

감마線分光分析 및 熱螢光檢出法에 의한 自然放射線의 線量測定研究

田載植 · 吳熙弼 · 崔哲圭 · 吳憲鎭

忠南大學校 物理學科

河 正 雨

韓國에너지研究所

= 要 約 =

감마선분광분석 및 열형광선량측정법에 의한 자연환경방사선의 선량해석에 관한 연구를 1984년 10월부터 약 1년간에 걸쳐 충남대학교 대덕캠퍼스내의 1단 m² 규모의 평면개발지에서 수행하였다. 이 연구에서 사용한 검출기는 3"φ×3" NaI(Tl) 閃光計數器와 plastic에 밀봉하여 금속판에 압착 처리한 chip과 Teflon-disk 로된 2종의 LiF TLD였다.

실측실험으로는 3회에 걸친 24시간 cycle의 *in-situ* spectrometry와 2회의 3개월 cycle과 1회의 1개월 cycle에 걸친 TLD field dosimetry를 수행하였다.

측정한 모든 spectrum은 G(E)연산자법에 의하여 照射線量率로 환산하였고 그 결과로부터 환경방사선의 地殼成分을 산출하였다.

結果에 의하면 spectrometry로 구한 조사선량율이 평균(10.54±2.96) μR/hr, TLD chip으로 측정해석한 값은 (12.0±3.4)μR/hr, disk에서 얻은 값이 (11.0±3.6)μR/hr로 오차범위 안에서 매우 좋은 일치를 보이고 있다. 그러나 감마선분광분석에 의한 자연방사선의 日變化에는 가끔 심한동요가 관측되었다.

정확한 환경방사선량해석을 위하여 감마선분광분석과 TLD의 적절한 동시 배합사용이 바람직하며, 보다 고감도의 TLD에 관한 연구와 국제비교등을 통한 선량평가의 精度向上을 위한 보다 깊이 있는 연구가 필요하다는 結論에 도달하였다.

I. 序 論

자연방사선 측정에는 전리함, GM 관 및 섬광검출기를 사용한 survey meter나, 積算線量計로서 film badge, 螢光유리線量計, 熱螢光線量計(TLD) 등이 사용되고 있으나 자연방사선은 그 線量單位가 매우 낮을 뿐 아니라 7線의 에너지분포가 복잡하고 그 에너지에 따른 感應特性도 一樣하지 않으므로 이와 같은 검출기로 數 μR/hr에서 10餘 μR/hr에 이르는 低位線量인 자연방사선의 선량을 정확히 평가한다는 것은 매우 어려운 일이다. Morishima 등¹⁾에 따르면 survey meter

종류의 측정기기로 자연방사선의 선량을 측정하는 경우 그 uncertainty 상대표준편차로 30~100%에 이르고 있고 검출하한선량율도 심한 경우 13 μR/hr 이상에 이르고 있다.

본 연구에서는 약 1년간의 연구기간중에 측정의 정밀도가 높고(0.2% 수준) 검출하한선량도 매우 낮은(0.02μR/hr) 감마선 분광분석법을 사용하여 자연방사선을 측정 해석하는 한편, 정밀도는 이에 미치지 못하나 사용비용, 측정의 편이성 등의 실제적 이유 때문에 널리 사용되고 있는 TLD에 의한 적산선량측정법으로 동일지점에서의 자연방사선량을 측정 평가하여 그 결과를 비교 검토하였다. 최근 Jackson 등²⁾에 의하여 이와 유사한 연구가 발표되었으나 그들의 연구는 1975~

* 本研究은 文敎部學術助成 特性化硏費로 수행되었음.

1980년의 5~6년간의 장기간에 걸쳐 Alabama 의 Farley 원자력발전소 주변의 16개 측정감시지점에서 TLD (CaSO₄: Dy)와 더불어 가압형전리함 및 Ge(Li) spectrometer 로 측정한 data 를 분석평가한 것으로서 원자력발전소 가동에 따른 인공방사선 방출여부를 판정하는데 주목적을 두고 있는 등 여러 면에서 우리의 연구내용과는 차이점을 보이고 있다.

본 연구는 60~70년대의 대기권핵실험에서 방출된 장수명의 잔류핵분열생성물 이외에는 인공방사선의 오염이 거의 없는 지각자연방사선을 대상으로 하여 충남대학교 구내(북위 36°22' 동경 127°21')의 모든 구조물로부터 격리된 약 1만 m²의 개활지 잔디밭에서 3'φ×3' 원통형 NaI(Tl) 섬광검출기와 多重波高分析器 및 형태가 다른 두 종류의 LiF TLD 를 사용하여 수행되었다. 환경방사선 측정에는 감도가 높은 CaSO₄ 류의 TLD 가 많이 사용되고 있으나 본 연구에서는 감도가 다소 떨어지지만 에너지 의존성, fading 특성, 조직등가성 등에서 이보다 앞서는 LiF⁹⁾를 사용하였다.

II. 理論的背景

II-1. Spectrum-照射線量 換算

본 연구에서는 측정된 감마선 spectrum 을 조사선량율로 환산하기 위하여 Moriuchi 의 spectrum-선량을 환산인자(G(E)) 방법^{4,6)}을 채택하였는데 그 이론의 개요는 다음과 같다.

에너지 E₀(MeV)인 입사광자의 단위선속밀도(γ/cm².s)에 의하여 생성된 에너지 E(MeV)의 이차전자에 기인하는 출력파고 분포를 F(E, E₀)라고 하고 동일 감마선장에서 조사선량율을 $\dot{X}(E_0)$ 라고 할때 입자의 에너지 구간에 있어서, 에너지 E₀인 광자에 대하여 적분방정식

$$\dot{X}(E_0) = \int_0^\infty F(E, E_0) G(E) dE \quad \dots\dots(1)$$

를 만족시키는 G(E)가 존재한다면 측정된 spectrum 으로부터 직접 이 감마선장의 조사선량율을 구할 수가 있을 것이다. 이 G(E)가 이른바 spectrum-조사선량율 환산인자로서 입사광자의 에너지와 검출기 크기의 함수이다. G(E)가 존재한다는 이론적 사실과 그 값을 계산하는 실제적 방법등은 문헌 6에 자세히 기술되어 있다.

본 연구에서 사용한 3'φ×3'NaI(Tl) 결정체에 대한 G(E)값은 다음과 같은 방법으로 계산하였다. 즉, 공기나 물의 경우 3 MeV 이하의 광자에 대하여서는

실제로 電子雙生成이 무시되므로 각 에너지구간에서의 光電 peak 와 Compton 연속부만을 고려하여 유도한 近似式⁴⁾

$$G(E_0) = \frac{\dot{X}(E_0)}{I(E_0)P(E_0)} - \frac{1-P(E_0)}{E_c \cdot P(E_0)} \cdot \int_{E_{min}}^{E_c} G(E) dE \quad \dots\dots(2)$$

를 사용하여 calculator 로 계산한 것이다. 여기서 E_c는 Compton edge energy(MeV), E_{min}은 검출하한 에너지(MeV)이고 I(E₀)는 에너지 E₀인 입사광자에 대한 NaI(Tl)검출체의 상호작용율, P(E₀)는 동일 입사광자에 대한 검출체의 광전흡수율인데 I(E₀), P(E₀), 의 수치는 Miller 와 Snow⁷⁾가 구한 값을 사용하였으며 $\dot{X}(E_0)$ 는 잘 알려진 $\dot{X}(E_0) = 65.664 E_0 \mu_0 / \rho (\mu R/hr \text{ per } \gamma/cm^2 \cdot s)$ 의 관계식⁸⁾에 의하여 계산하였다. 이와 같이 계산한 G(E)값을 그림 1에 나타내었는데 그중, 특히 60 keV 이하의 저에너지 감마선에 대하여서는 결정체 포장물질에 의한 흡수를 보정해 주었다.

