	주요사업 연구장비 설치 지원	개정번호: 0
	RF 음이온원용 20kV/1A DC 전원장치 제작 기술 시방서	발행일자: '23.07.21 페이지: 1/11

## RF음이온원용 20kV/1A급 DC 전원 장치 제작 기술 시방서




### 개정 이력


개정 번호	개정일자	개 정 사 유
0	2023. 07. 21	RF음이온원용 20kV/1A급 DC전원장치 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/담당	나 병 근		2023. 7. 28
검 토	NBI가열연구팀/팀장	정 진 현		23. 7. 28
승 인	초고온플라즈마연구부/부장	곽 종 구		23. 7. 31

	주요사업 연구장비 설치 지원	개정번호: 0
	RF 음이온원용 20kV/1A DC 전원장치 제작 기술 시방서	발행일자: '23.07.21 페이지: 2/11

## 목 차

1. 일반사항 .....	3
1.1 계약 목적 .....	3
1.2 계약 범위 .....	5
1.3 품질 .....	6
1.4 규격 .....	6
2. 공급구분 .....	7
2.1 공급범위 .....	7
2.2 공급일정 .....	8
3. 제작 상세 사양 .....	8
4. 품질 보증 및 절차 .....	11
4.1 적용범위 .....	11
4.2 구매자의 품질검사요건 .....	11

	주요사업 연구장비 설치 지원	개정번호: 0
	RF 음이온원용 20kV/1A DC 전원장치 제작 기술 시방서	발행일자: '23.07.21 페이지: 3/11

## 1. 일반사항

### 1.1 계약 목적

#### (1) RF 음이온원

플라즈마 가열장치 중 하나인 중성빔입사 (NBI : Neutral Beam Injection) 가열장치는, 고에너지의 이온빔 발생장치인 이온원(Ion Source)과, 발생한 이온원을 고에너지로 가속하는 가속부, 그리고 고에너지의 이온빔을 중성화하여 플라즈마 내부로 입사하기 위한 빔라인 시스템으로 크게 구성된다.

