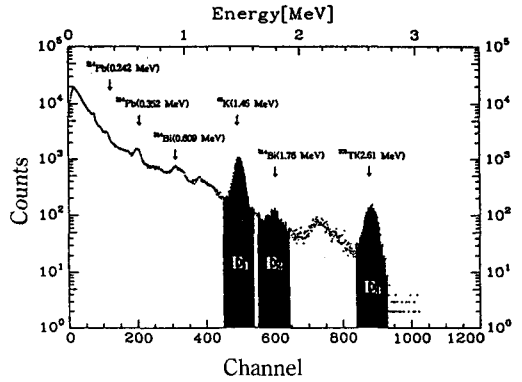


Fig. 3. In-situ spectrum measured with 4" ϕ x 4" NaI(Tl) scintillator showing the typical peaks and its energy of terrestrial radiation and also energy band to calculate the component parts of exposure rate. E₁ : 1.32~1.60 MeV, E₂ : 1.62~1.90 MeV, E₃ : 2.48~2.75 MeV.

지교정식은 동일조건하에서 단시간에 측정된 자료를 바탕으로 교정함에 따라 실제 측정된 스펙트럼에서 얻어지는 peak와의 차이를 보정해야 한다.

Fig. 3에서 보는 바와같이 in-situ 스펙트럼에서 일반적으로 나타나는 0.242 MeV, 0.352 MeV, 0.609 MeV, 1.460 MeV, 1.760 MeV 및 2.610 MeV 등의 피크를 이용하여 에너지교정식을 구할 수 있으나, 0.609 MeV의 피크는 ²³⁸U의 딸핵종인 ²¹⁴Bi의 0.609 MeV 이외에도 ¹³⁷Cs의 0.661 MeV 그리고 ²³²Th의 딸핵종인 ²⁰⁸Tl의 0.58 MeV의 피크와 중첩이 되어 피크의 중심을 찾기가 매우 곤란하다. 또한 ⁴⁰K의 1.460 MeV와 ²³²Th의 딸핵종인 ²⁰⁸Tl의 2.620 MeV의 피크를 이용한 직선교정식은 전흡수에너지정량방법 및 선량변환자(G(E))를 이용한 분석시 낮은 에너지부분에서 상당한 오차를 유발한다. 따라서 피크의 이동은 높은 에너지대에서 크게 이동하나 낮은 에너지대에서는 NaI(Tl) 섬광계수기 분해능의 수 %에 지나지 않으므로 표준선원을 이용하여

교정된 에너지대 채널관계에 측정된 γ -스펙트럼에서 나타나는 0.609 MeV, 1.460 MeV와 2.62 MeV의 각 피크위치와 에너지를 치환한 다음 다시 fitting하여 에너지교정식을 구하였다.

분 석

1. 선량을 변환연산자 G(E)방법

NaI(Tl) 섬광계측기에서 광증배관(PM tube)을 통해 나오는 신호의 파고는 입사광자로 부터 흡수된 에너지에 비례하기 때문에 단위 강도 에너지(E_j)의 입사 γ -선에 의해 섬광계측기에 발생하는 에너지 E의 파고 분포를 $n(E, E_j)$ [counts/s per photon/cm²·s], E_j 의 γ -선에 의한 조사선량을 D(E_j) [μ R/h]라고 하면,

$$D(E_j) = \int_0^\infty n(E, E_j)G(E)dE \quad (1)$$

로 나타낼 수 있다. 이 때 G(E)는 에너지에 따른 선량변환 연산자로서 다수의 표준 γ -선원을 통해 특정 파고 스펙트럼에 대한 조사선량 변환연산자를 만들고, 이를 자연방사선 전 에너지 영역에 내삽(interpolation)하여 얻는다.

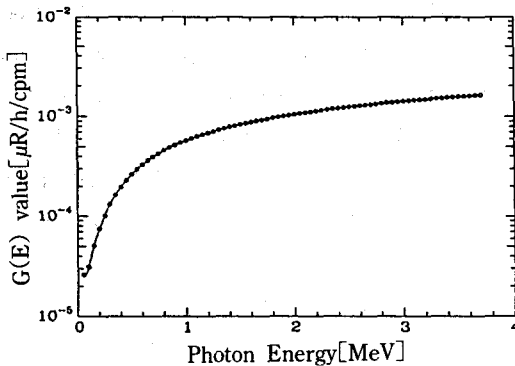


Fig. 4. Plot of G(E) value for 4" ϕ x 4" NaI(Tl) Scintillation detector.

