

	ITER 가열기술개발	개정번호: 0
	RF 음이온원용 RF 전원장치 개발·제작 기술 시방서	발행일자: '19.04.03 페이지: 1/15

제 목 : 고전력 RF 플라즈마 발생을 위한 50 kW급
RF 전원장치 개발·제작 기술 시방서

개정 이력

개정번호	개정일자	개 정 사 유
0	2019. 04. 03	50 kW급 RF 전원장치 개발·제작을 위한 최초 발행

관련부서 검토

소속/직책	성 명	서 명	일 자

작성, 검토 및 승인

구 분	소속/직책	성 명	서 명	일 자
작 성	NBI가열연구팀	나 병 근		19.04.03
검 토	NBI가열연구팀	정 진 현		19.04.03
승 인	초고온플라즈마연구부	곽 종 구		19.04.04

	ITER 가열기술개발	개정번호: 0
	RF 음이온원용 RF 전원장치 개발·제작 기술 시방서	발행일자: '19.04.03 페이지: 2/15

목 차

1. 일반사항	3
1.1 계약 목적	3
1.2 계약 범위	3
1.3 품질	4
1.4 규격	4
2. 공급구분	5
2.1 공급범위	5
2.2 공급일정	5
3. 제작 사양	6
3.1 상세 사양	6
4. 품질 보증 및 절차	8
4.1 적용범위	8
4.2 구매자의 품질검사요건	8
4.3 성능보장	8

	ITER 가열기술개발	개정번호: 0
	RF 음이온원용 RF 전원장치 개발·제작 기술 시방서	발행일자: '19.04.03 페이지: 3/15

1. 일반사항

1.1 계약 목적

플라즈마 가열장치 중 하나인 중성빔입사 (NBI : Neutral Beam Injection) 가열장치는 고에너지의 이온빔 발생장치인 이온원(Ion Source)과, 이온원으로부터 인출된 고에너지 이온빔을 중성화하여 플라즈마 내부로 입사하기 위한 빔라인 시스템, 그리고 고에너지의 이온원 생성에 필요한 고전압 전원장치로 크게 구성된다.

현재 국가핵융합연구소에서는 ITER의 NBI를 지향하여 RF 음이온원을 개발 중에 있다. 개발의 최종 목표는 RF 파워 50 kW, 빔 에너지 200 keV, 빔전류 0.5 A의 RF 음이온원 장치를 개발하는 것이며, RF 플라즈마 발생부 및 각종 부대시설의 제작/확충을 완료하였고 빔인출 테스트가 성공적으로 진행되고 있다. 2018년도까지는 10 kW급 RF 전원을 임시로 사용하여 빔인출시험을 진행하였다. 임시로 사용된 RF 전원장치의 사양은 2 MHz 10 kW 수준이며, 이번 구매를 통해 500 kHz 50 kW 사양의 RF 전원장치를 개발하고자 한다.

