

과업지시서

KSTAR IVCC 유도가열 현상 검증 및 유도가열
억제방안 시험

2022. 05

한국핵융합에너지연구원

목차

1. 목적	3
2. 과업 명	3
3. 위치	3
4. 범위	3
5. 업무 범위 및 상세 내역	4
6. 일반 사항	10
7. 과업수행 결과물의 제출	10
8. 품질보증요건	12
9. 용어의 정의	12
10. 기타	12
11. 보안	12

1. 목적

본 과업지시서는 KSTAR 진공용기 내에 설치되어 플라즈마 위치제어 및 불안정성을 제거하는 진공용기 내 제어코일(이하 IVCC)의 진공용기 내부의 유도가열 현상에 대한 검증과 유도가열 현상을 억제하기 위한 효과적인 방안을 시험하기 위함이다. 그림 1은 진공용기 내부에 설치되어 있는 IVCC를 나타낸 것이며, 그림 2는 IVCC의 단면과 내부 구조를 나타낸 것이다.

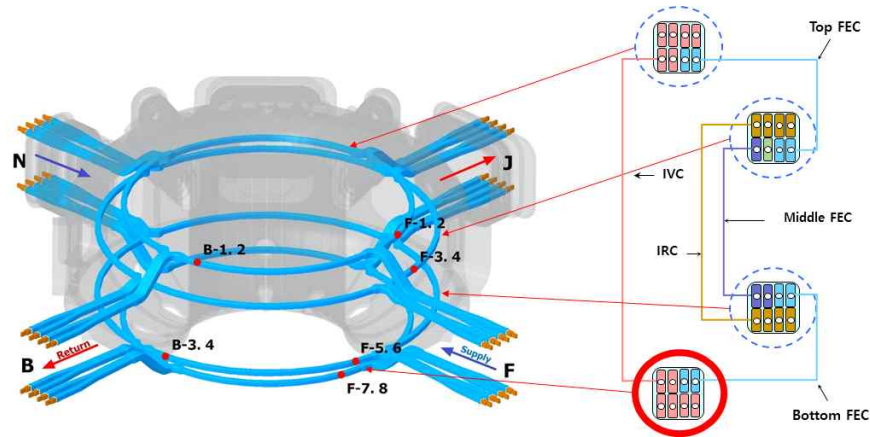


그림 1 KSTAR IVCC

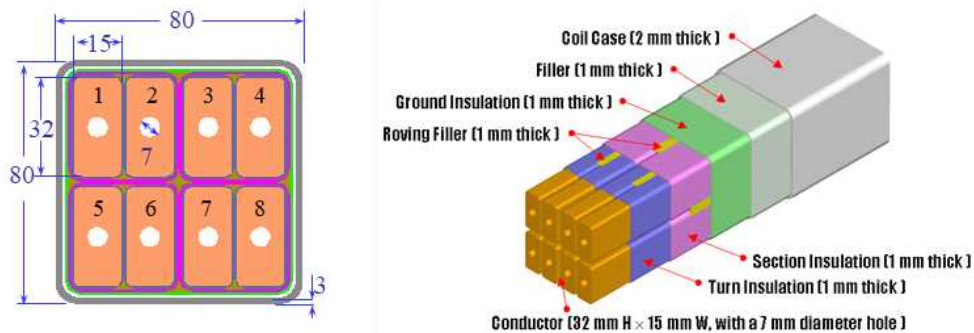


그림 2 IVCC 내부형상 및 단면

2. 과업 명

KSTAR IVCC 유도가열 현상 검증 및 유도가열 억제방안 시험

3. 위치

대전광역시 유성구 과학로 169-148 한국핵융합에너지연구원 내 KSTAR 운전팀

4. 범위

4.1. 적용 범위

본 과업지시서는 “KSTAR IVCC 유도가열 현상 검증 및 유도가열 억제방안 시험”에 적용한다.

가) 계약자는 본 업무와 관련된 모든 제반사항에 대해 본 문서에 따른 업무를 과업기간 동안 수행하고, 업무결과에 대한 보고서를 제출하여야 한다.