Fig. 1의 G(E)값은 비록 근사식을 사용하여 calculator 로 계산한 것이지만, 3 MeV 이하의 에너지구간을 cover 하는 7개의 표준감마 spectrum 을 computer 에 입력하여 보다 적응성이 높은 고차다항식의 계수를 이 spectrum 에 맞도록 반복 계산하여 결정하는, 未定係數法으로 구한 G(E)값⁴⁾과 매우 잘 일치하고 있다.

이상과 같은 방법으로 측정된 조사선량율에 개재된

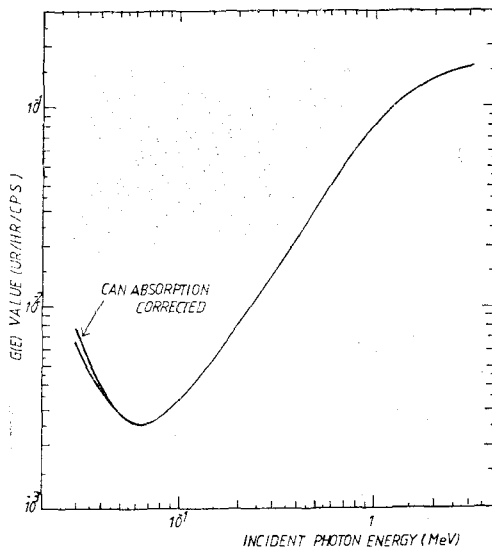


Fig. 1. G(E) Values of 3'φ×3' Cylindrical NaI (TL) Detector as a Function of Incident Photon Energy.

는 표준오차는 spectrum의 총 계수의 함수가 되는바 $3''\phi \times 3''\text{NaI(Tl)}$ 검출체로 $10 \mu\text{R/hr}$ 수준의 선량을 측정하는 경우, $G(E)$ 연산에 개재되는 표준편차는 0.4% 미만인 것으로 평가되어 있다⁹⁾.

II-2. 熱螢光線量測定 및 解析

固體線量計로서의 열형광 물질이 상온에서 방사선에 피폭되면 그때 발생된 수많은 자유전자들이 그 결정체의 격자결합에 trap되었다가 이것을 적당히 가열하면 이들 전자가 trap에서 방출되어 안정 준위로 돌아오면서 빛을 방출하게 되는데 이때 방출되는 빛의 세기가 앞서 피폭된 방사선량에 비례한다는 성질이 열형광선량계를 가능케 한 것이다.

열형광 발생기구에 관한 이론은 아직 완성되었다고 할 수는 없으나 나름대로 몇곳에 정리되어 있으므로^{10~12)} 여기서는 그 설명을 생략한다.

일반적으로 환경방사선 측정용 TLD의 열형광을 判讀하여 그 TLD에 피폭된 자연방사선의 선량을 추정정량하기 위하여서는 다음과 같은 관계식이 적용된다. 즉,

$$X = I_i \frac{C_i}{\bar{C}_1} \frac{X_1}{\bar{I}_1 - \bar{I}_0} (mR) \quad \dots\dots (3)$$

여기서 X 는 field에서의 조사선량(mR), I_i 는 field TLD의 判讀值, \bar{I}_1 는 $X_1 mR$ 의 既知線量에 照射한 較正 TLD의 평균판독치, \bar{I}_0 는 field TLD를 자연방사선에 照射하는동안 자연방사선으로 부터 차단된(우주선 强成分제외) 남용기에 보관되었던 control TLD의 평균판독치이고 C_i 는 개개 TLD의 較正因子, \bar{C}_1 는 較正 TLD의 평균較正因子이다.

본 연구에서는 field TLD의 교정인자를 구하는 대신 TLD의 방사선에 대한 상대感度를 추정하여 이 인자를 고려하여 field 선량을 결정하였다.

이 모든 판독과정에 수반되는 誤差의 傳播는

$$f(A, B, C, \dots) \pm \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial A}\right)^2 a^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial B}\right)^2 b^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial C}\right)^2 c^2 + \dots} \quad \dots\dots (4)$$

의 일반법칙에 따라 산출하였는데 여기서 A, B, C, \dots 은 각 측정량이고 a, b, c, \dots 는 각각 이들의 표준편차이다.

III. 감마선分光分析

III-1. 機器 및 較正

본 연구의 감마선 spectrometry에서 사용한 주요기기는 다음과 같다. 즉, $3''\phi \times 3''$ cylindrical NaI(Tl) scintillation detector(Bicron 3M3/3), preamplifier with PM Base(ORTEC 276), High Voltage Power Supply(ORTEC 456) 및 1024 channel pulse Height Analyzer(ORTEC 6240 B) 등이다.

현재 사용한 detector의 분해능(FWHM)은 실측에 의하면 0.662 MeV에서 7%(~46 keV)이고 측정하고자 하는 감마선의 에너지 범위가 3 MeV 이내 이므로 512 channel 만 사용하여도 channel 당 에너지는 5.8 keV, 256channel 만을 사용할 경우라도 channel 당 에너지가 11.6 keV 정도가 되므로 본 연구에서 사용한 파고분석장치는 연구목적에 달성하기에 충분하였다.

한편 이 spectrometer의 입사감마선 에너지에 대한 출력파고의 교정을 위하여 Table 1에 기재한, 방출감마선의 에너지가 잘 알려진 2개의 소형 표준선원을 사용하였다. 특히 이중에서도 ^{241}Am , ^{137}Cs 및 ^{60}Co 의 세선원은 입사감마선의 에너지와 출력파고의 선형성은 물론 channel shift를 수시로 점검하기 위하여 사용되었다. 선형성은 주로 단위 에너지당 출력파고치(P/E Ch/HeV)로 비교되었는데 본 연구에 사용한 spectrometer의 P/E 비는 0.05 MeV에서 102 Ch/MeV 인 것이 3 MeV에서는 약 78 Ch/MeV로서 앞의 것이 뒤의 것보다 약 30%나 커서 여러 사람에 의하여 이미 보고된^{13~15)} 비선형도 20~25%에 비하여 다소 큰 것으로 나타났다. 이와같은 비선형성의 주된 이유는 scintillator에 입사하는 감마선의 에너지가 증가함에 따라 에너지가 큰 전자들이 발생되고 이에 따라 비전리(dE/dr)가 증가되는데 이렇게 되면 전자경로 근처에 activator center들이 포화상태를 이루어 결과적으로 섬광효율이 감소되기 때문인 것으로 설명하는가 하면¹⁶⁾, 전리 및 여기분자의 밀도가 큰 경우의 일차 여기에서 전리 자체가 quenching 되기 때문으로 설명되기도 한다¹⁷⁾.

이와같은 현상은 비교적 저에너지 영역에서 볼 수 있는 것이며 우리가 현재 사용한 spectrometer의 비선형성은 검출기내의 섬광효율의 변동, 파고분석장치중 A-D converter의 적분선형성이 저하됐기 때문인 것으로 보인다. 이와같은 비선형성을 보정하기 위하여 매 0.1 MeV의 에너지 구간마다 그 지점의 波高대 에너지

Table 1. Sources used for spectrometer calibration

Source	Photopeak Energy(MeV)	Remarks
Am-241	0.060	with 26.4keV escape peak
Ce-144	0.080	
	0.134	with small escape peak and negligible peaks of higher energy
Zn-65	0.511	annihilation
	1.11	
Cs-137	0.662	
Na-22	0.511	annihilation
	1.28	
	1.79	sumpeak
Co-60	1.17	
	1.33	
	2.50	sumpeak

비(P/E 값)에, 해당에너지를 곱하여 그 에너지에 대응되는 출력파고(channel)를 다시 산출하고 감마에너지대 출력파고 관계의 graph를 재현하여 이것으로 측정된 spectrum의 에너지를 결정하였다.

