


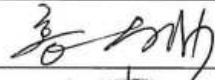

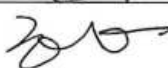

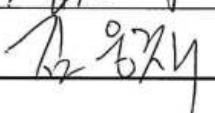
|   |  |                                 |
|---|--|---------------------------------|
|  | KSTAR 장치운영사업                           | 개정번호 : 0                        |
|   | 기 술 시 방 서<br>(Technical Specification) | 발행일자 : '22. 10.<br>페 이 지 : 1/52 |

## KSTAR IRC 전원장치 및 IPS #6 제작, 설치 및 시운전




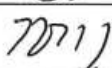
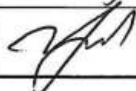
### 개정 이력

| 개정번호 | 개정일자      | 개 정 사 유  |
|------|-----------|--|
| 0    | 2022. 10. | KSTAR IRC 전원장치 및 IPS #6 제작, 설치 및 시운전을 위한 최초 발행 |

### 관련부서 검토

| 소속/직책           | 성 명   | 서 명  | 일 자          |
|-----------------|-------|--|--------------|
| 제어기술팀장          | 홍 재 식 |  | 2022. 10. 4  |
| 통합설비기술팀장        | 김 상 태 |  | 2022. 10. 4  |
| 고성능시나리오연구팀      | 한 현 선 |  | 2022. 10. 4  |
| Pedestal안정화연구팀장 | 고 원 하 |  | 2022. 10. 4. |
| 고성능플라즈마연구부장     | 김 용 채 |  | 2022-10.4    |

### 작성, 검토 및 승인

| 구 분 | 소속/직책      | 성 명   | 서 명  | 일 자          |
|-----|------------|-------|--|--------------|
| 작 성 | 전원전력기술팀    | 진 종 국 |  | 2022. 10. 4  |
| 작 성 | 전원전력기술팀    | 안 현 식 |  | 2022. 10. 4  |
| 검 토 | 전원전력기술팀장   | 공 종 대 |  | 22. 10. 4    |
| 검 토 | 토카막장치기술부장  | 박 갑 래 |  | 2022. 10. 4. |
| 승 인 | KSTAR연구본부장 | 윤 시 우 |  | 2022. 10. 4  |

## 목 차

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 1. 일반사항 .....           | 4  |
| 1.1 계약목적 .....          | 4  |
| 2. 공급구분 .....           | 5  |
| 2.1 개요 .....            | 5  |
| 2.2 공급범위 .....          | 5  |
| 3. IRC 전원장치 제작 사양 ..... | 9  |
| 3.1 전원장치 .....          | 9  |
| 3.2 수전설비 .....          | 12 |
| 3.3 제어시스템 .....         | 14 |
| 3.4 Utility .....       | 19 |
| 4. IPS 제작 사양 .....      | 21 |
| 4.1 전원장치 .....          | 21 |
| 4.2 수전설비 .....          | 27 |
| 4.3 제어시스템 .....         | 30 |
| 5. 성능시험 및 시운전 .....     | 33 |
| 5.1 개요 .....            | 33 |
| 5.2 검사 .....            | 33 |
| 5.3 성능시험 및 시운전 .....    | 34 |
| 5.4 성능보증기간 .....        | 37 |
| 5.5 전원장치 최종 승인 .....    | 37 |
| 6. 현장 설치 시 요구사항 .....   | 38 |
| 7. 제출자료 .....           | 39 |

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 7.1 기술제안서 포함 목록 .....      | 39 |
| 7.2 제출항목 및 시기 .....        | 40 |
| 7.3 도면번호 .....             | 43 |
| 7.4 특기사항 .....             | 46 |
| 8. 기타 .....                | 46 |
| 9. 품질검사 및 시험계획서(ITP) ..... | 48 |

\* 붙임 1 : 검사 및 시험계획서 표지

\* 붙임 2 : 검사 및 시험계획서

## 1. 일반사항

### 1.1 계약목적

KSTAR 고성능 플라즈마 (H-mode)에서 심층적이고 발전된, 가장자리 불안정성 (ELM) 제어연구를 위해서는, 3D 구조의 공명자기섭동(RMP)을 효과적으로 구현할 수 있는 전원장치인 IPS와 Radial 방향으로 불안정한 플라즈마를 안정적으로 제어하기 위한 IRC 전원장치가 추가적으로 요구된다.

