

⁶Li 중성자분광계 특성 연구

최성호 · 강삼우 · *이광필¹ · *이경주 · *황선태

한남대 화학과

한국표준과학연구원 방사선연구실

(1992. 3. 3 접수)

A Study on the Characteristic of the ⁶Li Neutron Spectrometer

Seong-Ho Choe, Sam-Woo Kang, *Kwang-Pill Lee¹, *Kyung-Ju Lee and *Sun-Tae Hwang

Department of Chemistry, Hannam University, Taejeon 300-791, Korea

*Radiation Laboratory, Korea Research Institute of Standards and Science, Taejeon 305-606, Korea

(Received Mar. 15, 1992)

요 약. 중성자 스펙트럼을 측정하기 위해 ⁶Li 중성자 분광계를 설치하고 ¹³⁷Cs과 ²⁰⁷Bi 점선원을 사용하여 ⁶Li 검출관의 특성을 파악하고 ²⁴¹Am-Be 중성자 선원을 사용하여 중성자 포획피크를 측정하였으며, ⁶Li(n, α) T 반응에 의한 에너지 파고스펙트럼을 측정하였다. 또한 중성자 선원의 조사 시간의 변화, 선원과 검출관 사이의 거리의 변화, 파고분석기의 문턱조절자를 미세하게 변환시키는 경우에 파고스펙트럼을 측정하였다.

ABSTRACT. For the neutron spectrum measurement, ⁶Li neutron spectrometer system is installed. The characteristic of the ⁶Li detector are investigated using a ¹³⁷Cs and ²⁰⁷Bi point source, and the neutron capture peaks and the pulse height spectrum using an ²⁴¹Am-Be neutron source are measured. Furthermore, the pulse height spectrum for the irradiation time variation from the ²⁴¹Am-Be neutron source, and for the distance variation between detector and source, and the threshold variation of discriminator are measured.

Key Words : ⁶Li neutron spectrometer, neutron capture peak.

1. 서 론

1930년 독일의 Both와 Becker에 의해 Po의 알파입자를 어느 가벼운 물질에 조사시킬 때 감마선보다 투과력이 강한 방사선이 발생하는 것을 발견하였다. 이를 Chadwick가 "중성자"라고 불렀다. 중성자는 전기적으로 중성의 입자이므로 센 투과력을 갖는 특성이 있으며 발생원은 우주로부터의 자연방사성 중성자 및 방사성 동위원소에서 방출되는 것과 인위적으로 가속 장치에서 얻어내는 단일 에너지 중성자가 있다. 중성자는 원자핵 구성요소의 하나로 그 질량은 대략 양성자 질량과 같으며 단독으로 안정하지 못하고 반감기는 14.9분으

로 붕괴하면서 베타선을 방출하고 양자가 된다.¹ 일반적으로 중성자의 에너지에 따라서 고속 중성자(0.5 MeV 이상), 중속 중성자(0.1 keV~500keV), 저속 중성자(0.1keV 이하), 열 중성자(물질의 열운동과 평형에 있는 중성자로 20℃에서 0.025 eV) 등이 있다. 중성자는 전기적으로 중성의 입자라는 특성 때문에 중성자를 측정하기 위하여는 중성자와 물질과의 상호작용에 있어서 방출하는 하전입자를 간접적으로 측정하지 않으면 안 된다. 중성자와 물질과의 상호작용은 물질의 종류와 중성자의 에너지에 비례한다. 그러므로 중성자에 의한 원자력산업, 의료 및 기초연구 등에 따른 중성자

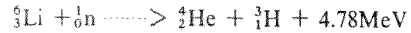
에너지 스펙트럼의 필요성은 다음과 같다. 각종 물질의 중성자에 대한 단면적을 측정하기 위해, 차폐 및 방사선 방어의 입장에서, 재료의 조사손상과 방사화량의 평가에 있어서, 의학면에서 흡수선량을 측정하는데 있어 중성자 에너지 스펙트럼이 필요하다. 중성자 에너지를 측정하는 방법은 여러 가지가 사용되는데, 특히 중성자분광법은 중요 분야이다. 본 연구에 앞서 ${}^3\text{He}(n, p)\text{T}$ 반응을 이용한 ${}^3\text{He}$ 중성자 분광계(반도체검출기)에 관한 실험을 행하여 ${}^3\text{He}$ 가스의 압력 및 거리 변화에 관한 중성자 파고스펙트럼을 측정하였다.²