III-2. In-situ Spectrometry

자연방사선에 대한 in-situ spectrometry는 충남대학교 대덕 campus내 잔디밭 개활지의 완전개방된 중심지에서 수행하였다.

측정지점의 선택에서 특히 고려한 점은 인근 건물의 영향을 배제하기 위하여 이들로부터 최소 20m 이상의 충분한 거리를 두는 것이었다.

In-situ spectrometry 수행중에는 3"φ×3"NaI(Tl) detector의 원통형이 지면에 수직하게 되도록 하여 crystal 중간지점의 높이가 지면에서 1m 되도록 하였다.

한편 측정시간은 사용한 MCA의 count full scale을 감안하여 일률적으로 1,000초 동안으로 통일하였으며, detector에 걸어준 high voltage는 900V로 고정하고 amplifier의 fine(3.5) 및 coarse gain(2)을 표준선원으로 교정한 그 상태로 교정한 조건하에서 spectrum 측정을 수행하였다. 그러나 시간경과에 따라 일어날지도 모르는 channel shift를 점검하기 위하여 spectrum을 측정한 직후에는 언제나 $^{137}\text{Cs} + ^{60}\text{Co}$ 선원의 spectrum을 측정하였는데 in-situ spectrometry를 수행하는 동안 channel shift는 ± 3 channel

이내였다.

이와같은 in-situ spectrometry는 매 2시간마다(제측개시시간간격) 24시간을 한 cycle로 수행하여 동일지점에서의 자연방사선량의 일변화를 관측하는 한편 그 원인 규명을 위한 spectrum 자체의 모양도 관측하였다. 본 연구기간중 이와같은 측정을 1984년 10월, 1985년 5월 및 10월등 세 차례 수행하여 동기간중의 변화유무를 관찰하였는데 이중 세번째 in-situ spectrometry는 매 4시간마다 수행하였다.

IV. 熱螢光 線量測定

IV-1. 檢出素子 및 判讀裝置

본 연구에서 사용한 TLD는 LiF Teflon(polytetrafluoroethylen-TPFE) 素子로서 12mmφ×0.2mm 두께의 disk와 5mmφ×1.0mm 두께의 chip, 두 종류였다. 이중 chip은 넓이 3.0×4.3cm², 두께 1.5mm이고 1cmφ의 4개의 hole을 가진 금속판의 두께의 hole에 각각 한개씩의 chip을 넣고 그 양측면에 0.02mm 두께의 plastic sheet를 대어 완전히 밀봉압착한 것이다. 2개의 TLD chip을 장착한 금속판의 나머지 두께의 hole에 두개의 disk를 넣고 이 금속판을 하나의 plastic case에 넣어 외부로 부티의 접촉과 광선을 차단토록 하여 이것을 field 피폭이나 較正에 사용하였다. 이 plastic case의 TLD disk의 양측면 씌의 두께는 0.06mm로 거의 차폐효과가 없도록 되어 있는데 TLD chip의 경우는 여기에 1.25mm 두께의 Teflon filter가 양측면에 추가로 장치되어있다. 그밖에 추가적인 filter는 사용하지 않았다.

TL 判讀裝置로는 Pitman Toledo TLD Reader Model 654를 사용하였다. 이 판독장치의 특색은 豫熱 단계, 判讀단계, anneal 단계의 과정이 결합된 소위 multiple plateau heating 方法을 채택하여 programmable heat cycle을 구사할 수 있도록 된 것이다. 이 장치는 또한 감도를 定定시키기 위한 feedback 回路를 사용하고 있고 감도자체를 변화시킬 수 있을뿐 아니라 判讀時間도 임의로 조절할 수 있도록 되어있다. 본 연구에서는 TL 出力을 判讀단계에서 digit로 판독하여 이를 data로 취하였다.

IV-2. Field Dosimetry

자연방사선량을 측정하기 위하여 LiF TLD Disk 2개와 Chip 2개를 내장한 badge case를 측정지점에 일

Table 2. Number of TLD used for Natural Environmental Radiation Dosimetry at CNU Daeduck Campus(1985)

Cycle	Duration of Exposure	Detector (LiF)	Field Exposure	Control in Lead shield	Exposure for Fading Test 1 ^{a)}	Exposure for Fading Test 2 ^{b)}	Remarks
1	3month(4/12-7/12) 2,184hr	Chip	6	—	—	—	For preliminary test
		Disk	6	—	—	—	
2	3month(5/19-8/19) 2,280hr	Chip	4	4	4	4	
		Disk	4	4	4	4	
3	1month(9/7-10/11) 816hr	Chip	8	6	—	—	To improve statistical reliability
		Disk	8	6	—	—	

a) Irradiated to know amount of gamma-ray prior to field exposure.

b) Irradiated to the same amount of gamma-ray and the TL was read out soon after irradiation.

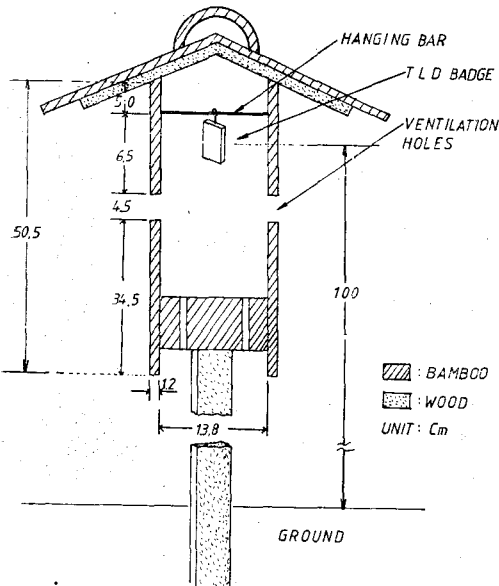


Fig. 2. TLD Post for Environmental Radiation Measurement.

정기간 노출 하였는데 이때 강수물등의 침입을 방지하기 위하여 Fig. 2와 같이 대나무로 만든 post를 설치하고 그 안에 badge 들을 걸어놓는 방법을 사용하였다. 이와같은 post는 한국에너지연구소의 환경관리 group이 수년전부터 사용하기 시작 하였는데 그 모양은 다르나 원래의 idea는 Becker 등⁸⁾으로 부터 유래된 것이다. TLD의 위치는 지상으로 부터 1m 높이에 오도록 설치하였으며 TLD가 설치된 원통내부는 충분히공기가 소통되도록 대칭부위에 통풍구를 설치하였다. 특히 강수물의 침입이 없고 내부온도가 외부보다 높아지지 않도록 특별한 주의를 기울여 지붕을 제작하였는데

실제로 평균기온이 가장 높았던 8월 22일 부터 27일의 6일간 매 2시간 간격으로 측정 한 post 내부온도의 변화는 동 기간중 대전후루소가 관측한 최고기온 35.2°C¹⁹⁾를 넘지않고 있었다.

Field exposure는 연구기간중 세차례에 걸쳐 수행하였는데 그 수행과 사용한 TLD의 수는 Table 2와 같다.

제 1 cycle 照射實驗은 예비실험적 성격을 띠고 있어서 자연방사선량을 자체에 대한 TLD의 感應을 알아보기 위한 것이었다.