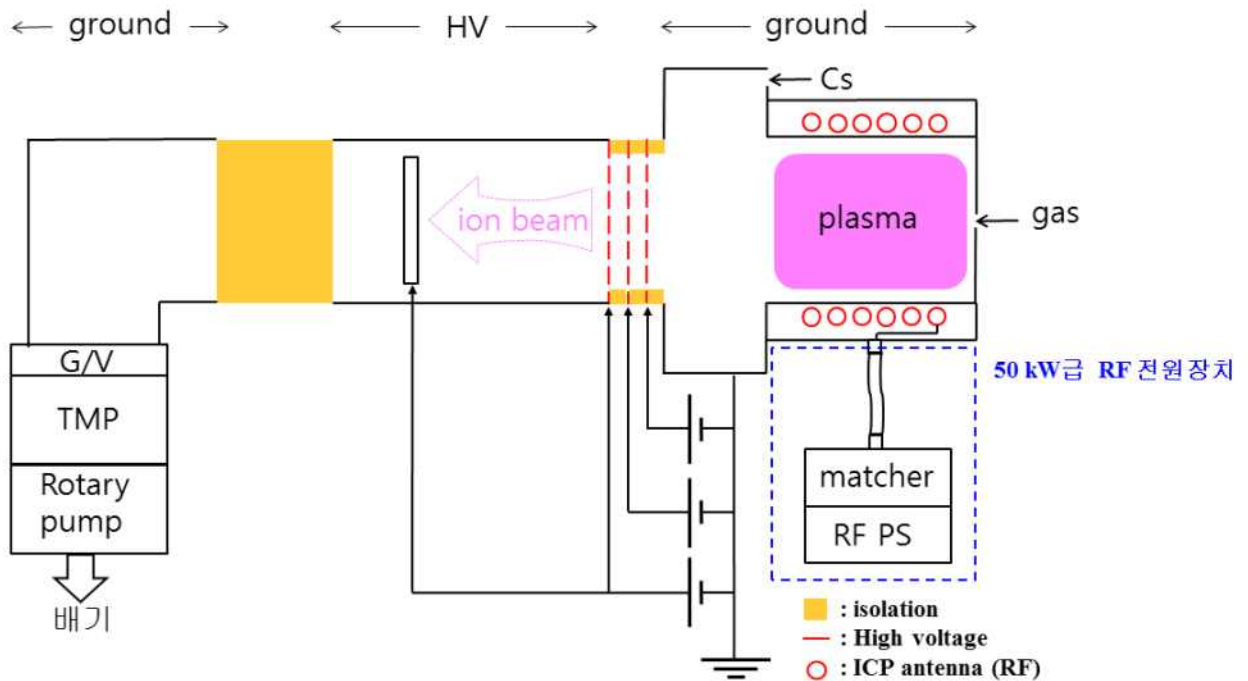


그림 1. RF 음이온원 구성에 대한 개략도

1.2 계약범위

본 계약은 RF 음이온원 빔인출 시험을 위한 '50 kW급 RF 전원장치 개발 및 제작'을 포함한다. 계약자는 본 문서에서 언급하는 모든 제반 기술문서 및 제품의 공급, 시험 성적서를 NFRI에 제출 후 승인을 받아야 한다.

	ITER 가열기술개발	개정번호: 0
	RF 음이온원용 RF 전원장치 개발·제작 기술 시방서	발행일자: '19.04.03 페이지: 4/15

1.2.1. 전원장치 설계, 제작 및 시험

계약자는 모든 전원장치의 사양 및 규격을 만족할 수 있는 전원장치를 설계하여야 한다. 전기회로 및 기구물 등에 대하여 NFRI의 승인을 받아야 한다. 또한 본 문서에서 기술한 품질 관리 규정 및 규격을 만족하는 제품의 납품과 동시에 관련 문서를 작성하여 NFRI에 제공한다.

- 시험 성적서
 - 제작 및 설치 완료 후, 검사 및 시험절차서에 따라 시험한 결과와 사양 부합 여부에 대하여 상세히 기술.
 - 시험절차서는 추후 상세 협의를 통해 항목을 선정하며, NFRI의 승인을 득한 후 진행 함.
- 운전매뉴얼
 - 전원투입 순서 및 운전 절차를 기록
 - 각 장치별 고장에 따른 점검 및 후속조치 요령
- 유지보수 매뉴얼
 - 개별 장치에 대한 설명
 - 점검주기에 따른 유지보수 항목 및 절차
 - 안전관리 및 운전 주의가 필요한 주요 항목은 안전관리 항목으로 명시
- 도면
 - 전체적인 회로 및 주요 부품에 대한 개념도면 혹은 회로도면
 - 제품 외관 및 안테나 체결 부위 등 기구물에 대한 2D/3D 도면
 - 2D 도면은 CADian 2010 버전에서 호환되도록 작성 (3D 도면은 NFRI와 협의)

1.2.2 책임

계약자는 본 문서에서 언급한 내용에 일치하는 “50 kW급 RF 전원장치 개발 및 제작” 업무를 수행함에 있어 다음과 같은 책임이 있다.

- 1) 계약자는 “50 kW급 사양의 RF 전원장치 개발 및 제작”과 관련된 모든 제반사항에 대해 본 문서에 따라 설계, 제작, 시험하고, 제작·시험 결과와 성능에 대한 품질보증책임이 있다.
- 2) 계약자는 제작에 필요한 설계 및 제작도면을 작성하고, 전원장치를 제작하여 시험을 수행하여야 한다.
- 3) 설계 오류에 의한 제조사 결함의 경우 납품일로부터 1년간 무상수리를 진행한다. 그 외 제품의 자체 결함이 아닌 외부 장치에 기인한 제품 손상이나 사용상 부주의에 의한 제품 손상의 경우 유상 수리를 진행한다.

	ITER 가열기술개발	개정번호: 0
	RF 음이온원용 RF 전원장치 개발·제작 기술 시방서	발행일자: '19.04.03 페이지: 5/15

1.3 품질

RF 음이온원용 RF 전원장치는 50 kW의 대전력 장치로서, RF 차폐, 고압 절연 등의 안정성과 신뢰성이 우수한 고품질의 제작관리가 필요하다.