토카막 장치의 진공 용기 내부 제어코일 IVCC(In-Vessel Control Coil)의 구성을 고려할 때, 상단, 중단, 하단의 코일에 각각 2대의 전원장치가 연결되었을 경우에 효과적이고 효율적인 RMP 구현이 가능하다. 특히, 플라즈마 중심부에는 영향이 적고, 경계영역에서만 자기섭동을 일으키는 자장구조를 보다 더 발전된 형태로 만들기 위해서는 추가적인 전원장치를 구비하여야 한다. 현재 최대 5대까지 활용할 수 있는 전원장치로는 보다 다양한 3D 구조의 공명자기섭동을 인가하는데 한계가 있으며, 반경 방향 플라즈마 조절 코일(IRC)의 활용이 제약되는 경우도 있기 때문에, 플라즈마의 형상 제어에 제약사항이 된다.

전원장치가 추가됨으로써 KSTAR 장치의 효율성을 증대시켜, 해외 연구기관과의 공동 실험 유인이 될 수 있으며, ITER의 선행연구 장치로서의 역할 수행 등을 기대할 수 있다. 따라서 In-vessel control coil Power Supply(이하 IPS) 및 In-vessel Radial Coil Power Supply(이하 IRC 전원장치) 추가 제작 설치가 필수적으로 요구된다.

본 기술시방서는 한국핵융합에너지연구원(이하 KFE)에서 시행하는 KSTAR IRC 전원장치 1set 및 IPS 1set 설계, 제작, 설치 및 시운전 업무를 수행하는 데 필요한 전반적인 기술 사양과 제반 조건을 요약하며, 계약자는 모든 공정을 일정 기간 이내에 완료하여 전원장치의 안정적인 성능을 확보해야 한다.

## 2. 공급구분

### 2.1 개요

2.1.1 본 기술시방서에 명기된 모든 설비의 설계, 제작, 설치, 시운전 및 검사를 공급 범위에 포함한다.

2.1.2 본 기술시방서에서는 구입하고자 하는 전원장치, 제어시스템 및 부대설비에 대하여 언급하고 있으며 제작사는 최신기술을 적용하여 KSTAR IRC 전원장치 및 IPS의 운전성능을 충분히 발휘할 수 있도록 신뢰성 있고 안정적인 장치를 제작하여 공급하여야 한다.

2.1.3 계약자는 기술시방서 내용을 완벽하게 이해하고 숙지하여 독자적인 기술력을 바탕으로 최적의 제품을 공급하여야 한다.

### 2.2 공급범위

계약자는 본 기술시방서에 기술되어 있는 제반 조건 및 기준을 만족시켜야 하며 설계, 제작, 설치, 시운전 및 검사 등과 관련된 제반 기술력 및 설비를 필히 확보하고 있어야 한다. 또한, 본 기술시방서에서 요구하고 있는 기술사항과 제반기준에 대하여 필요 시 발주자의 승인을 득한 후 공정을 진행하여야 하며 주관기관의 기술적인 요구 사항에 적극 협조해야 한다. 계약자의 공급범위는 아래 내용과 같다.

#### 2.2.1 품질보증 책임

계약자는 KSTAR IRC 전원장치 및 IPS에 대한 본 기술시방서의 내용을 충분히 숙지하여 설계, 제작, 설치, 시운전을 충실히 수행하여야 하며, 설계, 제작 및 시험 결과와 성능에 대한 품질보증책임이 있다.

