

Automatic Determination of the Energy Pulse-height Relationship in NaI(Tl) Spectra

M. S. Lee

Department of physics, Chongju University

NaI(Tl) 검출기 스펙트럼의 에너지-채널 관계 자동결정

이모성

청주대학교 물리학과

Abstract—As the pulse heights from a NaI(Tl) detector vary with the temperature of the measuring environment, a significant change in temperature may affect the energy calibration of the spectrometer. The auto-adjustment of the channel corresponding to a pulse height can be achieved by introducing an external reference source to compensate the temperature dependency of pulse heights, but unfavorable increases of the Compton continuum are caused due to the external source. In this study, the total absorption peaks dominant in the typical environmental gamma spectrum—239 keV from ^{212}Pb , 351 keV from ^{214}Pb , 1460 keV from ^{40}K , and 2614 keV from ^{208}Tl for examples - were used as reference in the correction of energy calibration. With these peaks, the program to calibrate the energy of the spectrum was developed using Microsoft Visual Basic language. The program developed here was applied to the environmental spectra measured at intervals of 30 minutes in the temperature range of from -20°C to 10°C to demonstrate the validity and applicability. As a result of the test, the correction scheme appeared to be effective in the temperature changes encountered in the usual environment.

Key words :

요약—NaI(Tl) 검출기의 파고는 온도에 따라 변하기 때문에, 온도 변화는 분광분석기의 에너지 교정에 영향을 미친다. 외부 선원을 사용하여 파고의 온도 의존성을 보상할 수 있으나 이것은 바람직하지 않은 콤프턴 영향을 야기한다. 이 연구에서는 환경중의 감마선 스펙트럼에서 뚜렷한 ^{212}Pb 로부터의 239 keV 피크, ^{214}Pb 로부터의 351 keV 피크, ^{40}K 로부터의 1460 keV 피크, ^{208}Tl 으로부터의 2614 keV 피크를 에너지 교정의 기준 피크로 사용하였다. 이들 피크를 이용하는 방법은 마이크로소프트사의 Visual Basic으로 프로그래밍화 하였다. 이렇게 개발된 프로그램은 신뢰성과 적용성을 검증하기 위해 -20°C 부터 10°C 까지 변하는 온도에서 30분 간격으로 측정된 환경 스펙트럼에 적용하였다. 그 결과로써 일상의 기온에서 측정된 $3''\times 3''$ NaI(Tl) 검출기의 스펙트럼에 대해 이 방식의 에너지 교정은 효과적임이 입증되었다.

중심어 : 환경방사선, NaI(Tl) 검출기, 에너지 교정

서론

환경방사선 감시에서 감마선의 조사선량은 피폭 선량의 대략적인 유추가 가능하며, 측정 방법이 단순하기 때문에 주요 감시항목으로 하고 있다[1, 2]. 조사선량의 측정에는 가압전리함 선량계, G-M관 선량계 또는 NaI(Tl) 검출기 선량계가 주로 사용된다. 이들은 선량율과 검출기 계수를 사이의 관계를 이용하여 선량율을 계산하기 때문에, 감시 목적으로 하는 인공 방사선에 의한 선량율만을 별도로 측정할 수 없고, 선량율의 변동을 조사하여 방사선의 이상 유무를 판단하게 된다. 그러나 방사선 이상 유무 판단의 기준이 되는 자연 방사선은 일정하지 않고 시간에 따라 변한다[3]. 따라서 방사선 이상 유무를 정확하게 판단하기 위해서는 방사선의 에너지에 대한 스펙트럼 분석이 필요하다. 이러한 목적에 NaI(Tl) 분광분석기가 적합한데, 그것은 이 검출기를 상온에서 사용할 수 있고 에너지 스펙트럼의 측정이 가능하기 때문이다.

감마선 스펙트럼 분석을 실시하여 어떤 종류의 정보를 얻기 위해서는 우선 감마선의 에너지를 정확하게 구하는 것이 매우 중요하다. NaI(Tl) 검출기의 감마선 에너지에 대한 파고의 비, 온도에 따른 파고의 변화, 광증배관의 고전압 변화에 따른 파고의 변화, 광증배관을 흐르는 전류의 변화에 따른 파고의 변화 등 스펙트럼의 에너지 및 분해능 결정을 위한 중요한 성질들은 잘 알려져 있다[4]. 따라서 이들 특성을 잘 이용한다면 스펙트럼의 에너지 결정은 별 어려움이 없다. 그러한 방법으로서 NaI(Tl) 검출기의 온도를 일정하게 유지시키고 광증배관에 인가되는 고전압을 안정시킨다면 파고의 변화가 없기 때문에 스펙트럼의 에너지는 표준선원에 의한 에너지 교정함수를 사용하여 구할 수 있다.

