

하나로 냉중성자 유도관 시스템을 위한 인파일 플러그 및 주개폐기의 설계

신진원[†] · 조영갑^{*} · 조상진^{*} · 류정수^{*}

Design of the In-pile Plug Assembly and the Primary Shutter for the Neutron Guide System at HANARO

Jin-Won Shin, Young-Garp Cho, Sang-Jin Cho and Jeong-Soo Ryu

Key Words : neutron guide(중성자 유도관), in-pile plug(인파일 플러그), primary shutter(주개폐기)

Abstract

The HANARO, a 30 MW multi-purpose research reactor in Korea, will be equipped with a neutron guide system, in order to transport cold neutrons from the neutron source to the neutron scattering instruments in the neutron guide hall near the reactor building. The neutron guide system of HANARO consists of the in-pile plug assembly with in-pile guides, the primary shutter with in-shutter guides, the neutron guides in the guide shielding room with dedicated secondary shutters, and the neutron guides connected to the instruments in the neutron guide hall. The functions of the in-pile plug assembly are to shield the reactor environment from a nuclear radiation and to support the neutron guides and maintain them precisely oriented. The primary shutter is a mechanical device to be installed just after the in-pile plug assembly, which stops neutron flux on demand. This paper describes the mechanical design of the in-pile plug assembly and the primary shutter for the neutron guide system at HANARO. The design of the guide shielding assembly for the primary shutter and the neutron guides is also presented.

1. 서론

냉중성자 연구시설은 나노영역의 구조와 운동을 측정 및 분석하는 중요한 도구로서 기초 과학의 광범위한 분야에 이용되며, 특히 나노(nano) 및 바이오(bio) 기술 등 21 세기 국가 과학기술 연구개발의 필수적인 핵심 기반 연구 시설이다. 일반적으로 냉중성자(cold neutron)는 원자로에서 생성된 열중성자(thermal neutron)를 20K 온도의 액체 수소로 냉각하여 만들어지며, 열중성자에 비해 긴 파장과 낮은 에너지를 가짐으로써 나노 크기의 미시구조 분석 및 비균질성 정밀 측정 등

나노 구조 연구에 활용된다. 이러한 국가적인 요구에 힘입어 ‘냉중성자 연구기반시설 구축 및 이용기술 개발’ 과제가 2003 년 7 월에 다목적 연구용 원자로인 하나로(High-flux Advanced Neutron Application ReactOr)에서 시작되었다 [1]. 냉중성자원 및 시설계통 개발과 유도관 시스템 개발 그리고 중성자 산란장치의 개발 등이 2010 년까지 완성될 예정이며, 국내외의 많은 과학자들이 냉중성자를 이용한 기초과학 실험을 위해 하나로 냉중성자 연구시설(Fig. 1)을 이용할 수 있을 것으로 보인다.

냉중성자원(cold neutron source)에서 생성된 냉중성자는 중성자 유도관(neutron guide)을 통해 냉중성자 실험동에 있는 중성자 산란장치(neutron scattering instrument)로 전달된다. 냉중성자의 손실을 최소화하고 산란장치의 성능을 극대화하기 위해서 유도관 시스템의 설계는 매우 중요하다.

[†] 신진원, 한국원자력연구원 하나로이용연구단
E-mail : jwshin@kaeri.re.kr
TEL : (042)868-8766 FAX : (042)862-1763

^{*} 한국원자력연구원

유도관 시스템은 인파일 플러그 어셈블리(in-pile plug assembly), 주개폐기(primary shutter), 차폐실 유도관, 냉중성자 실험동 유도관으로 구성된다. 본 논문에서는 냉중성자 유도관 시스템의 주요 기계설비인 인파일 플러그 어셈블리와 주개폐기의 설계 요건과 설계 내용을 기술하였다. 또한 주개폐기와 유도관을 위한 조립식 유도관 차폐체(guide shielding assembly)의 설계에 관해서도 논의하였다.