제 2 cycle 실험은 그 기간이 특히 고온다습한 전형적인 한국의 여름 이어서 fading 측정과 보정을 병행하였고 zero-dose 또는 우주선 및 自己照射線量기여를 알아보기 위하여 control 용 TLD를 field 照射 기간동안 左, 右, 下邊이 각각 10 cm 이고 상변이 15 cm 두께로된 납차폐체내에 보관하였는데 이것은 Low-background counter의 검출기 차폐를 위하여 고도로精製된 TENNELEC 제의 납차폐체였다.

제 3 cycle 실험은 照射기간이 짧을뿐 아니라 비교적 건조한 기간이었으며 그 전번의 실험결과에 비추어 보아 fading은 무시하였고 통계적 신뢰도를 높이는데 주안점을 둔 실험이었다.

V. 結果 및 檢討

V-1. Spectrum—照射線量換算

In-situ spectrometry에서 측정 한 spectrum으로부터 조사선량을 산출하는 때는 Fig. 1에 나타낸 G(E)값을 써서

$$\dot{X}_G = \int_{E_{min}}^{E_{max}} N(E)G(E)dE \quad \dots\dots(5)$$

의 과정을 밝게 되는데 여기서 $N(E)$ 는 dE 구간의 조당계수율이고 $G(E)$ 는 dE 이 중간치에 대응하는 $G(E)$ 값인데 E_{min} 과 E_{max} 는 이 연구에 사용한 spectrometer 의 성능과 공간 감마선의 에너지분포를 감안하여 각각 0.03 및 3 MeV 를 취하였다. 그러나 실제 계산시에는 dE 를 사용하기 보다 측정 data 를 수개 channel 씩 묶어

$$\dot{X}_G = \sum N(E)_i \cdot G(E)_i \quad \dots\dots(6)$$

방식으로 계산하였다. 여기서 $G(E)_i$ 는 i 번째 channel 구간 중간에 에너지에 대응되는 $G(E)$ 값이다.

본 연구에서는 256 channel 을 full scale 로 사용한 경우는 5 channel 마다의 총 계수율을, 512 channel 을 사용한 경우에는 10 channel 마다의 총계수율을 $N(E)_i$ 로 취하고 $G(E)_i$ 는 이 channel 구간의 중간지점 에너지에 대응되는 $G(E)$ 값을 Fig. 1에서 찾아 계산하였다. 선량환산에서 이러한 channel 구간을 택한 이유는 前者의 경우 channel 당 에너지구간이 평균 11.6 keV/ch, 後者の 경우는 5.8 keV/ch 로 교정하였으므로의 구간들은 58 keV 를 cover 하는 구간인데 이 정도의 energy bin 을 택하면 50 keV 씩 택했을때 오차가 0.1 % 미만이라는⁹⁾ 조건을 거의 만족하고 있기 때문이다. 이렇게 하여 계산한 구간별(에너지함수로서의) 조사선량을 분포의 대표적예가 Fig. 3에 histogram 으로 그려진 spectrum 이다. 전 에너지 구간에 걸친 총 조사선량율(\dot{X}_G)은 이 spectrum 의 말미에 기재하였다.

그러나 이것은 지각으로부터 주어지는 참 환경방사선은 아니다. 여기에는 우주선에 의한 기여(\dot{X}_{CR})와 detector 의 구성물질(유리층의 ^{40}K 등)에 의한 자체방사능의 기여(\dot{X}_K)가 포함되어 있다. 뿐만 아니라 detector 감응의 에너지 및 입사방향 의존성에 관한 보정(F)도 해주어야 한다. 따라서 참 환경방사선량율은

$$\dot{X}_T = (\dot{X}_G - \dot{X}_{CR} - \dot{X}_K) \times F \quad \dots\dots(7)$$

로 수정되어야 한다.

그런데 3"φ×3"NaI(Tl)의 경우 \dot{X}_{CR} 는 0.23μR/hr 로 \dot{X}_K 는 K가 미량 함유된 유리나 석영을 썼을 경우 0.02μR/hr 로 평가되어 있으며 F 는 3 MeV 이내의 감마선과 3"φ×3"NaI(Tl) detector 에 대하여 0.94±5%로 평가되어 있다⁹⁾. 이 값들을 그대로 쓰면

$$\dot{X}_T = (\dot{X}_G - 0.25) \times 0.94 (\mu R/hr) \quad \dots\dots(8)$$

로 참 환경방사선량율이 평가된다.

1984년 10월 15~16일, 1985년 5월 8~9일 및 동 10

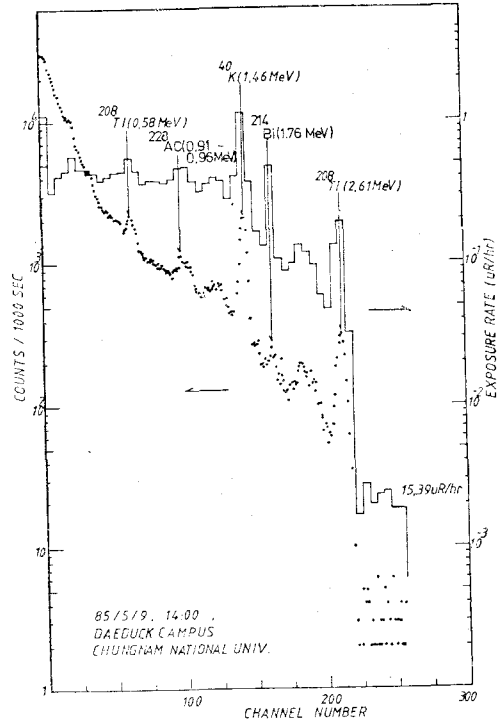


Fig. 3. Gamma-Ray Energy and Exposure Rate Spectrum at CNU Daeduck Campus

월 30~31일의 세차례에 걸쳐 24시간동안 2시간간격으로 12회(세번째 경우는 4시간 간격으로 6회)에 걸쳐 수행한 *in-situ* spectrometry 를 통하여 측정된 모든 spectrum 으로부터 \dot{X}_G 를 구한후 (8)식에 의하여 산출한 \dot{X}_T 는 Table 3에 정리한바와 같다. 이 표를 보면 우선 첫번째와 세번째 경우의 照射線量率이 비교적 가까운 값을 나타낸 반면 두번째 경우의 그것과는 평균치에서 차이가 있을뿐 아니라 측정당시의 최고치와 최소치의 벌어짐 정도에서도 앞의 두 경우에 비하여 뒤의 것은 근소한 차이만 나타나는 뚜렷한 상이점을 보이고 있는데 이것은 自然空間線量率의 日變化 모양이 계절적으로 차이가 있음을 나타내는 것으로 풀이된다. 이 선량율의 일변화 모양을 도표로 나타낸 것이 Fig. 4인데 이 그림을 보면 5월에 관측된 공간선량율의 변화는 거의 없는 반면 10월에 관측된 일변화는 두 경우 모두 그 변동이 심할뿐 아니라 최대값과 최소값의 변동폭이 매우 큰 것을 볼 수 있다. 다만 첫번째 경우는 최소값이 0에 나타난 반면 세번째의 경우는 그것이 오전 8시에 나타났다는 점이 다를 뿐이다. 이와같은 일변화에 관하여서는 1983년 10월 30일~11월 1일의 48시간

Table 3. Terrestrial radiation exposure rate measured by gamma-ray spectrometry at CNU daeduck campus