그런데 환경감시를 위해 옥외에 NaI(Tl) 검출기를 설치한다면 또는 방사성 유출물 감시를 위해 방사성 유출물 감시계통에 설치할 때, 검출기의 온도를 일정하게 유지시키는 것이 어렵다. 이러한 경우에 다중파고 분석기에 부착된 스펙트럼 안정화 장치를 사용하여 파고를 일정하게 유지시키는 방법이 있다[5, 6]. 이 방법은 연속으로 스펙트럼을 측정하는 경우에 유효하

다. 그러나 스펙트럼 측정을 오랜 시간 중단한 후 다시 측정하게 되면 설정한 피크의 위치가 이동하기 때문에 안정화 장치를 가동시킬 피크 위치를 다시 설정하여야 하는 불편이 있다. 특히 분광분석기를 이동하면서 방사선 조사에 사용할 경우에는 불가피하게 고전압 및 증폭률이 변화하기 때문에 그 때마다 에너지 교정을 실시하여야 하는 불편함이 따른다.

따라서 이 연구에서는 NaI(Tl) 검출기 스펙트럼의 에너지-채널 관계를 측정된 스펙트럼으로부터 결정할 수 있는 방법을 개발하고자 하였다. 그 원리는 환경 방사선 스펙트럼의 background로 나타나는 몇 가지의 에너지를 알고 있는 흡수 에너지 피크를 사용하여, 스펙트럼 자체 내에서 에너지-채널 사이의 관계를 결정하는 것이다. 물론 이 방법은 새로운 것이 아니며, 기존의 상용 NaI(Tl) 검출기 스펙트럼 분석 프로그램에 각각의 피크에 해당하는 에너지를 입력하여, 수동으로 에너지-채널 사이의 관계를 구할 수는 있다. 그러나 이 방법은 자동으로 에너지-채널 관계를 결정할 수는 없다는 점에서 자동 감시에 사용할 수 없다. 따라서 이 연구에서는 환경 방사선 스펙트럼의 background 피크를 이용하여 에너지-채널 관계를 구하고 개인용 컴퓨터에서 동작하는 프로그램으로 구현하고자 하였다. 이 프로그램은 '97년 1월부터 2월까지 2개월간 옥외에 설치된 검출기로부터 30분 간격으로 연속 측정한 스펙트럼에 적용하였으며 개발된 방법의 타당성을 입증하였다.

원리 및 방법

가. NaI(Tl) 검출기 스펙트럼에서 파고-에너지 관계 결정

NaI(Tl) 검출기 시스템에서 에너지-채널 관계는 증폭기 시스템의 증폭률이 파고의 크기에 관계없이 일정 하더라도 검출기 자체의 섬광 변환 효율이 광자에 의해 만들어지는 2차 전자의 에너지에 따라 변하기 때문에 완전한 선형성은 나타내지 못한다[7]. 이와 같은 현상은 그림 1에서 보여주는 바와 같이 500 keV 이하의 저 에너지 영역에서 특히 현저하다. 그렇지만 2차 전자의 에너지 당 만들어지는 파고의 크기는 일정하기 때문에, 표준선원으로 에너지 교정을 실시하면 스펙트럼을 이루는 각 파고의 에너지 결정에는 문제가 없다.

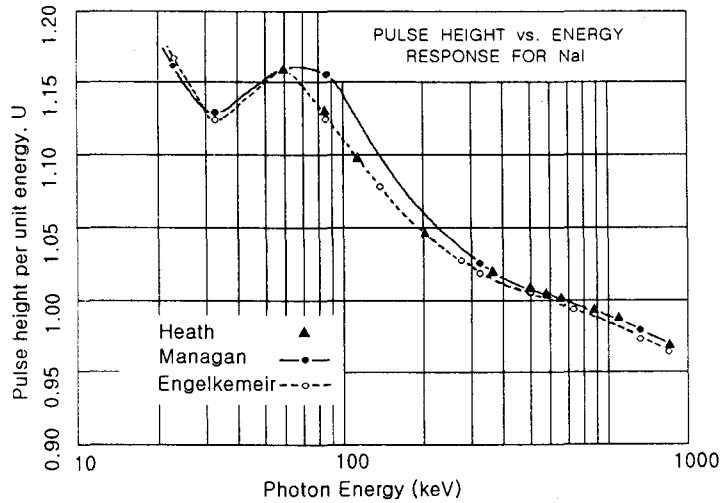


Fig. 1. The differential linearity measured for a NaI scintillator[4].

온도가 변하는 환경에서 NaI(Tl) 검출기를 사용할 때 가장 문제가 되는 것은 검출기로부터 만들어지는 섬광의 양이 검출기의 온도에 따라 변하는 것이다. 즉 온도 변화에 따라 생기는 파고의 이동으로 피크의 분해능이 저하되며 또한 스펙트럼 측정시마다 피크의 위치들이 변한다. 그런데, 1시간 혹은 30분 정도로 단기간 스펙트럼을 측정하는 경우에는, 측정하는 동안 검출기의 온도 변화가 크지 않기 때문에 분해능 저하는 크지 않다. 그러나 스펙트럼을 반복적으로 장기간 계속 측정하는 경우에는 검출기의 온도 변화가 크고, 따라서 측정된 스펙트럼들 간에 피크의 위치가 많이 변하기 때문에 표준 선원에 의한 에너지 교정 함수가 무의미해지게 된다. NaI(Tl) 검출기에 있어서 파고는 상온에서 온도에 따라 $-0.1\%/^{\circ}\text{C}$ 의 율로 변하는 것으로 알려져 있다[4].