Fig. 4는 4" ϕ x 4" NaI(Tl) 섬광계측기에 대해서 S. Moriuchi가 계산한 에너지와 G(E)값의 관계를 나타낸 것으로서, 임의의 에너지 범위 γ -선 에너지 E에 대해 윗 식이 성립하는 하중함수 G(E)가 존재한다면 어떤 방사선장에서 측정된 스펙트럼 분포에 G(E)함수를 적용하여 직접 선량을 구할 수 있다.

NaI(Tl) 섬광계측기로 측정된 γ -선 스펙트럼에서 에너지 E의 계수율을 N(E)로 놓으면 N(E)는 각 에너지 E_j 의 γ -선 강도 분포함수와 이의 파고 분포와의 누적합으로 나타낼 수 있다.

$$N(E) = \sum_j \Phi(E_j) n(E, E_j) \quad (2)$$

여기서, $\Phi(E_j)$: 에너지 E_j 인 γ -선의 선속[photons/cm²·s]

그러므로 각 에너지의 γ -선에 의한 총선량은 식 3과 같다.

$$\begin{aligned} D_G &= \sum_j \Phi(E_j) D(E_j) \\ &= \sum_j \Phi(E_j) \int_0^\infty n(E, E_j)G(E)dE \\ &= \int_0^\infty \left(\sum_j \Phi(E_j)n(E, E_j) \right) G(E)dE \\ &= \int_0^\infty N(E)G(E)dE \end{aligned} \quad (3)$$

실제의 파고분포는 채널당 계수치로 측정되기 때문에 다음 4식과 같이 불연속적 급수형으로 계산된다.

$$D_G = \sum_i N(E)_i D(E)_i \quad (4)$$

여기서 $N(E)_i$ 는 i번째 채널 구간내의 계수율을 모두 합한 총계수율(cpm)이고 G(E)_i는 주어진 i번째 채널구간의 중간에너지에 해당하는 G(E)값 (μ R/h/cpm)이다. 이때 G(E)는 계측기의 측에 평행한 입사 γ -선에 대한 값인 반면, 실제 in-situ spectrometry에서는 방출된 γ -선이 모든 방향으로 계측기에 입사하기 때문에 방향의존성에 대한 보정을 해주어야 하며, 우주선의 기여에 대한 보

정도 하여야 한다. 따라서 지각 γ -선에 의한 순 선량률 D_T 는

$$D_T = (D_G - D_{cr}) \cdot F \quad (5)$$

여기서 D_G : 총 선량률 ($\mu\text{R/h}$)

D_{cr} : 우주선에 의한 선량률 ($\mu\text{R/h}$)

F : 방향보정인자

로 계산된다. 이대 총선량률 D_G 는 측정된 스펙트럼의 에너지 구간을 50 keV씩 나누어 그 구간에서의 계수값을 구한 후 중간 에너지에 해당하는 $G(E)$ 값을 곱한 다음 전 구간에 대해서 그 값을 합하였다.

우주선에 의한 D_{cr} 은 측정범위가 약 50 keV~3 MeV이므로 경성분에 의한 기여선량률이며 그 변화율은 본 조사에서 요구되는 최소검출가능한선량률의 범위를 벗어나는 값이다. 그리고 T. Nagaoka, K. Saito 등이 북위 39°의 태평양 해상에서 3"φ NaI(Tl) 구형 섬광검출기를 사용하여 측정된 5 MeV 이하의 우주선 스펙트럼에서 0~3 MeV 영역에 '스펙트럼-선량변환연산자법'을 이용하여 선량률을 환산한 값은 0.55 $\mu\text{R/h}$, 선체및 해수에

의한 γ -선의 기여와 검출기 자체에서 발생하는 ^{40}K 에 의한 기여를 공제한 결과 순수 우주선에 의한 선량률은 0.21 $\mu\text{R/h}$ 였다[5]. 또한 T. Nagaoka, S. Moriuch 등이 해상 및 고공측정에 의한 우주선의 선량률값은 0.23 $\mu\text{R/h}$, 0.22 $\mu\text{R/h}$, H. L. Beck는 0.2 $\mu\text{R/h}$ 등이 보고되었다[5~7]. 따라서 본 연구에서는 D_{cr} 의 값을 Beck의 0.2 $\mu\text{R/h}$ 로 정하여 계산하였다.

