

## 빠른중성자검출기에서 폴리에틸렌감속매질의 기하구조가 중성자응답특성에 주는 영향

최충직, 정연성, 한경임

규소반도체검출기들은 대전립자들에 대한 응답특성이 좋으므로 중성자-대전립자변환체를 결합하여 중성자검출에 이용되고있다.[1-3]

면적이 큰 규소2극소자들은 폴리에틸렌과  $^{10}\text{B}$  변환체와 결합하여 반충양성자 혹은  $\alpha$  립자를 기록하는 방법으로 빠른중성자검출에 적용할수 있다.

론문에서는 작은 크기의 폴리에틸렌감속매질을 규소반도체검출기와 결합하여 빠른중성자검출기의 응답특성을 개선하기 위한 합리적인 검출기하를 결정하였다.

### 1. 중성자감속매질의 기하설계

붕소변환체에서 일어나는  $^{10}\text{B}(\text{n}, \alpha)^7\text{Li}$  반응의 려기함수는 중성자에너지가 수백keV까지의 범위에서  $1/v$  법칙에 따르므로 느린중성자기록효율은 높지만 빠른중성자기록효율은 상대적으로 대단히 낮다. 그러므로 감속매질을 리용하여 빠른중성자를 감속시켜 기록할수 있다. 열중성자에 의하여  $^{10}\text{B}(\text{n}, \alpha)^7\text{Li}$  반응에서 방출되는  $\alpha$  립자와  $^7\text{Li}$ 의 운동에너지는 각각 1.9, 0.6MeV이다.

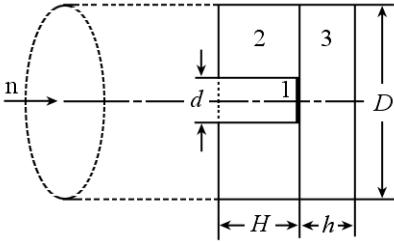
폴리에틸렌변환체에서는 입사중성자의 에너지  $E_n$ 에 대응하는  $0 \sim E_n$ 의 에너지를 가지는 반충양성자가 방출되는데 이러한 반충양성자를 기록하여 중성자를 기록할수 있다.

일반적으로 규소반도체검출기들은  $\gamma$ 선에 대한 감도특성을 고려하여 비교적 높은 진폭검출턱을 설정하므로 폴리에틸렌변환체의 경우에는 500keV이하의 중성자를 기록할수 없다.

규소반도체검출기에 중성자-대전립자변환체로 붕산염폴리에틸렌막을 씌우면 열중성자와 빠른중성자를 동시에 검출할수 있으며 검출기창문방향으로 열린 구멍을 가진 폴리에틸렌감속매질과 결합하면 변환체면에 입사하는 중성자수를 증가시켜 검출기의 응답특성을 개선할수 있다. 이때 감도면적에 들어오는 열중성자와 빠른중성자의 수는 감속매질의 기하학적형태와 크기, 감속매질내부에서 검출기의 위치에 관계된다.

먼저 검출기앞면에 검출기창문방향(중성자의 입사방향)으로 열린 구멍을 가진 일정한 두께의 폴리에틸렌감속매질을 설치하고 뒤면에는 구멍이 없는 폴리에틸렌산란체를 설치하여 폴리에틸렌감속매질과 산란체의 기하학적인자들이 검출기감도면적을 통과하는 열 및 빠른중성자수에 주는 영향을 평가하였다. 검출기하구조는 그림 1과 같다.

검출기앞면에 설치한 폴리에틸렌감속매질은 반경이  $R=3\text{cm}$ , 높이가  $H$  인 원기둥형



이며 중심에  $d \times d \text{cm}^2$  인 구멍이 있어 검출기면이 열리도록 하였다. 검출기의 뒤면에 설치한 산란체는 직경이  $D=6\text{cm}$ , 높이가  $h$  인 구멍이 없는 원기둥형이다. 검출기감도면적은  $0.5\text{cm}^2$  이다.

그림 1. 검출기하구조

- 1-검출기감도면적, 2-폴리에틸렌감속재,  
3-폴리에틸렌산란체, n-입사중성자,  
 $D$ -산란체의 직경,  $H$ -감속재의 원기둥높이,  
 $d$ -구멍반경,  $h$ -산란체의 원기둥높이

대응하는 중성자검출체계가  $6\,300\text{개}/\text{cm}^2$  인 중성자평행흐름마당속에 놓이며 검출기앞면에 설치한 폴리에틸렌감속매질에 수직으로 입사하는 총 중성자의 수는  $2 \cdot 10^5$ 개가 되도록 하였다.

