



Document Number IT-PD-401-24/00002
Document Date 11-June-2024
Version 1.1
Revision Date 03-June -2024
Ext. Reference

FY2024 LP02 중성자 차폐 성능 시험 및 해석 기술시방서

	Name	Action	Affiliation
Author	Jaemin KIM	03-June -2024 : Signed	KODA/TED/DCTT
Reviewer	Ji Young Jung	03-June -2024 : Recommended	KODA/PMD/HPMT
Reviewer	Hangsung Kim	03-June -2024 : Recommended	KODA/QMD
Reviewer	Hee Jin Shim	05-June -2024 : Recommended	KODA/TED/DCTT
Reviewer	Younghwa An	11-June -2024 : Recommended	KODA/TED/DCTT
Approver	MunSeong Cheon	11-June -2024 : Approved	KODA/TED/DCTT



History of Revision

Rev. No.	Date	Description
1.1	03-June -2024	



KO comment

Name	Comment
Jaemin KIM	
Younghwa An	
Hee Jin Shim	
Hangsung Kim	
Ji Young Jung	
MunSeong Cheon	

ITER 하부포트 중성자 차폐 성능 시험 및 해석

목 차

1	목 적	- 2 -
2	계약범위 및 용역기간.....	- 2 -
2.1	계약범위	- 2 -
2.2	용역기간	- 3 -
3	상세 기술 사양.....	- 4 -
3.1	개요	- 4 -
3.2	중성자 차폐 성능 시험.....	- 4 -
3.3	중성자 차폐 성능 해석.....	- 7 -
4	업무추진 요구사항.....	- 9 -
5	특기 사항.....	- 9 -
6	제출 문서.....	- 9 -
6.1	제출항목 및 제출시기	- 9 -
6.2	문서 제출	- 10 -
7	품질보증 요건	- 10 -
7.1	일반사항	- 10 -
7.2	계약이행 조직의 구성	- 11 -

ITER 하부포트 중성자 차폐 성능 시험 및 해석

1 목 적

한국핵융합에너지연구원(KFE) ITER 한국사업단(이하 ITER 한국사업단)에서는 "ITER 장치 제작을 위한 한일협력 협정"의 일환으로 추진 중인 "ITER 하부포트 2 번 진단 통합장치 설계지원" 업무를 진행 중이다. 본 기술시방서는 "ITER 하부포트 중성자 차폐 성능 시험 및 해석" 용역 수행에 필요한 전반적인 기술 사양과 제반 조건을 기술한다.

2 계약범위 및 용역기간

공급자는 본 시방서에서 언급하고 요구하는 모든 기술 사양 및 제반 조건을 만족시켜야 하며, 본 용역 수행에 필요한 기술 인력, 필요 장비 및 관련된 자료를 확보하여야 한다.

공급자는 본 시방서에서 요구하고 있는 기술 사양 및 제반 기준에 대하여 필요 시 ITER 한국사업단의 승인을 취득한 후 각각의 공정을 진행하여야 하며, ITER 한국사업단의 기술적인 요구 사항에 적극적으로 협조하여야 한다.

공급자는 본 시방서에 명기된 요건과 ITER 한국사업단이 제공하는 기술자료 및 참고자료를 기반으로 하여 세부 기술 업무를 수행하여야 한다.

2.1 계약범위

본 "ITER 하부포트 중성자 차폐 성능 시험 및 해석" 용역을 통해 수행하여야 할 상세 업무 내용 및 예상 결과물은 Table 1 과 같다.

Table 1 세부 업무 내용

업무 내용	예상 결과물
<u>중성자 차폐 성능 시험</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Test schedule • Test plan • Test report
<u>중성자 수송 해석</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Neutron transport analysis report

ITER 하부포트 중성자 차폐 성능 시험 및 해석

2.2 용역기간

본 용역의 계약기간은 계약체결시부터 2025 년 2 월까지 약 8 개월이며, 계약기간 및 세부일정은 ITER 한국사업단 및 공급자의 합의하에 조정될 수 있다. 상세 예상 추진 일정은 아래와 같다.