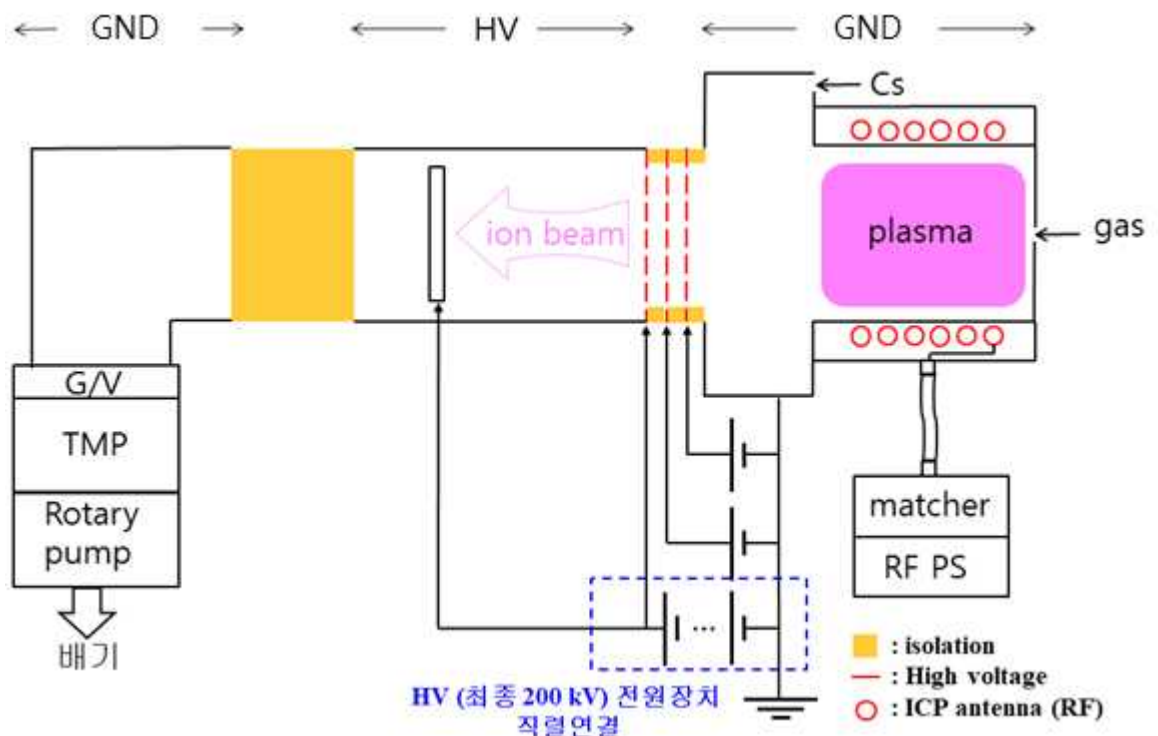



그림 1. RF 음이온원 개발을 위한 실험장치의 개략도

현재 한국핵융합에너지연구원(KFE)에서는 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 완료 하였고 빔인출 테스트가 성공적으로 진행되고 있다. 음이온 가속 전원의 경우 최종적으로 200 kV 출력 발생이 목표이며, 기존 장치 및 해당 장치의 직렬연결을 통해 가속전원의 출력을 향상시켜 목표에 도달하고자 한다.

#### (2) 200 kV DC 가속전원

최종적인 RF 음이온원 가속 전원 시스템 개략도는 그림 2와 같다. 개별 모듈은 10kV/1A ~ 50kV/1A의 사양을 가지며, 개별 모듈들을 직렬로 연결하여 200kV/1A의 사양의

	주요사업 연구장비 설치 지원	개정번호: 0
	RF 음이온원용 20kV/1A DC 전원장치 제작 기술 시방서	발행일자: '23.07.21 페이지: 4/11

전원 시스템을 구축하고자 한다. 개별 모듈은 배터리 등의 별도 전력 공급장치를 이용하되 floating 되어 직렬 연결을 통한 출력 확장이 가능하며, 제어기의 명령을 받아 동작을 한다. 개별 모듈은 접지 대비 최대 200 kV의 전위를 가질 수 있으므로 제어기와 광섬유를 통해 연결된다. 또한 접지와 개별 모듈, 모듈과 모듈 사이에 안정적인 절연 성능을 가져야 한다.

가속전원 시스템의 부하는 이온빔으로, 일반적인 저항 로드와 다음과 같은 상이한 특성을 가진다.

- 시간에 따라 load 특성이 급격하게 변하며, plasma 특성이나 운전 조건에 따라 민감하게 변함.
- load는 resistance, capacitance, inductance를 모두 가지고 있음.
- 빔이 발생하지 않을 때의 주된 성분은 capacitance로 open circuit에 가까움.
- 빔이 발생할 때의 주된 성분은 resistance로 수백 ~ 수백 kohm의 값을 가짐.
- 환경에 따라 강한 아킹이 발생할 수 있으며, 전원장치 및 load의 소손 방지를 위한 보호회로의 구성이 필수 임.

따라서 가속전원 시스템은 상당히 넓은 범위의 로드 특성의 변화에도 작동할 수 있어야 하며, 일정 범위를 벗어난 경우에는 빠르게 전원 차단이 가능하여야 한다.

