

핵연료 노내조사시험설비 노내시험부 설계

The Design of In-Pile Test Section for Fuel Test Loop

박국남, 이종민, 심봉식, 지대영, 박수기, 안성호, 이정영, 김영진

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

3-Pin 핵연료 노내조사시험설비(FTL)는 하나로 조사조건에서 핵연료의 일반적인 성능을 실험하는 시설로서 이용자의 요구사항과 조사공의 크기를 고려하여 IR1 조사공에서 최대 3공(Pin)을 조사한다. 3-Pin FTL은 노내시험부(In-Pile Test Section(IPS))와 노외 공정계통(Out-of-Pile System(OPS))으로 이루어져 있다. 노내시험부는 압력용기조립체(IPS Vessel assembly, IVA), 수조내 배관, 노내시험부 지지대, 수조내 배관 지지대 등으로 이루어진다. 이와 같은 노내시험부는 하나로 기존설비에 영향을 주지 않도록 간섭사항을 고려한 설계가 이루어졌다. 압력용기조립체는 노외공정계통에서 제공되는 압력, 온도 및 수질 환경하에서 시험 핵연료를 조사한다. 노내시험부 압력용기조립체는 외부압력관, 내부압력관, 노내시험부 헤드, 내부조립체 그리고 시험핵연료운반체로 구성된다. 2006년에 3-Pin FTL시설이 완공되면 새로운 PWR형 연료의 조사 시험을 위해 사용될 것이고, HANARO의 활용을 보다 더 높일 것이다.

Abstract

As a equipment for nuclear fuel's general performance irradiation test in HANARO, Fuel Test Loop(FTL) has been developed that can irradiate the pin to the maximum number of 3 at the core irradiation hole(IR1 hole) by considering for it's utility and user's irradiation requirement. 3-Pin FTL consists of In-Pile Test Section (IPS) and Out-of-Pile System (OPS). IPS consists for IPS Vessel assembly, In-Pool Piping, IPS Support, In-Pool Piping Support etc. Design that such IPS considers interference item consisted to do not bear in existing facilities by one. IVA that is

connected to the OPS are controlled and regulated by means of system pressure, system temperature and the water quality. IPS Vessel assembly is consisted of outer pressure vessel, inner pressure vessel, IPS head, inner assembly and test fuel carrier. After 3-Pin FTL development which is expected to be finished by the 2006, FTL will be used for the irradiation test of the new PWR-type fuel and can maximize the usage of HANARO.

1. 서론

하나로에서 노심 내에 설치되는 노내조사시험설비(Fuel Test Loop)는 가압경수로 및 중수로용 핵연료에 대한 노내 조사시험을 위한 설비로서,⁽¹⁾ 이용자의 조사요건 및 설비능력 등을 고려하여 조사시험을 할 수 있는 장치이다. FTL은 120kW의 열제거 능력과 설계압력 17.5MPa, 설계온도 350℃ 및 수화학조건 등과 같은 계통 조건이 요구되는 정상상태 핵연료 조사시험용 루프시설이다. FTL은 크게 노내시험부(IPS)와 노외공정계통(OPS)으로 구성되어 있다.

노내시험부는 최대 3개의 핵연료봉을 시험할 수 있도록 하였다. 노내시험부는 노내시험부 압력용기조립체, 연결배관 및 지지대로 이루어진다. 그리고 IVA(노내시험부 압력용기조립체)는 외부압력관, 내부압력관, 노내시험부 헤드(또는 헤드), 내부조립체 및 시험핵연료운반체로 구성된다. 시험핵연료의 냉각수는 노내시험부 헤드의 하부연결관을 통해서 시험핵연료가 설치된 내부압력관으로 유입되어 시험핵연료를 통과한 뒤 노내시험부 헤드에 있는 상부연결관을 통해서 흘러나간다.

2006년 개발 완료 예정인 FTL시설이 하나로에 설치되면 개발중인 경수로용 신형핵연료 등의 조사시험에 활용할 예정이다. 핵연료의 실증실험으로 연구개발에 필요한 자료를 얻고, 신형핵연료의 설계, 제작 기술자립에 기여할 수 있는 FTL 시설의 노내시험부에 대한 설계개념을 정립하고 설계진척 현황을 확인하는데 본 연구의 목적이 있다.

2. 3-Pin FTL 설계요건

3-Pin FTL은 개발된 핵연료봉을 하나로 노심 내에서 조사시험을 실시하기 위한 시설이다. 노내시험부는 정상운전상태의 원자력발전소와 유사한 환경조건에서 시험핵연료의 노내조사를 통하여 핵연료 연소, 기계적 건전성 및 부식시험 등을 수행하며 최대 3개의 핵연료 봉을 시험할 수 있도록 설계한다.⁽²⁾

3-Pin 핵연료 노내조사시험설비의 시험핵연료 제원은 Table 1과 같다. 실제 가동 중인 상업로의 노심조건을 모사한 가압경수로 및 중수로용 핵연료의 시험용 핵연료봉을 하

나로의 IR1 (Irradiation Hole)에 장전하고 이를 통하여 핵연료의 안전성을 입증할 수 있는 데이터 확보가 가능토록 하였다. 하나로 IR1 조사공의 형상은 안지름 7.44cm의 hexagonal cylinder이며 3-Pin 핵연료 노내조사시험설비의 설계조건은 Table 2와 같다.