본 연구에서는 ${}^6\text{Li}$ 중성자 분광계를 사용하였는데, 실험에서 사용한 검출기는 1947년 Colton과 Marshall 등이 알파, 베타, 감마 등에 사용하였고³ 중성자 분광법의 이용은 고속중성자에 대해 1960년 Love 등이 ${}^6\text{Li}(n, \alpha)\text{T}$ 반응을 이용하여 시작되었고⁴, 그 후 Lee 등에 의한 ${}^3\text{He}(n, p)\text{T}$ 반응을 이용하는 반도체 검출기를 이용한 고속중성자의 측정, 섬광계수관으로서의 중성자 검출관도 발달되어 온다.^{5,6} 현재 선진 각국에서는 중성자 에너지 스펙트럼의 측정기술 확립 및 표준화를 위해 단색 중성자 선원을 만들 수 있는 가속기를 보유하여 중성자 에너지 스펙트럼의 국제표준을 위하여 국제 비교연구를 수행하고 있다. 그러나 국내에서는 아직 단색 선원을 낼 수 있는 가속기를 보유하지 못한 실정이므로 이에 대한 연구는 미미한 실정이다. 그러므로 본 연구는 ${}^6\text{Li}$ 중성자 분광계로 중성자 스펙트럼 측정기술을 다지기 위한 기초 연구로서 검출관의 교정 및 시스템의 조건 제시, 중성자 선원의 강도 변화에 따른 중성자 스펙트럼의 변화, 전자회로계의 조건을 변화시킴으로써 감마선과 중성자 측정, 시간 및 거리의 변화에 따른 중성자 스펙트럼의 변화 등을 실험해 보았다.

2. ${}^6\text{Li}$ 중성자분광계의 원리

방사선 계측에 사용되는 장치는 예외도 있지만 방사선이 가지고 있는 정보를 전기신호 등으로 변환하는 검출기와 검출기로부터의 전기신호를 전기적으로 처리한 후 표시 및 기록하는 전자회로계(electronics)로 되는 것이 보통이다. 검출기는 여러 가지의 종류가 있으며, 같은 원리의 것이라도 구성재료, 크기, 형태 등에 따라 그 적용 범위는 약간씩 다르기 때문에 측정 대상이 되는 방사선의 성질, 강도, 실험 목적 등을 감안하여 사용할 검출기를 선택하여야 한다. 이 실험에서 사용

된 검출기는 섬광계수관의 일종인 무기섬광계수관인 ${}^6\text{Li}$ 유리(glass) 계수관으로 유리의 두께에 따라 검출효율이 달라지고, 발광의 효율은 유기섬광계수관보다 좋고, 높은 온도에서 부식되지 않는 장점을 지니고 있으며 다른 계수관에 비해 중성자를 검출하는 데 폭넓게 이용된다. 중성자는 ${}^6\text{Li}$ 와 충돌하여 알파입자와 삼중수소(triton)를 만든다.



이 반응의 단면적은 $E=0.025\text{eV}$ 혹은 $T=293\text{K}$ (중성자 속도 $2200\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)에서 937b 이며 10keV 까지 $1/v$ 법칙에 따라 변화하기 때문에 스펙트럼의 취급이 가능하여진다.

