

2중더하기방식의 하강시간측정에 의한 $n-\gamma$ 선별방법

오영호, 강호, 리명철

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《나라의 과학기술을 세계적수준에 올려세우자면 발전된 과학기술을 받아들이는것과 함께 새로운 과학기술분야를 개척하고 그 성과를 인민경제에 적극 받아들여야 합니다.》
(《김정일선집》 증보판 제11권 138~139페이지)

이전의 $n-\gamma$ 선별방법[1]에서는 1중더하기방식으로 γ 선을 선별한데로부터 선별효과가 낮고 방법이 복잡한 결함을 가지고있었다.

우리는 2중더하기방식의 하강시간측정법을 리용하여 $n-\gamma$ 혼합마당속에서 γ 선을 선별하고 중성자에너지스펙트르를 측정하였다.

1. 측정체계구성

그림 1에 Pu-Be원천의 중성자에너지스펙트르측정체계의 구성도를 보여주었다.

측정체계는 상사신호처리회로, AD변환회로, 하강시간선별회로, 수자신호처리회로, RS232결합회로, USB2.0결합회로, 컴퓨터로 구성되였다.

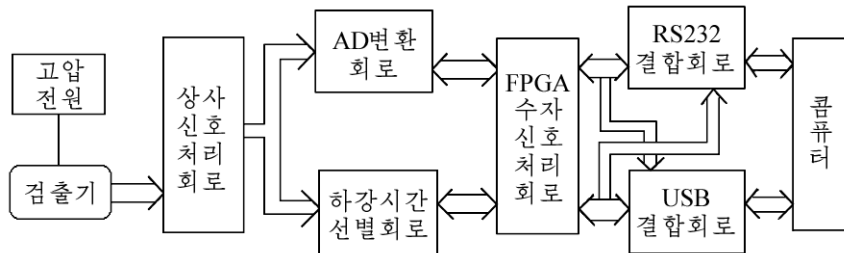


그림 1. Pu-Be원천의 중성자에너지스펙트르측정체계의 구성도

검출기에서 나온 신호는 상사신호처리회로에서 증폭, 성형, 러파를 한 다음 AD변환회로와 하강시간선별회로에 동시에 들어간다.

2중더하기방식의 하강시간측정법으로 하강시간이 수ns~수백 μs 인 n, γ 선에 대한 신호선별을 진행하며 요구되는 방사선의 시간스펙트르를 측정할수 있다.

방사선립자의 종류에 따라 하강시간대역이 차이나므로 발진주파수를 분주회로에서 분주하여 하강시간설정회로와 계수회로에 보낸다. 상사신호처리회로에서 들어온 아래준위검출신호와 봉우리검출신호사이의 시간간격을 계수회로에서 수자화하여 수자신호처리회로로 보낸다. 하강시간선별회로와 계수회로의 신호들이 동시에 나가면 그것은 곧 얻으려는 신호로 되며 계수회로신호만 나가면 선별하여 제거하여야 할 신호로 된다.

하강시간선별회로에서 검출기의 종류와 방사선의 에너지에 따라 하강시간대역을 장치적으로 설정할수 있으며 또는 프로그램적으로 조종할수 있게 되어있다.

수자신호처리회로에서 사용자의 요구에 따라 AD변환자료와 하강시간선별자료를 동시에 또는 각각 USB2.0결합회로를 거쳐 컴퓨터와 자료송수신을 진행할수 있게 신호처리를 한다.[3, 5]

전체 측정체계의 동작알고리즘은 그림 2와 같다.

CY7C68013의 최대자료전송속도는 480Mbps이다.

PA0은 중단단자, PA5~PA7(PA5-시간자료읽기, PA6-분석기에로의 쓰기, PA7-진폭자료읽기)은 조종신호로 리용하며 FD0~FD15로 AD변환기와 하강시간선별기의 16bit자료를 접수한다.

먼저 측정체계는 장치초기화를 진행하고 분석기에로의 측정시작 및 쓰기신호가 나가면서 측정을 시작한다.

분석기에서 AD변환이 끝난 후에 중단신호가 발생하는데 CY7C68013은 이 신호를 접수하면 다음단계로 진폭자료읽기, 시간자료읽기를 하고 순서대로 컴퓨터에 전송한다.

중단신호가 발생하지 않으면(분석기입구에 신호가 들어오지 않았거나 AD변환이 끝나지 않은 경우) 발생할 때까지 대기한다.

다음 컴퓨터로부터 측정정지신호를 접수하지 않으면 측정을 반복하여 계속 진행하며 측정정지신호를 접수하면 체계의 전체 동작을 완료한다.