Table 1 3-Pin FTL 시험핵연료 최대 제원

시험핵연료	최대 제원
가압경수로형	-핵연료봉 길이 : 700 mm -핵연료봉 지름 : 9.5 mm -핵연료 농축도 : 5%
중수로형	-핵연료봉 길이 : 500 mm -핵연료봉 지름 : 13.08 mm -핵연료 농축도 : 5%

Table 2 3-Pin FTL의 설계조건

구분		가압경수로 모드	중수로 모드
노내 시험부 운전 조건	핵분열발열량	112.3 kW	116.2 kW
	냉각수 압력	15.5 MPa	10.0 MPa
	IPS 입구온도	300.3 °C	276.7 °C
	IPS 출구온도	312.0 °C	290.0 °C
	IPS 유량	1.6 kg/s	1.63 kg/s
	IPS 유속	4.6 m/s	7.2 m/s

FTL은 하나로에 설치 가능하도록 설계하고, 특히 노내시험부의 외부직경은 IR1 조사공 내경보다 작게 설계하여 설치 및 해체 시에 방해되지 않도록 하였다. 하나로 원자로 보호를 위해 노내시험부는 2중 압력용기로 설계하였다. 노내시험부는 노외공정계통과의 연결에서 필요시 장탈착이 가능하도록 하였으며 노내시험부의 유체와 하나의 1차 냉각수 사이에 단열을 위한 설계가 고려되었다.

노내시험부에서 조사시험을 수행하는 동안 핵연료 부피 변화를 최소화하고 핵분열로 인하여 생성되는 기체생성물은 핵연료 피복관 내에서 최대한 수용토록 하였다. 핵연료의 중심부 온도를 가능한 한 낮게 유지시킬 수 있는 열전도도와 부식과 방사선에 대한 양호한 저항성 등 기하학적 인자 및 재료 특성을 갖도록 설계하였다.

핵연료 노내조사시험설비는 미임계 조건에서 운전되므로 반응도제어는 필요치 않다.

시험핵연료 봉 및 이들 지지 구조물의 재료는 정상 운전할 때의 압력, 온도 및 방사선에 의하여 발생하는 최악의 조건 하에서도 필요한 물리적, 화학적 성질을 유지하도록 하였다.

하나로 수조내 박스빔에 노내시험부 지지구조물을 부착 설치하여 노내시험부 용기 상단부를 지탱하도록 하였다. 시험핵연료를 장전한 IVA를 하나로 노심 내에 위치한 IR1 시험공에 설치하고, 하나로를 출력 운전하게 되면 시험핵연료가 하나로 노심에서 방출되는 중성자에 노출되므로 하나로에서 제공되는 중성자속에 의해 핵분열을 하고 열을 발생하게 된다. 핵연료 노내조사시험설비의 운전은 하나로의 운전과 별도로 이루어지나, 핵연료 노내조사시험설비의 비정상상태로 인한 사고 시 하나로에 정지신호를 발생하도록 설계한다. 노내시험부의 배관은 사고 시 원자로 구조물에 피해를 유발하지 않도록 하였다.

