'98 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

^{192}Ir 선원의 γ선 자기흡수효과 측정

조운갑, 한현수, 박춘득, 박울재, 이철영
한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

산업용 및 의료용으로 사용되는 ^{192}Ir 방사선원에 대한 γ선 자기흡수효과인자를 실험을 통하여 구하였다. 이를 위하여 3 mm ϕ x 3 mm t, 2.5 mm ϕ x 2.5 mm t, 2 mm ϕ x 2 mm t의 원주형 Ir 표적과 3 mm ϕ x 0.25 mm t, 3 mm ϕ x 0.1 mm t의 원판형 Ir 표적을 하나로의 PTS(Pneumatic Transport System)조사공에서 중성자 조사하였다. 이온전리함을 사용하여 각 Ir 표적의 방사능을 측정하고 계산에 의해서 구한 생성방사능 값과의 비를 구하는 방법으로 ^{192}Ir의 γ선 자기흡수효과인자를 구하였다. 이 값들은 원주형 표적에 대하여 각각 0.614, 0.687, 0.704 였고 원판형 표적에 대하여 각각 0.827, 0.875 였다. 원주형 Ir 표적내부의 중성자 자기흡수효과의 정도를 알아보기 위하여 2.5 mm ϕ x 0.25 mm t Ir 표적 10장을 포개어 중성자 방사화시킨 후 각 표적의 방사능을 측정한 결과 가장 바깥쪽 표적의 방사능이 중심부에 위치한 표적보다 약 2배정도 방사화가 많이 일어남을 알 수 있었다. 이번에 구한 γ선 자기흡수효과인자는 향후 산업용 및 의료용으로 사용되는 ^{192}Ir 방사선원의 사용자에게 제공되는 최종방사능을 평가하는데 유용하게 사용될 수 있다.

1. 서 론

^{192}Ir 는 약 20종류의 γ선을 방출하며 그 평균 에너지는 400 KeV 정도이다[1]. Ir 금속의 밀도는 22.4 g/cm^3 로 비교적 높기 때문에 최종선원을 제조할 때에는 Ir 표적 자체에 의한 γ선 자기흡수효과를 고려하여야 한다. 일반적으로 γ선의 자기흡수를 정량적으로 다루기 위해서는 선원의 형상을 근사적으로 평판형, 실린더형 또는 구형으로 근사 시키고 선원내의 방사능 분포는 일정하다고 가정하여 γ선의 유효흡수계수 μ_{eff} 를 사용하여 계산한다[2]. 하지만 실제로 중성자를 조사할 때 표적의 중성자 자기흡수효과로 인해서 표적내부의 방사능 분포는 일정하지 않게 된다. 본 실험에서는 ^{192}Ir 의 γ선 자기흡수인자를 구하기 위하여 3 mm ϕ x 3 mm t, 2.5 mm ϕ x 2.5 mm t 및 2 mm ϕ x 2 mm t 원주형 Ir 표적과 3 mm ϕ x 0.1 mm t, 3 mm ϕ x 0.25 mm t의 원판형 Ir 표적을 하나로의 PTS 조사공에서 방사화시켜 생성방사능을 측정하고 계산에 의한 구한 생성방사능 값과의 비를 구하는 방법으로 Ir 물질내에서의 ^{192}Ir의 γ선의 자기흡수인자를 구하였다. Ir 표적은 열중성자 방사

화단면적(940 barn)이 매우 높기 때문에 원자로에서 중성자 조사시킬 때 중성자 자기흡수효과가 매우 크다. 즉 중성자 속중에 Ir 표적이 놓일 때 그 표면에서는 방사화가 잘 일어나서 생성 비방사능이 높고 표적의 내부에서는 상대적으로 방사화가 덜 일어나서 비 방사능이 표면에 비해서 낮아지게 된다. 따라서 방사능의 표적내 분포가 일정하지 않고 또 그 분포를 정확하게 알기가 매우 어렵다. 본 실험에서는 국내에서 산업용 및 의료용 선원으로서 주로 사용이 예상되는 2.5 mm ϕ x 2.5 mm t 원주형 Ir 표적에 대하여 Ir 표적내부에서의 중성자 자기흡수효과를 알아보기 위하여 2.5 mm ϕ x 0.25 mm t Ir 표적 10장을 포개어 중성자 방사화시키는 방법으로 표적내부의 생성 방사능 분포를 알아보았다.

