

ITER 원격조작 및 핫셀설계 현황

김길정^{1*}, 김창석^{2*}, 여인선^{1*}

¹한국전력기술주식회사, 경상북도 김천시 혁신로 269

²국가핵융합연구소, 대전광역시 유성구 과학로 169-148

*kjk001@kepco-enc.com, *kimkim@nfri.re.kr, *syeo@kepco-enc.com

1. 서론

국제핵융합실험로(ITER)는 한국을 포함한 7개국이 참여하는 국제 공동프로젝트로 2025년 가동을 목표로 설계 및 건설이 진행되고 있다. 핵융합과정에서 방사화된 토카막 진공용기 기기정비를 위해 원격조작설비를 이용하며, 일본, EU 및 ITER에서 설계하고 있다. 향후 한국형 핵융합로 건설을 위한 국내 설계기술 확보를 위해 ITER 원격조작 및 핫셀 설계기준을 조사하였으며, 고방사선환경에서의 대형기기 원격취급 설계에 대한 ITER 설계기준 및 현황을 제시한다.

2. 본론

2.1 ITER 원격조작

토카막 건물내 진공용기(In-Vessel) 기기는 핵융합과정에서 방사화되므로 고방사선 환경(100Gy/hr 이상)에서 진공용기내 정비가 가능해야 하며, 관련 건물 및 진공용기 내부는 복잡하고 협소하여 정비작업 공간상의 제약이 있다. 이에, 대형 및 고중량의 토카막내 진공용기 기기의 정비를 위해 매우 정밀하고 신뢰성이 있는 원격조작장치 적용이 요구되고 있다. ITER 원격조작장치에 적용하고 있는 설계기준 및 계통구성은 다음과 같다.

2.1.1 ITER 원격조작 설계기준

ITER 핵융합로의 기기에 대한 정비 및 유지보수 방사선 환경을 기준으로 원격조작기준으로 설정함으로써 작업자에 대한 방사선선피폭을 최소화하고 있다. 원격조작에 대한 상위 기준은 프로젝트 사양서(Project Specification) 및 프로젝트 요건서(Project Requirement Document)에 기술되어 있으며, 프로젝트 요건서에는 원격조작설비에 대한 기본 설계요건을 다음과 같이 제시하고 있다.

- 기기정비시 100 μ Sv/hr를 초과하는 작업환경에서는 원격 유지보수방안 적용
 - ITER운전 수명기간동안, 작업자에 대한 평균 연간집적선량은 0.5 person-Sv 이내로 유지
- 고방사선 조건을 유지하는 토카막 진공용기 및 관련 기기인 블랭킷(440개), 디버터(54개), 진공용기 코일, 포트 플러그, 초저온펌프, 중성빔 장치 등이

원격취급 및 정비가 요구되며, 진공용기 및 관련 기기는 Fig. 1에 제시되어 있다.

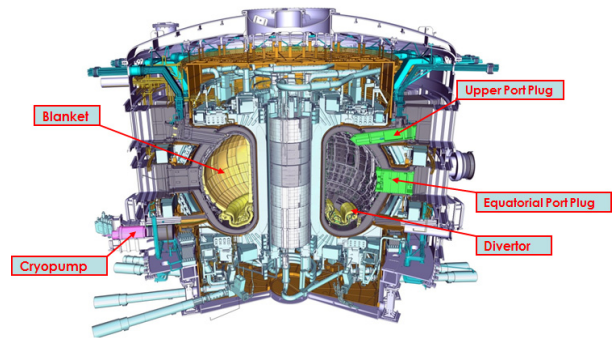


Fig. 1. In-Vessel Equipment required for Remote Handling.

프로젝트 요건서에 포함된 기타 원격조작기능은 다음과 같다.

- In-Service Inspection 및 누설지역 확인(Leak localisation), 먼지 및 삼중수소 제어 수행
- 핫셀(Hot Cell)에의 진공용기 기기 및 포트플러그 운반 및 수리, B형 방사성폐기물 처리지원
- 기기 조립운전 지원

2.1.2 원격조작 등급 및 적합성 평가

ITER에서는 원격조작설비를 설계하기 위해 원격조작대상 기기 및 공정분석을 통해 원격조작등급을 결정하고 관련 원격취급설비에 대한 설계, 제작, 검증 요건을 결정하게 된다.

Table 1. ITER RH Class

RH 등급	기준
Class 1	계획 정비
Class 2	ITER 수명기간 3×10^{-1} 이상 빈도인 작업
Class 3	ITER 수명기간 3×10^{-2} 이상이고 3×10^{-1} 이하 빈도인 작업

원격조작계통 등급(RH 등급)은 원격조작대상 기기의 주기적인 정비여부와 RAMI 평가를 통한 기기의 고장빈도로부터 원격조작기능별 작업빈도를 토대로 결정되며, 관련 기준은 Table 1에 제시되어 있다.