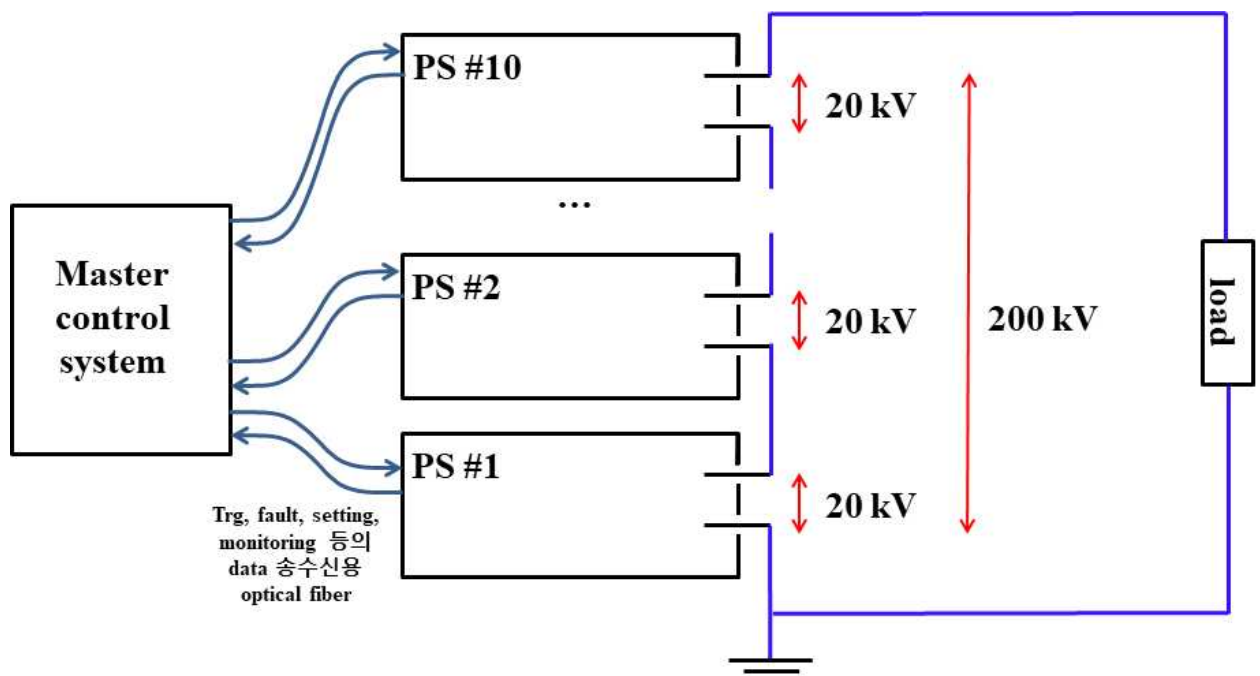



그림 2. 가속전원 최종 형태의 개략도

	주요사업 연구장비 설치 지원	개정번호: 0
	RF 음이온원용 20kV/1A DC 전원장치 제작 기술 시방서	발행일자: '23.07.21 페이지: 5/11

## 1.2 계약범위

본 계약은 RF 음이온원 빔인출 시험을 위한 ‘20kV/1A DC 고전압 전원장치 개발 및 제작’을 포함한다. 계약자는 본 문서에서 언급하는 모든 제반 기술문서 및 제품의 공급, 시험 성적서를 KFE에 제출 후 승인을 받아야 한다.

### 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 KFE의 승인을 받아야 한다. 또한 본 문서에서 기술한 품질 관리 규정 및 규격을 만족하는 제품의 납품과 동시에 관련 문서를 작성하여 KFE에 제공한다.

- 시험 성적서
  - 제작 및 설치 완료 후, 시험절차서에 따라 시험한 결과와 사양 부합 여부에 대하여 상세히 기술
- 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
  - 모든 부품의 상세 리스트 및 회로도면(전기 및 기구도면 포함)
  - 2D 도면은 CADian 2010 버전에서 호환되도록 작성

### 1.2.2 책임

계약자는 본 문서에서 언급한 내용에 일치하는 ‘20kV/1A DC 고전압 전원장치 개발 및 제작’ 업무를 수행함에 있어 다음과 같은 책임이 있다.

- 1) 계약자는 “RF 이온원용 DC 고전압 전원장치 개발·제작 및 시험”과 관련된 모든 제반 사항에 대해 본 문서에 따라 설계, 제작, 시험하고, 제작·시험 결과와 성능에 대한 품질 보증의 책임이 있다.
- 2) 계약자는 제작에 필요한 설계 및 제작도면을 작성하고, 전원장치를 제작하여 시험을 수행하여야 한다.

	주요사업 연구장비 설치 지원	개정번호: 0
	RF 음이온원용 20kV/1A DC 전원장치 제작 기술 시방서	발행일자: '23.07.21 페이지: 6/11


3) 계약자는 성능 보장기간 (납품 이후 6개월) 이내 발생하는 고장 및 성능 장애에 대하여 전문 기술인력 지원을 즉시 수행하여야 하며, 필요 시 무상으로 수리 및 교환을 수행하여야 한다.

### 1.3 품질

RF 이온원용 DC 고전압 전원장치는 20kVdc의 고압 장치로서, 고압 절연에 대한 안정 성과 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 KFE와 협의하여 승인을 받아야 한다.

	주요사업 연구장비 설치 지원	개정번호: 0
	RF 음이온원용 20kV/1A DC 전원장치 제작 기술 시방서	발행일자: '23.07.21 페이지: 7/11

## 2. 공급구분

### 2.1 공급범위


RF 이온원용 DC 고전압 전원장치의 공급범위는 아래의 표 1과 같다.