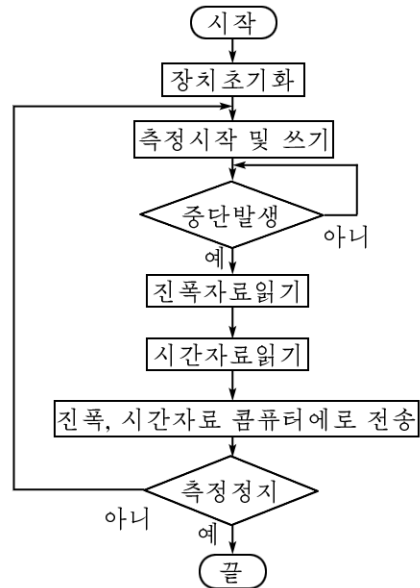


그림 2. 전체 측정체계의 동작알고리즘

2. USB2.0통신프로그램설계

펌웨어설계는 Keil C51을 리용하여 진행하였는데 원천프로그램은 DSCR.a51, USBImpTB.obj, Ezusb.lib, isr.c, framework.c, DeviceCTL.c, gpif.c로 구성되어있다. 조종은 Control전송방식, 자료수집은 Bulk전송방식을 리용하였다.

프로그램을 실행하면 먼저 펌웨어를 적재하고 장치설정을 하며 Control전송방식 ((*pControlTrans)(dummybuf, VX_START, m_bspt, m_MesByte), (*pControlTrans)(dummybuf, VX_STOP, m_bspt, m_MesByte))으로 분석기의 측정시작과 정지, 통로설정, 계수기지우기 등 해당한 조종신호들이 나간다.

다음 분석기의 진폭자료, 시간자료들을 Bulk전송방식(pBulkTrans(dummybuf, 0, 8192))으로 8KB씩 차례로 전송하며 화면에는 1s에 한번 연시한다.

아래에 Default Control Endpoint(Endpoint 0)를 통해 처리하는 함수 DR_VendorCmnd()의 조종프로그램을 보여주었다.

```

BOOL DR_VendorCmnd(void)
{
    AnalSet = SETUPDAT[4];
    switch( SETUPDAT[1] )
    {
        case VX_B2:

```

```

Messtate = 1;
{ //START
IOA = 0xE0; while(!(GPIFTRIG & 0x80))
{           ;           }
XGPIFSGLDATH=0x06;
XGPIFSGLDATLX=AnalSet;
while(!(GPIFTRIG & 0x80))
{           ;           }
}
case VX_B5:
Messtate = 0;
{ //STOP
IOA = 0xE0;
while( !( GPIFTRIG & 0x80))
{           ;           }
XGPIFSGLDATH = 0xFD;
XGPIFSGLDATLX = AnalSet;
while(!(GPIFTRIG & 0x80))
{           ;           }
IOA=0xA0;
IOA=0xE0;
EX0=0;
EP0CS|=bmHSNAK;
return( FALSE );
}
}

```

3. Pu—Be원천의 빠른중성자에너지스펙트르측정

론문에서 개발한 스펙트르분석체계를 리용하여 Pu—Be원천(세기 $2 \cdot 10^5$ 개/s)의 빠른 중성자에너지스펙트르를 측정하였다. 빔증배관($\Phi\Xi Y90$)전압을 1 050V, 상사신호처리회로의 증폭결수를 250으로 설정하였으며 검출기의 섬광체는 스틸벤섬광체로서 $\phi(80\text{mm}) \times h(40\text{mm})$ 이다. Pu—Be원천에서 중성자의 최대에너지는 10.7MeV이며 평균에너지는 약 4.3MeV이다.[2, 4]

(α , n) 반응과정에 중성자와 함께 γ 선도 방출되는데 그것의 에너지는 0.039, 0.014MeV이다. 또한 ^{12}C 에서 4.43MeV의 γ 선이 나온다. 그러므로 Pu—Be원천에서 나오는 중성자의 에너지스펙트르를 측정하려면 γ 선을 제거하여야 한다.

중성자의 에너지스펙트르는 다음식으로부터 결정할수 있다.

$$\frac{dN(E_n)}{dE_n} = -\frac{E_n}{\varepsilon(E_n)} \cdot \left[\frac{dL}{dE_p} \cdot \frac{d}{dL} \left(\frac{dL}{dE_p} \cdot \frac{dN(E_p)}{dL} \right) \right]_{E_n=E_p}$$

여기서 $dN(E_p)/dE_p$ 는 반충양성자스펙트르, $dN(E_n)/dE_n$ 은 입사중성자의 스펙트르, $\epsilon(E_n)$ 은 중성자의 에너지에 따르는 기록효율이다.