Fig. 5는 방향에 따른 보정인자(F)를 구하기 위해 ^{137}Cs 를 사용하여 선원과 계측기 사이의 거리를 1m로 유지하면서 0°에서 90°까지 15° 간격마다 측정된 스펙트럼으로부터 선량율비 $D(\phi)/D(0)$ [ϕ° 에서 선량율 / 0°에서의 선량율]의 변화를 나타낸 것으로서 평균값은 약 0.97이었다.

2. 전흡수에너지 정량방법

0.15~3.4 MeV 범위의 스펙트럼에서 검출체에 흡수된 입사 γ -선의 총에너지는 전리함에서 얻은 선량율에 비례하고 이와 같은 흡수에너지를 "전흡수에너지"라 부르며, 어떤 채널에 해당하는 γ -선 에너지에 그 채널에서 얻은 전체 계수를 곱하여 전체스펙트럼에 대해서 각각 더한 값이다.

전리함에서 얻은 선량율과 동일지점에서 측정된 스펙트럼의 전흡수에너지와의 관계로부터 스펙트럼을 선량율로 환산할 수 있는 선량환산인자를 얻을 수 있으며, 또한 자연방사선을 측정했을 때와 비슷한 스펙트럼의 γ -선을 방출하는 ^{226}Ra 선원을 사용하여 선량환산인자를 구할 수 있다. 이때, In-situ spectrometry에서 지표면으로부터 방출되는 γ -선은 모든 각도로 계측기에 입사하므로 입사각에 따른 보정을 해야 한다. 따라서 ^{226}Ra 선원을 검출기의 측방향으로 거리를 변경하면서 선량율과 전흡수에너지와의 관계를 보정하여 총선량율을 구하는 선량환산인자로 사용할 수 있다.

본 연구에서는 Miller에 의해서 계산되어진 식

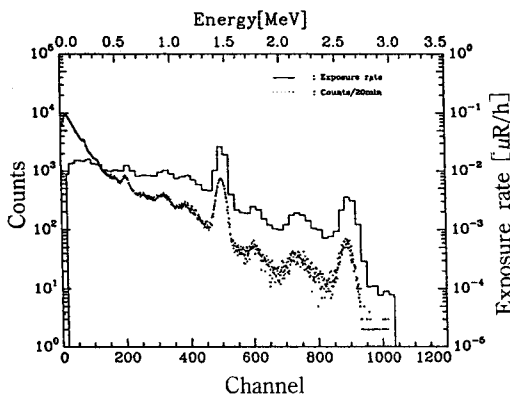


Fig. 5. The calculated exposure rate by $G(E)$ method and the measured in-situ γ -ray spectrum for one site of Taegu region.

[8]을 이용하여 분석하였으며 그 환산식은 다음과 같다.

$$D_G = \frac{1}{37} E_T \quad (6)$$

이때 E_T 는 0.15~3.4 MeV 사이의 에너지 범위에 20분간 흡수된 에너지(GeV)이며, 이는 우주선에 의한 기여선량을 포함하는 값으로서 Table 1의 우주선에 의한 성분(I)을 빼주어야 한다.

3. Energy band 방법

지구 γ 선을 방출하는 주요 핵종은 ^{40}K 과 ^{238}U 계열 및 ^{232}Th 계열의 핵종들로 이루어져 있다. 따라서 방사성 붕괴계열에서 나오는 γ 선들에 의한 총선량은 그 계열 중 어떤 딸핵의 한 에너지의 γ 선에 의한 peak 흡수에너지로써 환산할 수 있다.

In-situ γ -spectrum을 보면 대부분 ^{40}K , ^{238}U 계열 및 ^{232}Th 계열의 붕괴 생성물에 의한 것이며 각 계열의 핵종들에 의한 선량은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 ^{40}K (1.46 MeV), ^{238}U 계열의 ^{214}Bi (1.76 MeV), ^{232}Th 계열의 ^{208}Tl (2.164 MeV)에 의한 peak 흡수에너지로 나타낼 수 있다.