Table 2 용역의 주요 일정

	2024						2025	
	7	8	9	10	11	12	1	2
Planning								
Specimen fabrication								
Test								
MCNP analysis								

ITER 하부포트 중성자 차폐 성능 시험 및 해석

3 상세 기술 사양

3.1 개요

ITER 하부포트 랙의 중성자 차폐 성능 평가를 위해 차폐체 별로 중성자 조사 시험을 진행한다. ITER 한국사업단은 차폐 성능 평가 모델, 소재 및 실험 사양을 공급자에게 제공하고, 공급자는 제공받은 정보를 바탕으로 다음과 같은 업무를 수행하여야 한다.

- 중성자 차폐 성능 테스트 모델 제작 및 실험
- MCNP 를 활용한 중성자 에너지 스펙트럼별 차폐 성능 평가

3.2 중성자 차폐 성능 시험

공급자는 ITER 하부 포트 차폐를 위해 설계중인 중성자 차폐체의 차폐 성능을 평가하기 위한 실험을 진행하여야 한다. 실험을 위해서는 충분한 차폐 설비가 갖추어진 전용 실험 공간을 활용한다. 발주자는 스테인리스 스틸 컨테이너 내부에 B_4C 파우더를 채운 형태의 시편 (시편#1), (Figure 1)을 공급자에게 제공하고 이 시편을 사용하여 차폐 성능을 평가한다. 자세한 사양은 아래에 정리되어 있다.

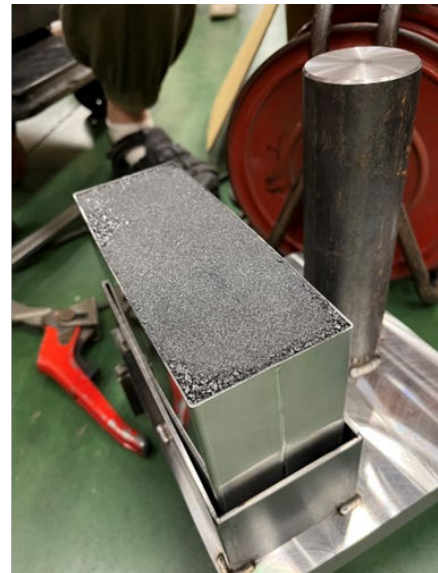
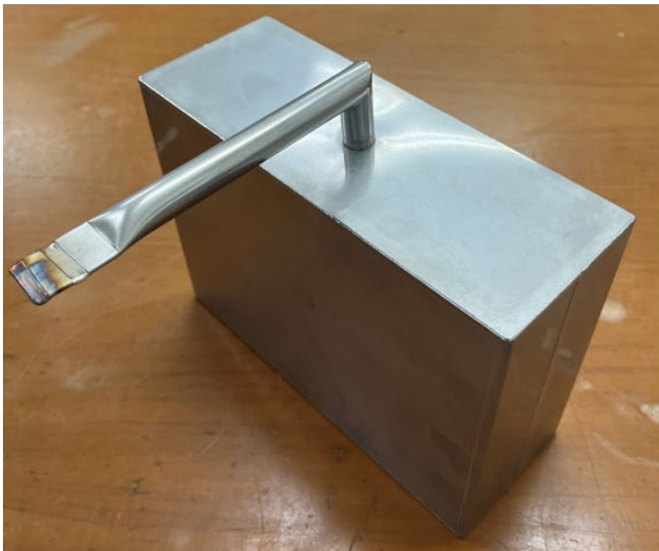


Figure 1 B_4C 파우더 시험 시편

ITER 하부포트 중성자 차폐 성능 시험 및 해석

(1) 시편의 사이즈, 무게 및 소재는 다음과 같다.