2.1.3 원격조작 계통구성

ITER 원격조작계통의 주요 계통 및 특성은 Table 2에 제시되어 있다.

Table 2. ITER Major RH System

RH 계통	주요 특성	현황
블랑켓 RH 계통 (일본)	Blanket 교체, 배관절단/용접 등 (최대하중 : 4.5 tonne)	최종설계
디버터 RH 계통(EU)	Divertor 교체, 냉각수배관 절단/용접, 육안검사, 누설검사 등 (최대하중 : 10 tonne)	예비설계
다목적 조작장치 (ITER)	진공용기 검사, dust 및 삼중수소 제거, 누설감시, 진단계통 교정/보수, 고장 RH장비 인출 (최대하중 : 2,000kg)	예비설계
중성빔(NB) RH 계통 (EU)	NB 유지보수/교체 (모노레일 크레인, RH 운반장치, 원격조작 장치/공구로 구성)	예비설계
캐스크 및 플러그취급계통 (EU)	진공용기 포트에 장착된 기기 또는 In-vessel RH 장비운반 (최대하중 : 45 tonne)	예비설계
핫셀 RH (ITER)	진공용기 기기/RH장비에 대한 유지보수, B형 폐기물 처리 등	개념설계
RH 관리 제어계통 (ITER)	상기 6개의 RH 계통을 통합 하여 감시, 제어 및 관리 수행	예비설계

토카막 건물에는 블랑켓, 디버터, 중성빔, 진공용기 운전을 위한 다목적 조작장치(Multi Purpose Deployer)를 이용한다.

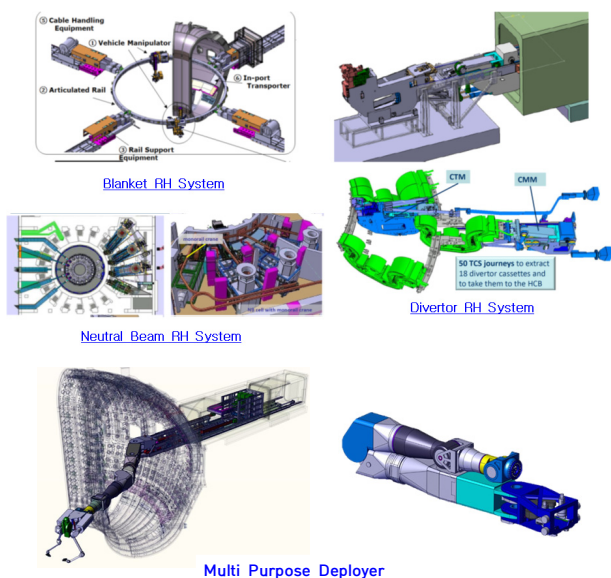


Fig. 2. RH systems in Tokamak Building.

블랑켓 RH계통은 진공용기내 레일을 원격으로 설치하고 레일을 따라 이동하는 조작기에 의해 블랑켓을 취급한다.

디버터 RH계통은 디버터 카세트를 진공용기에 이동 및 설치하는 CMM과 진공용기내에서 카세트를 정위치에 배치하는 CTM장치를 이용하여 디버터를 취급한다.중성빔 RH계통은 크레인 및 원격조작장치를 이용하여 3개의 중성빔 장치내 기기를 정비/교체한다.

다목적조작장치는 다관절 조작장치로 설계되어 있으며, 다양한 도구 장착을 통해 진공용기내 정비, 검사 등 유지보수 기능을 수행한다. 정비대상 기기 및 원격조작장비는 캐스크 및 플러그취급장치를 이용하여 토카막건물에서 핫셀건물로 운반된다.

핫셀건물은 제염셀(9개), 대형정비셀(1개), 폐기물 처리구역(1개) 및 기타 정비셀(15개)로 구성되어 있으며 토카막에서 운반된 기기, 원격조작장치에 대한 정비 및 시험을 수행한다. 모든 원격조작공정은 RH 관리제어계통에서 수행된다.

3. 결론

한국형 핵융합로는 ITER 대비 높은 열출력으로 설계될 것이므로, 정비대상 기기 수량의 증대와 기기 중량 및 크기의 증가할 것으로 예상된다. 이에, 핵융합로에 필수적인 원격조작관련 기술을 지속적으로 개발해야 할 것이다. 동 기술은 ITER와 같이 고방사선 환경에서 대형기기를 원격 취급하는 분야에도 적용될 수 있을 것으로 예상된다.

4. 감사의 글

본 연구는 국가핵융합연구소 ITER 비조달 핵심기술개발 사업의 위탁과제로 수행된 연구결과입니다.

5. 참고문헌

- [1] C. Damiani 외 22, "The European contribution to the ITER Remote Maintenance", ISFNT-11, 2013.
- [2] Eisuke Tada 외 5, "Remote Maintenance System Development for ITER Blankets", ICON-7033, 1999.