환경방사선은 주로 ^{40}K , ^{238}U 계열, ^{232}Th 계열 핵종들에 의한 것과 우주선으로 이루어져 있기 때문에 측정지역들의 우주선이 일정하고 방사성평형상태에 있다고 가정하면 방사선장에서의 총선량을 D 는

$$D = kK + uU + tT + I \quad (7)$$

로 쓸 수 있다. 여기서 I 는 우주선에 의한 선량이며, k, u, t 는 여러지역에서 고압 전리함 선량율계로 측정된 총선량(D)과 같은 지역에서 측정된 γ -스펙트럼의 각 peak 흡수에너지 K, U, T 를 이용하여 최소자승법으로 계산한 값이다. 이 방정식을 이용하여 성분별 선량을 계산할 수 있으나 각각의 스펙트럼에 적용할 때마다 흡수

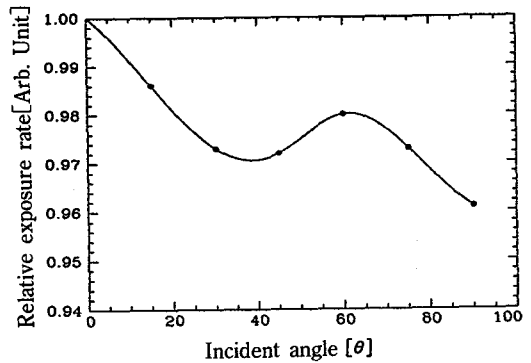


Fig. 6. Angular dependence of relative efficiency for 4" ϕ x 4" NaI(Tl) scintillator.

에너지 peak의 면적을 계산하여야 하는 번거로움이 있으며, peak 면적을 계산할 때 채널구간의 이동, 계수치의 통계적 변동 등에 의해 정확한 면적의 계산이 어렵다. 따라서 이 방정식을 이용하여 간편한 에너지대 방정식을 재구성 할 수 있다. 즉 Fig. 6에서 보는 바와 같이 ^{40}K (1.46 MeV)의 peak를 포함하는 1.32~1.60 MeV, ^{214}Bi (1.76 MeV)의 peak를 포함하는 1.62~1.90 MeV, ^{208}Tl (2.61 MeV)의 peak를 포함하는 2.48~2.75 MeV의 세 띠로 나누고 각 에너지대의 흡수에너지를 E_1, E_2, E_3 라고 하면 다음 식과 같은 관계가 성립한다.

$$E_1 = k_1 D_k + u_1 D_u + t_1 D_t + I_1 \quad (8)$$

$$E_2 = k_2 D_k + u_2 D_u + t_2 D_t + I_2 \quad (9)$$

$$E_3 = t_3 D_t + I_3 \quad (10)$$

여기서,

E_1, E_2, E_3 : 각 에너지 대에서 임의 시간동안의 흡수에너지(GeV)

D_k, D_u, D_t : $^{40}\text{K}, ^{238}\text{U}$ 계열, ^{232}Th 계열 핵종에 의한 조사선량율 [$\mu\text{R/h}$]

k_i, u_i, t_i : 각 계열의 단위선량율당 i 에너지대에 기여하는 흡수에너지 ($i=1,2,3$) [$\text{GeV}/\mu\text{R/h}$]

I_1, I_2, I_3 : 각 에너지대에 기여하는 우주선의 흡수에너지[GeV]

위의 식 (10)에서 ^{40}K 과 ^{238}U 계열 핵종으로부터 방출되는 γ 선 중에서 가장 높은 에너지의 γ 선은 ^{214}Bi 의 2.2 MeV이므로 E_3 에너지대에 기여하는 흡수에너지는 전적으로 ^{208}Tl 의 2.614 MeV 및 우주선에 의한 것이므로 D_k, D_u 항을 제외하였다.

한편, 1.460 MeV의 ^{40}K peak의 강도는 일반적으로 상당히 크며 NaI(Tl) 섬광계수기의 분해능이 나쁘기 때문에 E_2 에너지대까지 기여한다. 따라서 ^{40}K 에 의한 영향을 E_2 에너지대에 포함시켰으며 각 에너지대에서 우주선의 기여는 고도에 따른 변화가 적은 것으로 알려져 있기 때문에 상수로 간주하였다. 이 식들을 D_k, D_u, D_t 에 대해 풀면

$$D_k = aE_1 + bE_2 + cE_3 + d \quad (11)$$

$$D_u = eE_1 + fE_2 + gE_3 + h \quad (12)$$

$$D_t = iE_3 + j \quad (13)$$

가 된다. 위 방정식에서 각 계수는 식(8)~(10) 계수들의 조합으로서, 이들 방정식으로 부터 $a \sim j$ 의 계수값 [$\mu\text{R}/\text{h}/\text{GeV}$]들이 결정되면 측정된 스펙트럼으로부터 위 식을 이용하여 $^{40}\text{K}, ^{238}\text{U}$ 계열, ^{232}Th 계열에 의한 선량율의 기여를 계산할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 H. L. Beck에 의해서 계산된 식을 이용하여 성분별 선량율을 계산하였다.

