

핵연료 노내조사시험설비의 시공 현황

박 국 남[†], 이 정 영, 김 학 노, 유 현 재^{*}, 유 성 연^{**}

한국원자력연구원 하나로이용기술개발센터, ^{*}현대건설주식회사 원자력사업부, ^{**}충남대학교 기계설계공학과

The Construction Status of Fuel Test Loop Facility

Kook-Nam Park[†], Chung-Young Lee, Hark-Rho Kim, Hyun-Jae Yoo^{*}, Seong-Yeon Yoo^{**}
HANARO Utilization Technology Development Center, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon, 305-353, Korea

^{*}Division of Nuclear Business, HYUNDAE Engineering & Construction Co. LTD., Seoul 110-920, Korea

^{**}Department of Mechanical Design Engineering, ChungNam National University, Daejeon 305-764, Korea

(Received July 0, 2007; revision received July 0, 2007)

ABSTRACT: FTL(Fuel Test Loop) is a facility that confirms performance of nuclear fuel at a similar irradiation condition with that of nuclear power plant. FTL construction work began on August, 2006 and ended on March, 2007. During Construction, ensuring the worker's safety was the top priority and installation of the FTL without hampering the integrity of the HANARO was the next one. The installation works were done successfully overcoming the difficulties such as on the limited space, on the radiation hazard inside the reactor pool, and finally on the shortening of the shut down period of the HANARO. The Commissioning of the FTL is to check the function and the performance of the equipment and the overall system as well. The FTL shall start operation with high burn up test fuels in early 2008 if the commissioning and licensing progress on schedule.

Key words: HANARO(High-flux Advanced Neutron Application ReactOr, 다목적연구용원자로), Fuel Test Loop(FTL, 핵연료 노내조사시험설비), In-Pile Test Section(IPS, 노내시험부), Out Pile System(OPS, 노외공정계통), IPS Vessel Assembly(IVA, 노내시험부 압력용기조립체).

1. 서 론

FTL(Fuel Test Loop)은 상용로에서 사용할 새로운 핵연료를 시험하기 위해 온도, 압력, 유량, 열수력 및 중성자속 등을 원자력 발전소와 유사한 환경으로 만들어 핵연료의 성능을 최종적으로 확인할 수 있는 핵연료 조사시험설비이다.

하나로(HANARO) 노심에 원자로 가동용 핵연료와는 별도로 시험용 핵연료봉을 장착할 수 있도록 설계된 노내시험부(IPS)와 배관으로 연결된 가열기, 냉각기, 가압기, 펌프, 정화계통 등 원자력발전소의 계통을 모의하는 노외공정계통(OPS)으로 구성되어 있다.

원자력 발전소에 사용하기 위해 새로 개발하는 핵연료는 연소도와 발열, 피복재의 안전성, 사용 후 안전성 등을 실증적으로 입증해야 하므로 상용 원전에 장착되기 전에 연구용 원자로를 이용한 연소시험을 반드시 거쳐야 한다. 그동안은 신

[†] Corresponding author

Tel.: +82-42-868-2275; fax: +82-42-868-8364

E-mail address: knpark@kaeri.re.kr

형 핵연료의 개발을 위한 성능검증 시험은 해외에 의존해왔지만 FTL의 구축으로 핵연료의 종합 성능검증시험을 국내에서 수행할 수 있게 된 것이다.

현재 전 세계에서 FTL이 설치된 연구용 원자로로는 미국의 HFIR, 프랑스 OSIRIS, 노르웨이 Halden, 캐나다 NRU, 벨기에 BR2 등 10여 개에 달한다.⁽¹⁾ 그러나 그 중 일부 시설은 노후화되어 이번 FTL 구축으로 외국으로부터 핵연료 종합 성능검증 조사시험을 의뢰 받을 수 있을 것으로 기대된다.

2001년 12월에 설계에 착수하여 2005년 12월에 Fuel Test Loop(FTL) 설치공사 계약이 체결되고, 2006년 7월에 설치공사에 대한 인허가 승인을 받아 FTL 설치공사를 착수하여 7개월간의 공사를 거쳐 현재 공사가 완료되었다. FTL 공사가 완료됨으로써 시운전을 거쳐 정상운전에 들어가게 된다.