3. 3-Pin FTL 노내시험부 설계

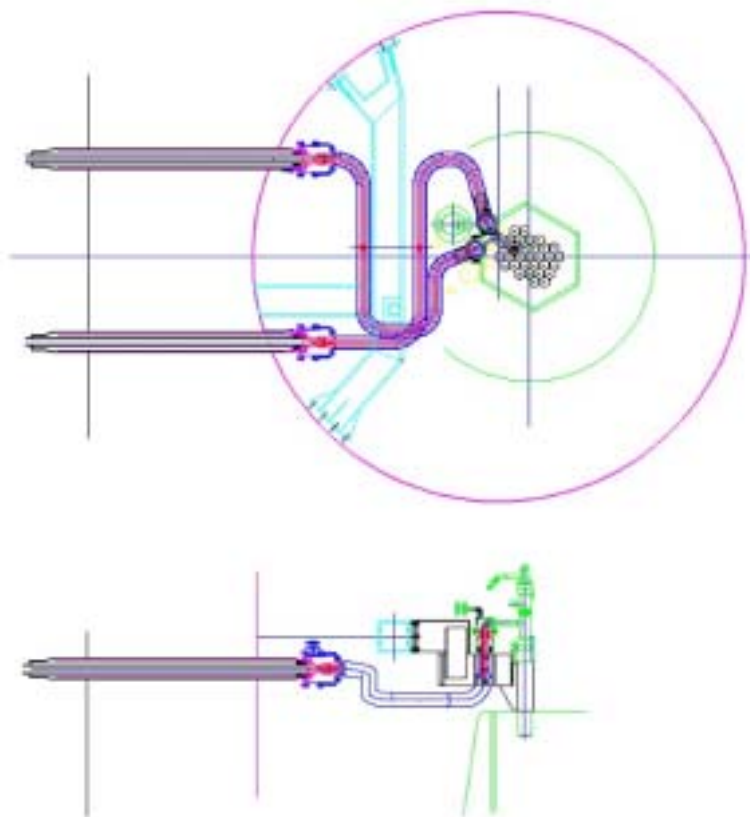


Fig. 1 노내시험부의 원자로 배치

노내시험부는 압력용기조립체(IPS Vessel assembly, IVA), 수조내 배관(In-Pool

Piping), 노내시험부 지지대(IPS Support), 수조내 배관 지지대(In-Pool Piping Support) 등으로 이루어진다. IVA의 지지는 기존의 박스빔에 지지 브라켓이 볼팅되어 지지된다. Fig. 1의 평면도에서 구조를 보면 열팽창을 고려한 구조가 되도록 설계하였다. 지지구조는 강도를 고려하여 알루미늄합금이나 스테인레스강으로 만들 것이다. 배관은 IPS 헤드로부터 관통부 연결점으로 연결된다. IPS의 다양한 가스 및 모니터링 연결은 수조수 레벨 위에 위치하는 결합박스에 연결점과 미니 튜브나 플렉시블 튜브에 의해서 연결될 것이다. 수조를 가로지르는 주냉각배관을 따라가는 튜브의 루트는 반영구적인 연결이다. 분해 가능한 IVA의 헤드로부터 오는 측정용 케이블을 위한 호스는 고정되지 않고 매달려 있다. IVA 핸들링 중의 차폐는 IVA 위쪽의 물 높이로 충분하다.

3.1 수조내 배관

수조내 배관은 IPS헤드와 FTL배관에 제한된 수조내 관통부 배관을 연결하는 것이다. 이들 관통부는 주 관통부에 이어진 수조벽 남쪽에 2개의 2.5" 관통 배관이 있다. 배관은 2개의 IR홀 중에서 관통부에 더 가까운 IR1에 장전된다. 배관의 분명한 루트는 하나로 핵연료봉 7번과 11번 사이이다. 이것은 노심으로부터의 기울어짐 각도를 최소화 했을 뿐만 아니라 배관이 제어봉장치로부터 적절하게 거리를 유지하도록 하였다. 배관이 IR1 홀과 수조 벽에 관통부와 연결되면서 그때 열응력을 고려하고 NTD 2에 간섭이 생기지 않도록 설계하였다. 수조 내 배관은 수조 내의 장애물을 최소로 하여 핵연료 교체에 따른 간섭을 최소화하고, 열응력을 고려하여 연결배관의 탄력성을 높이기 위해 가능한 한 최소 사이즈를 사용하여 최적화하였다.

고정점 사이의 열팽창으로 인한 응력발생을 최소화 하였다. 이것은 배관 내 냉각수의 충분한 유동 면적을 제공한다는 측면과 응력에 대한 보수적인 관점에서 적절하게 조절해야 한다. 수조 내 배관크기를 결정하는 것에 대해 고려되었으며 1인치 스케줄 80 파이프를 포함한 설계는 가장 적절하다. 연결된 수조 내 배관 각 끝에 분해 가능한 연결부가 있도록 설계하였다. 이것은 적절치 못한 용접과 같은 영구 조인트에 비해 좋으며 조인트로는 다른 FTL 시설에서 많이 사용한 proprietary 콘넥터를 사용한다. 이전의 다발형 FTL에서는 Hiltap 콘넥터를 사용했다. 이들은 다음의 원칙에 따라 가장 적절한 것으로 보인다.

- 1) Hiltap 콘넥터는 단열면에서의 잇점과 수조 내에서의 최소 체적을 갖으므로 콤팩트하고 단순한 형상으로 설계되었다.
- 2) 한쪽 부분이 파손되었을 때 돌려서 빠르게 조인트를 만들 수 있다.
- 3) Hiltap 콘넥터는 이전에 KAERI/KINS에 의해 사용을 승인 받은 바가 있다.

Hiltap 콘넥터를 사용하려면 상세한 관리에도 불구하고 사용재료, 정렬의 정밀도, 최대 허용 토크 등을 요구한다. 사용되어지는 콘넥터 타입의 결정은 공간의 정밀도나 주요한

제한조건 없이 사용되며 다른 타입의 콘넥터도 유용하다. Harwell water loop는 큰 파이프 사이즈(용기 차단)의 Gray Loc coupling을 사용했다. 이것들은 유용하고 효과적인 것으로 입증되었다.

IPS 헤드, 수조내 배관과 이것들의 커플링은 수조수로부터의 단열이 필요하다. 내부조립체의 제거, 수조내 배관과 IVA의 최종 분리 중에 FTL 냉각수가 원자로 수조에 혼합되지 않도록 고려하여야 한다. 이것은 배출장치와 수조내 배관에 포함된 수동차단밸브의 방법도 고려되어야 한다.

3.2 수조 내 배관과 배관 요동(whip)에 대비한 설계

수조 내 배관은 NTD 2와의 간섭을 피하면서 가능한 수조벽 관통부로 흐르는 배관을 보여준다. 예비 응력해석에서는 설계가 열팽창을 흡수하기에는 배관에서 충분한 탄력성을 주지 못하는 것으로 나타나 Fig. 1과 같이 열팽창을 흡수할 수 있는 형태로 설계를 변경하였으며 배관에서는 Hiltap이 사용되었다. 수조 내 배관의 단열을 위한 배치는 직관부와 곡관부를 일반 파이프로 감싸도록 설계하였으며 이 공간에 리브를 배치할 수 있는데 이러한 방법은 적절한 밀폐단열 시스템을 이룰 수 있을 것이다. FTL에서 조인트는 Hiltap 콘넥터를 이용한 'clam shell'조립체를 기본으로 하였다.