- 나) 계약자는 서류제출요건에 명시된 문서를 정해진 기간 내에 제출하여 KFE의 승인을 받아야 한다.
- 다) 계약자는 발주자가 작성한 시방서상 업무를 성실히 수행하여야 한다.
- 라) 계약자는 관련규격에 따라서 업무를 수행하는 것을 원칙으로 하나, 업무에서 기능상 변경이 인정되는 부분은 발주자와 충분한 사전협의를 거쳐 시방서상 명시된 과업목표에 영향을 주지 않는 범위 내에서 교정 및 변경할 수 있다.
- 마) (라)항과 관련하여 KFE는 업무진행상의 중요한 문제점이 있는 경우에는 계약자에게 업무 진행 공정의 변경을 요구할 수 있으며, 필요시 KFE의 승인 후 공정의 변경이 가능하다.
- 바) 계약자가 계약된 내용의 일부를 제3자에게 하도급 하고자 할 때에는 발주자의 서면 승인을 받아야 한다.
- 사) (바)항과 관련하여 하도급한 경우에도 본 계약조건은 동일하게 하도급자에게 적용되며, 계약자는 하도급자가 수행한 업무에 대하여 모든 책임을 진다.
- 아) 계약자는 본 문서에서 규정되어있지 않더라도 장치의 성능 및 정상운전을 위해 꼭 필요한 부분에 대해서 책임을 지고 업무를 수행하여야 한다.
- 자) 계약자는 시험 및 검사에 필요한 모든 장비와 설비, 소모성 재료를 제공하여야 한다.
- 차) 실험에 사용된 Mock up 및 실험 결과물은 KFE에 납품되어야 하며 이에 따른 운반 비용뿐만 아니라 반입되는 모든 장비의 각종 통관 및 인허가 관련 업무와 비용은 계약자가 전면 부담한다.

4.2. 적용 규격

본 과업지시서는 한국산업표준(KS)규격을 따른다. 단, 상기 규격에 명시되지 아니한 사항은 도면 및 시방서에 준한다.

4.3. 일정

- 가) 계약자는 계약 후 “KSTAR IVCC 유도가열 현상 검증 및 유도가열 억제방안 시험”을 **2022년 11월 30일까지** 완료하여야 한다.
- 나) 계약자는 다음의 날짜 이내에 보고서를 제출하여야 한다.
 - 중간보고서 제출 : 2022년 07월 31일
 - 최종보고서 제출 : 2022년 11월 30일
- 다) 계약자는 계약 후 7일 이내에 상세 일정표를 KFE에 제출하여야 한다.
- 라) 계약자는 계약 후 7일 이내에 시험 및 검사에 관계되는 자료를 KFE에 제출하여 승인받아야 한다.
- 마) 계약자는 본 업무 기간 중 공정의 진행 및 품질관리 등 업무와 관련된 진도보고를 KFE에서 매주 한 번씩 보고하여야 한다.
- 바) 불가피한 일정변경 사유가 발생할 시 그 귀책사유가 계약자에게 있을 경우 계약자는 일정을 KFE와 협의하여 조정할 수 있다.

5. 업무 범위 및 상세 내역

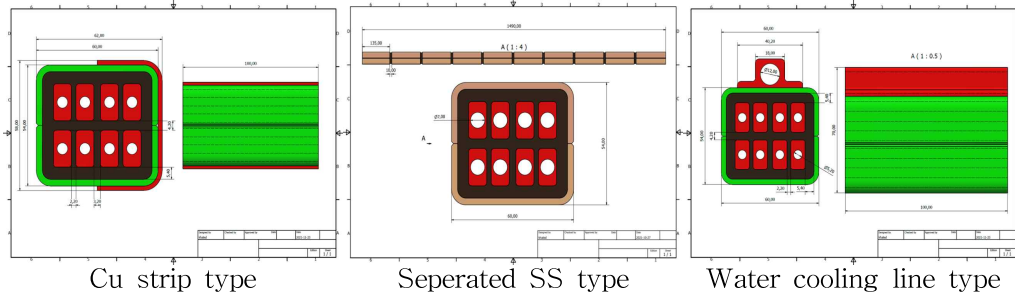
5.1. 업무 범위

계약자는 발주자가 제공하는 자료와 문서를 바탕으로 “KSTAR IVCC 유도가열 현상 검증 및 유도가열 억제방안 시험”을 수행/완료하여야 한다.

계약자의 상세 업무 범위는 아래에 항목별로 기술되어 있으며, 발주자와 계약자의 사정에 따라 계약 상세사항 및 업무 범위는 상호 합의하여 변경할 수 있다.

계약자는 실험 전 안전한 실험이 되도록 사전 준비를 수행하고 점검하여야 한다.

시험에 사용되는 IVCC mock up은 3ea이며 KFE에서 제공하고, 억제방안 시험을 위한 mock up 수정은 계약자가 준비하며, 수정 형태는 다음과 같다.