1.4 규격

전원장치의 설계, 제작 및 시험에 필요한 규격은 IEC(국제 전기 표준 회의)를 따른다. 단, IEC 규격이 적용될 수 없는 항목이나 이외의 규정이 적용되어야 하는 경우에는 NFRI와 협의하여 승인을 받아야 한다.

2. 공급구분

2.1 공급범위

500 kHz 50 kW급 RF 전원장치의 공급범위는 아래의 표 2.1과 같다.

표 2.1 RF 전원장치 공급 범위

	ITER 가열기술개발	개정번호: 0
	RF 음이온원용 RF 전원장치 개발·제작 기술 시방서	발행일자: '19.04.03 페이지: 6/15

순번	항 목	상세내역	수량	비고
1	전원장치	<ul style="list-style-type: none"> ○ 입력 전원 <ul style="list-style-type: none"> • 3상 380 V, 60 Hz • 정격 전류 130A_{rms} 미만 • 접지 단자 ○ 전력효율: 80% 이상 ○ RF 전원 출력 사양 <ul style="list-style-type: none"> • 주파수 : 400 - 500 kHz 범위 내 • 파워 : 1 - 50 kW (가변 출력) • 반사파워 : 5% 미만 • 출력상승시간 : 펄스 모드 사용시 delay 포함 50 msec 이하 (CW모드의 경우에는 출력 상승시간 제한 없음.) • 출력차단시간 : delay 포함 1 msec 이하 ○ Transformer <ul style="list-style-type: none"> • 트랜스포머를 통하여 floating된 단자로 출력 ○ 과전류 보호 회로 포함 ○ 과열 방지를 위한 냉각 시스템 (장치 온도 50도 이하로 유지) ○ 사이즈: W1000 × D500 × H700 이하 ○ 무게: 60 kg 이하 	1 set	

	ITER 가열기술개발	개정번호: 0
	RF 음이온원용 RF 전원장치 개발·제작 기술 시방서	발행일자: '19.04.03 페이지: 7/15

순번	항 목	상세내역	수 량	비고
2	제어 및 모니터링 시스템	<ul style="list-style-type: none"> ○ 출력제어 <ul style="list-style-type: none"> • 출력 파워 셋팅: 전원 장치 panel과 제어 PC에서 출력 셋팅. • on/off 제어: TTL 신호에 따라 power on/off 제어 가능 ○ 모니터링 시스템 <ul style="list-style-type: none"> • 출력단(트랜스포머 이후, 즉 ICP 안테나)의 전압, 전류, 위상 모니터링용 BNC 포트 제공 (오실로스코프로 모니터링 가능하도록 파워 레벨이 저하된 신호를 출력해야 하며, calibration factor, 위상 등의 정보를 제공해야 함.) • current probe, differential probe는 사급 제공 • 전면 패널 display에 전달 파워 표시 ○ 운전 모드 <ul style="list-style-type: none"> • CW 모드 • pulse 모드 • CW + pulse 모드 • pulse, CW + pulse 모드의 경우 외부에서 TTL 신호를 받아 pulse의 시작 타이밍 및 pulse width를 결정한다. ○ Interlock <ul style="list-style-type: none"> • 입력: 외부 장치의 interlock 신호 (TTL) 입력시 1 msec 이내에 파워 공급 차단 (normal: high) • 출력: 이상사태 발생 시, 전원 공급 차단되며 interlock 신호 (TTL) 발생 (normal: high) • fault 종류 (과전류, 과열 등)를 전면 패널에 표시 (display 혹은 LED) ○ 제어 및 모니터링을 위한 포트 <ul style="list-style-type: none"> • 제어 PC와의 통신 포트: GPIB/ RS232/LAN 등의 통신 방식 중 NFRI와 협의하여 결정 • on/off 제어 신호 포트, pulse timing 제어 포트, interlock 입력/출력 포트: BNC 혹은 SMA • 전압/전류 측정 포트: BNC 	1 set	

	ITER 가열기술개발	개정번호: 0
	RF 음이온원용 RF 전원장치 개발·제작 기술 시방서	발행일자: '19.04.03 페이지: 8/15

3	설치 관련	<ul style="list-style-type: none"> ○ 전원 입력부 결선 (공급라인 포설은 NFRI 진행) ○ RF 출력부 - 안테나 결선 안테나 floating을 위해 transformer를 통하여 출력을 전달한다. ○ RF 전송선, RF 차폐 shield 설치 	1 식	
4	예비품	<ul style="list-style-type: none"> ○ 전원장치 주요 부품 및 소모품 (본 항목의 리스트는 제품 사양에 따라 공급업체와 NFRI의 협의를 통해 결정함.) 	1 식	

2.2 제작 및 설치 일정

RF 전원장치의 공급일정은 아래와 같다.