	주요사업 연구장비 설치 지원	개정번호: 0
	RF 음이온원용 20kV/1A DC 전원장치 제작 기술 시방서	발행일자: '23.07.21 페이지: 8/11

순번	항 목	상세내역	수량	비고
1	전원장치	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 입력 사양 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 고전압 출력용 350 Vdc</li> <li>• 제어를 위한 24 Vdc</li> </ul> </li> <li>○ 출력 사양 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 20kVdc/1A/100 ms max.</li> <li>• 0.1kV / 1ms 단위로 조정 가능.</li> <li>• 1 ms의 출력 시간 조정 가능</li> <li>• ripple 및 안정도 2 % 이내 (Vpp 0.8kV 이내, 50회 출력 동안)</li> <li>• 상승시간 (rising time) 10ms 이내</li> <li>• 응답속도 10ms 이내</li> <li>• 출력 단자의 capacitance &lt; 20 nF</li> </ul> </li> <li>○ 운전 및 신호 입출력 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Local/Remote 운전 모드 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Local 운전 시, 펄스 폭 및 출력 전압 조정 가능</li> <li>- Remote 운전 시, optic trigger 사용</li> </ul> </li> <li>• 각종 신호는 모두 optic 신호를 사용하되, 아래의 세부사항은 아래와 같다.</li> <li>• 입력 신호는 trigger/external fault (normal on)를 반드시 포함</li> <li>• 출력 신호는 HV on/fault/low battery/전압 monitor/전류 monitor를 반드시 포함</li> <li>• 통신 신호는 optic 신호를 사용하되 RS 485 규격을 따른다. 통신 프로토콜은 KFE와 협의하여 정한다.</li> </ul> </li> <li>○ 출력 단자 및 출력 케이블 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 대지와 150kV 절연이 가능하도록 출력단자와 케이블 구성이 필요</li> </ul> </li> <li>○ 보호회로 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 과전압, 과전류에 의한 전원 출력 차단 (전원장치 제작 사양에 따른 과전압/과전류 제한 필요)</li> <li>• 고장 발생 후 (fault 발생) 후 0.1ms 이내 출력 차단 및 외부 인터락 신호 발생 (점점 신호 등 신호 형태는 추후 협의)</li> </ul> </li> </ul>	3 set	

표 1. RF 이온원 DC 전원장치 공급 범위



	주요사업 연구장비 설치 지원	개정번호: 0
	RF 음이온원용 20kV/1A DC 전원장치 제작 기술 시방서	발행일자: '23.07.21 페이지: 9/11

## 2.2 공급일정

전원장치의 공급일정은, 계약 후 90일 이내로 한다.

## 3. 제작 상세 사양

### 1) 전원장치의 전력 공급 (입력 사양)

- 전원장치의 전원 공급부는 접지 전위 (또는 중성 전위 등)와 분리되어 고전압에 부유되어 (최대 150kV) 사용이 가능하여야 함 (ex: 배터리 또는 슈퍼 커패시터를 이용한 전력 공급 가능)

### 2) 출력 특성

- 최대 출력 20kV/1A/100ms 이상 가능. (0.1kV/1ms 단위로 조정 가능)
- 통상적인 시험 조건은 아래 그림 3과 같음.

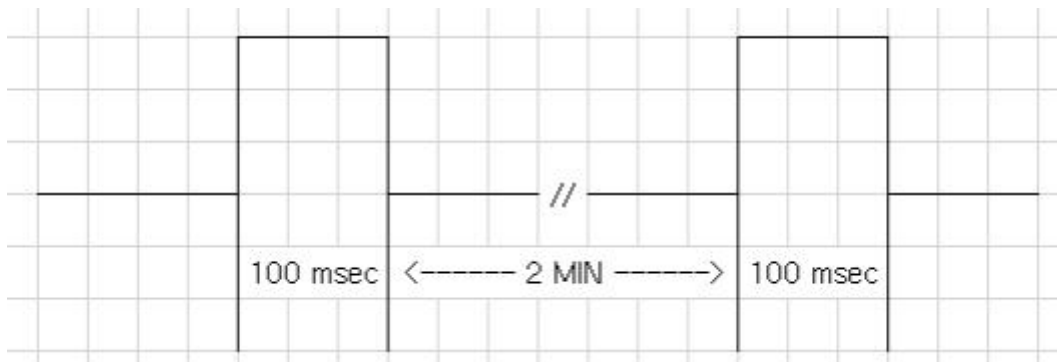



그림3. 고전압 출력 파형 (예시)