2. 공사내용

공사는 작업자의 안전, 하나로의 건전성 유지, 성공적인 FTL 설치를 공사 목표로 정하였다. 공사범위는 첫째 노외공정계통 제작 및 설치, 인수시험, 둘째 수조내 배관지지대 등 노내시험부 제작 및 설치, 마지막으로 관통부 개조 등이다. 소급기자재, 노내시험부 압력용기조립체 및 핵연료 검사장치 제작 등을 제외한 FTL 공사 전부를 공사범위로 하였다.⁽¹⁾

FTL은 하나로를 활용하여 핵연료 노내조사시험을 수행할 수 있는 설비이다. FTL은 Fig. 1과 같이 노내시험부(IPS)와 노외공정계통(OPS)으로 구성되어있다. 노내시험부는 노내시험부 압력용기조립체(IPS Vessel Assembly, IVA), 수조내 배관 및 그 지지대로 이루어져 있다. 노외공정계통은 FTL의 정상운전 유지를 위한 주냉각수계통, 취출 보충 및 정화계통, 중간냉각수계통, 비상냉각수계통, 관통부냉각계통 등으로 구성되었다. 노외공정계통은 사고시 하나로와 핵연료 노내조사시험설비를 안전하게 정지시킬 수 있는 개념으로 설계되었다.

기기실별 공사 내용은 제1기기실, 제2기기실, FTL 제어실, 노내시험부 및 배관관통부로 나누어진다.

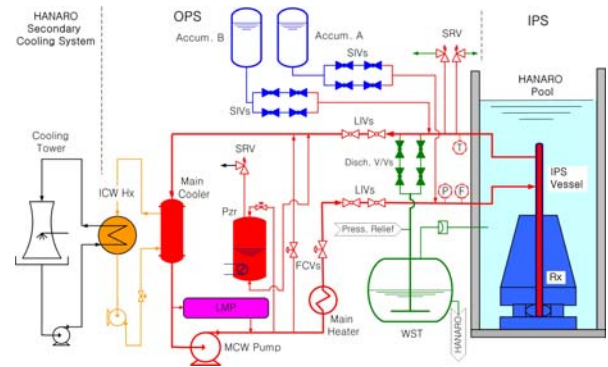


Fig. 1 Schematic Diagram of FTL

제1기기실은 주냉각수계통 등 고온·고압기들이 설치되며 건축공사 내용은 기기 기초공사, 안전 방벽 설치, 차폐뚜껑 개조 등이다. 기계 설치는 LMP interchanger and cooler, main heater, main cooler, accumulator, disposal tank, pressurizer 등이 설치되었다. 그리고 지지대 및 배관 설치, 계장 및 전기공사 등이 있다. 제2기기실은 취출·보충·정화계통, 중간냉각수계통, 시료채취계통 등의 상온·상압에서 운전되는 기들이 설치되며 기기 기초공사, 차폐벽 설치, monorail hoist 설치 등의 건축공사가 있다. 기계 설치는 ion exchanger, filter, intermediate heat exchanger, degasifier, chemical additional tank 등이 설치되었다.

FTL 제어실은 4개의 격실로 구분하여 access flow 설치, 관통구 공사 등의 건축공사를 수행하였다. 기계 설치는 air conditioner 설치, HVAC duct 개조 등이 있다. 전기계장 공사로 process control system, data acquisition system, radiation monitoring system, protection panel, operation station, data logger station 등이 설치되었다. 그 외에도 instrument, tubing, supports, 전선관, 케이블, 조명, 접지, CCTV 등이 설치되었다. 하나로 제어실에는 FTL control panel을 설치하고 이에 따른 바닥 및 관통부 공사를 수행하였다.