2. 방 법

선원의 생성방사능을 이론적으로 계산할 수 있다면 이 값을 γ 선 자기흡수가 없는 경우의 방사능으로 하고 다시 선원의 방사능을 측정하여 그 비로부터 γ 선 자기흡수인자 f를 구할 수 있다. 즉 γ 선 자기흡수가 없을 때의 선원의 이론적 방사능을 A 라 하면 이값은 다음식으로 주어진다[3].

$$A = h S_o W \qquad (1)$$

여기에서 h 는 표적을 원자로에서 중성자 조사시킬 때의 중성자 자기흡수인자로서 우리가 실제 얻는 비방사능과 중성자 자기흡수가 없다고 가정했을 때 얻는 비방사능과의 비이다. S_o 는 중성자 자기흡수가 없을때의 생성 비방사능이며 W 는 표적의 무게이다. 표적을 중성자 조사시킨 후 이온전리함을 사용하여 측정한 방사능값을 A′라하면 선원의 γ 선 자기흡수인자 f는

$$f = A'/A \qquad (2)$$

로 구할 수 있다. 이 때 중성자 자기흡수인자 h 에 대해서는 계산을 간편하게 하기위해서 2r mm ϕ x ℓ mmt의 원주형 표적에 대해서 직경과 길이가 같은 경우(2r= ℓ) 이를 근사적으로 같은 체적의 구형으로 취급할 수 있다. 즉 원주형 선원의 반지름을 r 이라하면 이를 구형으로 근사시켰을 때 구형선원의 유효반지름 $r' = (3/2)^{1/3} r$ 으로 주어진다. 이 때 중성자 자기흡수인자 h는 Nisle의 다음 근사식으로 구할 수 있다[4].

$$h = \frac{1}{2\varepsilon}[1 - \exp(-2\varepsilon)] \qquad (3)$$

$$\varepsilon = \frac{2N\sigma r'}{3} \qquad (4)$$

여기에서 N 은 표적의 원자밀도이고 σ는 열중성자 흡수단면적, r′ 은 구형 근사선원의 반지름이다. 구형이 아닌 평판형 선원에 대하여 ε는 다음식으로 주어진다.

$$\varepsilon = \frac{2N\sigma V}{S} \qquad (5)$$

이때 V 는 표적의 부피(cm^3), S 는 표적의 표면적(cm^2)이다.

3. 실 험

1) 표적의 중성자조사

실험을 위하여 순도 99% 이상인 Ir 금속표적 5가지 종류를 사용하였다. 크기가 2 mm ϕ x 2 mm t, 3 mm ϕ x 3 mm t 및 3 mm ϕ x 0.1 mm t, 3 mm ϕ x 0.25 mm t 표적 1개씩을 선정하였고 표적내부의 중성자 자기흡수효과를 알아보기 위하여 2.5 mm ϕ x 0.25 mm t 의 Ir 원판형 표적 10장을 겹쳐서 하나의 2.5 mm ϕ x 2.5 mm t 표적으로 만든 후 두께 2 mm의 알루미늄 캡슐(내용적 2.6 mm ϕ x 2.6 mm t)에 넣고 밀봉하였다. 각각의 표적에 대하여 무게를 측정한 후 이들 표적을 하나로의 PTS조사공에서 원자로 출력 15 MW에서 14분간 조사시켰다. 이때의 열중성자속은 1.286×10^{13} n/cm^2.sec 이다. 중성자 조사 후 불순물로 ^{192}Ir와 동시에 생성되는 ^{194}Ir의 방사능을 감쇄시키기 위해서 10일동안 냉각시켰다.

