

${}^6\text{Li}$ 수감요소를 리용한 중성자검출기에 대한 연구

박수일, 고명선, 김성진

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《선진과학기술을 받아들이는것은 나라의 과학기술을 빨리 발전시키기 위한 중요한 방도의 하나로 됩니다.》(《김정일선집》 증보판 제15권 500페이지)

우리는 느린중성자반응기에서 일어나는 여러가지 핵반응과정을 평가하기 위한 검출 수단으로서 느린중성자와의 핵반응자름면적이 큰 ${}^6\text{Li}$ 을 포함한 화합물로 중성자수감요소를 제작하고 중성자와 ${}^6\text{Li}$ 의 핵반응생성물인 대전립자를 기록하기 위한 섬광검출기를 결합하여 열중성자검출기를 구성하였으며 열중성자기록효률을 평가하였다.

1. 이론적기초

핵반응 ${}^6\text{Li} + n \rightarrow {}^4\text{He} + \text{T}$ 의 반응에너지는 4.78MeV로서 ${}^4\text{He}$ 와 T에 각각 2.05, 2.73MeV로 분할된다. 이 립자들의 주행거리는 공기속에서 각각 1.1, 5.7cm이며 리튬화합물(LiF, LiCl, Li_2CO_3 , LiOH, LiNO_3)에서 질량두께는 $0.1 \sim 10\text{mg/cm}^2$ 이다. 이 과정의 반응자름면적은 열중성자 및 공명중성자대역에서 945b으로서 비교적 크며 다음식으로 표시된다.

$$\sigma = 153E_n^{-1/2}$$

중성자수감물질로는 공기속에서 화학적으로 비교적 안정한 Li_2CO_3 을 리용하였으며 ${}^6\text{Li}$ 의 농축도는 90%이다. 원자흡광분석에 의한 중성자수감물질의 조성은 표와 같다.

표. 중성자수감물질의 조성

성분	함량/질량%	열중성자흡수자름면적/b
H, O	≤ 2	0.330
Cl^-	0.005	31
SO_4^{2-}	0.02	0.49
Na	0.05~0.10	0.5
Mg	0.01	0.063
K	0.05~0.10	1.91
Ca	0.01~0.75	0.43
Fe	0.002	2.53
Mn	0.010~0.038	13.2

표에서 보는바와 같이 중성자수감물질로 리용한 Li_2CO_3 분말에는 중성자흡수에 영향을 미치는 열중성자흡수자름면적이 큰 B, Cd가 존재하지 않는다. 따라서 중성자수감물질에 입사하는 중성자들은 기본적으로 ${}^6\text{Li}$ 핵과 작용하여 ${}^4\text{He}$ 와 T를 방출한다고 볼수 있다.

2. ^6Li 수감요소의 제작

수산화리튬의 화학적성질로부터 수산화리튬용액을 그대로 리용하지 않고 탄산리튬으로 만들어 리용하였다.

자체차폐로 인한 중성자뭉음세기의 약화를 최대로 줄이기 위하여서는 수감요소의 두께를 합리적으로 결정하는것이 중요하다. 수감요소의 질량두께가 지나치게 크면 핵반응에 의하여 발생한 대전립자들이 수감요소자체에 흡수되어 기록효율이 떨어지게 되며 너무 얇으면 수감요소물질과 호상작용하지 않고 투과하는 중성자뭉음이 많아져 역시 기록효율이 낮아지게 된다. 따라서 그것의 질량두께를 합리적으로 선택할 필요가 있다.

^6Li 수감요소의 합리적인 질량두께를 결정하기 위하여 각이한 질량두께를 가진 수감요소에 대하여 중성자기록수를 평가하였다.(그림 1)

그림 1에서 보는바와 같이 수감요소의 질량두께를 $5\text{mg}/\text{cm}^2$ 로부터 $20\text{mg}/\text{cm}^2$ 까지 변화시키면서 중성자기록수를 측정하면 처음에는 질량두께가 증가하는데 따라 중성자기록수가 많아지면서 $10\text{mg}/\text{cm}^2$ 이상에서 중성자기록수가 급격히 떨어지는것은 입사중성자뭉음이 중성자수감요소의 앞부분에서부터 자체차폐로 인하여 감소되기때문이다.