환경에 존재하는 자연 방사선 가운데 몇몇 감마선들은 감마선 검출기 스펙트럼에서 뚜렷한 피크를 만든다. 그림 2는 월성원전 부근의 한 장소에서 HPGc 검출기와 $4'' \times 4''$ NaI(Tl) 검출기로 측정된 스펙트럼이다. 이 그림에서 보여지는 것과 같이 대부분의 환경에서 측정된 HPGc 스펙트럼에는 ^{212}Pb 로부터 방출되는 238.63 keV, ^{214}Pb 로부터 방출되는 295.21, 351.92 keV, ^{208}Tl 로부터 방출되는 583.19, 2614.66 keV, ^{214}Bi

로부터 방출되는 609.3, 1120.29, 1764.49, 2204.22 keV, ^{40}K 로부터 방출되는 1460.81 keV 등의 피크들이 뚜렷하게 나타난다. 이들 피크 중 NaI(Tl) 스펙트럼에서 뚜렷하게 나타나는 피크는 238.63, 351.92, 1460.81, 1764.49, 2614.66 keV 피크와 583.19 keV와 609.3 keV의 합성 피크들이다. 따라서 이들 피크를 사용하여 에너지-채널 관계식을 구할 수 있다. 특히 그림 1에서 보여주는 바와 같이 일정한 온도에서 에너지별로 만들어지는 파고의 크기가 정해져 있고, 온도 변화에 따라 모든 에너지에서 파고의 크기가 일정한 율로 변한다면 각 피크들의 상대적 위치는 일정하게 된다. 이를 에너지-채널관계의 결정에 이용하기 위해 한 피크 예를 들어 2614.66 keV의 피크 위치를 기준으로 한 각 피크의 위치에 대한 비를 구할 수 있다. 이 비를 사용하여 스펙트럼 탐색 결과로 얻어진 피크들의 상대적 위치의 비로부터 에너지-채널 관계를 구할 수 있도록 각각의 피크에 에너지를 할당할 수 있다.

583.19 keV와 609.3 keV의 합성 피크를 에너지-채널 관계식의 결정에 사용하기 위해서는 표준선원을 사용하여 합성 피크가 만들어 내는 피크의 에너지를 결정하여야 한다. 이들 채널, 에너지 데이터는 에너지를 채널의 3차 항까지 급수 식으로 하는 함수에 최소 제곱법으로 맞추어 에너지 교정함수를 구한다.