#### 2.2.2 도면 승인

계약자는 서류제출 요건에 명시된 문서를 정해진 기간 내에 제출하여 발주자의 승인을 받아야 하며, 제작 착수 전 반드시 설계 도면을 승인받아 제작을 진행하여야 한다(발주처의 승인 이전 제작 금지).

### 2.2.3 제작 수정

관련기술 규격서에 따라 설계, 제작, 검사 및 시험하는 것을 원칙으로 하나, 설계 및 제작과정에서 기능상 변경이 인정되는 부분은 발주자와 충분한 사전협의를 거쳐 성능과 계약금액에 영향을 주지 않는 범위 내에서 수정하여 적용할 수 있다.

### 2.2.4 자격 요건

본 기술시방서의 내용에 부합되는 시스템 구축 경험이 있고, 전원장치, 제어 및 수전설비 등 모든 계통에 대한 제작 및 성능시험 수행능력을 보유한 업체.

### 2.2.5 공급일정

- 1) IRC 전원장치 및 IPS 설계, 제작, 설치 및 성능시험(Dummy 부하 조건)  
: 2023년 8월 말까지 완료(추후 KFE와 협의 가능)
- 2) IRC 전원장치 및 IPS 시운전 완료(IRC 실부하 및 plasma 시험 완료 기준)  
: 2024년 플라즈마 실험 종료 시까지(현재 실험 일정 미정)

### 2.2.6 계약기간

본 계약건의 계약기간은 전원장치 공급 일정과 관계없이 2022년부터 2024년까지 3년으로 한다.

### 2.2.7 납품 장소

제작이 완료된 장치의 납품장소는 한국핵융합에너지연구원 KSTAR 실험동 주 장치실 D3층 및 전원장치실 D3 층 LCS room에 납품 및 설치한다.

### 2.2.8 계약자 공급범위

계약자의 공급범위는 표 2.1 및 2.2와 같으며, 공급범위에 대한 자세한 내용은 제작 사양을 참조하여 제작한다.

표 2.1 계약자 공급범위(IRC 전원장치)

| 순번 | 항 목     | 세부내역   | 수 량   | 비 고    |
|----|---------|--|-------|--------|
| 1  | 전원장치    | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 전원장치 <ul style="list-style-type: none"> <li>● 사양 : <math>\pm 1000V</math>, <math>\pm 7kA</math>, 5분 정격</li> <li>● 전원장치 설계 및 제작 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Topology : 고속제어가 가능한 단상 인버터</li> <li>- Switching frequency : 10kHz</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>   | 1 set | 3.1 참조 |
| 2  | 수전설비    | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ VCB 추가</li> <li>○ AC Power Cable 설치</li> </ul>  | 1 식   | 3.2 참조 |
| 3  | 제어 시스템  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 전원장치 제어시스템 <ul style="list-style-type: none"> <li>● 전원장치 제어(DSP)</li> <li>● ADC, DAC, DIO, Optic I/O</li> <li>● Control cycle : 10kHz</li> <li>● 상위 제어시스템과(LCS)와의 통신 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 10kHz</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>○ LCS (Local Control System) <ul style="list-style-type: none"> <li>● Host <ul style="list-style-type: none"> <li>- 서버급 PC</li> <li>- OS : Real-Time patched Linux</li> <li>- EPICS</li> </ul> </li> <li>● RFM interface for real time Network</li> <li>● TCP/IP for machine Network</li> <li>● Digital I/O for interlock</li> <li>● 전원장치 제어시스템과의 통신 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 10kHz</li> </ul> </li> <li>● DAC for monitoring</li> </ul> </li> </ul> | 1 set | 3.3 참조 |
| 4  | Utility | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 전원장치 냉각시스템 설치 <ul style="list-style-type: none"> <li>● 메인 배관과 절연호스로 연결</li> </ul> </li> <li>○ DCDS 설치 <ul style="list-style-type: none"> <li>● 용도 : 실부하, 더미부하 연결</li> </ul> </li> <li>○ 장치 운전에 필요한 설비 구축 <ul style="list-style-type: none"> <li>● 신호선, 케이블 트레이 등</li> </ul> </li> <li>○ 버스바 <ul style="list-style-type: none"> <li>● 전원장치와 Dummy load 연결</li> </ul> </li> <li>○ 출력케이블 <ul style="list-style-type: none"> <li>● 전원장치 출력과 IRC 부하 연결</li> </ul> </li> <li>○ UPS 전원 <ul style="list-style-type: none"> <li>● MPS실 UPS 사용</li> </ul> </li> </ul>   | 1식    | 3.4 참조 |