Duration of Measurement	Number of Measurement	$\dot{X}_{max}(\mu R/hr)$	$\dot{X}_{min}(\mu R/hr)$	$\bar{X}(\mu R/hr)$
1984/10/15 16:00~1614:00	12(1/every 2 hr)	12.34	6.14	9.25±1.95
1985/ 5/ 8 18:00~9 16:00	12(1/every 2 hr)	14.50	13.22	13.92±0.46
1985/10/30 16:00~31 14:00	6(1/every 4 hr)	12.56	4.04	8.44±2.90
Average				10.54±2.96

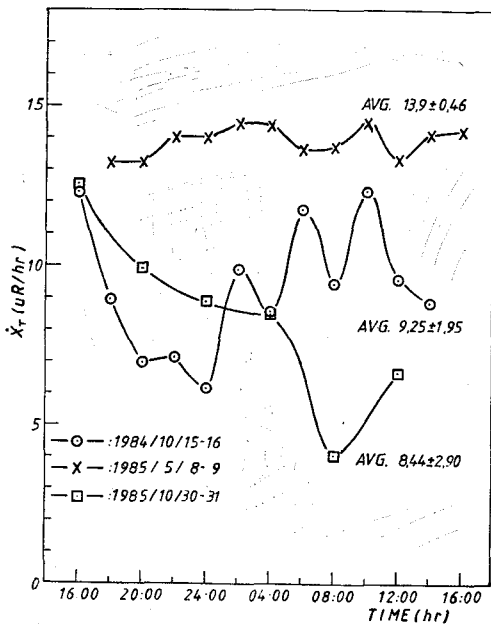


Fig. 4. Diurnal Variation of Terrestrial Radiation Exposure Rate at CNU Daeduck Campus.

에 걸쳐 관측한 결과를 이미 발표한 바 있는데²⁰⁾ 그 유형이나 평균선량율이 본 연구의 경우와 아주 유사함을 보여주고 있으나 조사선량율의 일변화가 항상 꼭 같은 모양으로 이루어진다고는 말할 수 없다.

일반적으로 야간에는 지각방사선에 의한 조사선량율이 감소하는 것을 볼 수 있는데 이것은 노재식²¹⁾이 관측한 결과와는 상반되는 것이나 그의 측정조건과 본 연구에서 측정한 조건에는 차이가 있으므로 직접 비교하기는 어렵다. 즉, 본 연구에서 얻은 조사선량율은 지표위 1 m 높이에서 측정된 값인데 비하여 노재식은 지상고도 10 m 되는 건물 옥상에서 관측했기 때문이다. 야간에 자연방사선의 조사선량율이 낮아지는 이유를 알아보기 위하여 동일지점에서 1985년 10월 30일 16:00시, 10월 31일 08:00시(최고 및 최소선량율의 경우)

에 측정된 감마선 spectrum 을 overlap 시켜보면 Fig. 5와 같다.

이 그림에서 볼 수 있는 바와같이 선량율이 낮은 spectrum 에서는 지각방사선의 주요성분인 1.46 MeV 의 ⁴⁰K 감마선과 2.61 MeV 의 ²⁰⁸Tl 감마선을 위시한 모든 감마선의 photopeak 가 현저히 depress 되어 있음을 알 수 있다. 이것으로 미루어 보면 야간에 지표가 냉각됨에 따라 지각에서 발생하는 emanation 은 공기의 다른 구성입자 보다 무겁기 때문에 훨씬 낮게 밀어서 가라앉고 그위에 보다 가벼운 질소, 산소등 공기의 주요성분들이 함께 지표로 가라앉으면서 검출기에 입사할 지각방사선을 상당부분 차폐하는 것으로 생각된다.

따라서 공간자연방사선량율, 특히 地殼방사선의 기여를 포함한 자연방사선량율의 일변화에 관한 연구는 그 지역의 局地微氣象관측과 더불어 이루어져야 완전한 해석이 가능해질 것이다.

한편 Table 3에 나타낸 평균조사선량율중 5월에 관측된 값은 좀 높으나 10월에 관측된 값들은 1983년 대전지역 약 200 km² 内の 8개지점에서 측정하였던 평균조사선량율 8.98±1.52 μR/hr²²⁾와 매우 잘 일치하고 있다.

V-2. TLD 線量評價

1) TLD Reader 의 安定性

TLD Reader 의 安定性은 誤差源의 하나가 될 수 있다. 본 연구에서 사용한 Reader 의 安定性 check 用 內裝光源(ILS)은 ¹⁴C 에서 방출되는 β 입자를 plastic scintillator 에 흡수시켜 얻는 閃光 source 이다. 判讀 시간은 16秒로 고정되어 있으며 매일 TLD 판독전에 10회의 ILS 판독치를 취합하여 그것의 상대표준편차가 0.3%를 넘지 않아야 되도록 명시되어 있으나²³⁾ 실제 본 연구기간에 관측된 바로는 0.02~0.05% 범위 안에 있었으며 매일 측정평균치의 6개월간에 걸친 평

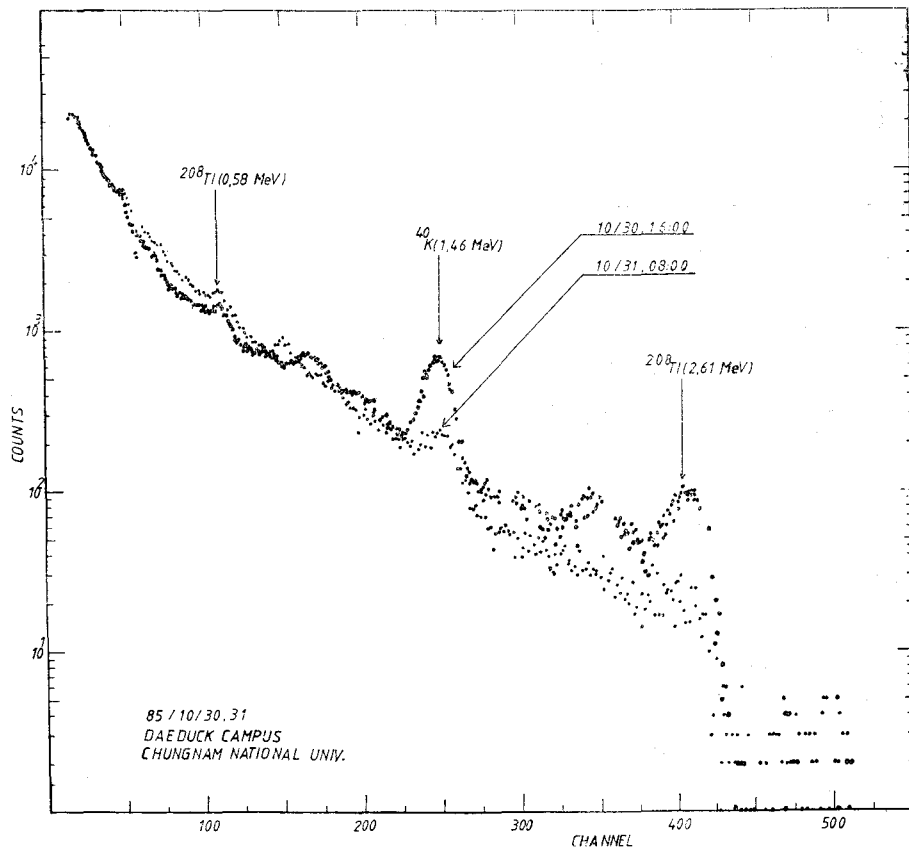


Fig. 5. Variation of Gamma-Ray Spectrum showing Depressed Peak Reduction

균치의 상대표준편차가 0.17%여서 TLD Reader의 안정성은 만족스러운 것이었다.