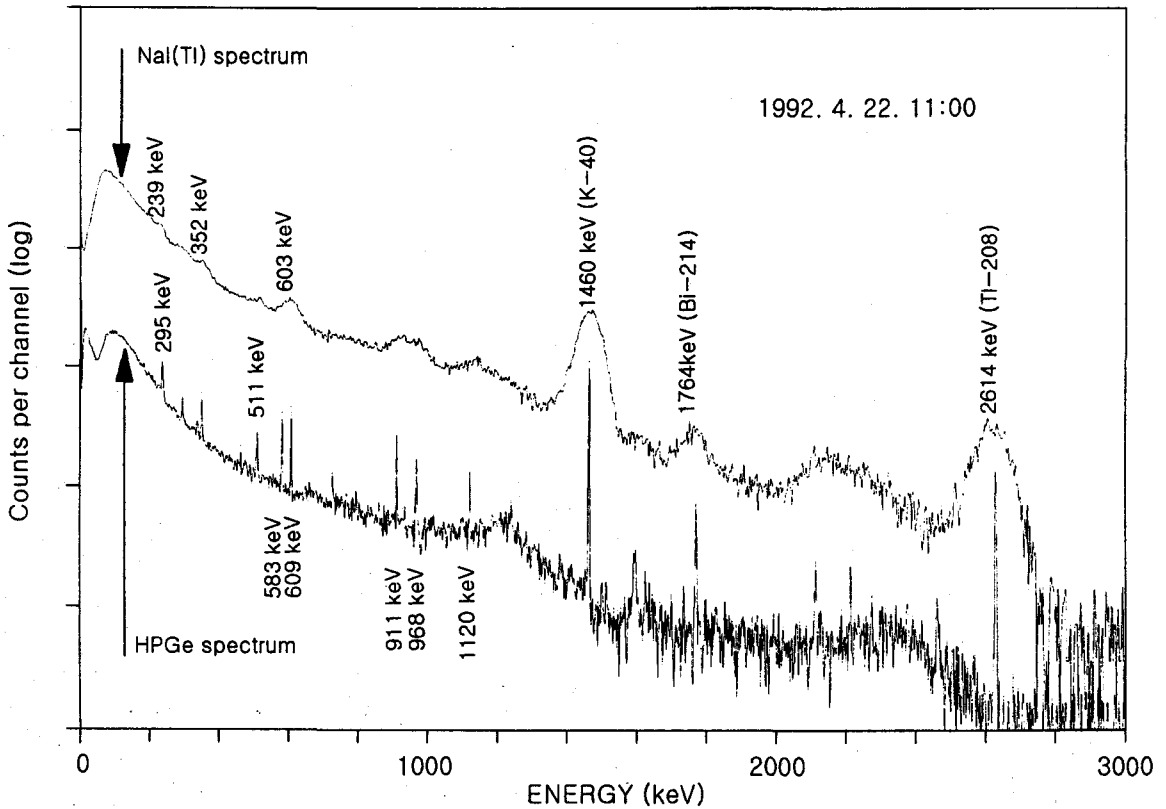


Fig. 2. Spectra obtained with NaI and HPGe detector near Wolsung power plant.

나. 피크탐색 및 피크 위치결정

NaI(Tl) 스펙트럼의 피크를 탐색하기 위해 가우스 평활화 2차 미분 필터를 사용하여 미분 스펙트럼을 구하고, 그 값이 미분스펙트럼의 통계적 변동보다 큰 경우에 피크로 판정하였다[8].

피크의 반치폭 보다 1~2배 더 큰 W를 갖는 가우스 함수

$$F(x) = \exp\left\{-\frac{2.773}{W^2} (x-p)^2\right\}$$

를 $x-p=i$ 로 치환한 후, i 에 대해 2회 미분하면

$$F''(i) = -\left\{\frac{5.546}{W^2} \left(1 - \frac{5.546i^2}{W^2}\right) \exp\left(-\frac{5.546i^2}{2W^2}\right)\right\}$$

로 된다. 여기서 x 는 채널이고, p 는 피크의 중심이다. 미분 필터는 $-3 \times W$ 에서 $3 \times W$ 까지의 i 에 대해 $F''(i)$

를 계산하여 구한다. 그러면 스펙트럼의 i 번째 채널 계수치를 $n(i)$ 라고 할 때, 평활화 2차 미분 $n''(i)$ 는 다음과 같이 표시된다.

$$n''(i) = \sum_{j=-3W}^{3W} F''(j) \cdot n(i+j)$$

피크 판별을 위한 기준으로써 n'' 에 대한 통계적 변동은 다음 식으로 계산하였다.

$$\sigma''(i) = \left\{\sum_{j=-k}^k F''(j)^2 \cdot n(i+j)\right\}^{1/2}$$

피크는 평활화 2차 미분 스펙트럼으로부터 $|n''(i)| > 3\sigma''$ 을 만족하는 것으로 하였다. 그림 3에는 NaI(Tl) 검출기 스펙트럼에서 2614 keV 피크와 위의 방법으로 계산한 미분 스펙트럼을 보였다.

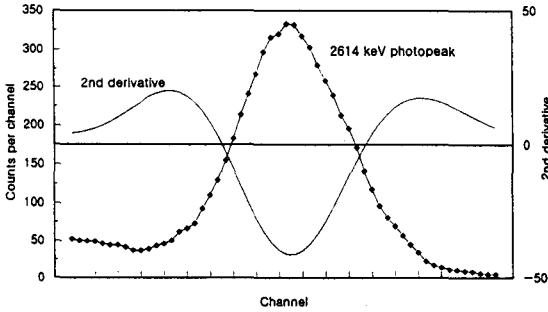


Fig. 3. 2614 keV photopeak in NaI(Tl) spectrum and its second derivative using the filter of Gaussian smoothed second derivatives

피크의 중심 위치는 피크탐색 결과로 판정한 피크에서 그 중심 주위 3 채널의 평활화 2차 미분치를 2차 급수함수에 맞추어 계산하였다. 평활화 2차 미분치를 사용한 것은 스펙트럼상의 실제 피크가 통계적 변동에 의해 부분적으로 왜곡될 수 있기 때문이다. 피크 주위의 평활화 2차 미분 스펙트럼에서 미분치가 가장 작은 채널을 h , 그 미분치를 n , $h-1$ 및 $h+1$ 채널의 미분치를 각각 n_{-1} , n_{+1} 이라고 하면 피크의 중심 p 는

$$P = h + \frac{1}{2} \left\{ \frac{n_{+1} - n_{-1}}{2n - n_{-1} - n_{+1}} \right\}$$

으로 쓸 수 있다.

계산된 피크의 위치가 올바른지를 검증하기 위해 그림 4와 같이 ^{137}Cs 스펙트럼의 661.66 keV 피크를 그 피크의 분해능과 같은 반폭치를 갖는 가우스 함수 즉

$$F = Ae^{-(x-x_0)^2/2\sigma^2} + Bx$$

로 대체하고 가우스 함수의 피크 중심 위치를 이동시키면서 피크의 위치를 계산하였다. 그 결과 $A=200$ 이상에서 피크 중심 위치의 오차는 0.01 채널 이하이었다.