가) 진공챔버 제작

IVCC mock up을 이용하여 유도가열 현상과 유도가열 현상을 억제하기 위한 시험은 진공환경에서 실험을 수행하고 진공 펌프는 계약자가 준비한다. 진공챔버는 IVCC mock up 도면(그림2)을 이용하여 제작하여야 한다.

- Coil case flange를 이용하여 진공 Sealing을 하게 되며 진공을 유지할 수 있도록 제작되어야 한다.
- IVCC mock up을 이용하여 유도가열 실험을 위한 진공챔버를 제작한다.
- 진공챔버는 IVCC mock up을 설치하였을 때 IVCC mock up의 양 끝단 Flange를 이용하여 진공을 형성할 수 있어야 하며, 진공누설이 없도록 제작되어야 한다.
- 진공챔버는 1×10^{-3} mbar 보다 낮은 압력을 유지할 수 있어야 한다.
- IVCC mock up Case의 각 면에 4 개의 온도센서를 설치하고, 제작 시 미리 설치된 7개의 온도센서를 위하여 별도의 Feed-through를 설치하여야 한다.
- 각 온도센서는 설치되어 있는 모재와 전기적으로 독립적이어야 하며, 센서 및 신호선들이 외부 환경에 의해 영향을 받지 않도록 설치되어야 한다.
- 챔버에는 유도가열 억제 실험을 위한 냉각수 공급과 회수를 위한 냉각라인의 설치할 수 있도록 제작되어야 한다.
- 실험 중 챔버가 흔들리거나 넘어지지 않도록 견고하게 고정되도록 제작하여야 한다.

나) 데이터 모니터링 및 저장 시스템 구축

- 온도센서는 IVCC mock up (7EA), Case (>4EA), 냉각수 입출구(>2EA)에 설치되어 있으며, 실시간 모니터링 및 온도 변화 관측을 위한 소프트웨어를 구축한다. 그리고, 모든 데이터는 20Hz 이상으로 저장하여야 한다.
- 진공용기의 진공, 시간에 따른 전류 및 전압, busbar 및 current lead 온도, 냉각수 유량 등의 실시간 데이터 변화 관측을 위한 소프트웨어를 구축하고, 각 데이터는 10Hz 이상으로 저장하여야 한다.
- 모든 raw 데이터 및 분석 데이터는 KFE에 제공한다.
- 모든 데이터의 시간 타이밍이 동일하도록 저장 시스템을 구축한다.