- a) 250 (파이프 길이 포함) x 200 x 150 mm
- b) 10 kg 이하
- c) 컨테이너: SS 304, 파우더: B₄C (상세 성분은 명확하지 않음. 아래 EDX 분석 결과 참고). 파우더는 3M사와 중국산 제품을 혼합함.

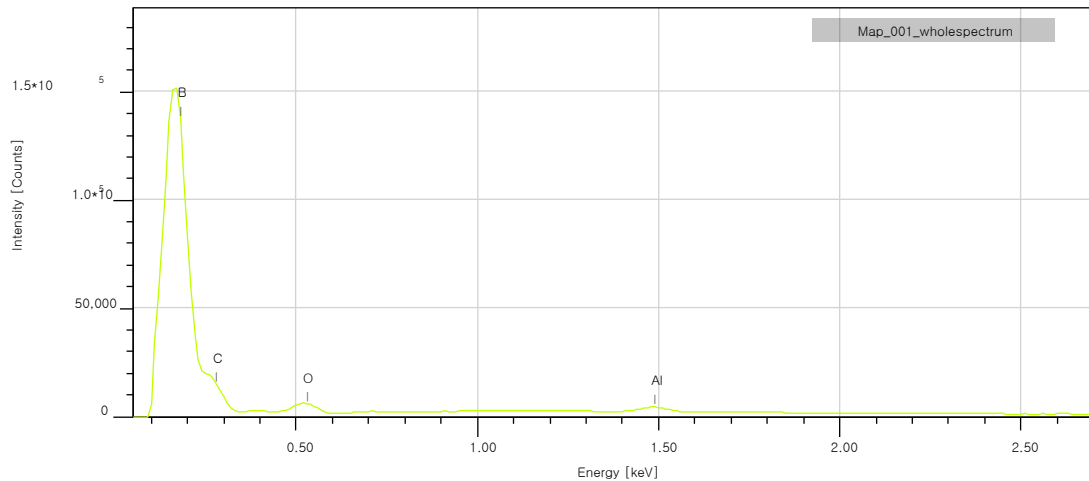


Figure 2 3M사 제품

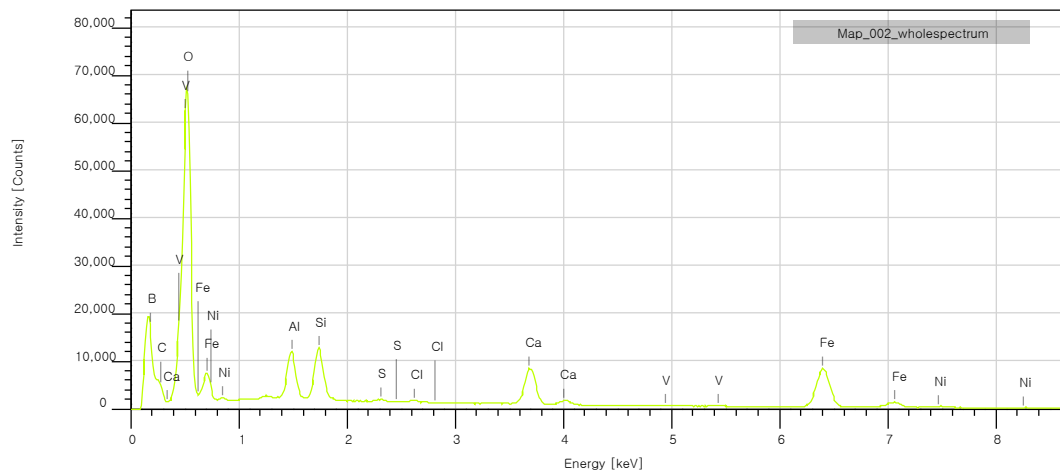


Figure 3 중국산 제품

(2) 중성자는 한방향으로 시편에 조사되고, 차폐 성능 평가를 위해 시편 전 후에서 중성자속 (Neutron Flux)을 측정한다. 중성자 조사를 위하여 중수소-중수소 핵반응 (d-d reaction) 생성 중성자원을 사용하나, ITER 한국사업단과 협의하여 변경할 수 있다.