우주선 성분은 Table 1[9]에 나타난 바와 같이

고도에 따라 크게 차이가 없으므로 고도 0m에서의 우주선 기여성분을 고려하였으며, 각 식의 상수와 우주선 기여를 제거하여 순수선량율을 계산하는 최종적인 식은 다음과 같다.

$$D_k = 0.08E_1 + 0.06E_2 - 0.2E_3 - 0.4 \quad (14)$$

$$D_u = 0.4E_2 - 0.2E_3 - 0.35 \quad (15)$$

$$D_t = 0.3E_3 = 0.3 \quad (16)$$

이때, 각 상수값의 단위는 $\mu\text{R}/\text{h}/\text{GeV}$ 이며 E_1, E_2, E_3 는 1200초 동안 측정한 스펙트럼으로부터 구한 각 띠의 흡수에너지[GeV]이다.

결과 및 고찰

각 지점에서 측정된 스펙트럼으로 부터 앞절에서 언급된 방법으로 구한 총선량율을 Table 2에 나타냈다. 조사지점의 총선량율의 분포는 7.6~11.0 $\mu\text{R}/\text{h}$ 의 범위로 나타났으며, 여기서 측정장비가 가지고 있는 오차, 측정조건의 변화-온도·압력 등-에서 따르는 오차를 고려할 때 새가지 방법에 의해 계산된 값들이 대체로 잘 일치함을 볼 수 있다. 특히 각 지역에서의 선량율 차이는 지각에 함유된 천연방사성핵종인 $^{40}\text{K}, ^{238}\text{U}$ 및 ^{232}Th 의 농도 차이에 따른 것이며, 일반적으로 표토층에 미량 존재하는 ^{137}Cs 등의 인공방사성핵종에 의한 영향은 측정치의 편차범위 이내인 것으로 나타났

Table 1. Altitudinal variation of exposure rate for cosmic ray component.

고도 성분	0 m	300 m	600 m	900 m	1200 m
I_1	0.4	0.42	0.46	0.52	0.6
I_2	0.35	0.37	0.4	0.45	0.53
I_3	0.3	0.32	0.34	0.36	0.38
I	7.7	8.2	8.9	9.8	11

Table 2. Total exposure rate of terrestrial γ -rays determined by various method G(E), TAE(total absorption energy) and EBM(energy band method).

(unit : μ R/h)

지점 번호	측정지점	G(E)	TAE	EBM
1	팔공산	9.61 \pm 0.02	10.26	10.11 \pm 0.09
2	영남대학교	9.02 \pm 0.02	9.64	9.91 \pm 0.09
3	경대의대	9.64 \pm 0.02	10.19	10.59 \pm 0.09
4	동인국민학교	9.09 \pm 0.02	9.66	9.86 \pm 0.09
5	용계국민학교	8.94 \pm 0.02	9.51	9.63 \pm 0.09
6	용지국민학교	7.37 \pm 0.01	7.92	7.73 \pm 0.08
7	수성여자중학교	10.31 \pm 0.02	10.98	11.42 \pm 0.10
8	수창국민학교	10.10 \pm 0.02	10.77	10.97 \pm 0.10
9	계명대학교	10.02 \pm 0.02	10.69	10.96 \pm 0.10
10	앞산공원	9.37 \pm 0.02	10.00	9.87 \pm 0.09
11	성당중학교	8.89 \pm 0.02	9.51	9.85 \pm 0.09
12	화원유원지	7.52 \pm 0.02	8.08	8.09 \pm 0.08
13	월배국민학교	8.30 \pm 0.02	8.87	9.12 \pm 0.09
14	문성국민학교	9.10 \pm 0.02	9.76	10.17 \pm 0.10
15	성북국민학교	7.10 \pm 0.01	7.58	7.59 \pm 0.07
16	망우공원	8.35 \pm 0.02	8.95	8.98 \pm 0.09
17	삼영국민학교	8.06 \pm 0.02	8.62	8.64 \pm 0.09
18	칠곡중학교	8.10 \pm 0.01	8.69	8.66 \pm 0.09
19	매천국민학교	7.52 \pm 0.02	8.06	8.14 \pm 0.08
20	증리국민학교	9.61 \pm 0.02	10.22	10.53 \pm 0.10
21	계명대(성서)	9.44 \pm 0.02	10.09	10.20 \pm 0.09
22	다사국민학교	7.29 \pm 0.01	7.82	7.87 \pm 0.08
23	성서중학교	7.81 \pm 0.02	8.40	8.58 \pm 0.09
24	대륜고등학교	10.01 \pm 0.02	10.65	10.76 \pm 0.10
25	고산국민학교	7.96 \pm 0.02	8.52	8.68 \pm 0.08
26	대구대(하양)	9.11 \pm 0.02	9.68	9.86 \pm 0.09
27	효성여자대학교	10.10 \pm 0.02	10.72	10.99 \pm 0.10
28	하서국민학교	8.41 \pm 0.02	8.91	8.92 \pm 0.07

다.