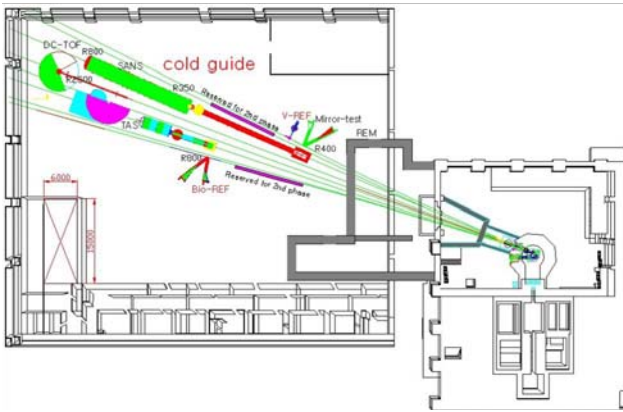


Fig. 1 The layout of cold neutron facilities at HANARO

2. 유도관 시스템

냉중성자원 표면으로부터 1833mm 떨어진 곳에서 서로 다른 단면을 가진 5 개의 인파일 유도관이 시작된다. 냉중성자원은 내경 160mm의 수직 원형 튜브안에 설치되며 냉중성자원 표면으로부터 70mm x 150mm 단면으로 시작해서 150mm x 150mm로 발산하는 사각관 형태의 냉중성자 인출관이 연결되어 있다 [2]. 인파일 플러그는 냉중성자 인출관과 벨로우즈(bellows)로 연결되어 원자로 벽에 설치되고 내부에 5 개의 인파일 유도관이 삽입된다. 인파일 플러그는 인파일 유도관이 정확한 위치에 놓여질 수 있도록 유도관을 고정시키고 지지하는 동시에 원자로에서 나오는 방사선을 차폐하는 역할을 한다. 인파일 유도관은 북쪽에서 남쪽 방향으로 CG1, CG2, CG3, CG4, CG5로 명명되며 냉중성자 수평중심으로부터 +2.97°, +1.84°, +0.47°, -1.97°, -2.50°의 각도로 설치된다 [3].

주개폐기는 인파일 플러그와 윈도우로 연결되며 냉중성자의 흐름을 허용하거나 차단하는 역할을 하는 기계적 장치이다. 주개폐기 내부에도 5 개의 유도관이 삽입되어 있으며 구동 모터에 의해 드럼이 90°회전함으로써 유도관을 열고 닫는 동작을

하도록 설계되었다. 인파일 플러그에서 주개폐기까지는 유도관이 직선이며 주개폐기를 통과한 후 유도관 곡률 변화를 이용해 CG2와 CG5 유도관이 각각 2 개와 3 개의 유도관으로 분기되어 총 8 개의 유도관이 설치된다 (Fig. 2).

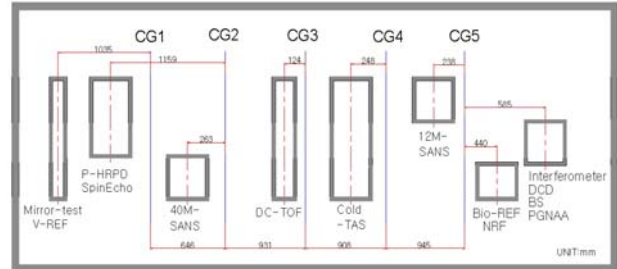


Fig. 2 The section view of neutron guides at the reactor confinement building

유도관의 곡률 및 단면 치수와 장치 배치를 위한 유도관 길이 등을 Table. 1에 정리하였다. 이들 각각의 유도관에 1 대~4 대의 장치가 연결되며 Fig. 1과 같이 총 13 개 이상의 냉중성자 산란장치가 47m x 65m 면적의 냉중성자 실험동에 설치될 예정이다. 원자로의 인파일 플러그 어셈블리 및 주개폐기에서 유도관 차폐실을 거쳐 냉중성자 실험동의 산란장치로 이어지는 유도관 시스템의 개념도를 Fig. 3에 나타내었다.