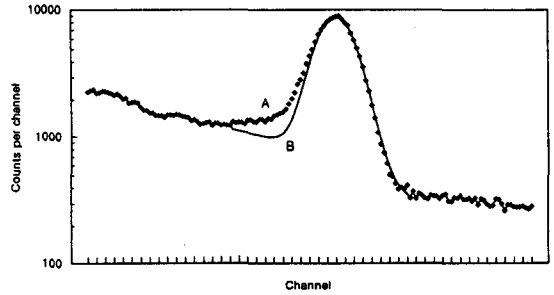


Fig. 4. Real photopeak (A) of 661 keV and Gaussian function(B) to evaluate the accuracy of photopeak position made a calculation using counts of 3 points around the peak centroid.

다. 자동 채널-에너지 관계 결정 프로그램

NaI(Tl) 검출기 스펙트럼의 자동 에너지 교정 프로그램은 Microsoft사의 Visual Basic으로 작성하였다. 프로그램은 스펙트럼 데이터 파일 입력, 평활화 2차 미분 필터의 생성과 미분 스펙트럼 계산, 피크위치 탐색 및 피크 중심 위치 계산, 에너지-채널 관계 함수 계산을 위한 피크의 결정 및 에너지-채널 관계 함수를 구하는 부분으로 구성하였다. 자동 에너지 교정 프로그램이 시작되면 데이터 파일 취급 프로그램에서 디스크로부터 스펙트럼 데이터를 불러들인다.

NaI(Tl) 검출기의 에너지에 따른 분해능은 표준 점선원 ^{137}Cs , ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{88}Y 등을 사용하여 미리 구한 값을 사용하였다. 미분 필터를 만들기 위한 각 채널에서의 검출기 분해능은 그 채널의 에너지를 사용하여 계산되기 때문에 대략적인 단위 채널 당 에너지 값을 입력하여 계산할 수 있도록 하였다. 이 값이 실제 스펙트럼상의 단위 채널 당 에너지 값과 다르더라도 피크 중심 위치의 계산에 큰 차이가 없었기 때문에 이 값은 프로그램에 상수로 입력하였다.

다음은 평활화 2차 미분 스펙트럼을 계산하여, 피크위치를 탐색하고 탐색된 피크 중심의 위치를 계산한 후 가장 피크 위치가 큰 피크로부터 그 피크를 기준으로 탐색된 나머지 피크들의 비를 계산한다. 그 비가 2614 keV 피크에 대한 239, 351, 1460 keV 피크의 중심 위치의 비와 일치할 때 각각의 피크에 비에 맞는 에너지를 할당하도록 하였다. '97. 1. 14~'97. 1. 21까지

측정한 300개의 스펙트럼 분석으로부터 2614 keV 피크에 대한 239, 351, 1460 keV 피크의 중심 위치의 비는 각각 0.5675 ± 0.0003 , 0.1432 ± 0.0003 , 0.0994 ± 0.0001 로 일정하였다. 2614 keV 피크 위치에 대한 각 피크의 비에 대한 불확정도는 피크 확인이 되도록 각 피크 편차의 5배로 하였다. 피크의 위치 및 피크 에너지가 결정되면 에너지를 채널의 3차 항까지 급수식으로 하는 함수에 최소 제곱법으로 맞추어 채널-에너지 사이의 관계식을 구하도록 하였다.

스펙트럼의 측정

기온 변화에 노출된 검출기로부터 생긴 파고의 이동 크기 및 분해능의 저하를 조사하기 위해 3"×3" NaI(Tl) 검출기 및 다중파고 분석기 시스템을 사용하여 스펙트럼을 측정하였다. NaI(Tl) 검출기는 BICRON 사 제품으로 검출기 및 광증배관이 한 케이스 안에 결합되어 있고, ^{137}Cs 의 661.66keV 감마선 피크 분해능은 6.3%이었다.

다중파고 분석기 시스템은 ORTEC 사 제품의 NORMAD Plus로, 퍼스널 컴퓨터와 연결하여 퍼스널 컴퓨터에서 다중파고분석기 운영 프로그램(MAESTRO)으로 검출기에 인가하는 고전압을 제외한 모든 파라메타들을 설정하고 다중파고 분석기를 운영하도록 되어 있다. 특히 이 다중파고 분석기 시스템에는 디지털 스펙트럼 안정화 장치가 포함되어 있다.

스펙트럼은 온도 변화에 따른 파고의 이동을 고려하여 ^{208}Tl 으로부터 방출되는 2614 keV를 포함하도록 선형증폭기의 이득을 조정하였으며 이에 따라 검출기에는 800V의 전압을 인가하였다.