Table 3의 energy band 방법을 이용한 ^{40}K , ^{238}U 계열 및 ^{232}Th 계열의 성분별 선량율과 Table 2의 총선량율을 비교하여 볼 때 측정지점의 지표층 성분에 의하여 주로 영향을 받는다는 것을 알 수 있으며, 또한 스펙트럼의 측정시 조사지점 주변

공기의 상태에 따라서 선량율의 변화를 가져온다.

시간대별 공간선량율의 변화를 보기 위하여 경북대학교내의 운동장에서 환경방사능모니터(ERM², Eberline)으로 측정한 공간감마선의 조사선량율을 측정시각별로 Fig. 7에 나타냈다. 그 변화를 보면 밤에 상승하여 새벽 4~6시경에 최고에

Table 3. Component parts of exposure rate in terrestrial γ -rays determined by energy band method.

지점 번호	측정일시	성분별선량율(μ R/h)		
		^{40}K	^{238}U 계열	^{232}Th 계열
1	1992. 7. 26	4.39 \pm 0.02	1.65 \pm 0.07	4.07 \pm 0.06
2	1992. 7. 26	3.99 \pm 0.02	1.81 \pm 0.07	4.10 \pm 0.06
3	1992. 7. 26	3.99 \pm 0.02	3.07 \pm 0.07	3.53 \pm 0.05
4	1992. 7. 27	4.23 \pm 0.02	1.76 \pm 0.07	3.86 \pm 0.06
5	1992. 7. 27	3.99 \pm 0.02	1.85 \pm 0.06	3.79 \pm 0.05
6	1992. 7. 27	2.86 \pm 0.01	1.66 \pm 0.06	3.20 \pm 0.05
7	1992. 7. 27	4.47 \pm 0.02	2.16 \pm 0.07	4.78 \pm 0.06
8	1992. 7. 29	4.27 \pm 0.02	1.67 \pm 0.07	5.03 \pm 0.06
9	1992. 7. 29	4.27 \pm 0.02	2.27 \pm 0.07	4.42 \pm 0.06
10	1992. 7. 29	4.24 \pm 0.02	1.82 \pm 0.07	3.81 \pm 0.05
11	1992. 7. 29	3.68 \pm 0.02	2.03 \pm 0.07	4.13 \pm 0.06
12	1992. 7. 29	3.07 \pm 0.02	1.46 \pm 0.06	3.56 \pm 0.05
13	1992. 7. 30	3.57 \pm 0.02	1.99 \pm 0.07	3.56 \pm 0.05
14	1992. 7. 30	3.50 \pm 0.02	2.24 \pm 0.07	4.43 \pm 0.06
15	1992. 7. 30	3.75 \pm 0.01	1.32 \pm 0.05	2.53 \pm 0.04
16	1992. 8. 1	3.27 \pm 0.02	1.80 \pm 0.07	3.92 \pm 0.06
17	1992. 8. 1	3.56 \pm 0.02	1.36 \pm 0.06	3.72 \pm 0.05
18	1992. 8. 1	3.34 \pm 0.01	1.39 \pm 0.06	3.94 \pm 0.06
19	1992. 8. 1	3.30 \pm 0.02	1.60 \pm 0.06	3.24 \pm 0.05
20	1992. 8. 2	4.20 \pm 0.02	1.91 \pm 0.07	4.42 \pm 0.06
21	1992. 8. 2	3.98 \pm 0.02	1.90 \pm 0.07	4.32 \pm 0.06
22	1992. 8. 2	3.45 \pm 0.02	1.18 \pm 0.06	3.25 \pm 0.05
23	1992. 8. 3	3.20 \pm 0.02	1.82 \pm 0.07	3.56 \pm 0.05
24	1992. 8. 3	4.60 \pm 0.03	1.65 \pm 0.07	4.52 \pm 0.06
25	1992. 8. 3	3.87 \pm 0.02	1.60 \pm 0.06	3.21 \pm 0.05
26	1992. 8. 4	4.27 \pm 0.03	1.54 \pm 0.06	4.04 \pm 0.06
27	1992. 8. 4	4.59 \pm 0.03	1.77 \pm 0.07	4.64 \pm 0.06
28	1992. 8. 4	4.55 \pm 0.03	1.52 \pm 0.06	2.85 \pm 0.05