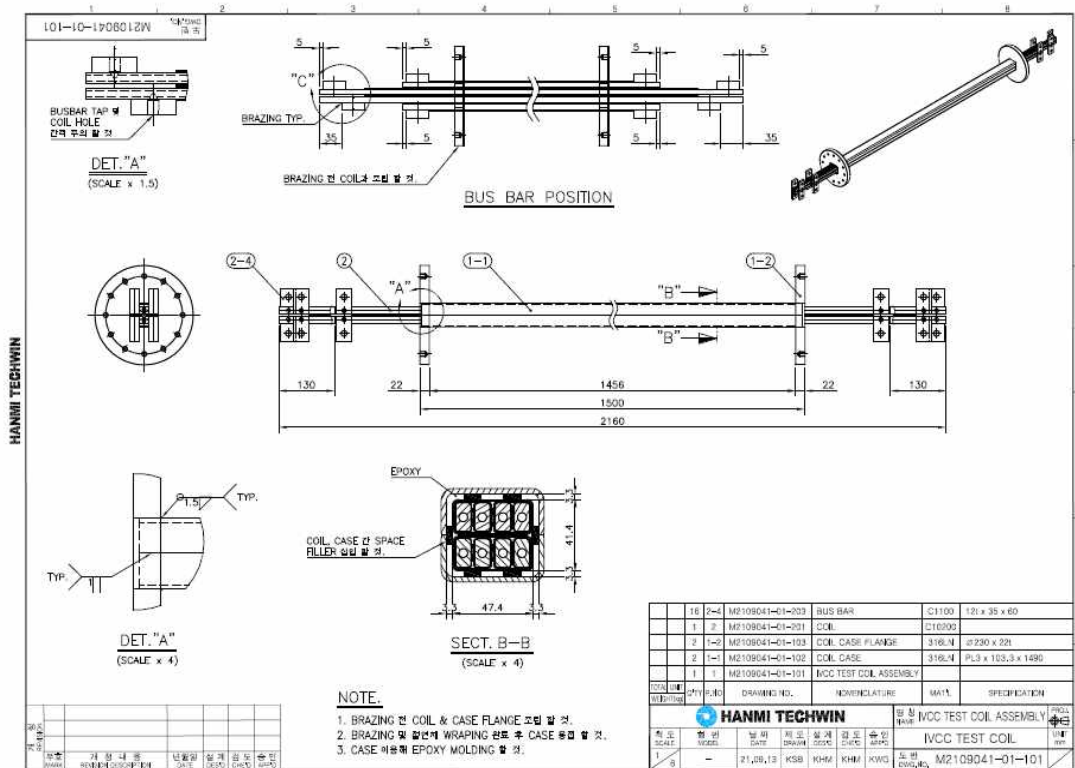


그림 6 IVCC mock up 형상

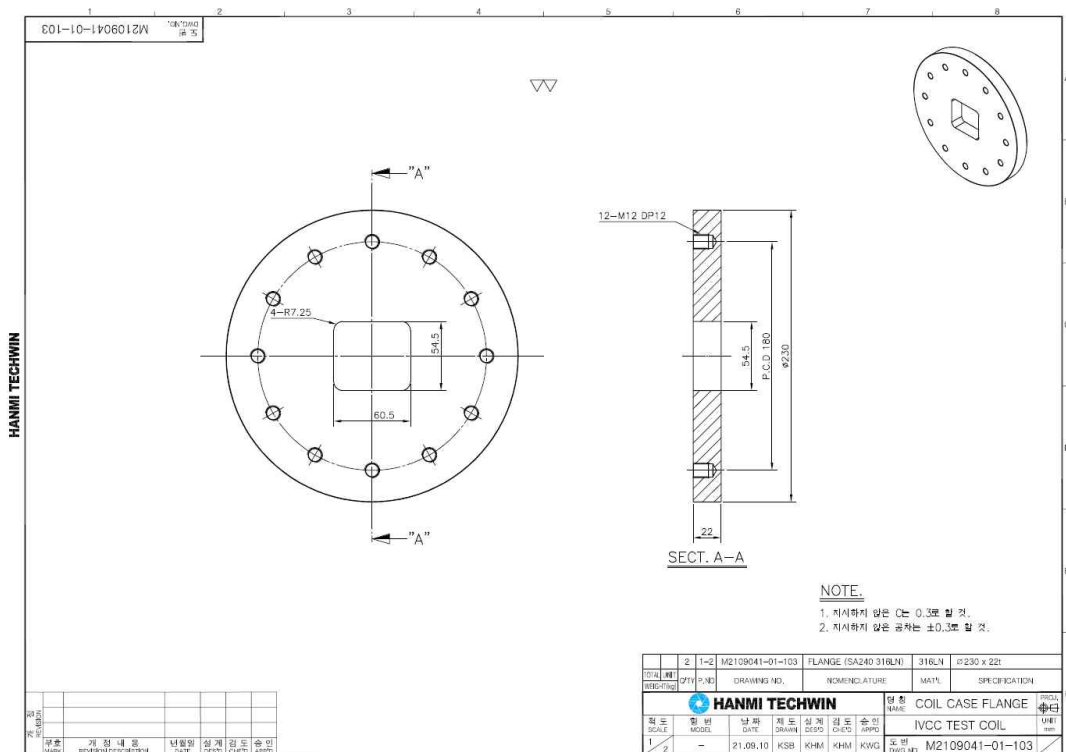


그림 7 Coil case flange

다) KSTAR IVCC 유도가열 현상 검증 및 유도가열 억제 시험

IVCC mock up을 이용하여 실험 중 유도가열로 인하여 IVCC case의 가열현상을 검증하고 유도가열 억제방안에 대한 실험을 수행하여야 한다. 실험은 진공환경에서 수행하고, 모든 실험 중 IVCC mock up의 온도, 운전전압 및 전류, 냉각수의 유량, 온도 데이터들을 기록하여야 한다.

a) 실험 준비

계약자는 실험에 필요한 모든 자재 및 장치를 준비하여야 한다.

- IVCC mock up을 제작된 진공챔버에 설치 후 진공을 배기하여 1×10^{-3} mbar이하의 압력을 유지하여야 한다.
- 구리 도체의 결선을 위한 케이블은 2.5kA, 60Hz의 조건에서 20분의 시간동안 실험이 이루어질 수 있어야 한다.
- IVCC mock up은 8가닥의 구리전도체로 제작되었으며 이중 IVC에 사용되는 6가닥의 구리전도체를 직렬로 결선하여야 한다. 결선은 그림 4의 IVC(Upper Vertical control coil, Lower vertical control coil)의 표시된 구리전도체이다.
- 실험동안 8가닥의 구리 전도체로 공급되는 냉각수는 병렬로 연결되며 유량은 일정하게 유지되어야 한다.