모든 계산에서 입사중성자는 에너기가  $1\text{MeV}$ 인 단색중성자흐름으로 설정하고 검출기감도면적(텔리F11)을 통과하는 열 및 중성자수를 계산하였다. 모든 계산결과에서 상대 오차는  $0.01$ 이하였다.

폴리에틸렌과  $^{10}\text{B}$  변환체를 가진 구조검출기는 열 및 빠른중성자에만 응답하므로 계산에서  $0.02 \sim 1\text{eV}$ 의 중성자를 열중성자로, 진폭력이상의 에너지를 가지는  $500\text{keV} \sim 1\text{MeV}$ 의 중성자를 빠른중성자로 취급하였다.

열중성자에 대한 검출기의 응답은 검출면적을 지나는 열중성자흐름에 의하여 결정되는데 검출위치에서 정방향과 역산란중성자들이 다같이 응답에 기여한다.

검출진폭력  $500\text{keV}$ 이상의 에너지를 가지는 빠른중성자들은 역산란확률이 대단히 작으므로 검출기의 응답에 기여하는 빠른중성자의 수는 텔리F11에서 정방향중성자수와 같다.

폴리에틸렌매질속에서 검출기의 위치에 따르는 응답특성을 고찰하기 위하여 앞방향감속재의 원기둥높이( $H$ )를 각각 2, 2.5, 3cm, 구멍의 크기를 각각 0,  $0.25 \times 0.25$ ,  $0.5 \times 0.5$ ,  $0.7 \times 0.7\text{cm}^2$ , 뒤방향산란체의 원기둥높이( $h$ )를 0.05, 0.5, 1.0, 1.5, 1.75,  $2.75\text{cm}$ 로 변화시키면서 검출기의 감도면적을 통과하는 열중성자와 빠른중성자수를 평가하였다.

중성자에너지에 따르는 중성자수의 변화는 그림 2와 같다.

그림 2에서 보는바와 같이  $1\text{MeV}$ 의 빠른중성자는 폴리에틸렌매질을 통과하면서 감속되어 열화되므로 열중성자에 대한 응답특성이 매우 높아진다는것을 알수 있다.

각이한 크기의 구멍과 높이를 가지는 앞방향 폴리에틸렌감속매질과 뒤방향에 설치한

## 2. MCNP5모의실험

모의실험에서는 고찰하는 모든 기하구조들이 동일한 중성자흐름마당속에 놓이도록 입사중성자흐름을 규격화하였다. 즉 각이한 기하인자들에

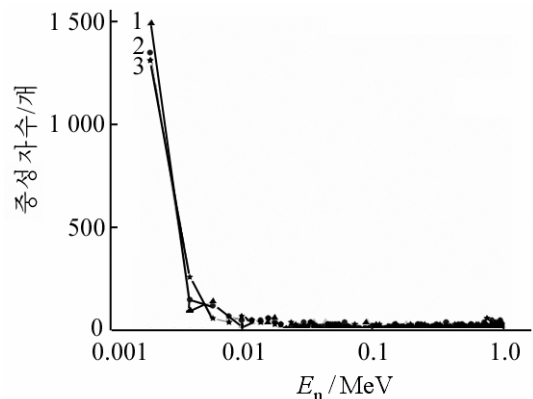


그림 2. 중성자에너지에 따르는 중성자수의 변화

- 1-  $H=2\text{cm}$ ,  $h=1.7\text{cm}$ , 2-  $H=2\text{cm}$ ,  
 $h=1.4\text{cm}$ , 3-  $H=1.7\text{cm}$ ,  $h=1.7\text{cm}$

폴리에틸렌산란체의 높이에 따르는 열중성자수의 변화는 그림 3-5와 같다.

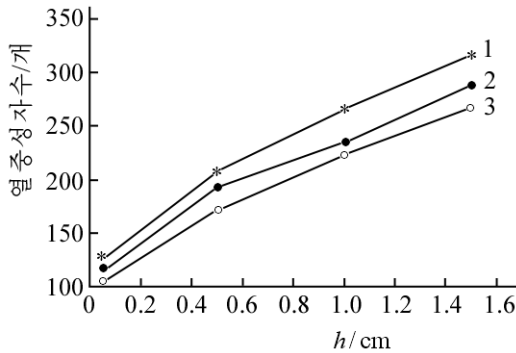


그림 3.  $d=0.5\text{cm}$  인 경우 산란체의 높이에 따르는 열중성자수의 변화  
1-3은  $H$  값이 각각 2, 2.5, 3cm인 경우