스펙트럼의 측정은 대전시내의 한 아파트 14층에서 실시되었는데, 검출기는 아파트 외벽의 화분 받침대에 설치하고, 다중파고 분석기 시스템은 실내에 설치하였다. 검출기에는 직접 햇살이 닿는 것을 방지하기 위해 햇빛 가리개를 하였다. 스펙트럼은 측정의 목적에 따라 실시간으로 20분~1시간 간격으로 1주일 이상 연속 측정하였는데, 스펙트럼 안정화 장치의 성능을 검사하기 위한 스펙트럼 측정을 제외하고는, 스펙트럼 안정화 장치를 사용하지 않고 측정하였다. 측정된 스펙

트럼은 연속적인 분석을 위해 파일명을 일련 번호로 하여 디스켓에 저장되도록 하였다.

결과 및 분석

가. 온도에 따른 파고의 변화

그림 5에는 1997. 2. 18부터 2. 20까지 스펙트럼 안정화 장치를 사용하지 않고 30분 간격으로 연속 측정된 스펙트럼에서 피크 위치의 변화와 스펙트럼 측정 당시의 기온을 함께 보였다. 상온에서 NaI(Tl) 검출기의 섬광 효율 즉 파고는 온도에 비례하여 감소하는 것으로 알려져 있는데 이 그림은 그와 같은 관계를 잘 보여주고 있다. 이 그림의 데이터를 사용하여 기온과 파고사이의 관계로 나타낸 것이 그림 6이다. 이 그림에서 보여주는 바와 같이 파고는 기온에 따라 비례적으로 감소하는 것을 나타내고 있는데, 계산된 기온변화에 따른 파고의 변화율은 $-0.31\%/\text{C}$ 이었다. 이 값은 잘 알려진 NaI(Tl) 섬광체 자체의 온도에 따른 섬광변환율 $-0.1\%/C$ 보다 3배 더 큰 값인데, 그것은 파고가 섬광체 자체 이외에도 검출기 시스템의 영향이 있는 것으로 보여진다. 여기서 온도에 따른 섬광검출 변환율 이외의 영향에 대해서는 조사되지 않았다. 어쨌든 이 측정 결과로 알아낸 스펙트럼의 에너지-채널 관계에 영향을 줄 온도 변화에 따른 파고변화의 총체적인 크기는 기온의 일교차가 $\sim 20\text{C}$ 정도 되는 환경에서 6% 까지 된다는 것이다. 측정 결과로부터 $-20\text{C} \sim 10\text{C}$ 까지 변하는 동안 최대 9% 정도의 파고 변화가 있었으며 스펙트럼의 채널-에너지관계는 측정된 스펙트럼 자체로부터 결정하는 방법이 필요하다는 것을 나타낸다.

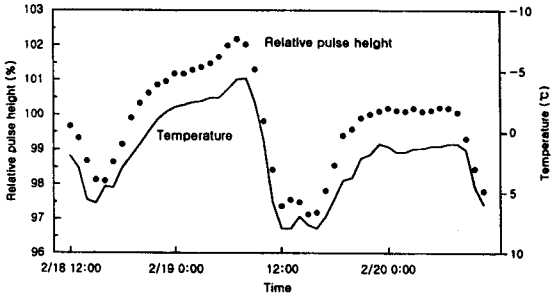


Fig. 5. Relative pulse-heights of 1460 keV in NaI(Tl) spectra and temperature measured at intervals of 30 minutes('97. 2. 18. ~2. 20.).

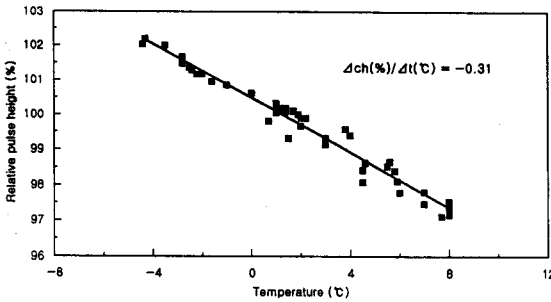


Fig. 6. Temperature dependence of the pulse heights calculated from the data of Fig. 5.

그림 7은 스펙트럼 안정화 장치를 사용하지 않고 측정된 스펙트럼의 파고를 조사하여 2614 keV 파고에 대한 1460, 351, 239 keV의 파고 비를 나타낸 것이다. 각각의 비는 0.065, 0.24, 0.26% 이내에서 일정하였으며, 시간에 따른 즉 기온변화에 따른 어떤 경향성도 나타내지 않는다. 따라서 에너지 교정을 위한 기준 피크로서는 이들 피크를 사용하는 것이 적합할 것으로 판단된다. 물론 이들 비를 사전에 구한다면 간단히 2614 keV 피크만으로 에너지-채널 관계를 구할 수 있겠으나, 이 경우에는 2614 keV 피크 위치의 오차가 그대로 에너지-채널 관계에 전파되기 때문에 여러 피크를 사용하는 것 보다 정확성에서 떨어질 것이다.