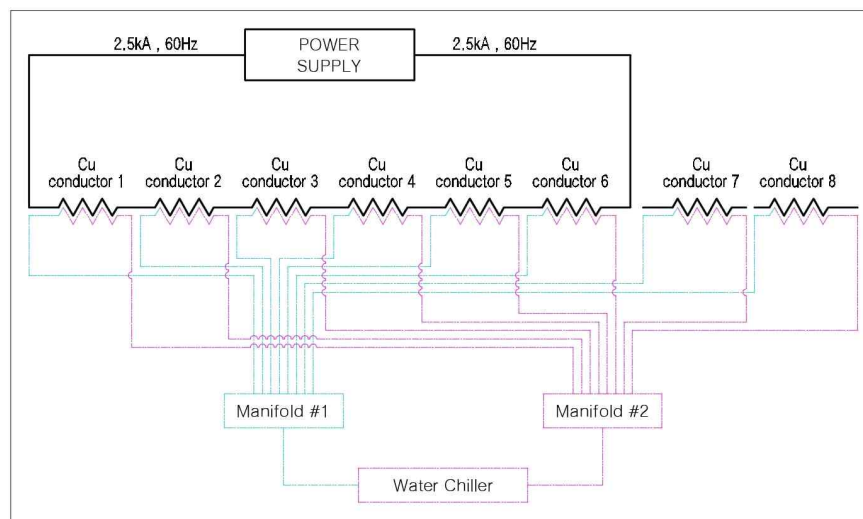


그림 8 전원 및 냉각수의 연결

- IVCC mock up의 케이블과 터미널은 실험 중 흔들림이나 하중에 의해 손상되지 않도록 견고하게 고정되어야 한다.

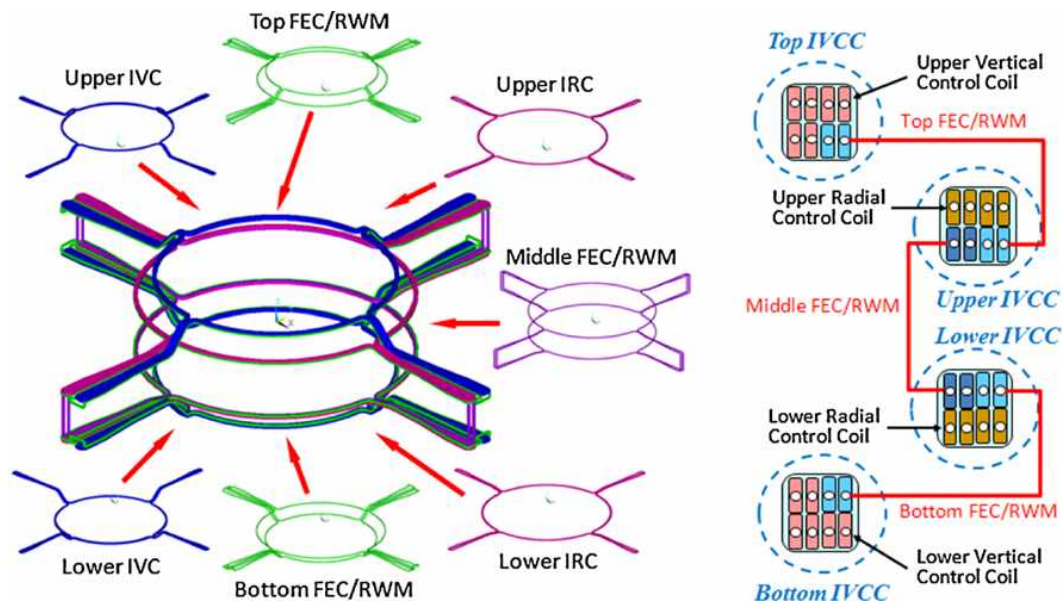


그림 9 IVCC 의 구성



그림 10 IVCC mock up

b) MOCK UP 시험

- IVCC mock up의 8가닥의 구리 전도체에 공급되는 냉각수 온도는 10℃에서 30℃ 사이에서 제어가 가능해야 하며, 전도체 하나 당 흐르는 유량은 0.155 L/s 이상 유지 되어야 한다.
- IVCC mock up 수정에 의한 냉각수 라인이 추가 되더라도 모든 전도체의 유량은 0.155 L/s 이상 유지 되어야 한다.
- IVCC mock up을 이용하여 유도가열 현상을 시연한다.
 - ◆ 1 kA, 2kA, 2.5kA @60 Hz 인가 후 20분 유지
 - ◆ 구리 전도체의 냉각수 입구 온도변화 (10℃ ~ 30 ℃)에 따른 구리 전도체 및 case의 온도 변화 실험 수행