수조내 배관의 파단은 큰 반동력과 잠재 제트 충격력이 발생할 수 있고 또 그 발생은 배관의 요동 방지를 위한 국부적인 구속이나 제트의 방향제어에 의존하지는 않는 설계기준사건평가(Design Base Event An Assessment)를 고려했다. 또한 설계기준사건평가는 배관이 효과적으로 계속적으로 억제되도록 가두고 제트를 수용하여 설계 도면에서 나타냈다.

수조 내 배관의 파손은 설계기준업무(Design Basis Event)이다. 잠재적인 파이프의 요동과 취약한 요소에서의 제트 충돌은 고려되어야 한다.

최대 정상상태 반응력은 아래와 같이 주어진다.

$$= P \times A$$

여기에서 P = 17.5 Mpa로 주어진 압력

그리고 A = 열린 영역, 1인치 80 Sch. 파이프

$$= \pi / 4 \times 24.3^2 = 464 \text{ mm}^2$$

따라서 force = 17.5 × 464 = 8,120 N

그것은 배출 지점에서 속도유동을 갖는 유체가 파이프로부터 배출되는 것으로 가정하여 계산한 것을 기록하였다. 파이프 요동을 방지하기 위하여 파이프는 파이프의 구부러짐을 발생시키지 않을 힘 이상으로는 억제할 필요가 있다. 힘 F는 고정된 억제장치로부터

거리 L만큼 떨어진 곳에서 파이프의 직각에서 작용한다. 최대굽힘응력 σ 는 파이프에서 아래와 같이 주어진다.

$$\sigma = F \times L \times y \times \ell$$

1인치 80 Sch.파이프의 $y = 16.7 \text{ mm}$ 와 $\ell = 43,983 \text{ mm}^4$

따라서 $\sigma = 16,240 \times L \times 16.7 / 43,983$

370 °C에서의 타입 321 스테인레스강(SA 376)의 파괴응력은 $16.0 \times 10^3 \text{ psi}$, 즉 110Mpa이다. 따라서 파이프 파괴에 작용하는 하중의 거리는

$$= 110 \times 43,983 / (16.7 / 8,120) = 35.8 \text{ mm}$$

이 거리는 파이프 사이즈와 관련하여 아주 작다. 따라서 그것은 파이프의 국부적인 억제에 근거하여 파이프 요동에 대한 해법으로 고려한다는 것이 비현실적이다. 그 해법은 파이프의 지속적인 억제나 압력용기에 기초할 필요가 있다.

3.3 노내시험부의 지지대

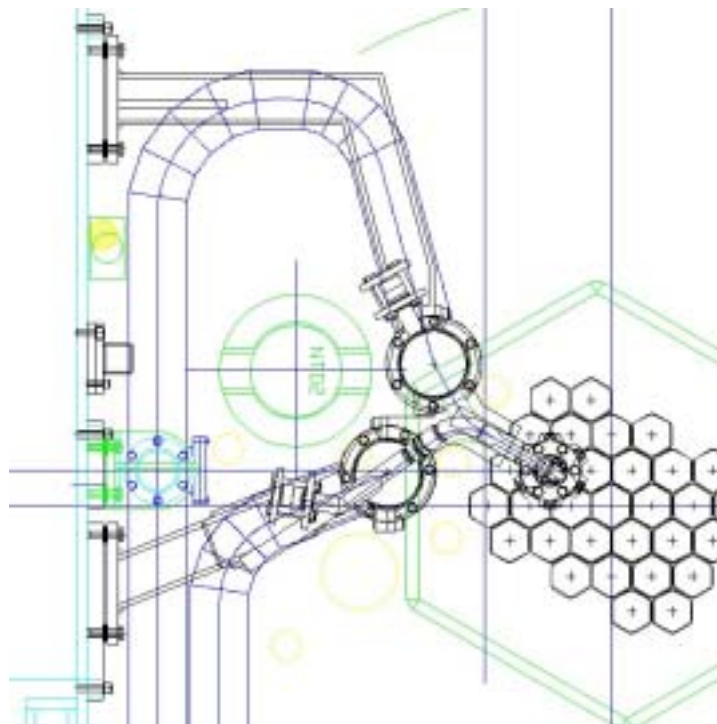


Fig. 2 노내시험부 지지대

노내시험부 지지대는 Fig. 2와 같이 박스빔으로부터 연결되어 130kg 정도로 추산되는 IVA를 지지하고 하나로 유동관 바닥이나, spider 위치에서 잡아주기만 한다. IVA는 반사체 탱크에 하부 바닥에 위치하는 하나로 유동관 spider의 사용이 적절하도록 설계하였다. 열팽창 등에 의해서 spider에 과도한 힘이 작용되지 않도록 고려하였다. 또한 팽창효과는 모든 적절한 부품을 완전히 둘러싼 수조수의 온도 때문에 발생되지는 않을 것으로 판단한다.