Table 1 Geometrical Parameters of neutron guides

Guide	Incline angle	Curvature (↗ North)	Guide dimension	Length of curved part
CG1	+2.97°	400m ↗	150mm x 20mm	26.5m
CG2	+1.84°	800m ↗	50mm x 50mm	24m
		350m ↗	95mm x 50mm	26.3m
CG3	+0.47°	2500m ↗	150mm x 30mm	25.6m
CG4	-1.91°	2500m ↗	150mm x 50mm	31.68m
CG5	-2.50°	1200m ↗	50mm x 50mm	25.1m
		800m ↘	50mm x 50mm	24.9m
		1200m ↘	50mm x 40mm	24.9m

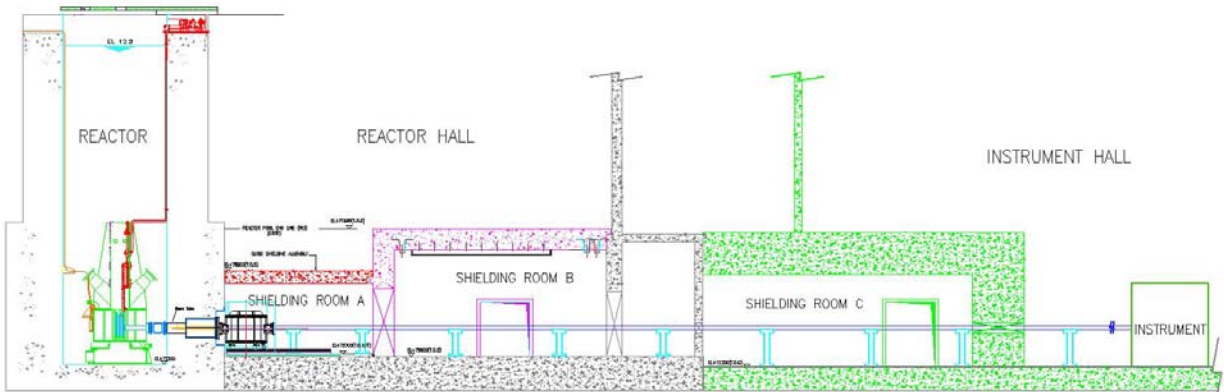


Fig. 3 The overview of the neutron guide system including reactor, in-pile plug assembly, primary shutter, neutron guides, guide shielding room and instruments

3. 인파일 플러그 어셈블리의 설계

인파일 플러그 어셈블리는 원자로 차폐벽에 설치되는 구조물로서 인파일 유도관이 삽입되어 있으며, 인서트 유도관이 삽입되어 있는 주개폐기와는 윈도우 플랜지로 연결된다 (Fig. 4). 인파일 플러그는 이중으로 된 실린더 타입의 구조이며 380mm(직경) x 735mm(길이)와 700mm(직경) x 1170mm(길이)의 치수를 갖는다. 인파일 플러그 어셈블리는 Fig. 5 와 같이 플러그(plug), 베이스 테이블(base table), 가이드 카세트(guide cassette), 블라인드 플랜지(blind flange)와 링 플랜지(ring flange) 그리고 윈도우 플랜지(window flange)로 구성된다.

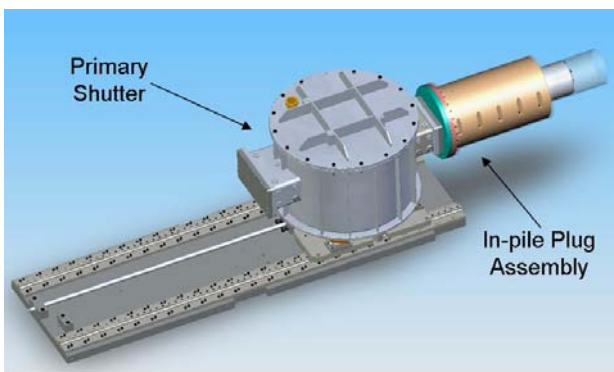


Fig. 4 The design of the in-pile plug assembly and the primary shutter

플러그(Fig. 5A)는 실린더가 상부와 하부로 나누어져 있는 형태이고, 그 사이에 유도관이 들어있는 가이드 카세트가 장착된다. 그리고 플러그의 하부는 베이스 테이블에 고정된다. 플러그는 탄소 주조강(cast carbon steel)을 기계