달한 후 오후로 갈수록 감소함을 볼 수 있으며, 일변화 크기는 약 0.6 μ R/h 범위내의 차이를 보임을 알 수 있다. 일변화에 기여하는 인자로서는 여러가지가 있으나 지표층 부근의 토양에서 기체형태로 방출되는 방사성핵종의 농도가 대기의 안정성 등의 기상조건에 밀접한 연관이 있는 것으로 알려져 있다. 이는 ^{238}U 의 딸핵종인 라돈(^{222}Rn)

기체에 의한 영향으로서 새벽 4~6시 경에는 지표 근처의 공기가 상층공기의 온도보다 낮아 대기가 안정해지므로 지표로부터 방출된 라돈기체의 확산이 느려져 지표 근처의 라돈농도가 증가하는 반면, 주간의 12~14시경에는 지표 근처의 공기가 상층공기의 온도보다 높아 대류확산을 통해 지표 근처의 라돈이 확산되어 라돈의 농도가

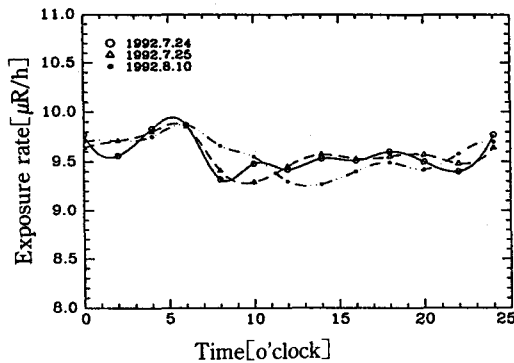


Fig. 7. Daily variation of exposure rate due to terrestrial γ -rays at K.N.U campus.

감소[9]하기 때문으로 판단된다. 또한 일반적으로 환경방사능의 변동은 측정시간, 일기, 우주선에 의한 영향 등에 따라 일변화 이외에도 계절에 따라 변화함을 볼 수 있다.

Fig. 8은 1991년 1월 1일~1992년 8월 30일 까지 경북대학교내의 환경방사능측정소에 설치된 환경 방사능모니터 ERM²로 측정된 공간 γ -선의 방사선량을의 연중변화를 나타낸 것으로서 계절에 따른 조사선량의 변동은 크게 뚜렷하지 않으나 계절간의 평균 차이는 약 1.5 μ R/h 정도로 미세한 차를 보였다. 특히 여름에는 조사선량의 변동이 심하며 가을, 겨울에는 비교적 안정된 모습을 보이고 있음을 볼 수 있으며, 이는 여름철 대기의 불안정 및 기후의 잦은 변화에 따른 현상으로 조사선량과 일기요소와의 직접적인 관련성을 보여준다.

결론

대구지역의 지각 γ -선의 공산선량을 조사하기 위하여 조사지역 중 28개지점을 선정하여 4"φ×4" NaI(Tl) 섬광검출기로서 공간 γ -스펙트럼을 측정하였으며, 측정자료의 분석에 있어서 정확도 및

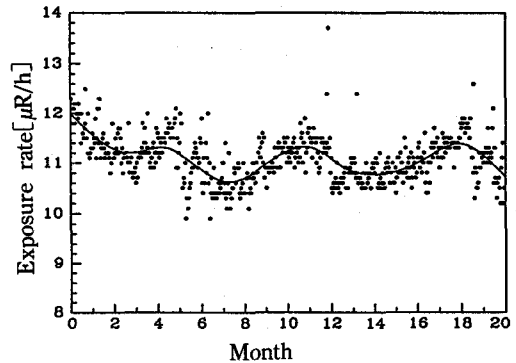


Fig. 8. Yearly variation of exposure rate by the environmental γ -rays in the period of Jan. 1991~Aug. 1992.