그 지지 구조는 설계기준지진(DBE)에 대하여 IVA의 과도한 이동을 방지하는 충분한 고정이 필요하다. 이 고정은 설계기준지진에 대한 수조 벽과 원자로 노심 사이의 상대적인 운동이다. 박스빔은 침니 레벨 위로 원자로 주냉각 배관이 분명하게 보이는 수조관통부와 수조의 적절한 높이에 놓이는 견고한 기존의 박스단면 구조이다. 이것들은 IR1 위치에 IVA의 지지점을 자연스럽게 제공한다. 박스 빔을 ASME III NF의 안전등급 1으로 분류되었다.

3.4 노내시험부 압력용기조립체(IPS Vessel assembly, IVA) 형상설계

FTL은 이용자의 요구사항을 만족하도록 노내시험부를 하나로 노심 내의 IR1 조사공에 설치하며, 노심조사공의 크기를 고려하여 조사시험 핵연료는 3개 봉(Pin)으로 결정하였다. 시험핵연료의 냉각수는 노내시험부 헤드의 하부연결관을 통해서 시험핵연료가 설치된 내부압력관으로 유입되어 시험핵연료를 통과한 뒤 노내시험부 헤드에 있는 상부연결관을 통해서 흘러나간다.

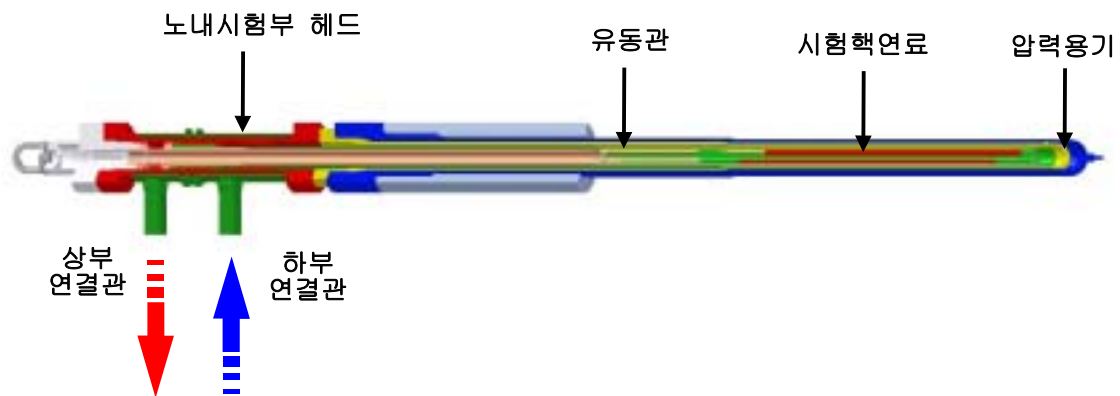


Fig. 3 주냉각수의 유동

노심조사공의 크기와 이용자 요구사항으로부터 시험 핵연료봉의 치수 및 IVA의 운전조건이 설정되었으며 Fig. 3과 같이 IVA의 외부형상과 IVA 내부의 유동, 단열 그리고 시험핵연료봉의 교체를 고려한 형상설계 등이 수행되었다. 설계압력 및 온도를 고려한 내·외부압력용기의 두께설정 및 재질 선정을 하였다. 냉각수의 유동 공간을 확보를 고려한 내부압력용기의 채널하부 및 시험핵연료유

동관의 형상을 설계하였다. IVA 중심에서부터 수조수까지의 열손실을 검토하여 내·외부용기의 겹에 충전할 가스를 선정하였다. 노내시험부 헤드의 온도를 개략적으로 계산하여 오링의 사용 가능성을 검토하고 설계하였다. 내부조립체 및 시험핵연료운반체는 시험핵연료 및 시험핵연료유동관을 지지하며 입·출구 유동을 분리한다.