가공해서 제작하며, 플러그를 구성하는 모든 탄소강 재질의 부품들은 코발트(Co) 함량이 10ppm 미만이고 부식을 방지하기 위해서 니켈 도금을 한다. 베이스 테이블(Fig. 5B)은 플러그를 하부에서 고정시키고 지지하는 역할을 한다. 또한 수평공 중심축을 기준으로 링플랜지가 접합되어 있어서 인파일 플러그 어셈블리를 설치할 때 중요한 기준이 된다. 가이드 카세트(Fig. 5C)는 유리로 만들어진 5 개의 유도관을 고정시키고 보호하는 역할을 하며, 유도관을 수평과 수직방향으로 정밀하게 정렬할 수 있도록 나사(screw)와 나사잭(screw jack)이 장착되어 있다. 블라인드 플랜지(Fig. 5D)는 플러그를 원자로 벽면에 고정시키고 헬륨(He)으로 채워진 인파일 플러그 어셈블리를 밀폐시키는 역할을 한다. 냉중성자는 윈도우를 통과하며 윈도우 플랜지(Fig. 5E)가 블라인드 플랜지에 의해 지지된다. 블라인드 플랜지는 직경 830mm, 두께 50mm 의 스테인리스 스틸(SS304L)로 만들어지고 링플랜지에 체결된다. 윈도우 플랜지는 30mm 두께이며 윈도우는 1mm 두께의 얇은 알루미늄판으로 만들어진다.

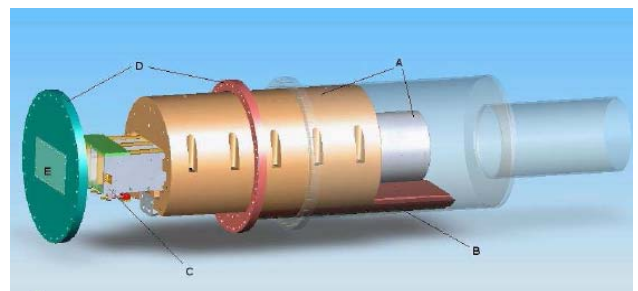


Fig. 5 The exploded view of the in-pile plug assembly (A: Plug, B: Base Table, C: Cassette, D: Blind Flange & Ring Flange, E : Window Flange)

4. 주개폐기의 설계

주개폐기는 인파일 유도관을 통해서 나오는 냉중성자의 흐름을 허용하거나 차단시키기 위한 기계적인 구동장치이다. 주개폐기는 수직축을 중심으로 90°로 회전하는 드럼(drum)이 진공으로 유지되는 베셀 (vessel)안에 들어있는 구조이다. 드럼의 구동은 모터(motor)와 랙앤피니언(rack and pinion) 기어를 통해서 이루어진다. 유도관은 주개폐기 내부에서 베셀의 상류 및 하류측의 고정 카세트와 드럼 내부의 회전 카세트에 삽입되어 세 부분으로 나뉜다. 베셀은 캐리지(carriage)위에 고정되며 주개폐기의 설치와 유지 및 보수를 위해서 캐리지는 레일(rail)위에서 직선으로 움직일 수 있도록 고안되었다.