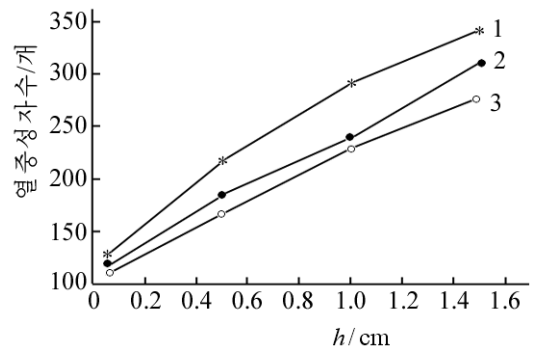


그림 4.  $d=0.25\text{cm}$  인 경우 산란체의 높이에 따르는 열중성자수의 변화  
1-3은  $H$  값이 그림 3과 같은 경우

그림 3~5에서 보는바와 같이 검출기감도면적위치에서 열중성자수는 앞면에 설치한 감속재의 높이와 뒤면에 설치한 산란체의 높이가 클수록, 구멍의 크기가 작을수록 증가한다. 폴리에틸렌감속재와 산란체의 총체적을  $100\text{cm}^3$ 로 고정하고  $1\text{MeV}$  중성자를 입사시킬 때 감속재구멍의 크기  $d$ 와 산란체의 높이  $h$ 에 따르는 열중성자수의 변화는 그림 6과 같다.

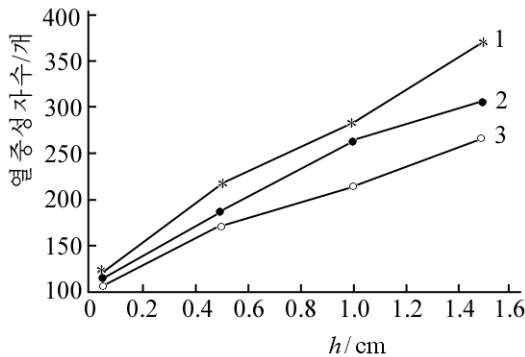


그림 5. 감속재에 구멍이 없는 경우 산란체의 높이에 따르는 열중성자수의 변화  
1-3은  $H$  값이 그림 3과 같은 경우

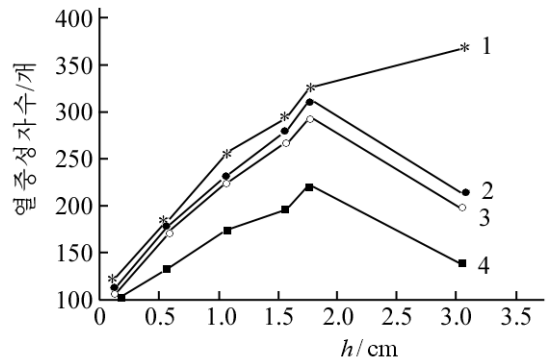


그림 6. 산란체의 높이에 따르는 열중성자수의 변화  
1-4는  $d$  값이 0, 0.25, 0.5, 0.7cm인 경우

모의계산결과에 의하면 뒤방향산란체의 높이  $h$ 를 증가시키고 앞방향감속재에서 구멍크기  $d$ 를 감소시킬 때 검출기면에 도달하는 열중성자수가 증가한다. 구멍크기가 검출기의 감도면적이상일 때에는 열중성자의 수는 줄어든다.

체적이  $100\text{cm}^3$ 인 원기둥형감속재와 산란체에  $1\text{MeV}$  중성자가 입사할 때 검출기감도면적에서 폴리에틸렌감속재구멍의 크기  $d$ 와 높이  $H$ 에 따르는 빠른중성자수의 변화는 그림 7, 8과 같다.

그림 7에서 보는바와 같이 검출기의 감도면적에 도달하는  $0.9\sim 1\text{MeV}$ 대역의 빠른중성자들은 검출기의 감도면적보다 큰 구멍의 크기( $d=0.7, 0.5\text{cm}$ )에 대해서는 산란체의 높이가 클수록 서서히 증가하며 구멍의 크기가 작을수록 산란체의 높이에 따라 감소한다는것을 알수 있다. 또한 그림 8에서 보는바와 같이  $0.5\sim 0.9\text{MeV}$ 대역의 빠른중성자들은 산란체의 높이에 따라 급속히 증가하여  $H=2.5\text{cm}$  정도의 높이에서 포화에 이르며 다시 감소한

다는것을 알수 있다.