1) 제작 일정

- 설계/제작/테스트 완료: 계약 후 2달 이내
- 공급업체가 보유한 ICP load 혹은 이에 준하는 시스템에서 RF 전원장치 테스트

2) 공급 일정

- 설치/테스트 완료: 2019년 7월 20일 (세부 일정은 추후 협의)
- NFRI RF 음이온원에 RF 전원장치 설치
- NFRI RF 음이온원 플라즈마 발생 테스트
- RF 전원장치의 제어 및 모니터링 테스트

3. 제작 사양

3.1 상세사양

A. 전원장치 사양

1) 전원장치의 전력 공급 (입력 사양)

- NFRI의 전기시설에서 3상 380 V, 60 Hz를 공급받는다.
- 입력의 최대 전류는 130 A_{rms} 미만이다.

2) 출력 사양

- 주파수: 매칭 시 400 ~ 500 kHz 범위 내. (주파수 매칭 가능)
- 파워: 1 ~ 50 kW (출력 제어 가능)
- 매칭: 반사파워 5% 미만
- 출력 상승시간 : 펄스 모드 작동시 delay 포함 50 ms 이하

- delay time : 1ms 이내

- on/off 제어 신호, 혹은 pulse timing 신호 입력 직후 전원장치의 출력이 반응하기까지의 시간

	ITER 가열기술개발	개정번호: 0
	RF 음이온원용 RF 전원장치 개발·제작 기술 시방서	발행일자: '19.04.03 페이지: 9/15

- 출력상승시간 (rising time)
 - 출력전압이 정격의 90%까지 도달하는데 경과되는 시간
- CW 모드에서는 출력 상승시간 제한 없음
- 출력하강/차단시간: delay 포함 1 ms 이하
 - interlock trigger 입력 후 전원장치의 출력이 10% 미만이 될 때까지의 시간
- 출력 셋팅은 전면 패널 및 제어 PC에서 조정 가능. setting 출력은 control panel
전면에 display 되도록 함.

3) Transformer

- NFRI 음이온원용 ICP는 floating된 RF 전원을 필요로 한다.
- 따라서 RF 전원 장치의 출력은 트랜스포머를 통하여 출력을 제공하도록 한다.
- 절연전압: 10 kV
- 파워 손실: 10% 미만

4) 냉각방식: 공랭식/수냉식 혼합 사용 (장치 온도 섭씨 50도 이하로 유지.)

5) 전원장치 및 부하 보호 기능

- Output over-current
 - 최대 운전전류의 110% 초과 시 고속으로 차단
 - 과전류 발생시 interlock 발생 및 전면패널에 표시
 - 과전류 설정 값은 변경 가능하도록 구축
- 과열 방지
 - 과열될 경우 interlock 발생 및 전면 패널에 표시.
 - 기준 온도는 장치 spec에 따라 NFRI와 협의.
 - 제어 PC와 통신으로 기준 온도 설정값 변경 가능하도록 구축.

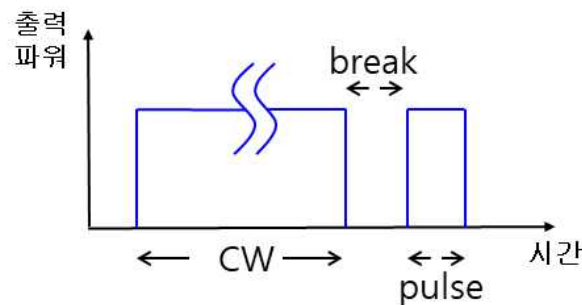
B. 제어 및 모니터링 사양

- 출력 셋팅
 - 전원장치 전면 패널과 제어 PC에서 셋팅
 - 출력의 on/off는 TTL 입력신호를 이용하여 제어.
- 모니터링
 - 출력 전압, 전류 파형, 위상의 모니터링을 위한 별도 출력 단자 제작 (측정 위치
는 트랜스포머 이후, 즉 ICP 안테나에서 측정을 수행한다. NFRI와 협의하여
BNC 혹은 SMA 단자 사용. bandwidth 10 MHz 이상)
 - current probe, differential probe는 NFRI에서 사급 제공함. (Pearson wideband
current monitor 101, Tektronix THDP0100)
 - 전압, 전류 파형은 NFRI 측 오실로스코프를 통하여 모니터링 함.
 - 모니터링 출력은 오실로스코프에서 사용 가능하도록 최대 5V 미만의 레벨에서

	ITER 가열기술개발	개정번호: 0
	RF 음이온원용 RF 전원장치 개발·제작 기술 시방서	발행일자: '19.04.03 페이지: 10/15

측정 가능해야 함.