노내시험부 및 배관 관통부 공사는 하나로 수조 및 배관갤러리 영역으로 나눌 수 있다. 첫째 노내시험부의 주요구역인 하나로 수조에서는 개조된 수조내 배관 및 지지대, IR1 유동관, lower bracket & mounting plate, IVA 등이 설치된다. 두 번째로 배관갤러리는 관통부 배관 및 단열재를 개조하는 것이다. 하나로는 10년 이상 가동된

원자로로 이곳은 방사선관리 구역이며 작업자 안전 및 하나로 노심에 영향을 미치지 않기 위하여 많은 주의가 필요했다. FTL 노내시험부, 제1기기실, 제2기기실, FTL 제어실을 Fig. 2와 같이 3D 모델링 하였다.⁽²⁾

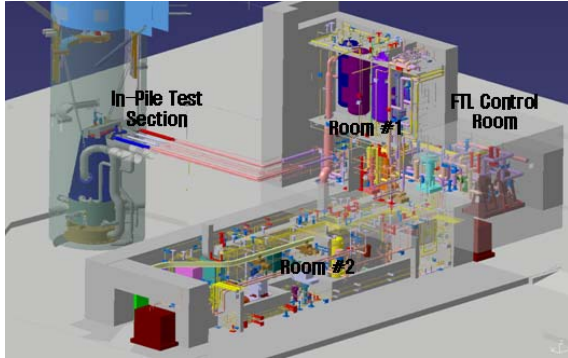


Fig. 2 Model of FTL

3. 공사 조직 및 CoP 관리

FTL 설치공사 계약과 함께 발주자, 시공사, 감리사, 시공협력사로 구성된 공사조직이 구성되었다. 한국원자력연구원은 Fig. 3와 같은 FTL 설치공사를 위한 Task Force Team(TFT)를 구성하였다.

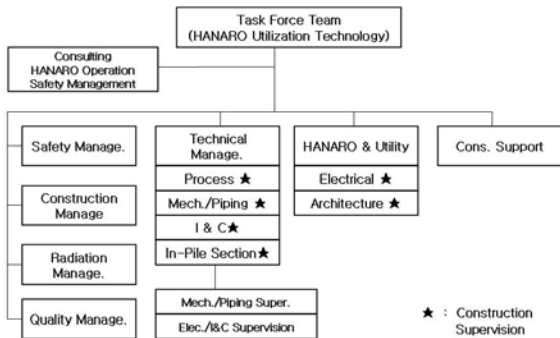


Fig. 3 Organization of Task Force Team

안전관리, 기술관리, 하나로간섭 및 유틸리티관리, 공사지원, 공사관리, 방사선관리, 품질보증, 등으로 구성되었다. 공사중에 하나로 내에서의 감독자업무는 주로 FTL과제 및 운전관리과제에서 수행하였다. 설치공사 TFT 업무 수행을 위한 업무수행절차서를 만들었고, 이에 따라 공사를 수행하였다. 매일의 감독자를 월별로 Community

of Practice(CoP)에 게시하였다.

FTL 설치공사 전체 공사공정, 격주 공사공정, 공사일지를 통하여 공사에 대한 공정관리를 하였다. 그리고 주간공정회의를 통해 공사 진행공정 확인 및 문제점 해결을 하였다. CoP에는 Fig. 4와 같이 공사일지, TFT 회의 및 감독자, 공정관리 및 회의자료, 작업절차서, P&ID, 시운전절차서 등 공사 및 프로젝트 관련 자료를 게시하여 관련자들이 언제든지 액세스가 가능토록 하였다.

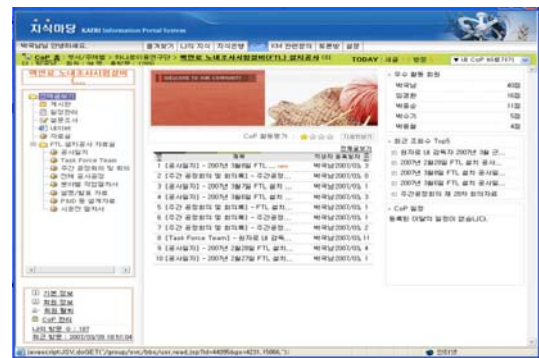


Fig. 4 Bulletin of Community of Practice

4. 공사 진척사항

설치공사 진행공정을 월별로 정리를 하면 다음과 같다. 2006년 8월은 건축 철근 및 신설벽 설치를 위한 드릴 및 치핑작업, FTL제어실 및 제2기기실 콘크리트 타설, 배관지대 및 케이블지대 설치, 배관 spool 용접 950 point 제작을 완료하여 설치를 시작하였다.



