

동위원소생산을 위한 하나로 LH 조사장치 개발

손광재, 홍순복, 박상준, 김현일, 장경덕, 한현수

한국원자력연구소

ex-kjson@kaeri.re.kr

1. 서론

방사선기술 사업의 기본물질인 방사성동위원소를 원활하게 공급하는 것은 관련 산업의 하부구조를 튼튼히 하고 RI 를 포함한 장비개발이나 방사성의약품 및 방사선원의 제품화 등 관련 산업 활성화에 필수 불가결한 요소이다. [1,2]

하나로에는 노심과 반사체 영역에 모두 31 개의 수직조사공이 설치되어 있으며 이 중 동위원소 생산에 주로 이용되는 조사공은 내부 노심에 3 개, 반사체영역에 2 개가 활용되고 있다. 현재 동위원소의 국내 사용량과 수출량이 매우 빠른 속도로 증가하고 있어 원활한 공급체계를 확보하고 하나로의 이용을 활성화하기 위하여 현재 사용하지 않고 있는 LH 조사공을 활용하기 위한 조사장비를 개발하게 되었다. LH 조사공은 반사체 영역의 조사공에 비해 중성자속이 높기 때문에 동위원소생산에 유리할 뿐만 아니라, 노심 영역의 조사공과는 달리 반사체 영역에 위치하기 때문에 원자로 운전 중 표적의 입인출이 가능한 장점을 가지고 있다. [3,4]

본 연구에서는 LH 공을 사용하여 방사성동위원소를 생산할 경우 조사장비의 형상에 따른 중성자속을 계산하였고 이때 생성되는 반응률을 고려하여 조사장비의 설계 및 제작에 반영하였다. 또한 여러 가지 요구되는 기계적 강도 및 건전성을 확보하기 위하여 철저한 사전실험을 실시하였고 관련 코드에 부합되게 제작하였다.

2. LH 조사공 특성분석

LH 에 장착될 리그의 개수 및 위치를 최적화하기 위하여 다양한 경우에 대한 중성자속 및 실제 시료 장전시의 반응률을 계산하였다. 현재 LH 공에는 내부를 공기로 채운 외경 15 cm, 두께 3 mm 의 알루미늄 플러그가 삽입되어 있다. LH 조사공의 직경은 다른 동위원소 생산용 조사공에 비하여 크기 때문에 Fig. 1 과 같이 안쪽에 작은 구멍을 갖는 형태로 개조하면 각 구멍에 리그를 장전하여 독립된 조사공으로 사용할 수 있다.

기존의 리그를 그대로 사용할 경우에는 플러그 안쪽 구멍의 직경은 6 cm 가 되어야 하므로 만들 수 있는 구멍의 수는 최대 2 개가 된다(Fig. 1-a). 그러나 리그의 두께를 줄여 플러그의 구멍 수를 늘릴 수 있는 여지가 있기 때문에 기존 리그의 크기를 줄이면 조사공의 수를 3 개로 늘일 수 있어 보다 효율적인 조사공의 활용이 가능하다. 즉 리그의 외경을 4.9 cm 로 줄이면 플러그 내에는 내경 5 cm 인 구멍을 Fig. 1-b 와 같이 3 개까지

배열이 가능하다. 이 세 개의 조사공 가운데 노심에서 가까운 2 개의 조사공에서는 각각 IP3 공의 약 95 % 정도의 조사 효과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 플러그의 회전 방향에 따라 3 개의 구멍 중 최대 및 최소 중성자속의 변화는 7 % 이내이지만 중간 값을 가지는 구멍에서의 중성자속은 20 %까지 변화할 수 있으므로 노심 수직 방향을 기준으로 $\pm 20^\circ$ 정도의 회전 범위 안에서는 세 구멍의 가장 효과적인 중성자속 분배로 거의 비슷한 효과를 가질 것으로 보인다. LH 플러그에 시료를 포함한 리그 3 개를 모두 장전하였을 때 각 조사 시료의 반응률을 계산하여 같은 조건하의 IP3 및 OR3 에서의 계산결과와 비교하였다. (Table. 1)

MoO₃ 분말이 알루미늄 컨테이너에 장입된 후 다시 내부 캡슐에 봉입한 것의 반응률을 예측하였다. 모두 4 개의 캡슐이 리그에 장전되어 있으며 60 g 의 시료를 담고 있다. LH 플러그의 각 구멍에서 반응률을 계산한 결과, 첫 번째 구멍의 경우 IP3 및 OR3 공에 대하여 각각 약 96% 및 32%, 두 번째 구멍은 76% 및 25%, 그리고 세 번째 구멍은 66% 및 22% 정도의 반응률을 나타내 충분히 동위원소생산에 활용될 수 있음을 알 수 있었다.