- 공급업체에서 출력 전압, 전류, 위상 등의 calibration 수행 및 calibration factor 를 NFRI에 제공.
- 출력파워는 전면 패널에 표시.
- 운전 모드
 - NFRI 음이온원의 플라즈마는 다음 세 가지의 운전방식을 사용한다. RF 전원 장치는 아래의 세 가지 운전모드로 작동할 수 있어야 하며, 모든 운전모드에 대한 운전방안을 제시해야 한다.
 - CW 모드: 특별한 제한사항이 없는 한 CW로 RF 출력
 - pulse 모드: 운전자가 지정한 시간 동안만 작동
 - CW + pulse 모드: CW 모드로 작동하다가 짧은 시간동안 off 후 pulse 모드로 작동
 - pulse의 시작 타이밍 및 pulse width는 외부의 TTL 신호를 이용하여 제어



C. 인터락

- 본 RF 전원장치 및 RF 음이온원의 부대 장치의 보호를 위해 interlock 입출력 신호를 사용한다.
- 외부 단자(BNC 혹은 SMA)에서 TTL 신호를 이용하여 인터락 신호를 송수신한다.
- 입력: trg 입력시 1 msec 이내에 파워 공급 차단 (normal: high, fault: low)
- 출력: 이상상태 발생시 자체적으로 전원 공급이 차단됨과 동시에 interlock 신호 발생 (normal: high, fault: low)
- 입출력 신호 형태는 추후 상세 협의

D. 제어 및 모니터링용 포트

- 제어 PC와의 통신 포트: GPIB/RS232/LAN 등의 통신 방식 중 NFRI와 협의하여 결정
- on/off 신호 포트, pulse 모드 timing 제어 포트, interlock 입/출력 포트: BNC 혹은 SMA
- 전압/전류 모니터링 포트: BNC

4. 설치 사양

- 전원의 입력부는 380 V 130 A로, 전원공급은 NFRI에서 제공하며, 공급업체는 분전함에서

	ITER 가열기술개발	개정번호: 0
	RF 음이온원용 RF 전원장치 개발·제작 기술 시방서	발행일자: '19.04.03 페이지: 11/15

RF전원장치까지 입력 케이블을 공급 및 결선한다. 이 때 분전함에서 RF 전원장치까지의 거리는 약 20 m이다.

- 전원장치의 크기 및 무게에 따라 NFRI 담당자가 지정하는 위치에 공급업체에서 전원장치의 설치를 수행한다.
- 공급업체는 RF 전원장치의 출력부에서 NFRI의 음이온원 장치의 안테나까지의 결선 작업을 수행한다. 단 RF 공급은 안테나의 floating 상태를 유지하기 위해 트랜스포머 설치가 필요하다. RF 전원장치 - 트랜스포머, 트랜스포머 - 안테나의 결선은 공급업체에서 수행한다.
- 전원장치에서 NFRI 음이온원 장치까지의 설치에서 발생할 수 있는 RF 방사는 차단할 수 있도록 RF shield를 반드시 설치하도록 한다.
- 전원장치의 설치 후 플라즈마 방전 테스트를 수행한다. 절차에 맞게 각 운전 모드로 파워 인가를 수행하고 모니터링 및 interlock test를 수행한다. 상세 내용은 5.2.2 절의 SAT 항목 참조.

5. 품질 보증 및 절차

5.1 적용 범위

이 절은 기술시방서에 명시된 대로 구매품목, 전원장치 설계, 제작, 설치 및 시험 공정에 대한 구매자의 품질검사권한, 검사진행요령, 계약자의 자체 품질관리 책임 등을 규정한다.