ITER 하부포트 중성자 차폐 성능 시험 및 해석

- (3) 중성자속 측정을 위해 인듐(Indium) 시편을 사용한다. 시편 전 후에 설치된 인듐 시편에 중성자를 조사하고 방사화된 시편에서 방출되는 감마선을 HPGe 감마선 스펙트로미터를 사용해 측정한다. 이 때 In-115m 스펙트럼 라인 (336 keV) 측정을 목표로 한다.

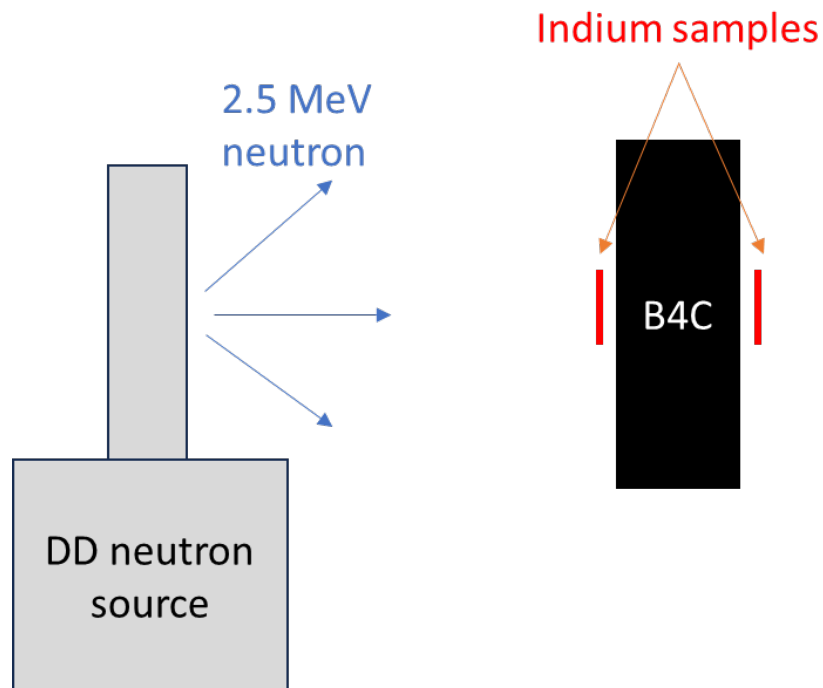


Figure 4 차폐 성능 실험 개략도

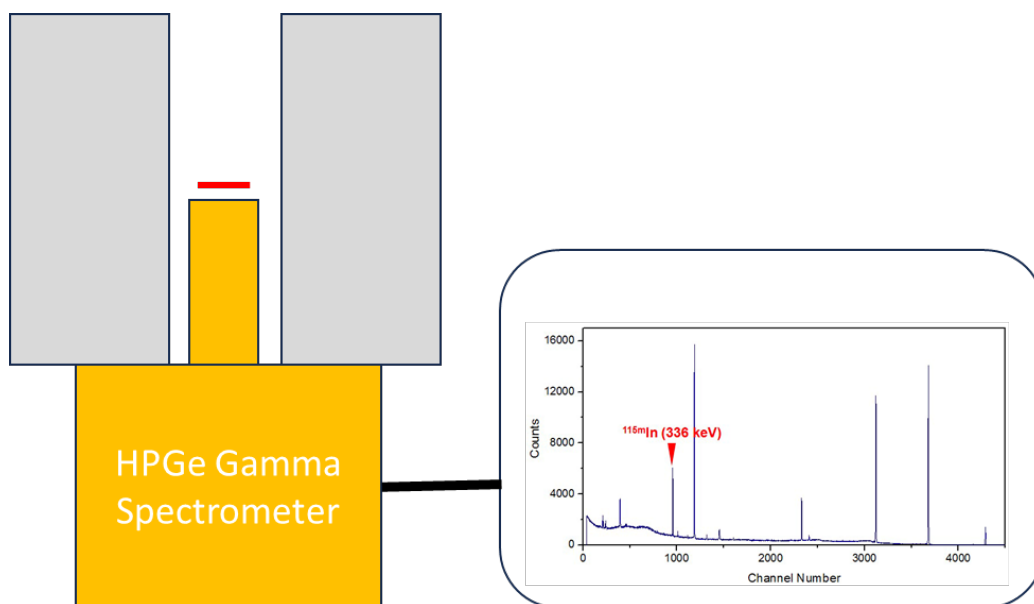


Figure 5 감마 스펙트럼 측정

ITER 하부포트 중성자 차폐 성능 시험 및 해석

- (4) 차폐 성능의 질적인 평가를 위해, 다른 소재로 제작된 같은 사이즈의 시편을 제작하고 동일한 실험을 진행한다.
 - a) 시편#2: 스테인리스 스틸 SS 304
 - b) 시편#3: 스테인리스 스틸 low-Co SS 304 (ITER 한국사업단 제공)
 - c) 시편#4: 납, Pb
 - d) 시편#5: 텅스텐, W
 - e) 시편#6: Boron Carbide 소결체 (ITER 한국사업단 제공)
- (5) 조사될 중성자 에너지와 플럭스는 발주자와 협의한다.
- (6) 시험시 사용될 고정용 지그가 제작 되어야 한다.
- (7) 시험 시작전에 시험 절차 매뉴얼이 준비되어야 한다.
- (8) 중성자 소스에 의해 방사되는 에너지 분포와 플럭스는 시험 절차 매뉴얼에 포함되어야 한다.
- (9) 공급자는 시험 환경의 영향을 고려하여 측정하여 한다.