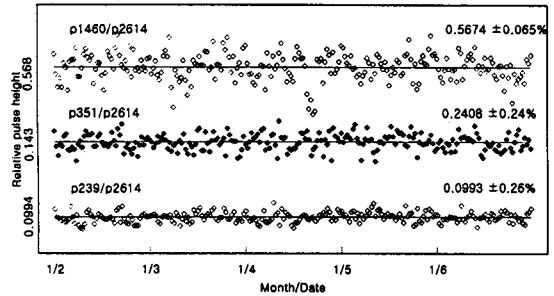


Fig. 7. The ratios of the pulse heights of 239, 351, 1460 keV to the 2614 keV pulse height in 3"×3" NaI(Tl) spectra measured without using spectrum stabilizer('97. 1. 2 ~ 1. 6.)

그림 8은 스펙트럼 안정화 장치를 사용하여 측정된 스펙트럼을 분석한 것이다. 스펙트럼 안정화를 위한 피크로는 스펙트럼에서 피크가 가장 뚜렷한 1460 keV 파고로 하였다. 그림에서 보는 바와 같이 239, 351, 1460, 2614 keV 피크의 위치는 각각 0.09, 0.02, 0.37, 0.55% 이내에서 일정하였으며 피크 변동의 크기는 스펙트럼 안정화에 사용한 1460 keV 피크의 위치로부터의 거리에 비례한다는 것을 알 수 있다. 이런 변동의 크기는 사실상 NaI(Tl) 스펙트럼을 분석하는데 있어 무시할 만한 크기이나, 문제는 이런 변동이 어떤 경향성을 갖는데 있다. 즉 스펙트럼 안정화에 사용한 피크를 중심으로 에너지가 큰 쪽의 피크는 기온 변화에 비례하여 감소하며, 에너지가 작은 쪽의 피크는 기온 변화에 비례하여 증가하는 경향을 나타낸다. 물론 온도 변화에 따른 파고 변화의 크기는 스펙트럼 안정화 장치를 사용하지 않을 때보다는 매우 작으나 239, 351, 1460, 2614keV 피크에 대해 그들 피크 위치의 평균치에 대한 최대 피크 위치와 최소 피크 위치 차의 비는 각각 2.0, 1.3, 0.02, 0.09%가 된다. 저 에너지 피크 특히 239 keV 피크 위치의 변화 크기 2.0%는 NaI(Tl) 검출기의 분해능 6~7% 정도에 비해 무시할 수 없는 크기이며, 스펙트럼 안정화 장치를 사용하더라도 저 에너지 부분에 대해서는 에너지 교정이 필요하다는 것을 나타낸다.

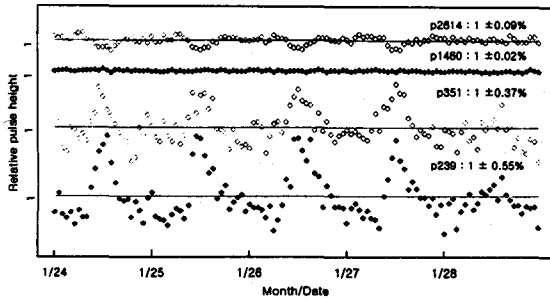


Fig. 8. The ratios of pulse heights of 239, 351, 1460, 2614 keV to each average pulse height in 3"×3" NaI(Tl) spectra obtained with using the spectrum stabilizer. The peak for spectrum stabilizer was set on the 1460 keV photopeak.

나. 분해능

온도변화가 있는 환경에서 스펙트럼을 측정하는 경우에 있어서 검출기의 온도 변화에 따른 파고의 변화는 피크의 위치이동 이외에도 분해능을 저하시킨다.

감마선 스펙트럼에서 흡수에너지 피크는 근사적으로 가우스 함수 형태를 갖기 때문에, 파고의 변화에 대해 분해능의 저하가 선형적으로 비례하지는 않는다. 파고가 이동되는 상황에서 측정된 스펙트럼의 피크는 분해능은 동일하나 파고 이동의 크기만큼 피크의 중심이 다른 피크들과의 합성 피크로 나타나게 된다. 따라서 파고의 이동 크기에 따른 분해능 저하의 크기는 피크 중심이 약간 다른 두 개의 가우스 함수를 합성하여 만들어진 함수의 분해능을 계산하여 추정할 수 있다. 그런데 스펙트럼을 측정하는 경우에 있어서 기온 변화는 연속적이며 파고의 이동도 연속적이기 때문에, 한 파고에서 다른 파고로의 불연속적 이동은 연속적인 파고의 이동에 의한 분해능 저하보다 더 큰 값을 나타내게 된다. 그림 9는 동일한 편차를 갖는 2개의 가우스 함수를 피크로 생각하여, 한 가우스 함수의 중심위치는 고정하고, 다른 한 가우스 함수의 중심위치는 0.1%부터 1%까지 변화해 가며 두 가우스 함수를 합성하여 얻어진 함수의 분해능을 보인 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 0.7% 까지의 파고변화에 대해 분해능의 저하는 1% 미만이었다.