신뢰도를 높이기 위하여 JAERI에서 주로 사용하는 G(E) 방법, EML 등에서 사용하는 energy band 방법 및 전흡수에너지 정량방법 등의 여러가지 선량을 환산방법을 이용하여 총선량을 및 성분별 선량을을 구하였다. 조사지역의 방사선량은 7.10~10.98 μ R/h로 지점간의 다소 차이는 있으나 평균적으로 9.23 μ R/h 수준이었으며, 지점간의 차이는 주로 표토층의 자연방사성핵종인 ⁴⁰K, ²³⁸U 계열 및 ²³²Th계열의 핵종에 주로 기인함을 알 수 있었다. 특히 모든 조사지역의 총 조사선량이 자연방사성핵종에 의한 선량과 거의 일치하였음을 알 수 있었으며, 지표층에 존재하는 ¹³⁷Cs 등의 인공방사성핵종에 의한 선량의 기여는 총선량의 표준편차 범위 이내인 것으로 나타났다. 따라서 환경방사능에 관한 연구는 지질구조, 토양성분, 기상조건 및 우주선에 의한 영향 등의 복합적인 요소를 고려하여 더욱 체계적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. J. H. Hubbel and Scofield, IEEE Trans. Nucl.

- Sci. NS-5, 156 (1958).
2. K. Ishimatsu, J. Jap. Atom. Energy Soc. **4**, 24 (1962).
 3. S. Minato and M. Kawano, J. Nucl. Sci. Tech **7**, 401 (1970).
 4. K. Shin et al., J. Nucl. Sci. Tech. **16**, 390 (1979).
 5. S. Moriuchi, *A New Method of Dose Evaluation by Spectrum-Dose Conversion Operator and Determination of the Operator*, JAERI 1209 (1971).
 6. H. L. Beck and G. de Planque, *The Radiation Field in Air Due to Distributed Gamma-ray Sources in the Ground*, HASL-195 (1968).
 7. H. L. Beck et al., *In-situ Ge(Li) and NaI(Tl) Gamma-ray Spectrometry*, HASL-258 (1972)
 8. G. F. Knoll, *Environmental Radiation Measurements*, **44** (1976).
 9. 한국전력공사, “연구과제 발표 자료집”, 82 (1992).
 10. S. Moriuchi, *A Dosimetric Instrument based on the Spectrum Weighting Function Method for Environmental Radiation Measurements*, JAERI-M 7066 (1977).
 11. T. Nagaoka, K. Saito and S. Moriuchi, “Ground Level Cosmic-Ray Pulse Height Spectrum of a 7.5cm Diameter Spherical NaI(Tl) Scintillation Detector for Energy Region below 5 MeV”, *Hoken Butsuri* **23**, 201 (1988).
 12. H. L. Beck, W. J. Condon and W. M. Lowder, *Spectrometric Techniques for Measuring Environmental Gamma Radiation* HASL-150 (1964).
 13. Kevin M. Miller, *Field Gamma-ray Spectrometry*, HASL-300 (1990).
 14. 과학기술처, “전국토방사선환경조사”, 192 (1990).

A Measurement of the Exposure Rates by Terrestrial γ -rays in Taegu Area

Si-Ho Chang*, Chun-Gyun Jeong*, Hee-Dong Kang*,
Mo-Sung Lee**, Mun-Kyu Choi**, Wi-Soo Kim***

*Department of physics, Kyungpook National University**

*Korea Institute of Nuclear Safety***

*Wolsung Nuclear Power Unit, Korea Electric Power Corporation****

ABSTRACT

This study concerns about the measurement and the investigation of environmental radiation characteristics which the components and the distribution of exposure rates by terrestrial γ -rays in Taegu area. A 4" $\phi \times 4$ " NaI(Tl) scintillation detector with a multichannel analyzer was used in the measurement of γ -rays as a part of in-situ spectrometry at twenty eight different locations in this area. The conversion into the exposure rate from the measured γ -ray spectrum has been carried out leading to a net exposure rate and component ones by ^{40}K , ^{238}U series and ^{232}Th series products which are known by the major parts in the terrestrial γ -rays generally.

As a result, the average exposure rate by the terrestrial γ -rays in Taegu area is 9.4 $\mu\text{R/h}$ and the distribution of individual exposure rates shows more or less differences between these locations even after the consideration of diurnal and yearly variations which are always involved in these measurements. The component parts of exposure rates are distributed ^{40}K 2.9~4.6 $\mu\text{R/h}$, ^{238}U series 1.2~3.1 $\mu\text{R/h}$ and ^{232}Th series 2.5~5.0 $\mu\text{R/h}$ over the measured locations.

Key Words : Exposure Rates, γ -rays, Environmental Radiation