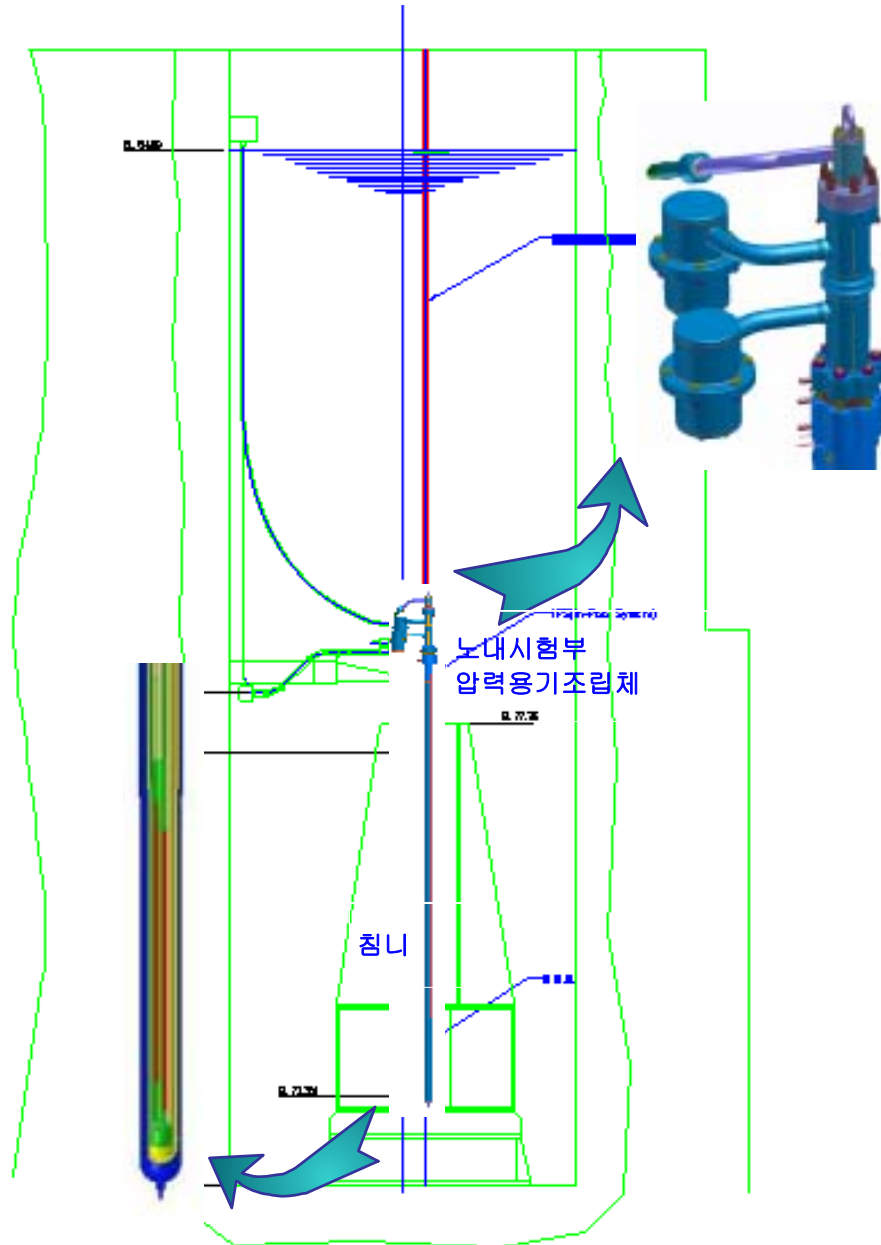


Fig. 4 노내시험부 압력용기조립체

IVA의 상세설계는 개략적으로 Fig. 4와 같이 지름 68 mm, 길이 5.7M인 노내시험부 압력용기조립체(IPS Vessel assembly, IVA)는 지름 74 mm의 하나로 IR 1 조사공 안에 들어가고 침니에 의해 둘러싸여 있다. 침니 위로 나오는 노내시험부 헤드는 밀폐된 플랜지와 배관에 의해 연결된다. IVA는 주로 스테인레스강으로 제작된다. IVA의 전체중량은 3개의 핵연료를 포함하여 약 130 kg로 추정된다.

IVA(노내시험부 압력용기조립체)는 외부압력관, 내부압력관, 노내시험부 헤드(또는 헤드), 내부조립체 및 시험핵연료운반체로 구성된다. 시험핵연료 교체시에 분해할 수 있는 시험 핵연료운반체는 내부조립체의 바닥에 부착된다.⁽³⁾ IVA가 원자로에 나쁜 영향을 주지 않아야 한다는 기본원칙을 준수하기 위한 설계는 class 1으로 분류하여 핵연료 외부에 이중의 압력용기가 배치되도록 하였다. 원자로의 IR1 조사공에 설치될 IVA의 필수 설치조건에 의해 부품들이 환상으로 침니 위쪽 노내시험부 헤드까지 이어지도록 설계하였다. 밀폐된 헤드는 방사선량이 높지 않을 것이다. 수작업을 통해서 연결부의 볼트 분해와 분리작업이 가능하고, 작업하기가 훨씬 더 용이하게 하였다. 따라서 밀폐(seal) 장치들의 방사화 손상이나 원자로 노심 유동에 미치는 영향 등을 피할 수 있다. IVA의 배치는 가동중 검사에서 내부압력관과 외부압력관의 분리, 압력용기의 교체와 용기재료 조성, 노내시험부 내의 중성자 조건에 따라 벽 두께의 변경이 가능하다.

시험핵연료는 내부 중심봉과 시험핵연료유동관에 의하여 지지된다. 시험핵연료유동관에 의한 지지는 위쪽 방향으로 흐르는 물에서 핵연료 핀에 의한 지지보다 더욱 튼튼하게 지지된다. 시험핵연료유동관은 내부 중심봉보다 5~10배 정도 더 강도가 크다. 핵연료 지역에서 시험핵연료유동관의 바닥은 분리가 가능하도록 설계되었다. 그래서 핵연료는 짧은 시험핵연료운반체로 이동이 가능하다. 이것은 그 자체가 조사될 핵연료 봉의 수와 지름에 맞도록 형성된 유동영역을 이루도록 설계되었으며 내부구조를 볼 수 있는 상태에서 취급이 용이하다.