베셀(Fig. 6A)은 20mm 두께의 철판을 용접해서 만들어지며 내경은 1450mm 이고, 높이는 1000mm 이다. 베셀은 진공밀폐구조를 갖고 있으며, 외부 표면에 보강재가 용접되어있다. 베셀 리드(Fig. 6L)는 베셀을 덮는 커버이며 플랜지로 용접되어 있다. 외경이 1618mm 이고 두께가 40mm 인 스테인리스 스틸(SS304L)이며 15mm 두께의 보강재가 이중으로 수직 교차하여 용접되어 있다. 드럼(Fig. 6B)은 상부와 하부로 나누어져 있으며 회전 카세트(Fig. 6C)가 중간에 삽입된다. 드럼은 외경이 1440mm 이며 상부의 높이는 410mm, 하부의 높이는 388mm 이다. 15mm 두께의 철판을 용접해서 외부를 만들고, 내부는 몇 가지 차폐물질을 포함한 고밀도 콘크리트로 채워진다. 상부와 하부 드럼은 50mm 직경의 위치 고정핀(dowel pin) 4 개에 의해서 서로 고정된다. 베셀은 1.6m x 2.0m 의 캐리지(Fig. 6D)위에 고정되며, 캐리지는 100mm 두께의 두꺼운 철판위에 설치된 2 개의 레일(Fig. 6E)위에 장착되어있다. 주개폐기는 설치 시 크레인이 원자로벽에 접근할 수 있는 제한 거리로 인해 최종위치에서 2m 떨어져 있는 곳에 놓여진 후 레일위에서 원자로벽 방향으로 이동하여 인파일 플러그 어셈블리에 윈도우로 연결된다. 유도관의 정렬이나 유지 및 보수를 위해 주개폐기가 분리되어야 할 경우에도 레일이 이용된다.

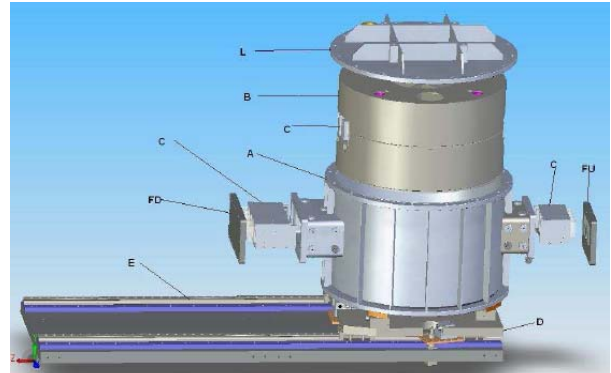


Fig. 6 The exploded view of the Primary shutter (A: Vessel, B: Drum, C: Cassettes, D: Carriage, E: Rails, FD: Window downstream, FU: Window upstream, L: Lid)

5. 유도관 차폐실

유도관 차폐실은 주개폐기로부터 각 유도관의 이차 개폐기까지의 영역을 생물학적으로 차폐하는 구조물이다. 원자로 건물의 원자로 벽면에서 냉중성자 실험동 건물 일부까지 차폐실이 설치되며 Fig. 3 과 같이 조립식 유도관 차폐체(shielding room A), 원자로실 유도관 차폐실(shielding room B), 실험동 유도관 차폐실(shielding room C)로 나뉜다.

조립식 유도관 차폐체는 Fig. 7 과 같이 원자로 벽면과 원자로실 유도관 차폐실 사이에 설치되어 주개폐기와 유도관을 차폐하며 필요시 제거할 수 있는 이동형 블록 구조물로서 밀도 4.0g/cc 와 두께 500mm 의 중량 콘크리트로 만들어진다. 조립식 차폐체의 천정과 벽은 각각 세 개의 블록으로 이루어져 있으며 조립 부위는 Fig. 8 과 같이 계단식으로 맞물리도록 설계하였다.

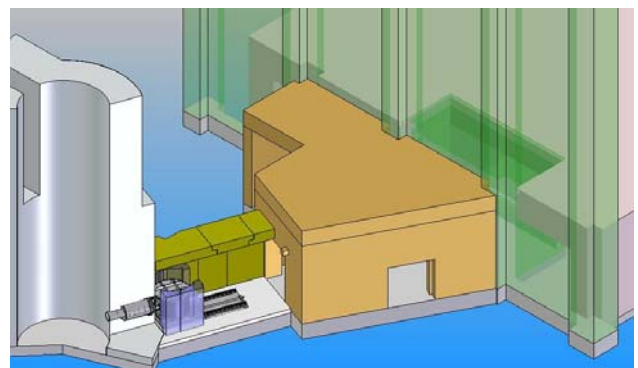


Fig. 7 The section view of the guide shielding assembly for the primary shutter and neutron guides