두 종류의 다른 형태의 LiF TLD를 판독하는데는 그 각각의 TL 판독특성에 맞도록²³⁾ preheat-read-anneal의 heat cycle과 sensitivity 선택을 달리해 주었다. 따라서 그 각각의 경우에 background 판독치 (dark current 판독치)가 달라지게 되는데 chip 판독 cycle의 경우는 최고 4±1 digit, 최저 1±0 digit, 그리고 평균 2±1 digit였으며 disk 판독 cycle에서는 최고 12±1, 최저 6±1, 평균 8±2 digit를 나타내어 이 또한 매우 만족스러운 안정성을 유지하였다. TLD 판독시에는 항상 이 판독치들을 전계측치에서 빼주었다.

2) TLD 素子の zero dose 判讀值

TLD zero dose의 근원은 tribo-luminescence, 可視光 또는 UV에 의한 자극 및 TLD의 annealing과線量被曝내력에 따른 殘留열형광, 그리고 TLD 자체가 내포하고 있는 미량방사성물질등과 PM tube의 dark

current인 것으로 알려져 있는데^{24,25)} dark current는 앞에서 이미 다루었으므로 여기서는 제외하기로 한다. mR 수준의 선량판독시 zero dose 판독치는 그것이 곧 선량판독의 재현성과 더불어 檢出下限線량을 정할 수 있는 기반을 제시 한다는 점에서 중요성을 갖는다.

본 연구에서 사용한 TLD의 chip과 disk의 총갯수는 각각 36개씩 이었는데 이중에는 field照射外에도 선량교정은 물론 검출효율의 方向의존성 조사등 각종 test에 사용된 것이 많아서 그 사용 횟수와 내력은 일정치 않다. 이들 TLD의 zero dose 통계는 Table 4에 정리한 바와 같다. 이 표에 따르면 chip에 비하여 disk의 감도가 약 배정도 높음을 알 수 있다.

3) TLD 判讀值 校正

자연환경방사선, 특히 地殼放射線의 주요 근원이 ²³⁸U 및 ²³²Th의 붕괴계열생성물과 ⁴⁰K가 방출하는 감마선임을 잘 알려져 있거니와 Beck는 특수지층이나 암석이 아닌 대표적인 토양지각의 경우에 대하여 지상

Table 4. Zero dose statistics of TLD used

TLD(LiF)	Number of TLD used	Average Number of Reuse	Zero Dose Readout(digit)			Corresponding Exposure* (mR)
			Maximum	Minimum	average	
Chip	36	6±3	10± 4	1±1	5±5	3.8±3.9
Disk	36	6±3	49±28	17±2	26±7	1.6±0.6

* Corresponding to Average Zero Dose Readout.
 Calibration factor for chips: $(767 \pm 136) \mu\text{R}/\text{TL}$
 disks: $(60.8 \pm 13.5) \mu\text{R}/\text{TL}$

1 m 지점에서 조사선량을 및 線束密度의 에너지 spectrum을 구한바 있다²⁶⁾. 이 spectrum들을 보면 Th 계열 최종방사성 핵종인 ²⁰⁸Tl이 방출하는 2.61 MeV 감마선 이외는 두 붕괴제열 생성물이 방출하는 감마선 spectrum의 모양이 거의 비슷하며(U 계열 감마선 평균에너지 0.81 MeV, Th 계열 0.88 MeV) U 붕괴생성물이 방출하는 감마선이 량에 있어서 Th의 그것보다 우세하다. 또한 TLD 효율의 에너지 의존성에서 문제가되는 100 keV 이하의 감마선은 그 조사선량에 있어서 지자방사선의 선량중 약 5%에 지나지 않으며²⁷⁾ 본 연구에서 사용한 LiF TLD는 저에너지 광자에 대한 에너지의존성이 다른 고감도 TLD(CaSO₄ 류)에 비하여 훨씬 안정되어 있고 100 keV 이상의 에너지를 가진 광자에 대한 감도가 거의 일정한 점등 여러 조건을 감안하여 ²³⁸U 붕괴생성물중 주요 감마선방출핵종을 전부 내포하고 있는 ²²⁶Ra 선원을 較正線源으로 택하였다.

본 연구에서 사용한 線源은 0.5 mm Pt에 encapsulate된 100 μg의 ²²⁶Ra 표준선원이며 TLD 교정에서 사용한 선량범위는 1.32~49.5 mR였다.

Field에서 被曝된 TLD의 線량을 評價하기 위하여 각 cycle마다 이와같은 교정을 수행하였으며 그 교정인자들은 Table 5의 대응되는 곳에 수록하였다. 이 표에서 보면 較正因子가 batch마다 상당히 차이를 보이고 있는데 그 이유는 현재 분명치 않으며 이에 관한 보다 깊이있는 연구는 별도로 수행할 예정이다. 較正用 TLD 개개의 感度均質性を 조사하기 위하여 chip과 disk를 각각 10개씩 취하여 동일선량을 照射한 후 그 상대감도를 구하였는데 chip의 경우는 1.00 ± 0.15 , disk는 1.00 ± 0.09 로 그 均質性에 있어서 disk 쪽이 앞서 있었다. 모든 교정인자들은 이 균질인자를 고려하여 구한 값이다.

또한 disk형의 TLD를 사용하여 그 response의 方向依存性を 조사하였는데 그 결과는 Fig. 6과 같다.

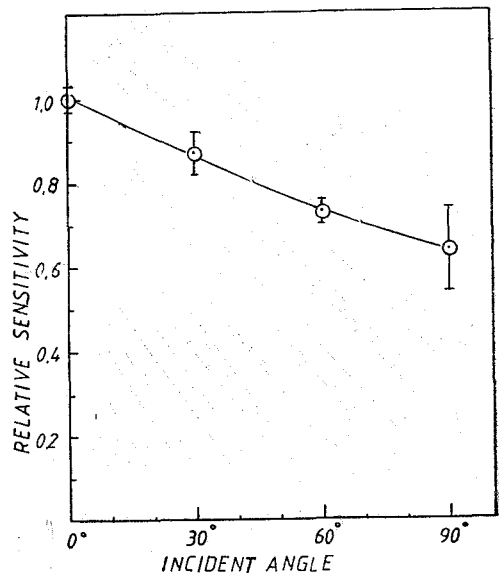


Fig. 6. Directional Dependence of TLD(LiF Teflon-disk) Response

4) Control과 Fading補正

TLD의 field照射中 自己照射線量, 宇宙線의 硬成分의 寄與등을 구분해 내기 위하여 field照射用 TLD와 동시에 anneal한 TLD를 field照射와 同一기간 言及한 납차폐상자안에 보관 하였다가(control) 이것을 field TLD 판독시에 같이 판독하고 field TLD 판독치로부터 이 값을 빼주어 참 자연환경방사선량율을 구하였다. 한편 field照射기간중 여름철의 높은 기온과 습도에 따른 TL의 fading을 보정하기 위하여 일정수의 두 group의 TLD를 field에 설치하기 전에 일정선량에 피폭시켜 그중 한 group의 TLD는 곧 판독하여(B_{f0}) 미리 알아두고 다른 한 group의 TLD는 field dosimeter와 함께 동일기간 field post에 설치하였다가 cycle 끝에 판독하여(B_f) fading 손실분을 산출하고 그것을 보정하여 주었다. Field TLD의 판

Table 5. Assessment of natural environmental radiation by means of TLD dosimetry at CNU daeduck campus