표 2.2 계약자 공급범위(IPS)



| 순번 | 항 목    | 세부내역  | 수 량   | 비 고              |
|----|--------|---|-------|------------------|
| 1  | 전원장치   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ IPS <ul style="list-style-type: none"> <li>• 사양 : <math>\pm 500V</math>, <math>\pm 5kA</math></li> <li>• 전원장치 설계 및 제작</li> </ul> </li> </ul>   | 1 set | 4.1 참조           |
| 2  | 수전설비   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 차단기(ACB) 설치</li> <li>○ Power Cable(차단기 -&gt; 전원장치)</li> <li>○ 출력케이블 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 전원장치 -&gt; 필터</li> <li>• 필터 -&gt; Patch Panel</li> </ul> </li> <li>○ 분전함 등</li> <li>○ 통신 케이블 등</li> <li>○ 출력 노이즈 저감 필터</li> </ul>   | 1 set | 4.1 참조<br>4.2 참조 |
| 3  | 제어 시스템 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Local Control System <ul style="list-style-type: none"> <li>• Host : Single Board Computer <ul style="list-style-type: none"> <li>- Scientific Linux, EPICS</li> </ul> </li> <li>• RFM for Real Time Network</li> <li>• Digital I/O B/D for Interlock</li> <li>• FPGA Board 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- Platform : uTCA.4</li> <li>- DSP Board와 연결</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>○ 전원장치 제어 <ul style="list-style-type: none"> <li>• DSP : TMS320C6671 [권장사양]</li> <li>• ADC, DAC, DIO, Optic IO</li> <li>• Control cycle : 10kHz</li> </ul> </li> </ul> | 1 set | 4.3 참조           |

### 3. IRC 전원장치 제작 사양

### 3.1 전원장치

#### 1) 전원장치 설계

- 출력전압 :  $\pm 1000\text{V}$
- 출력전류 :  $\pm 7\text{kA}$ 
  - Stack 병렬 구성
  - Stack간 불평형을 : 5% 이하
- 스위칭 주파수 : 10kHz 이상
- 운전모드
  - Local 운전 : LCS(Local Control System)에서의 장치 운전
  - Remote 운전 : KSTAR 제어시스템에 의한 운전
- 제어모드
  - 전압모드 : Open loop voltage control
  - 전류모드 : current feedback control (Bandwidth : Max 1kHz)
- 냉각방식 : Cooling water
- 운전시간 : 최대 5분
- 부하 파라미터 :  $14.26\text{m}\Omega$ ,  $0.56\text{mH}$
- 수량 : 1 set

#### 2) 컨버터 설계

- 컨버터 회로 및 용량 설계
- Precharging 회로 설계
  - 충전 완료 시간은 Precharging 버튼 조작 후 5초 이내에 완료
- DC link 용량 설계
  - 정격전류에서 최대속도로 회생 시 Over voltage가 발생하지 않도록 Capacitor 설계
  - 전원장치 운전에서 DC link 전압이 1000V 이하로 내려가지 않도록 설계
  - 플라즈마 붕괴(Plasma disruption)시 부하 코일 양단에 최대 500V의 전압이 유기될 수 있으며, 이로 인해 DC Link 전압이 상승하지 않도록 보호회로 설계 (DB switch & resistor) 그림 3.1 참조.
- 방전회로 설계 : DC Link 설계 시 방전저항은 그림 3.1과 같이 2가지를 설치하

여야 하며, 저속/고속 방전회로의 요구조건은 아래와 같다.