5.2 구매자의 품질검사요건

5.2.1 일반 요건

- 1) 구매자는 계약자와의 원활한 업무수행을 위하여 담당 검사자를 임명하여 구매 품목의 제작 전에 계약자의 제작공장을 방문하여 필요한 사항을 협의할 수 있다.
- 2) 계약자는 현장설치 및 시험 이전에 구매자 측에 필요한 자료를 충분히 제공해야 하며, 성능시험 시 구매자 입회하에 진행한다.

5.2.2 시험 항목

- 1) 전원장치는 시험성적서에 대한 구매자의 승인 후 입고를 진행한다
- 2) FAT (Factory Acceptance Test) 항목
 - 출력 제어, pulse 모드 운전 등 동작 확인
 - 상승시간, 차단시간 확인
 - 최대 출력 확인 (30 kW 이상 출력 확인)
 - 인터락 동작 시험 및 fault 발생 시험
 - 전압/전류 모니터링 테스트


	ITER 가열기술개발	개정번호: 0
	RF 음이온원용 RF 전원장치 개발·제작 기술 시방서	발행일자: '19.04.03 페이지: 12/15

3) SAT (Site Acceptance Test) 항목

- 제어 PC와의 통신 및 동작 확인
- 플라즈마 발생 시험 (아르곤 2×10^{-2} mbar, 수소 5×10^{-3} mbar에서 10 kW 방전)
- 상기 조건에서 CW 모드, pulse 모드, CW+pulse 모드 운전 동작 확인

	ITER 가열기술개발	개정번호: 0
	RF 음이온원용 RF 전원장치 개발 · 제작 기술 시방서	발행일자: '19.04.03 페이지: 14/15

붙임 2 : Document Transmittal Sheet

	Document Transmittal Sheet		FAX	
			TEL	
			E-mail	
Registration No : DR-Serial No.-WBS (받는곳에서 기입)			Filer	
	Name	Work Group		
From			TRANS. DATE	/ /
To			TRANS. NO.	DS-Serial No.-WBS (보내는곳에서 기입)
ATTN			WBS NO.	
CC			PROJECT	
THE FOLLOWING DOCUMENTS ARE TRANSMITTED FOR YOUR : <input type="checkbox"/> Information <input type="checkbox"/> Approval <input type="checkbox"/> Review/Comment <input type="checkbox"/> Reference <input type="checkbox"/> Design <input type="checkbox"/> Quotation <input type="checkbox"/> Fabrication <input type="checkbox"/> Construction <input type="checkbox"/> Record <input type="checkbox"/> Technical Memo <input type="checkbox"/> _____				
THESE DOCUMENTS ARE : <input type="checkbox"/> Draft <input type="checkbox"/> Preliminary <input type="checkbox"/> Final <input type="checkbox"/> Revision				
No.	Document No.	Rev.No.	Q'TY	Description
Remarks :				
Distribution List :			Supplier Originator	
Organization Name		Division Name	Name :	
			Signed _____	
Acknowledgement of Receipt : <input type="checkbox"/> Not Required; <input type="checkbox"/> Required; Please return a copy of this transmittal after signing bellow Received by : _____ Date : ____/____/____				

	ITER 가열기술개발	개정번호: 0
	RF 음이온원용 RF 전원장치 개발·제작 기술 시방서	발행일자: '19.04.03 페이지: 15/15

붙임 3 : 검사 및 시험계획서 표지

시공계약자 마크

검사 및 시험계획서(ITP)

Total ○○ Sheets

(with cover sheet)

품질 검사 및 시험계획서(ITP)

			
Document status <input type="checkbox"/> Approved. <input type="checkbox"/> Approved with comments. Work may proceed subject to comments noted. <input type="checkbox"/> Revise and resubmit. Work may not proceed.			
Note Approval or review hereunder shall not be construed to relieve Contractor of his responsibilities and liability under the Contract.			
Date	Approved	Approved	Approved

OWNER'S NAME : National Fusion Research Center

PROJECT NAME : ○○○○○○○○○○○○○○○○○

DOC. NO. :

		- SAMPLE -			
0	...				
Rev. No.	Date	Descriptions	Prepared by	Reviewed by	Approved by

붙임 4: 검사 및 시험계획서

<div style="text-align: center;"> ○○○○○ 제작 검사 및 시험계획서 </div>			공 급 자 :				
			과 제 명 : (필요 항목으로 변경기재 가능)				
			조립단계 : (필요 항목으로 변경기재 가능)				
번호	공정	검사 및 시험종류	적용 규격 및 절차	검사주관			
				시공업체		주관	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							

주1) 검사주관에 검사점 기입 H : Hold Point, W : Witness Point, R : Review Point