Figure 1은 ${}^6\text{Li}$ 검출관과 광전자 증배관(PMT)의 구조를 나타낸다. 중성자가 검출관에 입사하여 핵반응을 일으키고 알파입자를 발생시키는 과정에서 광을 방출한다. 광은 광전극을 때려 광전자를 발생한다. 이 광전자는 첫번째 다이노드에 충돌하여 전자를 내고 그 전자가 다음 다이노드로 들어가면서 방사선 신호가 점점 증가된 전기적 신호로 변환된다. 즉 방사선 신호가 전기적인 신호로 변환되게 된다. 검출기로부터의 전기신호는 일반적으로 미약하며, 이것을 해석, 기록하기 위해서는 전자회로계의 도움을 빌리지 않으면 안 된다. 전기신호의 처리방식은 방사선 검출기로부터의 출력은 펄스로 취급하는 경우와 평균전류로 취급하는 경우가 있다. 일반적으로 펄스로 취급하는 경우 펄스의 유무에 관심이 있는 반면에 방사선 계측에 있어서 펄스 기술은 이러한 아나로그 펄스로 취급하는 외에 펄스의 파고치나 펄스의 파형까지도 문제로 하는 모든 아나로그 펄스를 취급하는 특징이 있다. 전자회로계의 구성은 여러 가지가 있으나 본 실험에서 사용한 것은 미소신호를 증폭하는 증폭기, 특정 파고를 분석하는 파고 분석기, 두 가지 계통간의 시간적 일치를 조절하는 동시계수회로, 펄스파고의 빈도분포를 자동적으로 해석

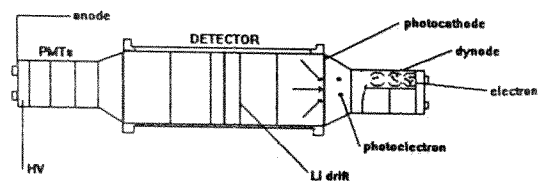


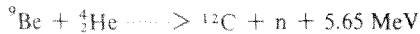
Figure 1. Block diagram of detector and PMTs

하는 다중과고분석기 등 몇 가지 회로의 장치를 적절히 조합하여 사용하였다. 이러한 경우 검출기의 성능을 최대로 인출하기 위해 개개 회로에 대한 미세조정을 하였으며, 사용 목적에 따라서 선택을 하였다.

검출기의 장벽효과(well effect)와 노이즈를 쉽게 처리하기 위해 컴퓨터프로그램을 사용하였다. 이 실험에서 사용한 프로그램은 PC Toolkit software package이다. 이 package는 CANBERRA 다중채널과고분석기와 개인용 컴퓨터 인터페이스(personal computer interface)에 사용되며 이 소프트웨어를 사용하는 목적은 여러가지가 있는데, 본 실험에서는 다중채널 과고분석기와 교접할 때 데이터 전송을 제공한다.

3. 실험

중성자 선원으로서는 ²¹⁴Am-Be 선원을 사용하였다. ²¹⁴Am-Be 선원은 방사성 동위원소를 이용한 (α,n) 중성자 선원으로서



반응으로 중성자를 방출시키며 알파입자를 방출하는 원소는 ²¹⁴Am이다. 중성자선원은 감속용 파라핀 용기에 넣어 감속시켜 사용한 경우와 감속용기에 넣지 않은 경우에 대해서 모두 측정하였다.

먼저 ⁹Li 검출관의 특성을 파악하기 위하여 먼저 Figure 2와 같은 전자회로계를 구성하고, 광전자증배관의 각각의 증폭조절나사를 조정하여 정보를 최대가 되게 한다. ¹³⁷Cs 점선원을 양쪽 광전자증배관 사이에다 놓고, 한쪽을 전치증폭기와 연결하고 다중채널과고분석기에 연결한다. 다른 쪽도 같은 방법으로 연결한 결과 두 스펙트럼이 겹침이 일어나지 않아서 증폭조절나