- 저속 방전회로 : 시정수는 20분 이내
- 고속 방전회로 : 시정수는 5분 이내
- 고속방전 스위치(S1) 동작 조건
  - Switch Open
    - 상시
  - Switch Close
    - VCB가 OFF 되어 있을 때만 동작

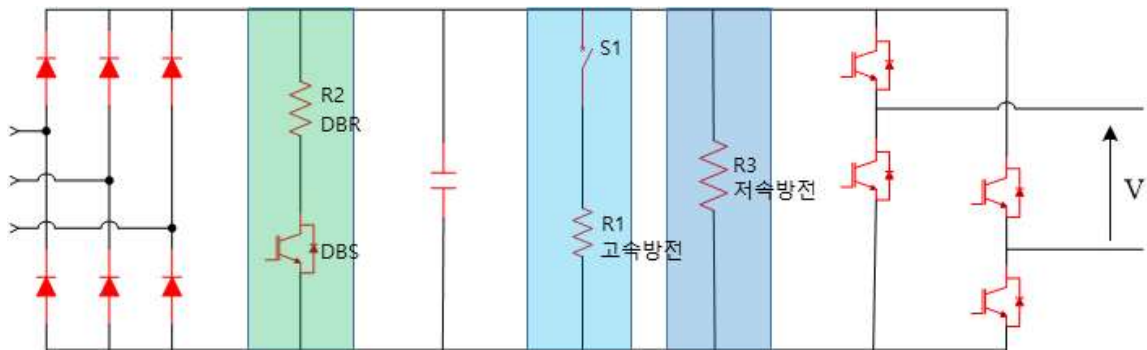


그림 3.1 IRC 방전저항 설치 개념도

### 3) 인버터 설계

- topology
  - 고속제어(10kHz)가 가능한 단상 인버터 방식 적용
- 인버터 Stack 병렬 구성
  - Stack 전류 정격 : (7kA/병렬 수)의 120% 이상 적용
  - Stack 사이의 전류 불평형은 stack 정격의 5% 이내가 되도록 설계
- 스위칭 주파수 : 10kHz 이상
- 냉각방식 : Cooling water
- 유지보수를 쉽게 할 수 있도록 설계

### 4) 인버터 출력 노이즈 필터 설계

- 계약자는 전원장치 출력에 스위칭 노이즈 저감을 위한 필터 설계를 해야 하며,

설계조건은 아래와 같다.

- ① CM(Common Mode) Noise 감소율 : -10dB 이상
- ② DM(Differential Mode) Noise : 50% 이상 감소(스위칭주파수 기준)
- 계약자는 필터 설계 시 요구 사항이 있으면 발주처에게 요청한다.
- 출력 노이즈 저감은 IRC 전원장치 제작 목적 중 하나이므로 계약자는 필터 설계에 신중하게 진행하여야 한다.

5) 전원장치에 필요한 냉각수 유량, 압력 설계

- 전원장치 유량 설계
- 압력 : 주 배관 7.5bar
- 압력조절밸브 사용
- 사용압력 : 6.5bar( $\Delta P$  : 2bar 이상)

6) 전원장치 보호를 위한 고장 검출 기능 설계

7) 전원장치 출력전압, 출력전류 센서는 각각 2set

- 1 set는 장치 제어 및 모니터링 용도
- 1 set는 예비품

8) 구조설계 시 고려사항

- 냉각수 ON/OFF 밸브는 쉽게 조작할 수 있도록 판넬 하부에 위치
- 판넬 내부 냉각수 Main 배관 Return line에 인터락을 위한 압력 스위치 또는 유량계 설치 [배관은 SUS를 사용]
- 압력계는 눈으로 확인할 수 있게 판넬 외부에 설치(큰 압력계 설치)
- 판넬 내부에 압력조절기, 압력계, 유량계, 온도계 등 설치
- 전원장치 내부 전장품 고장 시 쉽게 교체할 수 있도록 설계
- 냉각수 누수 감지 센서 설치(인터락 적용)
- 모든 부속품은 교체가 쉽게 설계