^6Li 수감요소의 자름면적이 5.5cm^2 이므로 질량두께가 $10\text{mg}/\text{cm}^2$ 를 초과하지 않도록 가열탈기한 Li_2CO_3 분말 55mg을 평량하고 여기에 약간한 량의 점결제를 고르롭게 섞었다.

다음 1.5mm 깊이로 가공한 알루미늄유지틀에 Li_2CO_3 분말을 균일하게 펴고 1MPa의 압력으로 누른 다음 온도가 200°C 인 가열건조로에서 3h동안 유지하여 수감요소로 완성하였다.

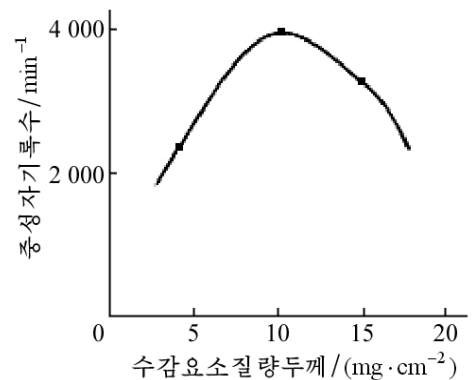


그림 1. 수감요소질량두께에 따르는 중성자기록수

3. 열중성자검출기체계와 기록효율

^6Li 수감요소에서 (n, α) 반응에 의하여 방출되는 대전립자들을 검출하기 위하여 γ 선환경에서도 대전립자들을 안전하게 기록하는데 유리한 $\text{ZnS}(\text{Ag})$ 섬광검출기(《SSU-3-2》)를 리용하였다. ^6Li 중성자검출기의 구성도는 그림 2와 같다.

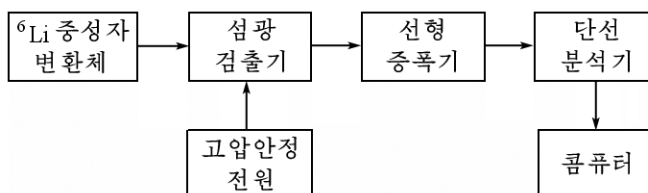


그림 2. ^6Li 중성자검출기의 구성도

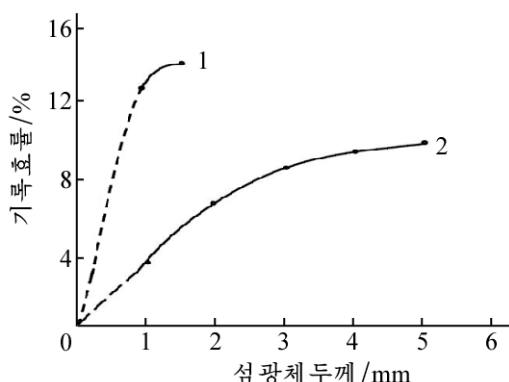


그림 3. 두께에 따르는 열중성자기록효율
1- ^6Li 수감요소, 2- ^6Li 유리섬광체

여 이러한 결합을 극복하도록 하였다. ZnS(Ag)섬광체의 대전립자기기록효율은 90%이상이며 면적은 12.56cm^2 이다. 그림 3에서 보는바와 같이 ^6Li 수감요소를 리용하는 경우 열중성자기기록효율은 14%로서 ^6Li 유리섬광체[1, 2]의 기록효율(10%)에 비하여 개선된다.

맺는 말

^6Li 을 포함한 화합물로 열중성자수감요소를 제작하고 이 수감요소와 ZnS(Ag)섬광체를 리용하여 열중성자검출기를 구성하였으며 열중성자기기록효율을 평가하였다. ^6Li 수감요소의 열중성자기기록효율은 14%이다.

참고 문헌

- [1] 김일성종합대학학보(자연과학), 51, 11, 91, 주제94(2005).
- [2] D. Lancon et al.; Nuclear Instrument and Methods in Physics Research, A 780, 9, 2015.

주제108(2019)년 12월 5일 원고접수

Study on Neutron Detector with ^6Li Sensor

Pak Su Il, Ko Myong Son and Kim Song Jin

In this paper we manufactured a thermal neutron sensor with compound contained ^6Li , constructed a thermal neutron detector with this sensor and ZnS(Ag) scintillator, and evaluated its detection efficiency. The thermal neutron detection efficiency of ^6Li sensor is 14%.

Keywords: neutron detector, scintillator, radiation detector