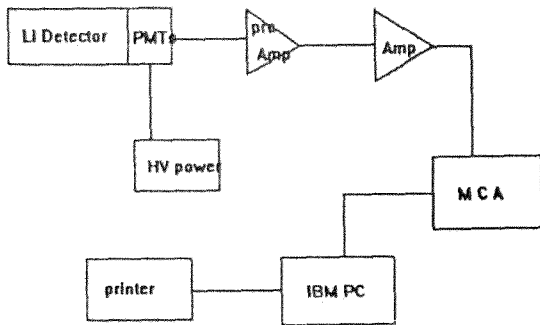


Figure 2. Bolck diagram of test configuration for pulse height measurement

사를 조절하여 두 스펙트럼이 중첩되도록 하였다. ²⁰⁷Bi점선원을 사용하여 감마 스펙트럼을 측정하였다. 이 두 선원은 에너지의 구별이 뚜렷하여 채널수 대 전기적에너지를 교정하였다.7 상대적인 중성자포획위치를 잡기 위해 파라핀을 사용하여 충분히 감속시킨 후 ²⁴¹Am-Be 선원을 사용하여 중성자 포획스펙트럼을 측정하였다. Figure 3은 ¹³⁷Cs과 ²⁰⁷Bi 선원의 감마 스펙트럼이고 Figure 4는 중성자 포획 위치를 나타낸다. 전

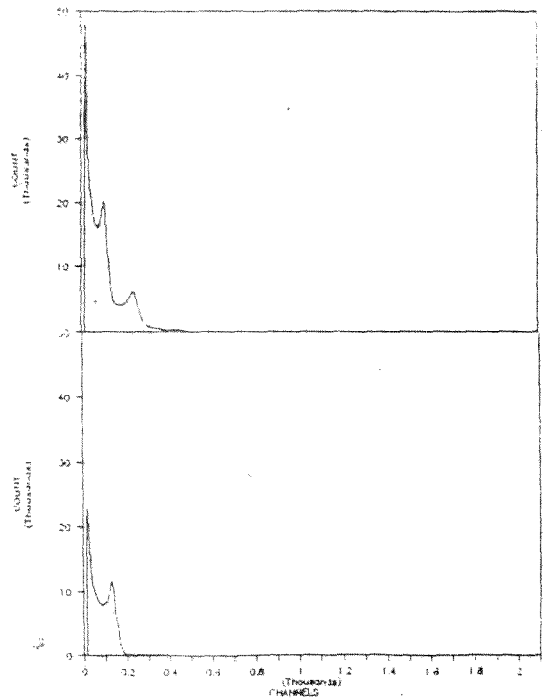


Figure 3. Gamma ray spectrum used for initial energy calibration.

Top) ¹³⁷Cs, Bottom) ²⁰⁷Bi

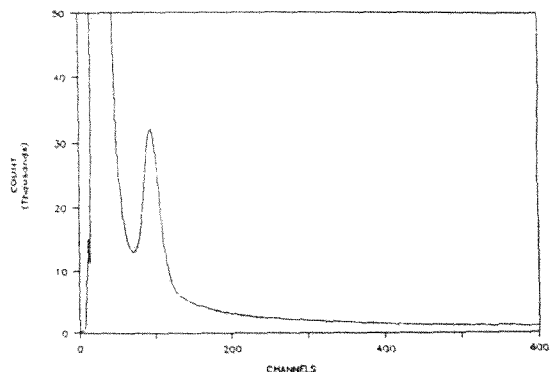


Figure 4. Thermal neutron capture peak from an ²¹⁴Am-Be source.

기에너지 대 채널수로 교정하여 중성자 포획스펙트럼 임을 알 수가 있었다.

전자회로계의 구성은 Figure 5와 같이 한다. 파고분석기의 스펙트럼을 측정하여 8,9 감마영역과 중성자포획영역을 얻을 수가 있었다. ²⁴¹Am-Be 중성자선원을 파라핀용기에 넣은 경우와 넣지 않은 경우를 비교해 볼 때 넣지 않은 경우에 측정 갯수가 많았고, 파라핀이 중성자를 감속시켜 중성자 측정효율을 감소시키는 것을 알 수 있었다. Figure 6은 고속중성자에 대해 검출기와 선원간의 거리를 일정하게 두고 시간을 변화시키면서 측정한 것이고, 거리를 변화시키면서 측정하는 경우 측정 계수 수가 변화되는 것을 보았다. 전자는 중성자 피이크를 나타내고 스펙트럼의 어깨부분은 감마 영역이라고 보여진다. 중성자와 감마 영역 분리시스템인