Type of TLD	Cycle ^{a)}	Type of Ex-posure ^{b)}	Average TL Output (digit)	Fading	Fading Corrected (TL)	Calibration Factor ($\mu\text{R}/\text{TL}$)	Gross X (mR)	Gross \bar{X} ($\mu\text{R}/\text{hr}$)	Net \bar{X} (mR)	Net \bar{X} ($\mu\text{R}/\text{hr}$)	Net X ^{c)} S.D. (%)	Fractional S.D. (%)
LiF-Chips	1	E _F	51.0±7.2	no test performed		654±218	32.9±12.0	15.1±5.1				36.6
	sealed in	E _F	45.3±5.2	no fading found		767±136	34.8±7.4	15.8±3.3				
		E _C	10.8±1.0	no fading found		767±136	8.3±1.6	3.8±0.8	26.5±7.5	12.0±3.4	28.4	
	sheet	E _F	8.4±2.0	no test performed		1,428±220	12.0±3.4	14.7±4.2				
		E _C	0.7±0.8	no test performed		1,428±220	1.0±1.2	1.2±1.4	11.0±3.6	13.5±4.4	32.7	
	LiF-Teflon	1	E _F	420±52	no test performed		48.2±10.6	20.3±5.1	9.3±2.3			
Disk		E _F	418±47	0.17±0.13	488±72	60.8±13.5	29.7±7.9	13.5±3.6				
		E _C	77±7	0.17±0.13	90±13	60.8±13.5	5.5±1.4	2.5±0.6	24.2±8.0	11.0±3.6	33.2	
		E _F	242±39	no test performed		60.7±5.7	14.7±2.0	18.3±3.3				
		E _C	49±9	no test performed		60.7±5.7	3.0±0.6	3.7±1.0	11.7±2.6	14.6±3.2	22.6	

a) Cycle 1: 1985, Apr.12-Jul. 12 period 2, 184 hrs

2: 1985, May. 19-Aug. 19 period 2, 208 hrs

3: 1985, Sep. 7-Oct. 11 period 816 hrs

b) E_F: Field exposure

E_C: Control exposure in the lead shield of 10~15cm in thickness

c) Net Net $X = X(E_F) - X(E_C)$

Net $X = X(E_F) - X(E_C)$

특치를 B_f 라고하면 fading 손실 F_f 는

$$F_f = \frac{B_{f0} - (B_f - B_f)}{B_{f0}} \quad \dots\dots(9)$$

로 산출할 수 있다.

5) 線量評價

이상에서 언급한 여러 조건들을 감안, 고려하여 3 cycle에 걸쳐 TLD로 측정 평가한 積算線量과 照射線量率을 Table 5에 종합수록 하였다. 앞에서도 이미 언급한 바와 같이 cycle I은 아무런 보정없이 그 기간 동안 TLD가 주는 선량의 범주를 알아보는 한편 이 연구에서 사용한 TLD가 極低位放射線場에 속하는 자연 방사선場에서 어떻게 感應하는가를 보기위한 예비실험이었다. 그러나 이 과정에서 측정된 선량율이 chip으로 측정된 경우와 disk가 준 data에 차이는 있으나 평균선량율 (15.1±5.1)μR/hr 및 (9.3±2.3)μR/hr의 비교적 타당성있는 線量率을 나타내 주고있다.

제 2 cycle이야말로 본 연구에서의 本實驗에 속하는 것으로 control 선량과 fading 補正등을 모두 수행한 것이다. 이 경우를 보면 우선 control 線量率이 chip과 disk TLD의 경우 각각 (3.08±0.8)μR/hr 와 (2.5±0.6)μR/hr를 나타내어 통상 한반도를 cover하는 위도지역의 해면에서 우주선기여선량율이 약 3.5μR/hr인 점에²⁸⁾ 비추어 볼때 control 선량의 대부분이 TLD의 自己照射線量 아닌 宇宙線線量임을 알 수 있다. 한편 fading 補正을 위한 측정결과를 보면 chip의 경우에는 fading을 感知할 수 없었는데 그 이유는 chip이 plastic sheet에 완전히 밀폐포장되어 금속판에 press 되어 있으므로 素子 자체가 外氣와의 접촉이 차단된 상태이기 때문에 최소한 습도의 영향은 받지 않은 것으로 보인다.

이와같은 모든 과정의 보정을 거쳐 얻어진 자연방사선의 선량율은 chip으로 측정된 값이 (12.0±3.4)μR/hr, disk로 구한 값이 (11.0±3.6)μR/hr로 매우 가까운 일치를 보이고 있을뿐 아니라 gamma-spectrometry로 측정된 값과도 비교적 잘 일치함을 보이고 있다. 이 경우 선량값의 uncertainty가 상대표준편차로 28.4% 내지 33.2%로 비교적 큰점이 지적될 수 있으나 이것은 TLD로 환경방사선을 측정할때 10μR/hr 수준에서 overall uncertainty가 ±30% 정도면 acceptable하다는 performance criteria^{3,29)}에 비추어 보면 과히 나쁜 편은 아니라고 할 수 있다.

제 3 cycle의 경우는 측정기간이 이 앞의 두 경우의 1/3로 짧을뿐 아니라 계절적으로 다습고온기가 아닌 가을이어서 fading 補正은 고려치 않고(LiF의 경우

25°C에서 30일간에 fading은 3%미만임³⁰⁾) 측정치의 통계적 신빙도를 높이기 위하여 field 照射用 TLD의 갯수를 제 2 cycle의 경우의 2배로 증가시켜 본 것이다. 이번에는 disk의 경우에 상대표준편차가 제 2 cycle의 경우에 비하여 현저히 줄어들었으나 chip의 경우에는 그 자체의 낮은 sensitivity에 기인한 data의 큰 fluctuation 때문에 오히려 그 전보다 uncertainty가 약간 증가하였는데 이것으로 보아 여기에 사용한 8개의 TLD수는 측정선량수준에 비하여 uncertainty를 줄이기에는 부족했던 것으로 판단된다. 특히 chip으로 측정된 control 線量率 (1.2±1.4)μR/hr로 나타난 것은 짧은 기간동안 낮은 감도의 TLD가 zero dose와 거의 구분이 안되는 극히 낮은 線量을 받았기 때문인 것으로 풀이된다.

V-3. 比較檢討

Table 3과 Table 5의 결과를 비교함으로써 순간선량 측정 방법의 하나인 감마선분광분석법으로 측정된 자연방사선량율(평균 10.54±2.96 μR/hr)과 3개월간에 걸쳐 TLD로 측정된 積算線量(제 2 cycle)을 線量率로 환산한 값이 오차범위 안에서 매우 잘 일치함을 볼 수 있다. 다만 여기서 gamma-spectrometry가 순간선량만을 줄 수 있기 때문에 어느 순간에 있어서 이 방법에 의한 측정치가 자연방사선량율의 대표값이 되기 어려운 반면 TLD에 의한 측정치는 장기간에 걸친 적산선량으로 측정되는 것이므로 어느 순간의 공간선량율을 얻기가 또한 어려운 결점이 있음을 알 수 있다.

VI. 結 論

이상에서 論한 감마선분광분석과 열형광검출에 의하여 측정평가한 공간자연 방사선량율과 in-situ gamma spectrometry 및 TLD 較正등의 과정에서 나타난 현상을 바탕으로 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

1) 본 연구기간중 측정된 地殼放射線에 의한 평균공간선량율은 감마선분광분석법으로 평가된 것이(10.54±2.96)μR/hr, LiF TLD chip으로 얻어진 것이(12.0±3.4)μR/hr, TLD disk로 구한값이 (11.0±3.6)μR/hr로 나타나 TLD는 積算線量測定뿐 아니라 線量率評價에서도 오차범위 안에서 만족스러운 일치를 보여 주었다.

