

아림계장치에서 열중성자뭉음분포측정

전성제, 림청엽

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《…우리 나라의 실정에 맞는 수력발전소, 화력발전소, 원자력발전소를 건설하는데서 우리는 과학기술적문제를 풀도록 하여야 합니다.》(《김정일선집》 증보판 제11권 135페이지)

물을 감속재로 리용하는 원자로들에서 핵분열반응은 주로 열중성자들에 의하여 일어나며 따라서 원자로로심에서 열중성자의 분포를 결정하는것은 원자로의 설계와 운영에서 중요한 문제로 나선다. 원자로에서 중성자분포를 평가하기 위한 연구사업은 거의 고유값인 증식계수를 평가하기 위한 문제와 결합하여 리론적으로 많이 진행되였다.[1]

론문에서는 방사화방법으로 열중성자의 공간분포를 측정하기 위한 방법을 론의하고 원기동형아림계장치에서 반경방향 및 수직방향 열중성자뭉음분포를 측정하고 그 특성을 밝혔다.

1. 열중성자의 공간분포측정방법

고르로운 중성자뭉음 ϕ 로 쪼일 때 얇은 방사화박판에서 동위원소의 형성속도 P 는 다음과 같이 표시된다.

$$P = \Sigma_C \phi \cdot V \quad (1)$$

여기서 Σ_C 는 방사화거시자름면적, ϕ 는 중성자뭉음, V 는 방사화박판의 체적이다. 방사화박판에서 시간에 따르는 동위원소의 개수변화는 다음과 같다.

$$\frac{dN}{dt} = \Sigma_C \phi \cdot V - \lambda N \quad (2)$$

여기서 N 은 어떤 t 시각에 방사성핵의 수, λ 는 붕괴상수이다.

쪼임시간이 t_1 이고 측정을 시작한 시간이 t_2 즉 쪼임을 끝내고 측정을 시작하는 사이의 시간구간 $(t_2 - t_1)$ 그리고 측정시간구간이 $(t_3 - t_2)$ 라고 하면 방사화박판의 방사능은 다음과 같이 표시된다.

$$A = \sum_i A_{Si} (1 - e^{-\lambda_{i1} t_1}) e^{-\lambda_{i1} (t_2 - t_1)} [1 - e^{-\lambda_{i2} (t_3 - t_2)}] \quad (3)$$

여기서 λ_i 는 i 번째 종류의 방사성핵의 붕괴상수이고 A_{Si} 는 방사화박판의 포화방사능으로서 다음과 같다.

$$A_{Si} = \phi \cdot V N_0 \sum_i K_i \sigma_{ci} \quad (4)$$

여기서 N_0 은 방사화박판에서 핵의 밀도, K_i 는 i 번째 방사성핵의 농도, σ_{ci} 는 i 번째 방사성핵의 방사화미시자름면적이다.

실험에서는 중성자검출에 $1/v$ 법칙을 잘 만족시키는 In 을 리용하였다.

In에는 동위원소조성비가 각각 4.23%인 ^{113}In 과 95.77%인 ^{115}In 가 존재한다. 그것들의 방사화자름면적과 반감기를 분석하여보면 박판을 쪼인 후 일정한 시간(10min)이 지나서 ^{115}In 가 방사화되어 변환된 ^{116}In 의 방사능만 측정하여도 충분한 정확도를 가진 실험값을 얻을 수 있다.

이 경우에 방사화박판의 포화방사능은 식 (3)으로부터 다음과 같이 표시된다.

$$A_s = \frac{A}{(1 - e^{-\lambda t_1})[e^{-\lambda(t_2-t_1)} - e^{-\lambda(t_3-t_2)}]} \quad (5)$$

아림계장치에서 중성자묵음의 공간분포를 측정할 때 방사화박판의 기하학적모양을 꼭 같이 제작하는것은 어려우므로 매개 박판의 상대적감도 ε_i 를 평가하여야 한다. 만일 방사화시편의 개수를 n , 측정회수를 3이라고 하면 i 번째 방사화시편의 상대적감도 ε_i 는 다음 식으로 평가한다.

$$\varepsilon_i = \frac{n}{3} \left(N_{i1} / \sum_{i=1}^n N_{i1} + N_{i2} / \sum_{i=1}^n N_{i2} + N_{i3} / \sum_{i=1}^n N_{i3} \right) \quad (6)$$

2. 실험결과 및 해석

아림계장치는 천연금속우라늄과 물로 구성된 증식계이다. 아림계장치의 연료요소는 천연금속우라늄원기동형태로서 직경이 29mm, 길이는 1 040mm이다. 표피재는 두께가 1mm인 불수강(1Cr18Ni9Ti)이다. 이론적인 계산과 실험을 통하여 증식결수가 가장 커지게 되는 50mm직각형격자를 연료봉지지격자로 리용하였다. 연료봉들은 근사적인 원기동형태로 배열하였다.