- ◆ IVCC mock up case 및 냉각수 입·출구 온도 측정
 - 진행한 실험에 대하여 재검증을 실시하여 실험의 신뢰성을 확보하여야 한다.

c) 유도가열 억제방안 시험

- IVCC mock up을 이용한 case의 유도가열 억제방안 실험은 냉각수를 이용한 강 제냉각과 case 외부에 copper sheet 및 SUS strip을 부착하여 제작하고, 냉각수 온도는 10 ℃ 로 공급한다.
- 실험방법은 Mock up시험과 동일한 방법으로 시행하며, Case의 가열을 억제 효율 을 비교할 수 있도록 실험자료 정리하고, 전산모사 결과와 비교 분석한다.

5.2. 결과분석 및 보고서작성

계약자는 한국핵융합에너지연구원(KFE)에서 제공하는 시나리오를 기반으로 수행한 실험에 대한 보고서를 작성하여 KFE에 제출하여야 하며, 필요시 KFE와 협의하여 항목을 추가 할 수 있다.

- 가) KSTAR IVCC 유도가열 현상에 대하여 Mock up을 이용하여 검증하고 결과보고서를 작성한다.
- 나) Mock up을 이용한 유도가열 억제 방안 실험의 결과를 분석하고 보고서를 작성한다.
- 다) 실험의 분석은 각각의 실험별로 분리하여 분석하여야 한다.
- 라) 유도가열 억제 방안 시험은 유도가열 현상 시험 및 전산모사 결과와 비교 분석하여야 한다.
- 마) 보고서에는 다음의 항목을 추가하여야 한다.
 - 유도가열에 원인분석,
 - 유도가열 억제 방안에 대한 원리,
 - 각각의 실험데이터에 대한 개별 분석
 - 실험데이터에 대한 비교분석
 - 실험 데이터를 활용한 실제 적용방안.
- 바) 계약자는 각 실험결과를 분석하고 결과에 대하여 한국핵융합에너지연구원(KFE)와 분석 결과를 협의한다.
- 사) 계약자는 실험 결과 분석을 토대로 KSTAR IVCC case의 온도 저감 방안을 제시하고 한국핵융합에너지연구원(KFE)에서 제공하는 양식에 의거하여 보고서를 작성한다.

5.3. 추가 업무 내역

- 가) 계약자는 본 과업의 수행 중 개선이 필요하거나 문제점이 발견하였을 경우 KFE 담당자에게 보고하여야 한다.
- 나) 업무와 관련 사항은 KFE 담당자와 협의 후 진행하여야 한다.
- 다) 시험 결과가 요구조건을 만족하기 위한 시험 및 작업공정의 변경이 필요하다면 KFE의 승인을 받아 변경할 수 있다.
- 라) 시험 및 시험 결과에 관련된 일체의 실험 내용과 결과보고서를 KFE에 제출하여야 한다.
- 마) 필수 시험 항목은 IVCC 유도가열 검증, 유도가열 억제 방안 시험이며, 이외 필요하

다면 계약자와 발주자의 협의 후 시험항목을 추가할 수 있다.

6. 일반 사항

계약자는 본 계약을 위하여 KSTAR에 대한 이해를 바탕으로 과업을 하여야 하며, 본 과업지시서에 명시되지 않은 사항은 발주 담당 책임자와 협의 후 진행하여야 한다.