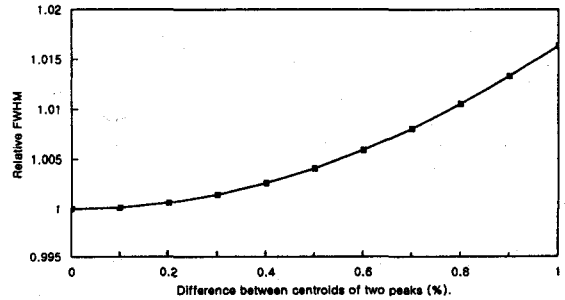


Fig. 9. FWHM of the function obtained by summation of two Gaussian functions. They have equal FWHM and the peak centroids which are slightly different from each other.

파고의 변화를 가져올 기온은 하루 중 맑은 날 해가 뜨는 오전에 변화가 크다. 기온 변화의 크기를 파악하기 위해 음지에서 '97. 2. 15부터 2. 20까지 6일 동안 기온을 측정하였다. 당시 기온은 -9.4℃부터 9.2℃까지 변화했는데, 30분간 온도 변화의 최대 크기는 1.5℃이하였다. 물론 이 기간의 온도 변화가 연중 기온 변화를 대표할 수는 없지만 대략적인 기온 변화의 크기는 비슷한 수준일 것이다. 환경 방사선을 감시하기 위해 30분 간격으로 스펙트럼을 측정하고, 스펙트럼을 측정하는 동안 기온의 변화가 1.5℃이하일 때, 분해능 저하는 0.33% 이하이다. 이 정도의 분해능 저하는 환경 방사선 감시 목적을 충분히 달성할 수 있는 정도이다.

결론

환경 방사선 감시를 위해 옥외에서 측정된 NaI(Tl) 스펙트럼에는 ²³²Th 계열의 ²⁰⁸Tl로부터 방출되는 2614 keV, ⁴⁰K로부터 방출되는 1460 keV, ²³⁸U 계열의 ²¹⁴Bi로부터 방출되는 351 keV, 239 keV 피크들은 피크 식별이 용이할 정도로 뚜렷하게 나타난다. 서로 다른 온도에서 측정된 스펙트럼에 대해서도 이들 피크 상호간의 상대적 위치는 일정하므로 이들 비를 사용하여 각 피크의 에너지를 구할 수 있고 따라서 에너지-채널 사이의 관계식을 구할 수 있음을 확인하였다. 이 방법은 Visual Basic을 사용하여 프로그램화하였다.

연구에 사용된 3"×3" NaI(Tl) 검출기에 대해 온도

변화에 따른 파고 이동의 크기는 $-0.31\%/^{\circ}\text{C}$ 이었으며, 따라서 온도가 변하는 상태에서 스펙트럼을 측정하는 경우에 검출기의 분해능 저하는 불가피하다. 그러나 스펙트럼을 측정 시작시와 종료시 사이의 온도차가 2°C 이하라면 분해능 저하의 크기는 1% 미만으로 무시할 만하다.

이 방법을 $-20^{\circ}\text{C}\sim 10^{\circ}\text{C}$ 되는 기온에 노출된 NaI(Tl) 검출기로 30분 간격으로 연속 측정한 스펙트럼에 적용한 결과, 모든 스펙트럼에 대해 각 피크들의 에너지를 정확하게 결정할 수 있었다. 따라서 이 방법은 NaI(Tl) 검출기를 자동 방사선 감시에 사용하는 경우에 스펙트럼의 에너지-채널 관계를 결정하기 위한 방법으로 사용할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 과학기술처, "원자력관계시설 주변의 환경조사 및 영향평가에 관한 규정", 과학기술처 고시 제 96-31호, (1996).
2. 과학기술처, "국가환경 방사능 자동 감시망 개발", KINS/GR-113, (1996).
3. NCRP Report No. 50, *Environmental Radiation Measurements*, pp.44-47(1976).
4. R. L. Heath, "Computer Techniques for the analysis of gamma-ray spectra obtained with NaI and Lithium-ion drifted germanium detectors", *Nucl. Instr. and Meth.* 43, 209-229 (1966).
5. M. Yamashita, "A pulser-controlled dual window unit for use in gain stabilization of scintillation detectors", *Nucl. Instr. Meth.* 114, 75-82(1974).
6. P. J. Borg, P. Huppert, P. L. Phillips, and P. J. Waddington, "A microprocessor-based gamma-ray spectrometer with gain stabilized single-channel analyzers", *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res.* A238, 104-110 (1985).
7. D. Engelkemeir, "Nonlinear Response of NaI(Tl) to Photons", *Rev. Sci. Instr.* 227, (1956).
8. 鈴木隆司, "ガンマ線のエネルギー分析法とその應用", *Radioisotopes* 39, 420-429(1990).