Fig. 5 Construction of Room #1

9월에는 FTL제어실, 제2기기실 신설벽 거푸집 해체, 제1기기실 main cooling water pump,

penetration cooling water pump, main heater, main cooler 등 기계설치, 배관 spool 용접 530 point 등이 수행되었다. Fig. 5는 제1기기실에 기계를 설치한 사진이다.

10월에는 제1기기실과 FTL제어실 사이 벽에 관통부 슬리브 설치, 배관 spool 용접 420 point, 6.6kV 고압케이블 포설 및 PLC, DAS panel, 120V UPS, 24V DC distribution panel 설치가 이루어졌다.

11월에는 Fig. 6과 같이 제2기기실에 monorail hoist, disposal pump, chemical additional metering pump, purification return pump, ICL pump, ICL heat exchanger, chemical additional tank, sump pump 등 기계를 설치하였다. RMS 장비 및 sampling panel, thermowell, 오리피스설치, protection panel 및 safety panel 설치, 배관 spool 용접 420 point 등이 이루어졌다.



Fig. 6 Construction of Room #2

노내시험부 hot/ cold leg 용접 설치가 Fig.7과 같이 이루어졌다. 노내시험부 hot/ cold leg는 힐 탭(HILTAP)이라는 고온/고압용 커플링을 조립하는 것으로 하였으나 조립 후 압력시험에서 계속적으로 leak가 발생되어 커플링을 조립 후 seal welding으로 대체하였다.

12월에는 제1기기실 vacuum breaker, moisture separator 설치, 노내시험부 hot/ cold leg에 대한 압력시험 및 helium leak test가 수행되었다. 300 point의 배관 spool 용접을 포함하여 FTL 전체공사에서 총 배관 spool 용접은 3861 point가 수행되었다. 그리고 케이블 재단, 포설, 결선, 조명작업 및 접지작업, Instrument rack 설치, RTD 설치 등이 이루어졌다.

2007년 1월에는 관통슬리브 실링작업, FTL제어실 덕트 설치, IPS interspace & monitoring system 설치, 힐 탭 seal welding 작업, main cooling water system 등 압력시험, ICL, MCW, Letdown 등 flushing, power 및 electric control 케이블 라인 체크, megger test 등이 이루어졌다.



Fig 7 Installation of In Pile Section

2월과 3월에는 마감페인트, purification system, emergency cooling water system에 대한 flushing, 단열재 설치, manual valve 건설인수시험(Construction Acceptance Test, CAT), 케이블 덕트 덮개작업, 계장 tubing leak test 등이 수행되었다.

5. 공사 후기 및 향후 계획

가동을 일시적으로 정지한 원자로에서 활용설비 중의 하나인 FTL 설치공사를 수행하면서 어려운 점이 많았다. 원자로 정지 기간을 최대한 짧게 하고자 초기에 공사계획을 3개월로 하였지만 설치장소 협소 및 작업환경이 좋지 않아 작업 능률이 떨어졌으며 하나로 내부와 외부의 차압 등으로 작업자들이 쉽게 피로를 느껴 야간작업 및 휴일 작업에 능률을 향상 시키지 못했다.

방사성 안전을 위하여 하나로 출입을 하기 위해서 출입승인을 받기까지 어려움으로 작업자가 FTL 설치공사 현장 근무를 포기하는 사례가 있었으며, 긴급 작업 또는 돌관 작업에 필요한 작업자를 충원하는데 어려움이 있었다.

ASME Sec. III 자재는 발주하여 납기가 6개월이 소요되나 본 현장에서는 설계지연으로 3개월 납기기간으로 구매단가를 상승시키는 역효과 발

생하였으며 소량 다품종으로 구매하는데 상당한 어려움 발생하였다. 이와 같은 문제 이외에도 사용전 검사 지적사항인 차폐벽의 콘크리트 배합문제, 기도입자재의 특수공구 구입문제 등으로 인하여 전체 공기가 3개월 이상 지연되었다.