2) 감마선분광분석법으로 환경방사선의 日變化추적을 24시간주기로 수행할 경우에 그 변화모양을 완전

리 설명하기 위하여서는 그 지점에 대한 온도, 습도, 기압의 변화등 微氣象學的 관측을 동시에 수행 하여야 할 것이다.

3) 감마선분광분석법이 순간선량을 얻을 주는 것이어서 어느 시기에 측정 한 선량율이 곧, 변화가 심한 공간자연방사선량율의 대표값이 될수 없는 대신, TLD가 순간측정치는 주지 못하나 장기간의 積算線量을 측정하여 그 지역 공간선량율을 대표할 수 있는 평균선량율 결정을 가능케하는 상호 보완적인 관계에 있음을 감안하여 실용면에서 많은 장점을 가지는 TLD의 공간선량측정시에 감마선분광분석법을 적절히 병행 함으로써 지역 방사선량을 보다 내용있게 파악하게 될 것이며 특히 인공방사선 및 방사성핵종에 의한 일시적 오염여부를 판단하는데 결정적 역할을 하게 될 것이다.

4) 본 연구에서는 형태가 다른 두 종류의 LiF TLD만을 사용하여 低位放射線場인 자연환경방사선의 선량을 측정해석하고 이를 감마선분광분석법에서 얻은 결과와 비교검토 하였는데 앞으로는 LiF 이외의 보다 感度 높은 TLD를 사용하고 최적선량측정기간의 설정, 精度를 높이기 위한 최적 TLD batch에 소요되는 檢出素子の 갯수, 이들 TLD 감도의 에너지 의존성등에 관한 보다 면밀한 연구와 더불어 이들 측정치를 국제비교를 통하여 data의 신뢰성을 굳히기 위한 연구를 수행하여야 할 것이다.

謝 辭

線量校正을 위한 ^{226}Ra 표준線源을 대여해 줌으로써 본연구를 원활히 수행하도록 도와주신 한국표준연구소 방사선표준연구실 黃善泰 室長과 동연구실 朴泰淳先任 研究員에게 深甚한 謝意를 표하며, 본 논문의 원고정리와 圖表작성을 성심껏 도와준 충남대학교 대학원 물리학과 明東範君의 勞苦를 진심으로 致賀한다.

參 考 文 獻

- 1) H. Morishima et al., Ann. Rept. Nucl. Res. Inst. Kinki Univ. **13**, 1(1976).
- 2) W.M. Jackson et al., Health Phys. **48**, 747 (1985).
- 3) E. Piesch, in "Applied Thermoluminescence Dosimetry"(Oberhofer and Sharman ed.), pp. 197-228, Adam Hilger Ltd. Bristol (1981).
- 4) S. Moriuchi and I. Miyanaga, Health Phys. **12**, 541(1966).
- 5) I. Miyanaga and S. Moriuchi, J. Japan Atom. Energ. Soc. **9**, 440 and 518(1967).
- 6) S. Moriuchi, JAERI-1209(1971).
- 7) W.F. Miller and W.J. Snow, Nucleonics **19** (11), 174(1961).
- 8) H. Cember, "Introduction to Health Physics" pp.158-164, Pergamon Press, Lon(1969).
- 9) S. Moriuchi, JAERI-M 7066(1977).
- 10) Z. Spürny, Atom. Energ. Rev. **3**(2), 61(1965).
- 11) K. Becker, "Solid State Dosimetry", pp.27-33, CRC Press, Cleveland (1973).
- 12) M. Böhm and A. Scharman, "Applied Thermoluminescence Dosimetry" (Oberhofer and Sharman ed.), pp.11-38, Adam Hilger Ltd, Bristol (1981).
- 13) D. Engelkemeir, Rev. Sci. Instr. **27**, 589(1956)
- 14) F. Adams and R. Dams: "Applied Gamma-Ray Spectrometry", pp.55-56, Pergamon Press, London (1976).
- 15) C.D. Zerby et al., Nucl. Instr. Meth. **12**, 115 (1961).
- 16) R.B. Murray and A. Meyer, Phys. Rev. **122**, 815(1961).
- 17) D. Blanc et al., CR Acad. Sci. Paris, **254**, 3187(1962).
- 18) K. Becker et al., Proc. 3rd Int. Conf. Lum. Dosimetry, pp.960-984, Risø, Denmark (1971).
- 19) Taejeon Meteorological Obervatory, Private Commnication (1985).
- 20) J.S. Jun et al., Chungnam J. Sci. **11**(2), 25 (1984).
- 21) C. Rho, New Physics **6**, 75(1966).
- 22) J.S. Jun, Comp. 6th Int. Cong. IRPA, vol. 1, pp.88-91, Berlin (West) (1984).
- 23) Vinten Instruments Ltd., Model 654E Universal Toledo TLD Reader Instruction Manual (1983).
- 24) G. de D. Burke and J.E. Mclaughlin, IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-**21**(1), 444(1974).
- 25) E. Piesch and B. Burgkhardt, Rad. Prot. Dos. **5**(2), 79(1983).
- 26) H.L. Beck, "The Physics of Environmental Gamma Radiation Field", presented at 2nd

- Int. Symp. on Natural Radiation Environment, Houston, Texas, Aug. 7-11(1972).
27) G. de Planque and T.F. Gesell, Int. J. Appl. Rad. Isot. **33**, 1015(1982).
28) NCRP Rept. 50, Environmental Radiation Measurement, NCRP (1976).
29) American National Standards, Performance, Testing, and Procedural Specifications for Thermoluminescence Dosimetry (Environmental Applications), ANSI N545-1975(1975).

Assessment of Natural Radiation Exposure by Means of Gamma-Ray Spectrometry and Thermoluminescence Dosimetry*

Jae-Shik Jun, Hi-Peel Oh, Chul-Kyu Choi, and Heon-Jin Oh*

Department of Physics, Chungnam National University

Chung-Woo Ha

Korea Advanced Energy Research Institute

=Abstract=

A study for the assessment of natural environmental radiation exposure at a flat and open field of about 10,000m² in area in CNU Daeduk campus has been carried out by means of gamma-ray scintillation spectrometry and thermoluminescence dosimetry for one year period of time from October 1984. The detectors used were 3"φ×3" NaI (Tl) and two different types of LiF TLD, namely, chip sealed in plastic sheet which tightly pressed on two open holes of a metal plate and Teflon disk. Three 24-hour cycles of *in-situ* spectrometry, and two 3-month and one 1-month cycles of field TL dosimetry were performed.

All the spectra measured were converted into exposure rate by means of G(E) operation, and therefrom exposure rate due to terrestrial component of environmental radiation was figured out. Exposure rate determined by the spectrometry was, on average, $(10.54 \pm 2.96) \mu\text{R/hr}$, and the rates of $(12.0 \pm 3.4) \mu\text{R/hr}$ and $(11.0 \pm 3.6) \mu\text{R/hr}$ were obtained from chip and disk TLD, respectively. Fluctuations in diurnal variation of the exposure rate measured by the spectrometry were noticeable sometime even in a single cycle of 24 hours.

It is concluded that appropriately combined use of TLD with *in-situ* gamma-ray spectrometry system can give more accurate and precise measure of environmental radiation exposure, and further study for more adequate and sensitive TLD for environmental dosimetry, including improvement and elevation of accuracy in data assessment through inter-laboratory or international intercomparison is necessary.

*Research sponsored by the Ministry of Education funded for the promotion and specialization of science