3. 설계·제작 및 시험

플러그 및 리그의 형상 변화에 따른 중성자속 및 반응률 예측 결과를 바탕으로 중성자 조사장비를 설계·제작하였다. 먼저 플러그의 경우 LH 조사공에 장전이 용이하도록 조사공 직경보다 1 mm 가 작게 하였고 리그를 장착할 수 있도록 3 개의 구멍을 120° 간격으로 위치 시켰다. 각 구멍은 직경 50 mm 로 하였으며 플러그 상부에는 180° 회전이 가능한 취급 고리를 부착하였다(Fig. 2).

플러그는 가공성과 사용 후 폐기를 고려하여 알루미늄(Al 6061) 재질을 사용하였으며 조사 표적에 도달하는 중성자속의 감소효과를 최소화하기 위하여 플러그 내부를 공기로 채울 수 있도록 설계·제작 되었다. 플러그가 LH 조사공에 장착될 때 13 m 깊이의 수조내부에 위치하기 때문에 공기로 채워진 부분으로 원자로 수조수의 유입이 완벽하게 차단되어한다. 따라서 용접접합부의 누설 등의 결함은 플러그의 설계 및 제작에 치명적이다. 알루미늄 합금의 용접은 표면의 산화물을 반드시 제거한 후 실시해야 하므로 용접 전 세심한 세척을 하여 TIG 용접법으로 플러그 부품들을

밀봉하였다. 용접이 완료된 후에는 두 가지의 철저한 밀봉성능 테스트를 실시하였다. 먼저 3 kg/cm²의 압력의 헬륨 가스를 미리 만들어 놓은 2 mm 직경의 작은 구멍을 통해 플러그 내부에 주입하였다. 그리고 물속에 플러그를 잠기게 한 후 기포의 발생 여부를 관찰하여 플러그의 밀봉성능을 시험 하였다. 두 번째 밀봉 테스트법은 플러그가 장착될 원자로 수조와 깊이가 같은 13 m의 하나로 서비스플에 3 일 동안 침수한 후 중성자 라디오그래피를 통하여 플러그 내부에 침투할 수 있는 수분의 존재 여부를 검사하였다(Fig. 3).

플러그에 있는 3 개의 구멍에 시료를 포함한 상태로 장착되는 리그를 개발하였다. (Fig. 2) 원자로에 장착되는 구조물의 특성상 방사선손상으로 인한 성능이 저하되지 않아야 하므로 중성자흡수 단면적이 작고 중성자 흡수 때문에 발생하는 감마선에너지가 낮고 반감기가 짧은 알루미늄 (Al6061) 재질을 선택하였다. 조사표적을 장전한 상태로 플러그에 장입이 용이하도록 하단부에 경사를 두어 가공하였으며 상부에는 색깔이 입혀져 있는 입구인출 고리가 장착되어 작업 시 판별이 쉽도록 하였다. LH 플러그 및 리그는 하나로 반사체 영역에 위치하여 높은 방사선에 노출되어 사용되므로, 장비의 안정성은 물론 내구성이나 건전성이 필수적으로 확보되어야 한다. 따라서 이를 확보하기 위하여 설계, 제작 및 원자로내 이용 등에 원자력 관련 품질등급 "S" 등급을 적용하였으며, 모든 장비의 설계, 제작, 시험검사업무 및 재료와 부품의 선정은 ASME, ASTM, ANSI, AWS, JIS, KS 규격에 따라 수행되었다.