- (10) 시험에 사용된 시편은 방사화 여부와 상관없이 공급자의 책임하에 폐기 처분한다.

3.3 중성자 차폐 성능 해석

공급자는 수행된 실험결과 평가 및 이를 통한 중성자 차폐 성능 평가를 위해 중성자 수송 해석을 수행하여야 한다. 중성자 수송을 위해 MCNP (Monte-Carlo N-Particle) 코드 v5 혹은 v6 를 사용함을 원칙으로 한다. MCNP 해석을 위한 데이터 라이브러리는 FENDL-3.1 을, 시편 방사화 해석을 위한 데이터 라이브러리는 EAF (2007 혹은 상위버전)를 사용함을 원칙으로 하나, ITER 한국사업단과 협의하여 변경할 수 있다.

- (1) 2.5 MeV 중성자원, 차폐체, 조사시편(Tally)을 포함한 MCNP 모델을 개발한다.
- (2) MCNP 코드를 활용하여 실험결과와 일치하는 차폐성능에 해당하는 Boron Carbide 의 평균 밀도를 확인한다. 이를 통해 2.5 MeV 중성자에 대한 Boron Carbide 차폐체의 차폐성능을 평가한다.
- (3) 상기 계산에서 확인된 Boron Carbide 의 밀도를 활용하여 다양한 중성자 스펙트럼 및 차폐체 두께에서의 차폐체 차폐성능을 확인한다. 본 계산을 통해 중성자 에너지 및 차폐체 두께에 따른 차폐성능을 도식화한다.

ITER 하부포트 중성자 차폐 성능 시험 및 해석

- (4) ITER 하부포트 In-vessel, Ex-vessel 의 중성자 환경에서 차폐체 성능을 평가한다. 입력 중성자 에너지 스펙트럼은 ITER 한국사업단에서 제공할 예정이나, 스펙트럼 제공이 어려운 경우 기존 연구결과를 바탕으로 모사한 가상 스펙트럼을 사용할 수 있다.

