

## 느린중성자핵반응기에서 중성자분포특성

김성진, 정철민, 김국철

Pu-Be원천에 의한 느린중성자핵반응연구에서 중요한것은 합리적인 중성자반응기를 제작하고 중성자분포특성을 밝히는것이다.

논문에서는 느린중성자핵반응연구를 위한 중성자반응기를 새롭게 제작하고 반응기 구조물재료와 원천고정틀에서 중성자의 흡수, 산란효과에 의한 중성자세기의 변화특성, 열중성자세기가 최대로 되는 위치에 대하여 고찰하였다.

### 1. 중성자반응기설계 및 제작

중성자반응기는 중성자원천과 감속재, 원천-시료고정틀, 중성자방어체로 구성하였다.(그림)

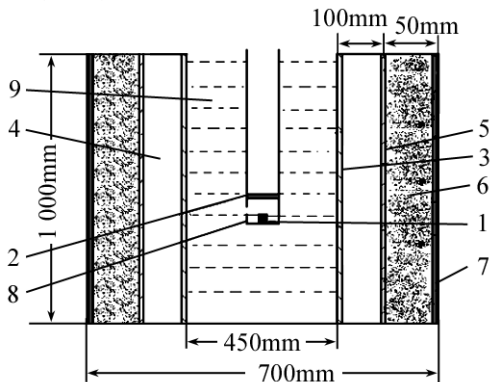


그림. 중성자반응기의 기하학적구조  
1-중성자원천, 2-시료, 3-물수강, 4-파라핀,  
5-카드미움, 6-콘크리트구조물, 7-연,  
8-원천-시료고정틀, 9-경수

중성자원천은 Pu-Be원천이며 그것의 세기는  $1.18 \cdot 10^6$ 개/s이다. 중성자원천에서 나오는 중성자에서 열중성자의 성분을 높여야 오차를 줄이는데 유리하므로 감속재로서 경수와 파라핀을 리용하였다.

중성자원천-시료고정틀은 철구조물과 폴리에틸렌구조물로 제작하였으며 시료와 원천사이의 거리를 임의로 변화시킬수 있게 설계제작하였다.

중성자반응기에서 중성자방어체는 중요하다. 중성자는 생체에 주는 피해효과가 다른 방사선에 비해 크고 방어요구가 높다. 또한 중성자는 원자핵과 핵반응하여 2차방사선 특히 포획  $\gamma$  선을 세게 방출시킨다.

그러므로 중성자방어와 함께 포획  $\gamma$  선을 차폐할수 있게 중성자방어체를 구성하였다.

### 2. 중성자반응기의 특성

우선 제작한 중성자반응기의 물통재질과 시료설치를 등 구조물에 의한 중성자의 흡수, 산란효과에 의한 중성자세기의 변화를 검토하고 측정결과의 정확성을 높이기 위하여 중성자세기가 최대로 되는 위치를 확증하였다.

반응기에서 중성자의 세기가 원천세기와 일치하면 중성자의 흡수, 산란을 무시할수 있다.

중성자의 세기를 공간적분법으로 측정하였다.[1]

$$Q = 4\pi N \int_0^{\infty} r^2 dr \int_0^{E_{\text{최대}}} \Phi(r, E) \sigma_a(E) dE \quad (1)$$

평균흡수자름면적과 중성자세기를 고려하여 식 (1)을 실험조건에 맞게 유도하면 다음과 같이 된다.

$$Q = \frac{4\pi l_0 N \sigma_a}{\Delta l \eta t} \int_0^{\infty} P(r) r^2 dr \quad (2)$$

여기서  $l_0$ 은 반응기직경,  $\Delta l$ 는 요소길이,  $\eta$ 는 검출기효율,  $t$ 는 측정시간이다.

실험에서  $r$ 에 따르는  $P(r)$ 의 분포를 측정하고 식 (2)를 계산하여 얻어진 결과가 원천의 세기  $1.18 \cdot 10^6$ 개/s와 일치하는가를 검토하면 중성자반응기에서의 중성자흡수, 산란 효과를 관측할수 있다.

$\text{BF}_3$ 검출기를 가지고 계수속도  $P(r)$ 를 다음과 같이 정의할 때  $r$ 점에서의 세기는 곧 중성자세기에 비례한다.

$$P(r) = N_B \Phi(r) \bar{\sigma}_{aB} \quad (3)$$

여기서  $N_B$ 는  $\text{BF}_3$ 검출기에서 붕소원자의 총수이며  $\sigma_{aB}$ 는  $^{10}\text{B}$ 의 평균흡수자름면적이다.

결국  $N_B$ 와  $\sigma_{aB}$ 가 일정한 조건에서  $P(r)$ 는  $\Phi(r)$ 의 함수로 되며  $P(r)$ 의 변화는 중성자세기의 변화를 나타낸다.

원천-검출기사이거리를 1~30cm구간에서 1cm간격으로 변화시키면서 측정한  $P(r)$ 값은 표 1과 같다.