방사화방법으로 열중성자의 공간분포를 측정하기 위하여 우선 박판의 상대적감도 ε_i 를 평가하였다. 이를 위하여 직경이 $\phi=100\text{mm}$ 이고 높이가 $h=50\text{mm}$ 인 원기동형 고압폴리에틸렌박판설치틀의 걸면에 질량두께가 $(125 \pm 25)\text{mg/cm}^2$ 인 In 박판 12개를, 그 중심에 Pu-Be 중성자원천을 설치한 다음 직경이 $\phi=0.8\text{m}$ 이고 높이가 $h=1\text{m}$ 인 물통에 넣어 6h 동안 쪼임하였다. 단창계수관을 리용하여 박판의 β 방사능을 매개 박판에 대하여 세번 측정하고 측정시작전과 후에 자연기록수를 측정하여 보정하였다. 식 (5)와 (6)을 리용하여 포화방사능과 상대적감도를 결정하였다. 박판의 상대적감도를 표에 주었다.

아림계장치에서 열중성자의 공간분포를 측정하기 위하여 방사화박판을 리용할 때 상열중성자에 대한 보정을 하여야 한다. 이를 위하여 중성자흡수자름면적이 열에네르기구역에서는 매우 크고 상열에네르기구역에서는 무시할 정도로 작은 Cd를 리용하였다. 만일 In 박판에 적당한 두께의 Cd 판을 씌우면 열중성자는 완전히 흡수되고 상열중성자에 의한 방사화만 진행된다.

표. 박판의 상대적감도

시편번호	ε_i	시편번호	ε_i
1	0.94	7	1.04
2	0.87	8	0.99
3	1.08	9	1.01
4	1.04	10	1.03
5	1.01	11	1.06
6	1.01	12	0.92

먼저 열중성자공간분포를 측정하기 위하여 In 박판만을 박판설치틀에 반경방향으로 7개, 수직방향으로 5개 설치하였다. 그리고 아림계장치에 박판설치틀을 장입하고 6h동안 방사화시켰다. 식 (5)를 리용하여 포화방사능을 결정하고 상대적감도에 대한 보정을 하였다.

다음으로 상열중성자에 의한 방사화를 보정하기 위하여 두께가 0.5mm인 Cd 판을 씌우고 우와 같은 방법으로 포화방사능을 결정하였다.

그림 1, 2에 각각 열중성자묵음의 반경방향 및 수직방향분포(상대값)를 보여주었다.

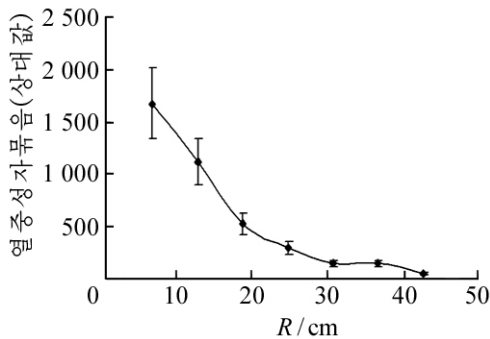


그림 1. 반경방향에 따르는 열중성자묵음분포

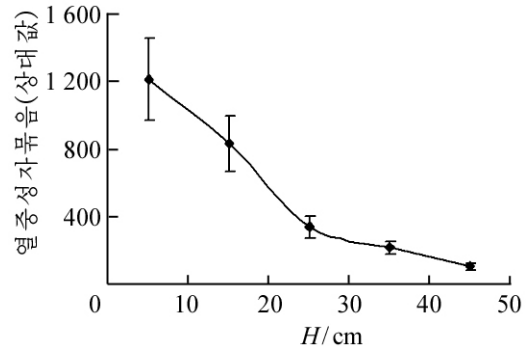


그림 2. 수직방향에 따르는 열중성자묵음분포

리론적으로 볼 때 립계에 가까운 원기둥형증식계에서 반경방향중성자묵음분포는 령차 베셀함수형태를, 수직방향분포는 코시누스형태를 가지는데 그림 1, 2의 열중성자묵음분포 들은 그것과 경향성이 류사하다는것을 보여준다. 실험적으로 결정한 열중성자분포에서 로 심바깥구역에서의 분포는 반사체(물)의 기여로 볼수 있다.

맺 는 말

열중성자에 대하여 방사화자름면적이 비교적 크고 반감기가 적합한 In 방사화검출기를 리용하여 아림계장치에서 상대열중성자분포를 측정하였다.

In방사화검출기를 리용하여 상대열중성자분포를 결정하는데서 자체차폐를 고려한 합리적인 면밀도는 $(125 \pm 25) \text{mg/cm}^2$ 이고 Cd 차폐판의 두께는 0.5mm이다.

참 고 문 헌

- [1] R. Tellier et al.; Nucl. Sci. Eng.; 156, 121, 2007.

주체106(2017)년 6월 5일 원고접수

The Measurement of the Thermal Neutron Flux Distribution in the Subcritical Assembly

Jon Song Je, Rim Chong Yop

The fission reaction in the thermal neutron reactor core arises from the thermal neutrons. Therefore it is very important problem for the reactor design and the operation to determine the thermal neutron flux distribution in the reactor core.

In this paper we have determined the relative thermal neutron flux distribution in the subcritical assembly using the In radioactive detector.

Key words: radioactive detector, thermal neutron flux