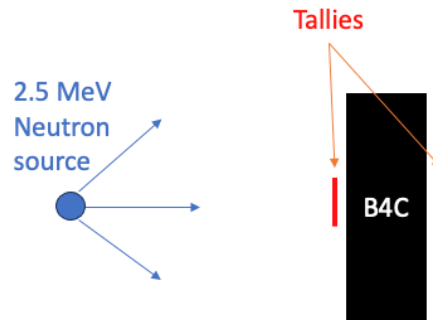


Figure 6. MCNP 수송해석 모델 개념도

ITER 하부포트 중성자 차폐 성능 시험 및 해석

4 업무추진 요구사항

공급자가 제출해야 할 모든 문서는 영어로 작성함을 원칙으로 한다. 다만 현장 작업자의 원활한 업무 파악을 위하여 발주자 및 ITER 한국사업단이 필요하다고 판단하는 문서의 경우 영문과 국문의 혼용을 적용한다. 또한 한일협력 대상기관인 ITER Japan Domestic Agency (이하 JADA) 관계자가 참석한 모든 회의는 영어로 진행되며, 회의에 참석한 공급자는 영어로 발표 및 질의응답을 수행한다. 영어 오역으로 인한 책임은 공급자가 가진다.

공급자는 매달 진행상황을 ITER 한국사업단에게 월간회의를 통하여 보고하여야 하며, 월간회의보고서는 회의 개최 전에 전자파일 형태로 제출하여야 한다. 월간회의와 별도로 특별한 현안에 대해서 기술회의를 요청할 경우, 공급자는 이에 적극 협조하여, 회의 참석 및 발표하여야 한다. 또한 공급자는 월간회의, 기술회의 등의 공식회의에서 논의되었던 내용을 중심으로 회의록을 3일 이내에 작성하여 발주자 및 ITER 한국사업단에 제출하고, 검토를 받아 이를 관리하여야 한다.

5 특기 사항

모든 업무는 ITER 한국사업단이 제공하는 기술시방서 및 공급문서를 기준으로 실행하며 공급자 임의로 변경하여 적용할 수 없다. 또한 추가 상세 사양 및 보완사항은 공급자가 확정된 후 추후 계약범위 내에서 발주자 및 ITER 한국사업단과 협의하여 조정한다.

공급자는 본 용역의 수행과정에서 제공한 도면, 기술자료, 및 습득한 제반 지식을 발주자 및 ITER 한국사업단의 사전 승인 없이 국내/외 타 프로젝트에 임의로 사용하거나 반출할 수 없다. 본 기술시방서에서 언급하고 있는 용역의 산출물 (문서, 해석파일 등) 또는 용역의 수행 과정에서 공급자가 새로이 습득한 기술정보는 ITER 한국사업단의 소유로 한다. 또한 JADA의 전체 사업일정 변경에 따라 용역기간 변경이 필요한 경우, 공급자는 상호 협의하에 계약 변경을 추진한다.

공급자는 본 용역의 업무 중 일부를 협력업체를 통해 수행할 경우, 공급자와 협력업체와의 계약 이전에 반드시 발주자 및 ITER 한국사업단의 승인을 거쳐 협력업체를 결정하여야 한다. 또한 협력업체 선정에 위한 정보를 발주자 및 ITER 한국사업단에 제공하여야 한다.

6 제출 문서

6.1 제출항목 및 제출시기

공급자는 본 기술시방서에서 제시한 일정, 계획, 보고서 등을 Table 3에 명기된 기한 내에 제출해야 하며, 본 용역이 시방서 요건에 따라 수행되었음을 증빙하는 문서 및 기록물을 제출하여야 한다.