2) 방사능 측정

표적의 방사능측정은 CRC-15R(Capintec Co.) 이온전리함을 사용하였고 이온전리함의 교정에는 Cs-137(Capintec Co.) 교정선원을 사용하였다. 2.5mm ϕ x 0.25 mm t 의 Ir 원판형 표적 10장을 겹쳐서 만든 2.5 mm ϕ x 2.5 mm t 표적은 전체의 방사능을 측정한 후 개별 원판표적으로 다시 분리하여 각각의 방사능을 측정하였다. 이 방법으로 양단부에 위치한 원판표적의 생성 방사능과 중심부에 위치한 원판표적의 방사능을 비교함으로서 표적 내부에서의 중성자 자기흡수효과의 정도를 알아보고자 하였다.

4. 실험결과 및 토의

1) γ 선 자기흡수인자 결정

각각의 표적에 대하여 ^{192}Ir의 생성 비방사능 S_o(Ci/g) 는 다음식에 의해 구할 수 있다[5].

$$S_o = \frac{N\sigma\phi}{3.7\times 10^{10}(1+(\sigma'-\sigma)\phi/\lambda)}(\exp(-\sigma\phi t)-\exp(-(\lambda+\sigma'\phi)t)) \qquad (6)$$

여기에서 N 는 g당 표적핵의 수, σ는 ^{191}Ir 의 열중성자 포획단면적(940 barns), σ'는 ^{192}Ir의 열중성자 포획단면적(1000 barns), φ는 열중성자속 밀도 (cm^{-2} s^{-1})이고 t 는 조사시간(sec), λ 는 ^{192}Ir의 붕괴상수 이다. 식 (6)에 의해 계산된 각 표적의 생성방사능을 표 1에 나타내었다. 각 표적에 대해서 측정된 방사능과 이론적으로 계산된 생성방사능을 사용하여 식 (2)에 의해서 γ 선 자기흡수인자를 계산할 수 있으며 이 값들은 표1 에 나타내었다. 각 표적에 대한 γ 선 자기흡수인자는 3 mm ϕ x 3 mm t, 2.5 mm ϕ x 2.5 mm t, 2 mm ϕ x 2 mm t의 원주형 표적에 대하여 각각 0.614, 0.687, 0.704 였고 3 mm ϕ x 0.25 mm t, 3 mm ϕ x 0.1 mm t의 원판형 Ir 표적에 대해 각각 0.827, 0.875 였다. 표적형태에 따른 γ 선 자기흡수인자를 비교하기 위하여 각 표적의 표면적에 대한 체적의 비를 표1 에 나타내고 이 값과 γ 선 자기흡수인자와의 관계를 그림1 에 나타내었다. 그림1 에서 보는 것과 같이 체적에 대한 표면적의 비가 클수록 γ 선 자기흡수가 작아짐을 알 수 있다. 이는 표면 근처에서의 방사능 분포가 상대적으로 크기 때문에 표면적이 클수록 γ 선 자기흡수효과를 줄일 수 있기 때문

이다.

2) 중성자자기흡수효과

이번 실험에서 사용한 각 표적에 대하여 체적에 대한 표면적의 비에 따른 중성자 자기흡수인자의 계산값을 표1 및 그림1 에 함께 나타내었다. 중성자 자기흡수효과도 역시 체적에 대한 표면적의 비가 클수록 작아짐을 알수 있다. 2.5 mm ϕ x 0.25 mm t 원판형 Ir 표적 10장을 겹쳐서 만든 2.5 mm ϕ x 2.5 mm t 표적에 대한 방사능 측정값을 표2 와 그림2 에 나타내었다. 가장 낮은 방사능 값을 1로 했을 때 각 표적의 상대적인 방사능 값들을 표2 에 나타내었다. 그림 2 에서 보듯이 개별표적의 방사능 값은 중앙에 위치한 표적에 대하여 좌우로 대칭의 분포를 보여주며 선원의 양끝부분의 생성방사능은 중심부의 생성방사능의 약 2 배가 됨을 알 수 있었다. 이는 중성자 자기흡수효과로 인해 선원의 중심부에서 핵반응이 양끝부분에 비해 50 % 정도밖에 안 일어났음을 보여주며 표적 전체적으로는 평균적으로 방사능이 균일한 분포에 가까워진다고 볼 수 있다.