시험핵연료유동관과 내부지지봉에 의한 핵연료의 지지와 분리할 수 있는 내부조립체는 장치케이 블이 내부지지봉을 따라가도록 되어 있다. 이것이 핵연료 봉이 내부지지봉에 의해서 지지되고, 그것들이 다양한 유동단면적을 구현하는 최적의 설계가 된다. 중심 지지봉과 시험핵연료유동관은 형상이 단순하면서도 핵연료로부터 노내시험부 헤드부까지 시험장치의 케이블을 연결할 수 있는 잇점이 있다.

헤드설계에 있어서 큰 영향을 미치는 또 다른 요소는 시험 핵연료 교환에 대한 방법이다. 시험핵연료는 주 냉각수가 흐르는 IVA로부터 분리되어 이동할 수 있는 내부조립체에 의해 지지되기 때문에 수조수의 수위를 내리지 않고 시험 핵연료를 교환할 수 있다. 이것은 특별한 부품의 조합없이 수중에서 원격으로 동작하기에 내부조립체와 결합되는 헤드설계에 영향을 준다.

IVA 길이의 대부분을 차지하는 이중용기는 IVA 주위의 차가운(50 °C) 수조수와 IVA 내의 뜨거운(300 °C) 냉각수 사이에 단열층을 형성한다. 단열층은 높은 온도의 물을 가지고 있는 노내시험

부 헤드 부분에서도 요구된다. 그와 같은 단열은 금속부품의 내부형상에 의해서 얻어질 가능성은 없어 보인다. 따라서 노내시험부 헤드의 관련부품 주위에 외부 단열층 형태가 요구된다. 일반적인 단열은 수중에서 효과적인 누설방지에 의해서 단열 유지가 필요하므로 열전도성이 낮은 공기층에 의해 이루어진다. 노내시험부 헤드는 단열재나 가스층을 갖는 스테인레스강으로 만든 누설방지 덮개를 기본으로 한다. 하지만 연성이 떨어지기 때문에 스테인레스강보다 알루미늄합금이 사용된다.

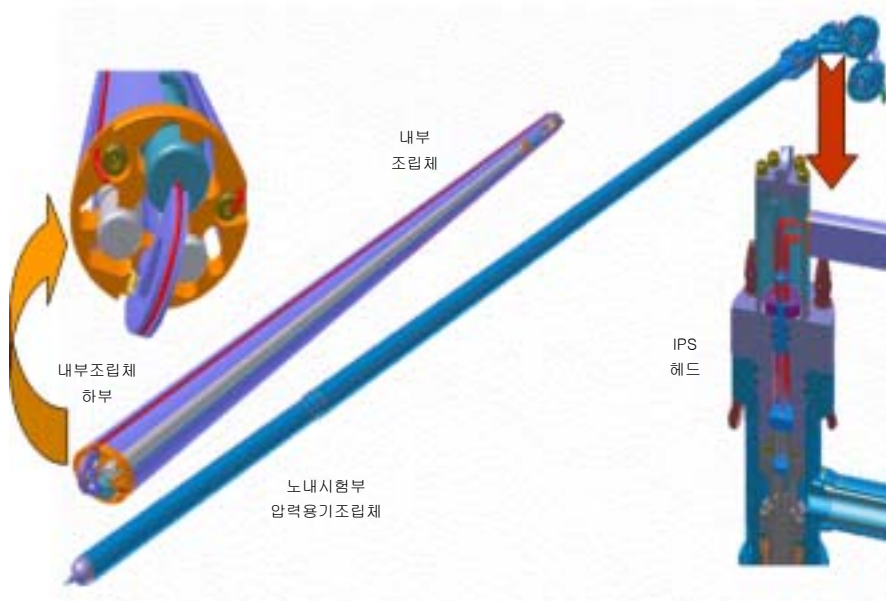


Fig. 5 노내시험부 압력용기조립체

Fig. 5와 같은 노내시험부 압력용기조립체에는 경수로형 및 중수로형 핵연료가 장전된다. 주냉각수는 노내시험부 헤드의 하부에 있는 입구노즐을 통해 노내시험부로 유입되며 슬롯을 통해서 압력관에 도달한 후 아래방향으로 압력관과 유동관 사이의 환형 공간을 흐른다. 유동관 바닥에 도달한 냉각수는 여기서 방향을 180°바꾸어서 위쪽방향으로 흐르며 시험핵연료 사이를 지나서 환형으로 배치된 슬롯을 통해 유동관 내부를 빠져나간다. 외부압력관(Outer Pressure Vessel)은 핵연료 조사시험설비의 설계압력(17.5MPa)과 설계 온도 (350℃)로 설계한다. 321계열의 스테인레스강을 사용할 경우 압력관의 두께는 5.0mm이다. 외부압력관은 하나로 유동관의 spider에 놓이는 반구형의 캡 형태로 하단부분이 밀봉된다. 외부압력관 바깥쪽에 3축 방향 및 3단으로 부착된 포켓에 9개의 SPND(Self Powered Neutron Detector)가 위치하며 이 SPND가 IR1 홀의 중성자속을 원격으로 측정하게 된다.