ITER 하부포트 중성자 차폐 성능 시험 및 해석

Table 3 제출문서 및 제출시기

항목	문서	내용	제출 시기	비고
용역준비	Detailed Work Schedule	• 업무수행 공정표	계약 후 2 주	영문
	Quality Plan	• QP 가이드라인에 따라 작성	계약 후 2 주	영문
시험 및 해석	월간회의록	• 진행 내용 • 공정표 등	회의후	국문
	Test Plan	• 시험 계획서	'24.07	영문
	Test Report	• 시험 결과	'24.12	영문
	Neutron transport analysis report	• MCNP 해석 내용 및 결과	'25.01	영문

6.2 문서 제출

용역 수행 중 개발된 문서 및 도면은 전자파일 형태로 ITER 한국사업단 정보관리시스템 (ITER Korea Information Management System, IKIMS)의 교신기능을 통해 발주자 및 ITER 한국사업단에게 제출하여야 하며, 이렇게 제출된 문서 및 도면은 발주자 및 ITER 한국사업단의 검토/승인 후 JADA의 문서관리 시스템 (JADA Document Control Center, DCS)에 등록된다. 문서 및 도면이 IKIMS 나 DCS에서 승인되지 못하는 경우, 공급자는 미승인 문서에 대해 발생한 검토자들의 의견을 반영하여 개정본을 IKIMS를 통해 제출하여야 한다. 문서 및 도면은 PDF 파일 형태로 제출하되, 검토 등의 목적을 위해 발주자 및 ITER 한국사업단이 요청하는 경우 Microsoft Office 파일 등 원본 파일을 전달할 수 있다.

7 품질보증 요건

7.1 일반사항

- 공급자는 업무수행 시 발주처 및 ITER 한국사업단에서 제시하는 품질보증요구조건을 준수하여야 한다.
- 품질보증요건의 이행은 ITER 한국사업단에서 수립한 지침서, 절차서 또는 지시서에 따라 수행하여야 한다.
- 품질계획서 이외에 공급자는 작업시작 전에 Table 3의 제출 문서들에 대한 문서제출 계획서 (Documentation Schedule)을 작성하여 ITER 한국사업단의 승인을 득해야 한다.

ITER 하부포트 중성자 차폐 성능 시험 및 해석

- 만일, 공급자가 계약의 일부를 다른 업체에 하도급 할 경우에도 계약에서 요구하는 동일한 품질요건을 적용하여야 하며, 하도급자 계약사항에 대해서는 ITER 한국사업단 및 JADA의 동의가 필요하며, 공급자는 동의를 요청하는 문서 (Letter for Concurrence)를 ITER 한국사업단에 발송하고 승인을 득해야 한다.
- 공급자는 ITER 한국사업단의 요청 시 연구원 해당부서의 검토 또는 승인을 받아야 하며, 품질 검사 요청 시 적극 협조하고 승인된 절차에 의해서 업무를 수행해야 한다.
- 발주자 및 ITER 한국사업단은 공급자의 업무수행 중 명시된 기술시방서 요건 및 품질보증계획에 따라 이행여부 점검 및 부적합사항의 원인을 사전에 제거하기 위해 품질검사를 시행할 권한을 가진다.
- 공급자는 발주자 및 ITER 한국사업단이 제한 없이 공급자 또는 그 하도급자의 본 용역과 관련된 시설을 출입하여 검사, 감사 및 감독하며 필요시 관련된 모든 문서를 검토 및 열람할 수 있도록 조치하여야 한다.
- 공급자는 발주자 및 ITER 한국사업단의 품질보증감사 시 최대한 협조해야 한다.

7.2 계약이행 조직의 구성

계약이행을 위하여 다수의 조직이 관련되는 경우, 각 조직의 책임한계가 명확히 수립되어야 하고, 각 조직 간의 상호 의견교환을 위한 절차가 마련되어야 하며, 중요한 정보의 의견교환은 서류화 되어야 한다.