- 가) 계약자는 본 계약의 원활한 수행을 위하여 필요한 인력을 확보하고 KFE에서 수정, 검토 요구시 즉각적인 협조 지원을 하여야 한다.
- 나) 계약자는 본 계약에 기인하는 모든 장애요인에 대해 일괄적인 책임을 져야 한다.
- 다) 계약자는 본 계약과 관련된 모든 제반사항에 대해 본 문서에 따른 업무를 수행하고, 업무결과에 대한 품질보증책임이 있다.
- 라) 계약자는 서류제출요건에 명시된 문서를 정해진 기간 내에 제출하여 KFE의 승인을 받아야 한다.
- 마) 계약자는 관련규격에 따라서 업무를 수행하는 것을 원칙으로 한다.
- 바) 업무에서 보완이나, 수정이 필요한 부분은 발주자와 충분한 사전협의를 거쳐 보완 및 수정 작업을 수행하여야 한다. 본 문서에서 언급하는 보완 및 수정이라 함은 업무 수행 중 KFE에서 요청하는 실험과 관련된 사항 및 보고서와 관련된 수정 및 보완, 재작성작업을 말한다.
- 사) (사)항과 관련하여 KFE는 업무진행상의 중요한 문제점이 있는 경우에는 계약자에게 업무 진행 공정의 변경을 요구할 수 있으며, 필요시 KFE의 승인 후 업무의 진행이 가능하다.
- 아) 계약자가 계약된 내용의 일부를 제3자에게 하도급 하고자 할 때에는 발주자의 서면 승인을 받아야 한다.
- 자) (자)항과 관련하여 하도급한 경우에도 본 계약조건은 동일하게 하도급자에게 적용되며, 계약자는 하도급자가 수행한 업무에 대하여 모든 책임을 진다.
- 차) 계약자는 본 문서에서 규정되어있지 않더라도 업무의 정상적인 진행과 우수한 결과물을 위해 꼭 필요한 부분에 대해서 책임을 지고 업무를 수행하여야 한다.
- 카) 계약자는 업무에 필요한 모든 장비 및 설비, 소모성 재료를 제공하여야 한다.
- 타) 계약자는 도면작성 중간 진행사항을 KFE에 확인 시켜야 하며 필요시 작업 진행 검토 회의를 한다.
- 마) 작업 중 타 장치의 정렬, 파손 등의 손상이 발생하지 않도록 하여야 한다.
- 사) 작업 중 간섭 및 기타 제약 사항이 발생한 경우 KFE와 협의 후 실시한다.

7. 과업수행 결과물의 제출

과업수행 결과보고서는 과업수행 결과를 보고서 양식으로 작성하며 양식은 발주자와 협의하여 결정하여야 한다. 또한 보고서에는 과업수행 내용을 상세히 기술하여 추후 실험에 대한 이력관리 및 유지관리 통계분석에 이용할 수 있도록 작성한다.

과업수행 결과보고서의 내용은 계약자와 협의하여 발주자가 추가로 정할 수 있다.

7.1. 제출항목 및 제출시기

계약자는 본 기술시방서에서 제시한 일정, 계획, 절차서 등을 표 2 “제출문서 (또는 결과물) 및 제출시기”에 명기된 기한 내에 제출해야 하며, 본 용역이 시방서 요건에 따라 수행되었음을 증빙하는 문서 및 기록물을 제출하여야 한다.

표 2. 제출문서 (또는 결과물) 및 제출시기

항 목	내 용	제출 수량 및 형태	제출 시기	비고
결과물*	- 최종보고서 및 결과물	- 전자파일	계약 완료 15일 전 제출	

* 계약자는 최종보고서 및 결과물을 제출하기 전 15일 이전에 검토용 보고서 3부와 전자 파일을 연구소에 제출하여 사전검토를 득하여야 한다.

7.2. 문서 작성방법

- 가) (자체검토, 승인) 계약자가 연구소에게 제출하는 모든 문서들은 계약서 및 계약서에 서 요구하는 기술기준과 품질보증요건에 따라 작성, 검토 및 승인되어야 한다. 계약자가 자체 승인한 서류를 구매자에게 제출하여야 한다.
- 나) (용지사용) 서류에는 일반적으로 A4용지를 사용하며, 도면에는 크기에 따라 A0, A1, A2, A3 등의 용지를 사용한다.
- 다) (전자매체의 사용) 구매자의 요청에 따라 전자매체를 이용한 서류를 제출하는 경우, 이 전자매체는 관리기준이 수립 및 운영된 것이어야 하며 검색가능(Retrieveable), 복사가능(Copiable), 재생가능(Reproducible) 또는 이중보관(Duplicable) 등의 품질요건이 충족되어야 한다.
- 라) (제출) 계약자는 연구소가 제공하는 붙임 1 [교신문서 양식]을 사용하여 본 시방서에 서 요구하는 문서들을 연구소에 제출하여야 한다. 교신문서의 번호부여체계는 계약자 자체 번호체계를 따라 부여한다.
- 마) (문서양식) 계약자가 연구소에 제출하여야 하는 문서들 중에서 본 시방서 및 연구소가 요구하는 양식을 제외하면, 한국핵융합에너지연구원(KFE) 자체 양식을 사용한다.