- 정전압제어 : Open loop fixed voltage mode
- ripple 전압 : 운전영역에서 0.8kVpp 이내 (peak-to-peak value 기준)
  - 운전영역 : 1kV ~ 20kV
- 전압 안정도(운전 설정 값 대비 출력 전압 평균값의 허용범위) :  $\pm 0.2\text{kV}$  이내
- 전압 상승시간 : 10ms 이내 (delay time : 10ms 이내)
  - delay time: RUN 명령 신호 입력 이후, 전원장치의 출력 상승이 반응하기까지의 시간
  - 전압상승시간 (rising time): 출력전압이 정격의 10%에서 90%까지 도달하는데 경과되는 시간
- 부하(이온원)에서 Breakdown 검출 시 (전원장치의 과전류 또는 과전압 발생 확인)
  - 고전압 출력의 차단시간: 0.1ms 이내
  - Breakdown 검출 후, 전원장치의 출력이 0V로 off될 때까지의 시간
- 전압 상승 시, overshooting 1kV 이내 (20kV 운전 조건)

	주요사업 연구장비 설치 지원	개정번호: 0
	RF 음이온원용 20kV/1A DC 전원장치 제작 기술 시방서	발행일자: '23.07.21 페이지: 10/11

- 오버슈팅 허용시간은 4ms 이내

### 3) 전원장치 운전

- Local 운전 모드
  - 운전 시퀀스는, 'Ready/HV on/RUN' 의 순서로 진행하며 부품별 상세 운전 시퀀스는 협의하여 조정 가능
  - 출력 전압, 펄스 폭 조정이 가능하도록 함
  - 전원장치 자체 고장 (과전압/과전류/온도 등) 및 외부 신호 (External EMG)에 의해 출력 차단 기능 필요
- Remote 운전
  - Remote 운전 모드는 외부 Trg. 신호를 입력 받아서 동기 운전이 가능토록 함
  - 전원장치 자체 고장 (과전압/과전류/온도 등) 및 외부 신호 (External EMG/Fault)에 의해 출력 차단 필요

### 4) 입/출력 인터페이스

- 입력
  - 'RUN' 트리거 입력 (Optic)
  - 운전 전압/펄스 폭/운전 전압 상한/펄스 폭 상한 값 (data 통신)
- 출력
  - 운전 전압/펄스 폭 세팅 값
  - 'RUN' 운전 시 출력 전압/전류 (sampling speed 1kHz 이상)
- 전원장치 fault 발생 시, 외부 접점 신호 출력 (optic)
  - 정상 상태 시 (전원 ON 상태 및 정상 출력): Optic, on
  - fault 발생 시 (전원 off 상태 및 인터락 발생): Optic, off
  - fault 발생 정보 (통신,)
- 기타 사항은 협의를 통해 결정


### 5) 모니터링

- 전압 전류의 모니터링
  - 출력단 전압, 전류 data 전송
  - sampling speed 1 kHz 이상의 data 통신

### 6) 냉각방식 : 공랭식

### 7) 전원장치 및 부하 보호 기능의 상세 사양 (추후 협의 하여 조정 가능)

- 전원장치 보호를 위한 내부 고장 검출
  - Output over-voltage
    - 운전 전압에 따라 limit value 설정

	주요사업 연구장비 설치 지원	개정번호: 0
	RF 음이온원용 20kV/1A DC 전원장치 제작 기술 시방서	발행일자: '23.07.21 페이지: 11/11

- 운전 전압이 limit value 초과 시 고속으로 차단
- 정격 전압의 110% [11kV] 초과 시 limit value와 상관없이 고속으로 차단
- Output over-current (설정 전류 이상의 경우)
  - 최대 운전전류의 110% [1.1A] 초과 시 고속으로 차단
  - 과전류 설정 값은 변경 가능하도록 구축
- 기타 사항은 협의를 통해 결정

## 4. 품질 보증 및 절차

### 4.1 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.

### 4.2 구매자의 품질검사요건

#### 4.2.1 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 진행 한다.

#### 4.2.2 시험 항목

- 1) 전원장치는 시험성적서에 대한 구매자의 승인 후 입고를 진행한다
- 2) 시험 필수 항목
  - 절연 내전압 측정
  - 출력 제어 확인
  - 최대 출력 확인
  - 인터락 성능 확인
  - 입출력 인터페이스의 정상 동작 확인
  - 전원장치 직렬연결 동시 운전
  - 기타 사항은 협의를 통해 결정