또한 여러가지 보정량들을 고려하여 반충양성자기구스펙트르를 중성자에너지스펙트르로 넘기는 알고리즘을 작성한다.

분광계의 에너지눈금새김은 γ 선을 기록할 때 콤프톤경계에너지를 리용하여 간접적으로 한다. 2중더하기방식의 하강시간선별법에 의한 γ 선제거비는 ^{60}Co 에 대하여 약 1 000정도로써 이 정도이면 중성자의 세기보다 10배 더 큰 γ 선이 동반되어도 중성자에너지스펙트르를 이지러짐이 없이 측정할수 있다.

γ 선원천으로 ^{137}Cs , ^{60}Co , Pu-Be원천들을 리용하였는데 눈금새김오차는 약 $\pm 1\%$ 이다.

중성자와 γ 선의 혼합마당(Pu-Be원천)속에서 γ 선을 제거하고 중성자만의 에너지스펙트르를 측정할수 있다.(그림 3)

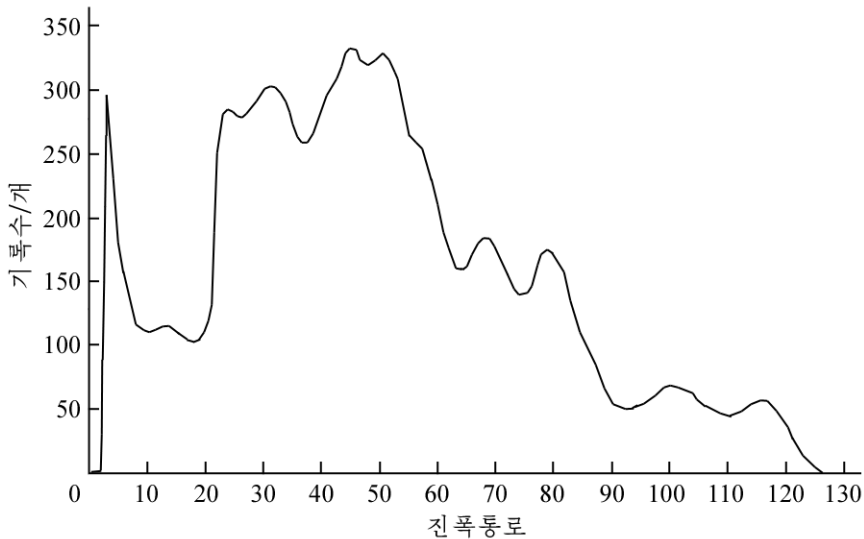


그림 3. Pu-Be원천의 중성자에너지스펙트르

얻어진 Pu-Be원천의 중성자에너지스펙트르의 모든 봉우리에 해당하는 에너지값들은 선행연구자료[2]와 잘 일치한다. 스펙트르분석체계의 안정성을 ^{60}Co 의 콤프톤경계 눈금위치의 안정도에 의하여 평가할 때 12h의 측정시간의 상대오차는 $\pm 1\%$ 이다.

맺 는 말

흐름관식AD변환법을 에너지스펙트르측정에 적용함으로써 검출기에서 나오는 방사선에 대하여 표본화속도는 40MSPS, 변환시간은 25ns로 ns대역의 실시간측정을 진행하였다.

또한 2중더하기방식의 하강시간측정법을 방사선검출기신호선별에 적용함으로써 n- γ 혼합마당(Pu-Be원천)속에서 γ 선을 제거하고 중성자만의 에너지스펙트르측정을 진행하였다.

참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보(자연과학), 61, 6, 51, 주체104(2015).
- [2] Y. K. Gupta et al.; Nucl. Instrum. and Methods in Phys. Res., A 629, 149, 2011.
- [3] N. S. Bowden et al.; Nucl. Instrum. and Methods in Phys. Res., A 624, 153, 2010.
- [4] G. Hull et al.; IEEE Trans. on Nucl. Sci., 56, 3, 899, 2009.
- [5] S. Yousefi et al.; IEEE Trans. on Nucl. Sci., 55, 5, 539, 2008.

주체110(2021)년 3월 5일 원고접수

A Method of n- γ Discrimination by Measuring Fall Time with Dual Adding up Mode

O Yong Ho, Kang Ho and Ri Myong Chol

We have applied a method of pipelined AD conversion to measuring energy spectrum and have realized real time measurement for radiations from the detector with sampling rate of 40MSPS and conversion time of 25ns.

We also have applied method of measuring fall time with a dual adding up mode to the pulse shape discrimination of signals radiated from the detector, therefore accomplished both removing gamma rays from mixing field of neutrons and gamma rays and measuring of energy spectrum for the only neutrons.

Keywords: pulse shape, n- γ discrimination, neutron energy spectrum