5. 결 론

산업용 및 의료용으로 많이 이용되는 ^{192}Ir 방사선원에 대한 γ선의 자기흡수인자를 실험을 통하여 구하였다. 조사조건은 하나로의 PTS 조사공을 사용하여 14분간 조사하였으며 그때 운전출력은 15 MW, 열중성자속은 1.286 x 10^{13} n/cm^2.sec 였다. 실험결과 3 mm ϕ x 3 mm t, 2.5 mm ϕ x 2.5 mm t, 2 mm ϕ x 2 mm t의 원주형 표적에 대하여 γ선의 자기흡수인자는 각각 0.614, 0.687, 0.704 였고 3 mm ϕ x 0.25 mm t, 3 mm ϕ x 0.1 mm t의 원판형 Ir 표적에 대해 각각 0.827, 0.875 였다. 실제적으로 가장 많이 사용되는 선원형태인 2.5 mm ϕ x 2.5 mm t 표적에 대한 표적내부의 중성자 자기흡수효과의 정도를 알아본 결과 선원의 양 끝부분의 생성방사능은 중심부의 생성방사능의 약 2 배가 됨을 알 수 있었다. 앞으로 하나로를 사용하여 실제 ^{192}Ir 방사선원을 제조 공급할 때 γ선의 자기흡수인자로 이번 실험에서 구한 값들을 사용하여 최종적으로 사용자에게 제공되는 방사능 값을 비교적 정확하게 보정할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Lederer C.M., et al., "Table of Isotopes", 7th Ed., P. 1229, John Wiley & Sons(1978)
2. Dixon, W.R., "Self-Absorption Corrections for Large Gamma-Ray Sources", Nucleonics, 8(4), 68(1951)
3. Syo Madeda., et al., "Development of a High Intensity Ir-192 γ-ray Radiographic Sources", J. App. Rad. and Iso.,Vol 27. p447-451(1976)
4. R.G. Nisle, Nucleonics, 18, No.3, 86(1960)
5. Hisashi Katoh et al., "Production of Radioisotopic Gamma Radiation Sources in JAERI", JAERI/M-8810(1980)

Table 1. γ -ray Self-Absorption Factor obtained Experimentally

Ir Targets	Sur./Vol.	Cal. Act. (mCi)	Mea. Act. (mCi)	f	h
3 mm ϕ x 3 mm t	1.00	3.405	2.090	0.614	0.200
2.5 mm ϕ x 2.5 mm t	1.20	2.237	1.536	0.687	0.239
2 mm ϕ x 2 mm t	1.50	1.407	0.990	0.704	0.292
3 mm ϕ x 0.25 mm t	4.67	0.813	0.686	0.827	0.617
3 mm ϕ x 0.1 mm t	10.67	0.502	0.439	0.875	0.800

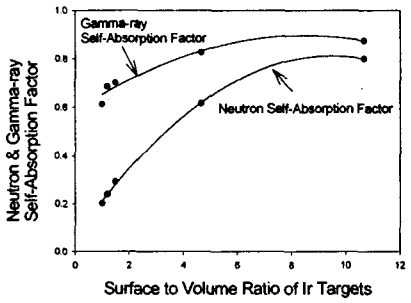

Fig. 1. Neutron & γ -ray Self-absorption Factor for Surface to Volume Ratio of Ir Targets

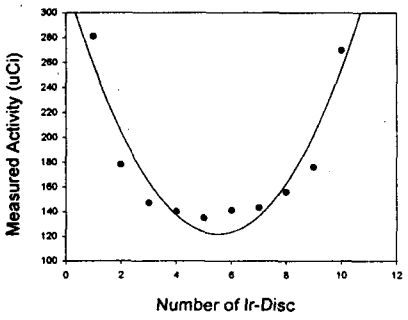

Fig. 2. Measured Activity of Ir-Disc (2.5 mm ϕ x 0.25 mm t) piled during neutron irradiation time

Table 2. Activity & Relative Intensity of Ir-discs(2.5 mm ϕ x 0.25 mm t)

Target No.	Activity (uCi)	Relative Intensity
1	281	2.07
2	178	1.32
3	147	1.09
4	140	1.04
5	135	1.00
6	141	1.04
7	143	1.06
8	156	1.16
9	176	1.30
10	270	2.00
Avg.	176.7	1.31