내부압력관(Inner Pressure Vessel)은 외부압력관의 상부플랜지와는 달리 보통의 관

형태로 하단부분이 반구형의 캡형태로 밀봉되어 내부 냉각수의 방향을 180°로 바꾸는 가이드의 역할을 한다. 원칙적으로 내부압력관은 노내시험부 헤드에 접하며 조립되나 필요시 내부압력관의 교체가 필요할 경우 분해가 가능하도록 설계되었다. 내부집합체의 유동관(flow divider)은 입구 냉각수와 시험핵연료를 냉각시키면서 온도가 높아진 출구 냉각수를 분리해준다.

노내시험부 헤드의 하부플랜지는 내·외부압력관의 플랜지와 연결된다. 헤드는 두개 오링 사이의 공간을 위한 모니터링 지점에 설치된다. 단열 collar는 헤드까지 연장되었다. 헤드의 중간부분은 냉각수의 입출구를 위한 2개의 1인치 스케줄 80의 노즐이 있다. 주몸체로부터 파생되어 덮여진 얇은 게이지용 스테인레스강은 냉각에 사용되는 주위의 수조수로부터 열적으로 차단되며 그 공간은 가스로 채워질 것이다. 단열 캡에 유지보수는 상세설계단계에서 결정될 것이며 단열재나 배관이 안정되게 설치된다. 벨로즈나 주름관은 커버와 주몸체 사이에 발생하는 다른 열팽창에 견딜 수 있도록 설계되어 커버에 설치될 것이다. 또한 응력을 수용하고, 설계를 최적화하고자 주몸체 부분에 용접부위는 없도록 하였다.

내부 조립체 하부는 록킹핀이 부착된 시험 핵연료운반체가 부착되어 있다. 열전대의 끝은 냉각수 입출구 온도를 모니터링하기 위하여 내부조립체의 바닥에 위치한다. 내부조립체의 끝부분과 시험 핵연료운반체는 설치위치 확보와 누설 유동을 최소화하기 위해 겹쳐져있다. 시험 핵연료 운반체는 내부조립체의 바닥에 붙어있다. 시험 핵연료 운반체는 운반체의 상부와 바닥에서 spider 구조에 사용하여 시험핵연료 핀을 지지한다. 상부구조는 단지 위치만을 제공하는데 비해 하부구조는 지지와 위치를 제공한다. 또한 운반체는 시험핵연료 유동관의 기능을 수행한다. 이중 벽 구조는 더 작은 PWR 핀을 넣어 사용할 때 가능하다. 분리 가능한 운반체를 만들 때의 잇점은 실험에 알맞게 내부 형상을 만들 수 있다는 것이다. 운반체는 스테인레스강이나 지르코늄 합금으로 만들 수 있다.

4. 결 론

핵연료 봉에 대한 연소시험, 기계적 건전성 및 부식시험 등을 수행할 수 있도록 노내 조사시험설비 노내시험부를 설계중이다. 원자로를 안전하게 보호하기 위하여 노내시험부 압력관은 2중으로 설계하였고 노외공정계통과 장·탈착이 용이하도록 하였다. 설계요건을 기초로 하여 노내시험부 압력용기조립체, 수조내 배관, 지지대 등 노내시험부에 대한 구성, 설계요건, 상세 형상설계 진행중에 있다.

수조 내 배관은 수조 내의 장애물을 최소로 하여 핵연료 교체에 따른 간섭을 최소화하고, 열응력을 고려하여 연결배관의 탄력성을 높이기 위해 가능한 한 최소 사이즈를 사용하여 최적화하였다. 연결부는 단열면에서의 잇점과 수조 내에서의 최소 체적을 갖으므로 콤팩트하고 단순한 형상으로 Hiltap 콘넥터를 사용하여 설계하였다. 배관지지대의 지

지 구조는 설계기준지진(DBE)에 대하여 IVA의 과도한 이동을 방지할 수 있도록 충분한 고정성이 되도록 설계하였다. 노내시험부는 기존의 박스빔으로부터 연결되어 130kg 정도로 추산되는 IVA를 견고하게 지지되도록 하였다. PWR과 CANDU 핵연료를 시험할 수 IVA의 설계기준으로 시험 핵연료봉의 치수 및 IVA의 운전조건이 설정되었으며 길이 5.7M 지름 68 mm의 IVA의 외부형상과 IVA 내부의 유동, 단열 그리고 핵연료봉의 교체를 고려한 형상설계 등이 수행되었다. 17.5 MPa의 설계압력 및 350 °C의 온도를 고려한 내·외부압력용기의 두께 등 형상설계 및 이에 따른 재질로 321 스테인레스강을 선정하였다.

후기

본 연구는 원자력연구개발사업에 의해서 수행되었습니다.

참고문헌

1. 노내시험시설 설치 타당성 검토를 위한 기술분석, KAERI/CR-112/01, 이정영, 심봉식, 김준연, 지대영 외
2. 3-Pin 핵연료 노내조사시험설비 설계요건서, FL-070-DR-K001, 김준연, 지대영, 심봉식, 양성홍, 이정영
3. 하나로 3-Pin Fuel Test Loop에서의 노내시험부 개념설계, KAERI/TR-2541/2003, 박국남, 지대영, 박수기, 심봉식, 이정영외
4. HAN-FL-310-NZ-R002 2004, IPS Lower Part(PWR Mode)
HAN-FL-340-PZ-R003 2004, Layout for Piping and Supports 등 도면