4. 결론

제작된 LH 플러그와 리그는 LH 조사공에서 동위원소의 생산용으로 사용할 예정이며 Table. 2에 나타난 동위원소를 대량으로 생산할 수 있어 안정적인 동위원소 공급에 기여할 것이다. 그 외에도 연구용 핵종개발 및 각종 조사시험에도 응용할 수 있어 하나로 활용도를 높일 수 있을 것이다.

REFERENCES

- [1] 한현수 외, 방사성동위원소 및 방사선원 개발, 원자력중장기 연구개발사업 보고서, 원자력연구소, 2003
- [2] 한현수, 방사성동위원소 국산화율제고 및 해외수출, 동위원소회보, 제 18 권 3 호, 2003
- [3] 박철 외, 연구로 실험설비 조사공 설계 특성요건, 한국원자력연구소 기술현황분석보고서, 2003
- [4] 한현수, 조운갑, 홍순복, 박울재, 김선덕, RI 생산을 위한 하나로 노심내 조사장비 개발, 동위원소회보, 14 권 2 호, pp. 32 ~ 36, 1999

Table 1 Calculation results of reaction rate for ⁹⁸Mo (n,γ)

Irradiation hole	Neutron flux [n/(cm ² .sec)]			⁹⁸ Mo(n,γ) reaction rate [sec ⁻¹]	
	< 0.625 keV	< 1.00 keV	1.00 keV >		
LH	first	1.128 × 10 ¹⁴	9.518 × 10 ¹²	6.473 × 10 ¹²	3.036 × 10 ¹⁰
	second	1.086 × 10 ¹⁴	8.070 × 10 ¹²	4.365 × 10 ¹²	2.622 × 10 ¹⁰
	third	6.950 × 10 ¹³	6.478 × 10 ¹²	3.863 × 10 ¹²	2.259 × 10 ¹⁰
IP3	1.247 × 10 ¹⁴	1.305 × 10 ¹²	8.008 × 10 ¹²		3.419 × 10 ¹⁰
OR3	2.340 × 10 ¹⁴	4.695 × 10 ¹³	6.658 × 10 ¹³		9.322 × 10 ¹⁰

Table 2 Nuclides production using LH irradiation hole

Classification	Nuclides	Remark
Using enriched target	⁵⁵ Fe, ⁶³ Ni, ¹⁶⁹ Yb	Gauge
	⁸⁹ Sr, ¹⁸⁶ Re, ¹⁵³ Sm	Radio pharmaceuticals
	⁵¹ Cr, ³³ P	Medical source
Short half-life nuclides	(n,γ) ⁹⁹ Mo	Epithermal neutron
	Fission moly	^{99m} Tc generator
High specific activity sources	¹⁹² Ir, ¹⁶⁹ Yb, ⁶⁰ Co	NDT
	¹⁹² Ir, ⁶⁰ Co	Therapeutic
	¹⁵³ Gd	Bone mineral density
Double neutron capture reaction	¹⁸⁸ Re	Generator
	¹⁵² Eu	Reference source

Fig.1 Conceptual designs of LH Plug; (a) two hole type, (b) three hole type

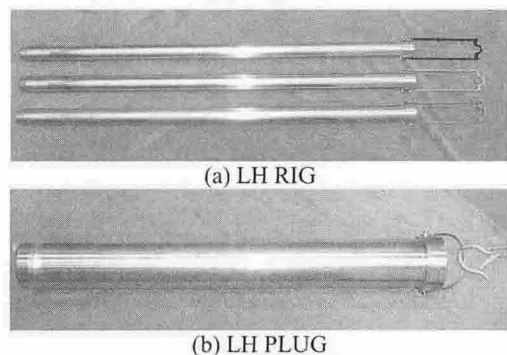


Fig.2 Photographs of LH RIG and PLUG

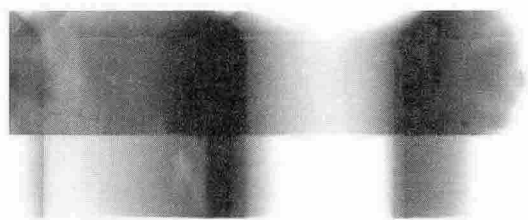


Fig.3 Photo of neutron radiography for water leak inspection