표 1. 원천-검출기사이거리에 따르는  $P(r)$  측정값

$R/\text{cm}$	$r^2/\text{cm}^2$	$P(r)/(\text{개} \cdot \text{min}^{-1})$
1	1	35 000
2	4	22 901
3	9	22 277
5	25	18 888
7	49	14 814
10	100	9 235
12	144	6 531
14	196	4 445
16	256	3 074
20	400	1 398
25	625	571
30	900	227

불연속적인 측정값으로 면적을 계산하는 경우 썸프슨식은 다음과 같다.

$$S = \int_0^{\infty} P(r) r^2 dr = \frac{\Delta x}{3} (1y_0 + 4y_1 + 2y_2 + \cdots + 2y_{n-2} + 4y_{n-1} + 1y_n) \quad (4)$$

여기서  $\Delta x = 1\text{cm}$ 이므로

$$S = \frac{1}{3} \cdot 53\,775\,284 \approx 1.8 \cdot 10^7 \text{개}/(\text{min} \cdot \text{cm}^2)$$

이다. 따라서

$$Q = \frac{4\pi I_0 N \sigma}{\Delta l \eta t} S = 1.045 \cdot 10^6 \text{ 개/s}$$

$$I_0 = 15\text{cm}, \Delta l = 4\text{cm}, \eta = 0.3, t = 60\text{s}, N = \frac{2 \cdot 1.00}{18.016} \cdot N_A = 6.68 \cdot 10^{22} \text{ 개/cm}^3, \sigma = 332 \cdot 10^{-27} \text{ cm}^2$$

이다.

즉  $Q = 1.045 \cdot 10^6 \text{ 개/s}$ 로서 원천의 세기( $1.18 \cdot 10^6 \text{ 개/s}$ )보다 약간 작다. 따라서 반응기에서 흡수, 산란에 의한 중성자묵음세기의 약화는 무시할 정도로 작다는것을 알수 있다.

다음은  $^6\text{Li}$ 검출기를 리용하여 새로 제작한 중성자반응기에서 원천-시료사이의 거리에 따르는 중성자세기의 변화를 측정하였다. 측정조건은 다음과 같다.

중성자검출기에 830V의 고압을 걸어주고 단통로분석기의 시상수값은  $0.75\mu\text{s}$ , 증폭도는  $80 \times 300$ , 준위턱은 30으로 하였으며 검출기의 시료량은 100mg이다.

실험에서는 일반적으로 중성자묵음의 세기가 커야 측정정확성을 높일수 있으므로 검출기를 최대한 원천 가까운 곳에 접근시켜야 한다. 그러나 원천에 가까울수록 중성자묵음에서 빠른중성자묵음이 커지게 된다. 빠른중성자성분이 많으면 검출기시료에서 기본반응외에 다른 핵반응과 반중양성자수가 많아지므로 분석에서 분석오차 특히 불순물에 의한 우연오차가 커질수 있다. 따라서 열중성자세기가 최대로 되는 위치를 결정하여야 한다. 이를 위하여 0.5mm의 Cd판을 리용하여 열중성자와 빠른중성자묵음의 비를 측정하였다.

$$R_{\text{Cd}} = \frac{\text{Cd를 썬지 않은 시료의 방사능}}{\text{Cd를 썬 시료의 방사능}} \quad (5)$$

$$R_{\text{Cd}} - 1 = \frac{\text{열중성자묵음의 밀도}}{\text{공명중성자묵음의 밀도}} \quad (6)$$

중성자검출기호를까지 고려하여 묵음의 세기를 구하면 그것은 카드미움비와 다음의 관계가 있다.[2]

$$R_{\text{Cd}} - 1 = 2 \frac{\varphi_{\text{열}}}{\varphi_{\text{공}}} \quad (7)$$

측정결과 원천의 거리에 따르는 열중성자묵음과 공명중성자묵음의 비는 표 2와 같다.

표 2. 거리에 따르는 열중성자묵음과 공명중성자묵음의 비

원천-시료사이 거리/cm	Cd판이 없을 때의 계수속도 /(개·s <sup>-1</sup> )	Cd판이 있을 때의 계수속도 /(개·s <sup>-1</sup> )	$R_{\text{Cd}}$	$\varphi_{\text{열}}/\varphi_{\text{공}}$
4	975.7	693.3	1.405	0.202
5	913.2	602.7	1.515	0.257
6	879.6	497.4	1.768	0.384
7	835.4	408.8	2.043	0.521
8	750.2	276.3	2.715	0.857
9	721.4	201.2	3.585	1.293
10	652.3	189.7	3.438	1.219
11	563.4	167.6	3.361	1.180
12	446.8	135.2	3.304	1.152

표 2에서 보는바와 같이 원천-시료사이의 거리가 작은 경우 중성자적분세기는 크다.

그러나 카드미움판을 끼워 열중성자몹을 차폐하면 빠른중성자몹이 커진다. 원천-시료사이거리를 증가시키면 적분세기의 절대값은 작아지나 빠른중성자몹은 급격히 작아지며 열중성자몹이 증가한다. 거리를 계속 증가시키면 중성자세기의 절대값이 작아져 결국 열중성자세기도 작아진다.

표 2로부터 물에서 중성자의 열화거리는 9cm라는것을 실험적으로 확증하였다.

## 맺 는 말

1) 제작한 중성자반응기에서 중성자의 세기를 측정한 결과  $Q=1.045 \cdot 10^6$ 개/s로서 중성자원천세기  $1.18 \cdot 10^6$ 개/s와 매우 근사하다는것을 밝혔다.

2) 중성자반응기에서 검출기시료와 원천사이거리에 따르는 중성자세기를 측정하여 열중성자가 최대로 되는 거리가 9cm라는것을 밝혔다.

## 참 고 문 헌

[1] V. Teschendorff; Erlangen, 4, 1, 27, 2013.

[2] Tito Morales Pinzón; Facultad de Ciencias Ambientales, 2, 3, 16, 2016.

주체107(2018)년 3월 5일 원고접수

## Characteristics of Neutron Distribution in Slow Neutron Reactor

*Kim Song Jin, Jong Chol Min and Kim Kuk Chol*

In this paper we newly manufactured the slow neutron reactor and confirmed the change characteristics of neutron intensity by the absorption and scattering effect of neutron in reactor structure material and fixing frame. And we also confirmed the place in which the thermal neutron intensity is maximum.

Key words: detector channel, neutron source