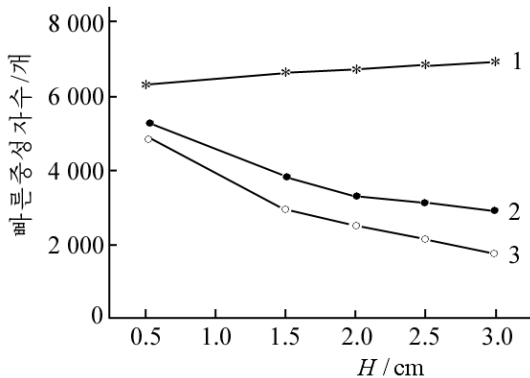


그림 7. 감속재의 구멍크기  $d$ 와 높이  $H$ 에 따르는 빠른중성자(0.9~1MeV)수의 변화  
1- $d$  값이 0.7, 0.5cm, 2, 3은  $d$  값이 0.25, 0cm인 경우

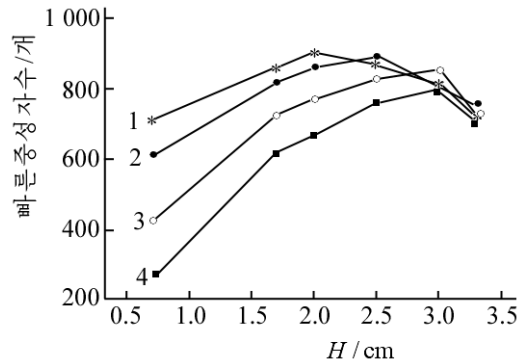


그림 8. 감속재의 구멍크기  $d$ 와 높이  $H$ 에 따르는 빠른중성자(0.5~0.9MeV)수의 변화  
1-4는  $d$  값이 0, 0.25, 0.5, 0.7cm인 경우

### 3. 결과 분석

감속재가 없는 경우 중성자의 기록효율은 검출기의 감도면적에 의하여 결정된다. 그러나 검출기의 앞면에 열린 구멍을 가진 폴리에틸렌감속재를 설치하면 검출기에 기록되는 빠른중성자수를 12%이상으로 증가시켜 감속재가 없는 경우에 비하여 기록효율이 개선된다.

입사중성자의 에너기가 1MeV인 빠른중성자인 경우에 중성자총수의 0.4%정도는 1eV이하의 에너지로 감속되어 검출기감도면에 도달하므로 빠른중성자검출에 기여할수 있다. 검출턱(500keV)아래에 있는 빠른중성자들과 중간에너지중성자들은 열화된 후 검출될수 있다.

계산결과에 의하면 입사중성자의 에너기가 100keV인 경우 전체 중성자수의 12%, 1keV인 경우 전체 중성자수의 80%까지 열화되어 검출기면에 도달한다.

규소반도체검출기를 리용한 중성자검출에서 크기가  $d=0.5\text{cm}$ 인 검출기를 원기둥형 폴리에틸렌감속매질속에 설치한 경우 앞방향감속재와 뒤방향산란체의 높이가 각각  $H=1.7\text{cm}$ ,  $h=1.7\text{cm}$ , 산란체구멍의 크기가 검출기의 감도면적과 같을 때 가장 좋은 기록효율이 나타났다.

이로부터 위의 기하구조로 검출기를 설계하면 입사중성자의 에너기가 1MeV인 경우 검출기의 구조를 작게 하면서도 빠른중성자와 열중성자검출효율을 개선할수 있다는것을 알수 있다.

### 맺 는 말

1) 규소검출기를 원기둥형폴리에틸렌감속재와 결합하여 빠른중성자의 검출효율을 높이기 위한 합리적인 기하구조를 설계하였다.

2) 모의결과 1MeV 입사중성자에 대한 검출기의 응답특성이 12%이상 개선되었다.

## 참 고 문 헌

- [1] H. M. Carlos et al.; IEEE Transaction on Nuclear Science, 50, 4, 1170, 2003.
- [2] T. Moiseev; Radiation of Protection Dosimetry, 84, 1, 399, 1999.
- [3] T. M. Filho et al.; Nuclear Instruments and Methods in Physics Reserch, A 485, 441, 2001.

주체107(2018)년 6월 5일 원고접수

### **Influence of Geometry of Polyethylene Moderator in Fast Neutron Detector on Neutron Response Function**

*Choe Chung Jik, Jong Yon Song and Han Kyong Im*

In this paper by combining the silicon detector with cylindrical polyethylene moderator, the reasonable geometry to improve the detection efficiency of fast neutron was projected. The response function of the detector for 1MeV starting neutrons was studied.

Key words: fast neutron detection, MCNP5, polyethylene moderator