7.3. 기록매체 제작 및 검사요건

- 가) 기록매체(CD-ROM, DVD-ROM 등)에 수록할 모든 자료(도면 및 문서)는 전자파일 그대로 수록하는 것을 원칙으로 한다.
- 나) CD-ROM에 수록할 모든 자료(도면 및 문서)의 Image File Format은 CCITT Group4 TIFF 압축 방식 또는 PDF(Portable Document Format)를 사용한다.
- 다) Image File은 화면 검색 및 출력 시 판독이 가능한 해상도(400dpi 이상)를 유지하도록 Scanning되어야 한다.
- 라) 도면 및 문서의 Image File 변환 시 Scanning 축척은 1:1로 하여야 한다.
- 마) CD-ROM 또는 DVD-ROM에 수록할 경우 자료의 목록과 원문 이미지 데이터가 연계될 수 있도록 수록 폴더명(Folder Name), 파일명(File Name) 등을 동일하게 부여하여 수록토록 하여야 한다.
- 바) 전자매체에 수록하여 보관되는 모든 기록물은 연구소의 전산시스템에 등록 가능한 형태의 자료이어야 한다.
- 사) (기록검사) 계약자가 제출한 전자매체에 수록된 기록물은 연구소의 내부기준(수량 검사 및 파일 수록상태 검사, 화질 검사, 검색 연동성 검사 및 외관 검사 및 표준 색인 목록 검사 등)에 따라 별도의 인수검사를 하여 전자매체 및 수록된 기록물의 품질

이 불량하다고 판정 시에는 인수를 거절할 수 있다.

7.4. 인수검사요건

- 가) 계약자가 연구소에 제출하는 모든 서류 및 제품은 적용기술기준에 따라 작성, 검토, 승인되어야 한다. 계약자가 자체승인하지 아니한 서류 및 제품이 연구소에게 제출되어서는 안 된다.
- 나) 계약자는 공급하는 용역결과물이 계약조건과 기술시방서에 일치함을 보증해야 한다.
- 다) 연구소는 인수단계 시 제출서류를 검사할 수 있으며 한국핵융합에너지연구원(KFE)은 인수검사 시 최대한 협조해야 한다.
- 라) 연구소에 의한 인수검사이시 누락된 업무결과물이 없어야 한다. 연구소에서 추가제출을 요구하는 문서가 있을 경우 계약자는 추가 문서를 연구소에 제공하여야 한다.

8. 품질보증요건

8.1. 일반사항

- 가) 계약자는 업무수행 시 연구소가 제시하는 품질보증요구조건(문서작성, 기록매체작성, 인수검사 등)을 준수하여야 한다.
- 나) 계약자는 연구소가 요구하는 품질보증요구조건에 대한 이행계획 및 방법을 수립하여 "용역수행계획서"에 포함시켜야 한다.
- 다) 품질보증요건의 이행은 계약자 수립한 지침서, 절차서 또는 지시서에 따라 수행하여야 한다.

8.2. 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 서류화되어야 한다.

9. 용어의 정의

- 가) 발주자 : 한국핵융합에너지연구원 (KFE: Korea Institute of Fusion Energy)
- 나) 계약자 : 발주자와 용역계약을 체결한 자연인 또는 법인
- 다) KSTAR : Korea Superconducting Tokamak Advanced Research 장치로써 KFE 주관기관 연구진행 중인 차세대 초전도핵융합연구장치이다.

10. 기타

과업 수행 중 과업내용의 변경이 필요할 경우 이에 대한 사유가 기재된 사유서를 발주자에게 제출하여야 하며 이러한 내용의 승인 여부에 대해 발주자는 7일 이내에 계약자에게 통보하여야 한다. 그리고 발주자가 위와 같은 업무내용을 변경하고자 할 경우에도 반드시 그 사유가 기재된 요청 사유서를 계약자에게 제출하여야 하며 계약자는 7일 이내에 발주자의 요청 내용에 대한 수용여부를 문서로 회신하여야 한다.

11. 보안

계약자는 본 과업지시서에 의거 작성 또는 제출되는 각종보고서 및 지식을 개인 또는 특정단체 등의 이익을 위하여 이용할 수 없다.
작업자는 보안상 다음 사항을 준수해야 한다.

- 가) 본 업무에 참여 관련자 전원은 KFE의 보안사항을 준수하여야 한다..
- 나) 모든 결과물은 개인이 소유하거나 임의 복사 또는 외부로 유출시켜서는 안 된다.
- 다) 계약자는 과업수행자의 보안상 결함이 없도록 하고 보안상 불이행으로 발생하는 모든 책임은 계약자가 진다.