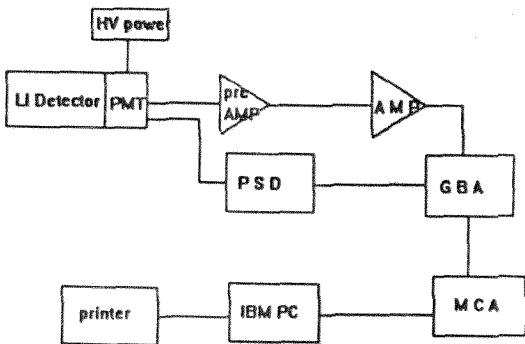


Figure 5. Block diagram of test configuration for pulse shape discrimination.

PSD : pulse shape discriminator
GBA : gated biased amplifier

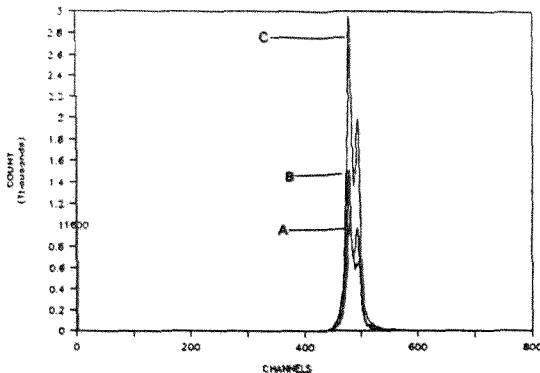


Figure 6. Pulse height spectrum measured by ⁶Li neutron spectrometer from an ²⁴¹Am-Be source. measured time: curve A:1000sec B:2000sec C:3000sec

Figure 7은 두 개의 파고분석기와 동시계수회로를 사용하고 파라핀용기를 사용한 경우와 파라핀 용기를 사용하지 않은 경우, 동시회로기의 지연선(delay line)의 길이의 변화를 주면서 중성자와 감마 영역을 분리하도록 시도하였다. 특히 파고분석기의 문턱조절자를 미세하게 조정하여 Figure 8의 스펙트럼을 측정하였다. 그러나 중성자영역과 감마영역을 분리하지는 못하였다.

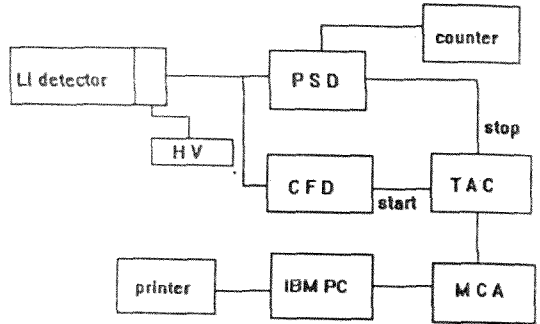


Figure 7. Block diagram of Li spectrometer system.

CFD : constant fraction discriminator
PSD : pulse shape discriminator
TAC : time analyzer converter

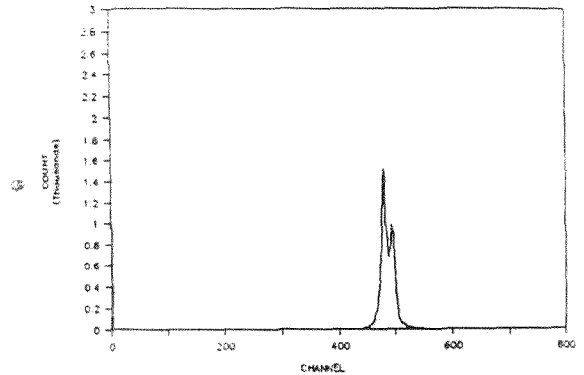


Figure 8. Pulse height spectrum measured by ⁶Li neutron spectrometer from an ²⁴¹Am-Be source. measured time : 1000sec