공사 진척사항은 Fig. 8과 같은데 노내시험부, 배관설치, 관통부개조, 기계설치는 업무수행 흐름이 유사하다. 배관설치의 경우는 원자로 내부에서의 용접작업을 줄이고자 제작을 하여 원자로 안으로 반입하였다. 건축공사는 초기에 진척율이 높고, 전기 계측공사는 후반부에 진척율이 높다. 보온공사는 공사 시작 후 5개월이 지난 후 작업을 시작하여 마쳤다.

설치공사가 완료되면서 인수인계가 수행되는데 인수인계 문서에는 건축, 기계, 배관, 전기, 계장 등 분야별 시공품질기록, 제작사 및 소급자재에 대한 구매품질기록, Field Change Request(FCR) 등 현장설계기록, 작업절차서, 품질보증이행문서 등 품질보증기록 등이 36권으로 된 패키지로 인수인계되었다.⁽³⁾

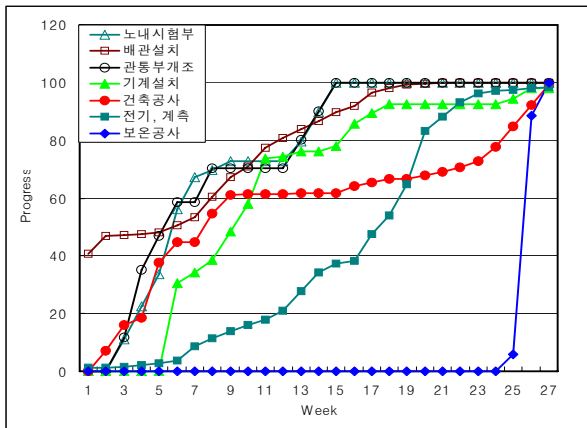


Fig. 8 Construction Progress of the Parts

현재 IVA와 모의핵연료봉 제작, instruments 브레징이 완료되었고 조립, 압력시험, 헬륨 leak test, IVA에 대한 고온·고압시험이 수행될 예정이다. 완료된 후 원자로에 설치될 예정이다. 시운전 절차서 작성은 계통별 기능시험 및 핵연료 장전 전·후 종합계통시험으로 분류되었다. 현재 계통별 기능시험이 수행되고 있다.

6. 결론

FTL은 지난 2001년 12월 설계에 착수, 약 230 억원이 투입 구축된 핵연료 성능 종합검증 설비다. 4년간의 설계 등 준비기간을 거쳐 2005년 12월에 설치공사 계약이 되고 공사에 대한 승인을 받아 공사를 착수하였다. 계획보다 연장된 7개월간 공사를 수행하였지만 무사고 공사, 하나로의 건전성 유지, FTL 설치공사 완료 등 목표를 이루었다.

인계인수를 위한 건설인수시험을 완료하고, 계통별 기능시험과 종합계통시험 등 시운전이 진행 중이다. 시운전을 성공적으로 마친 뒤 운영 허가를 취득하면 개발되는 경수로용 고연소도 핵연료의 시험을 수행할 예정이다. FTL이 하나로에 구축되면서 조사시험의 국내 수행에 따른 핵연료 기술개발의 국외 유출 방지, 기술개발의 자립 및 data base 구축 등에 기여할 것이다.

후 기

본 연구는 원자력연구개발 중장기계획사업에 의해서 수행되었습니다.

참고문헌

1. Lee, C. Y., et al., 2007, Development of 3-Pin Fuel Test Loop and Utilization Technology KAERI/RR-2836/2006, pp. 304~311
2. Park, K. N. et al., 2007, Construction Work Completion of a Fuel Test Loop, The Korean Society of Mechanical Engineers 2007 Spring Annual Meeting, Th02A002
3. Yoo, H. J, et al., 2007, Final Project Documentation Turn Over of 3-Pin Fuel Test Loop, HAN-FL-CQD-A-001~, Korea Atomic Energy Research Institute/ Hyundai Engineering & Construction Co. Ltd.