4. 결과 및 고찰

이 실험은 중성자 분광계가 NIM modules로 사용되었고, 파라핀이나 폴리에틸렌 용기를 사용하여 감속시켰을 때와 용기를 사용하지 않은 경우 스펙트럼의 모양은 별다른 변화가 없었다. 동시회로기의 지연선 길이를 변화시키는 경우도 거의 변화가 없었다. 측정시

간의 변화를 1000s, 2000s 및 3000s에서 각각 측정해본 결과 시간에 따라 측정계수가 비례적으로 변화됨을 알 수 있었다. 거리에 따라서 측정도 하였는데 거리가 멀수록 측정계수 수는 줄어들었다. 그러나 위에서 물리적인 조건을 변화시키는 경우 스펙트럼 위치의 변동이 없음이 확인되었다. 고전압 공급장치는 1000V로 고정하였다. 파고분석기의 문턱조절자를 미세하게 조절하는 경우 스펙트럼에 변화가 나타났다(Figure 8). 그러나 뚜렷이 중성자 스펙트럼과 감마 스펙트럼을 분리하기는 어려웠다. ^6Li 중성자 분광계를 설치하여 $^{214}\text{Am-Be}$ 중성자 선원을 사용하여 중성자 스펙트럼 측정기술 확립을 위한 중성자 파고스펙트럼을 측정하였다.

5. 결 론

^6Li 중성자 분광계를 설치하고 $^{214}\text{Am-Be}$ 의 중성자 선원을 사용하여 중성자 스펙트럼 측정기술의 확립을 위하여, 감마 점선원을 사용하여 ^6Li 검출관의 특성을 조사하고, 중성자 선원에 대하여 중성자 포획 피크를 측정하였고, 순수한 중성자 스펙트럼을 얻기 위해 시스템을 변화시켜 나갔다. 또한 시간 변환에 따라서, 검출관과 선원과의 거리의 변화를 주면서도 각각 측정하였다. 측정계수는 시간에 따라서 비례적인 관계를 유지하나 거리에 따라서는 그렇지 못하였다. 다른 물리적인 조건을 변화시키는 경우, 스펙트럼의 위치에는 변화가 없음이 확인되었다. 금후 ^6Li 중성자 분광계

시스템을 이용한 중성자와 감마선의 정확한 분리 및 중성자 선원의 변화에 따른 중성자 분석법 연구를 수행할 예정이다.

참 고 문 헌

1. J. Byrene, P. G. Dawber, J. A. Spain, A. P. Williams, M. S. Dewery, D. M. Gillam, G. L. Green, G. P. Lamaze, R. D. Scott, J. Pauwels, R. Eykens and A. Lamgberty, *phy, Rev.Letters.*, **65**(3), 289(1990).
2. K-P. Lee, K-J. Lee, S-T. Hwang, M-S. Kim and Y. Cho, *Anal. Sci. Tech.* Vol. **4**, No.1, (199!).
3. Hofstadter, R.: *Nucleonics*, **4** : 2(April, 1949); **4** : 20(May, 1949).
4. Love, T. A., and R. B. Murray : *IRE Trans. on Nuclear Sci.*, NS-8(no 1)91, (1961).
5. Muehlhous, C. o, and G. E. Thomas ; *Nucleonics* **11** ; 44(January 1953).
6. Muehlhous, C. o ; Article in J. B. Marin and J. L. Fowler(eds) "Fast Neutron Physics, Part I " Interscience Publishers, Inc, New York(1960).
7. R. Cherubi, et. al. "Gamma Calibration of organic Scintillations" *Nucl. Inst. and Meth.* A281. No2.
8. D. Horrocks. "Pluse Shape Discrimination with Organic Liquid Scintillator Solution" *Applied Spectroscopy* V24 **4**,379(1970).
9. P. Sperr, et. al. "Asimple Pulse-shape Kiscrimination Circuit" *Nucl. Inst, and Meth* **116**, 55(1974).