9) 전원장치 설치 위치는 그림 3.2와 같이 IVC 전원장치 옆에 설치할 예정이다.

- 전원장치 설치 위치는 변경될 수 있다.



그림 3.2 IRC 전원장치 설치 위치(KSTAR 주장치실 D3층)

## 3.2 수전설비

IRC 전원장치는 IVC 전원장치 변압기를 사용하고, VCB는 사양은 아래와 같다.

### 1) VCB 사양 (변압기 2차측)

- 정격 전압 : 7.2kV
- 정격 전류 : 3,150A
- 정격 차단 전류 : 31.5kA

### 2) 고전압 배전반

- VCB반은 IVC 및 IRC VCB 2단 적재 권장(2단 적재 불가능 시 각각 제작)
- 변압기와 VCB반은 열반하여야 하며, VCB 1차측은 버스바로 연결
- 그림 3.3은 현재 설치되어 있는 수배전반 도면이며, 설계 시 참고용으로 사용.
- 변압기 온도 감소를 위한 냉각 fan을 설치한다.
- 냉각 fan은 온도에 따라 자동으로 동작할 수 있게 한다.
- 설계 시 필요한 내용이 있으면 KFE 담당자에게 요청한다.

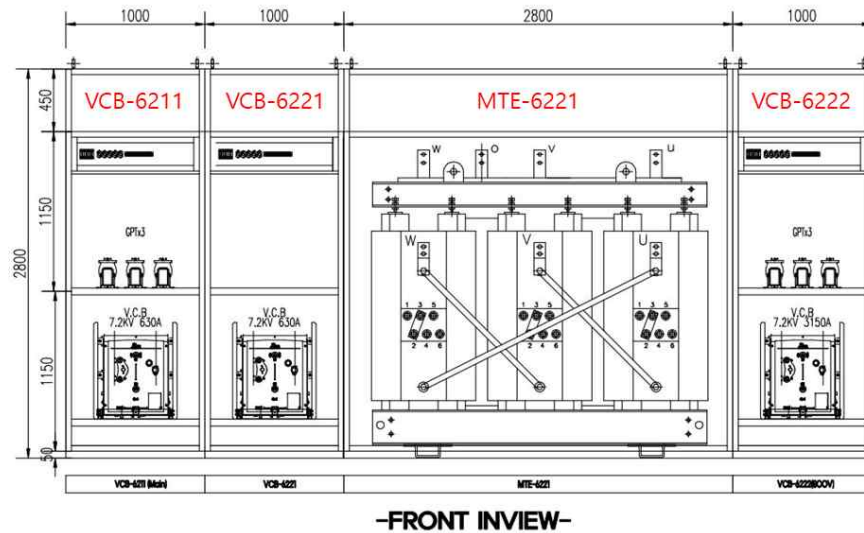


그림 3.3 수배전반 도면

## 3) 전원장치 출력케이블

- IRC 전원장치 출력라인은 케이블로 설치한다.
- 케이블은 1000V 이상, 240SQ 이상의 제품으로 사용하여야 한다.
- 케이블 가닥수는 +/- 각각 4가닥씩 8가닥을 설치한다.
- 케이블은 인덕턴스 및 노이즈 저감을 위해 quadruple 방식으로 포설한다.
- 케이블 길이는 계약자가 현장에서 실측하여야 한다.
- 케이블 설치는 그림 3,4와 같이 주장치실 D3부터 D1층까지 설치한다.

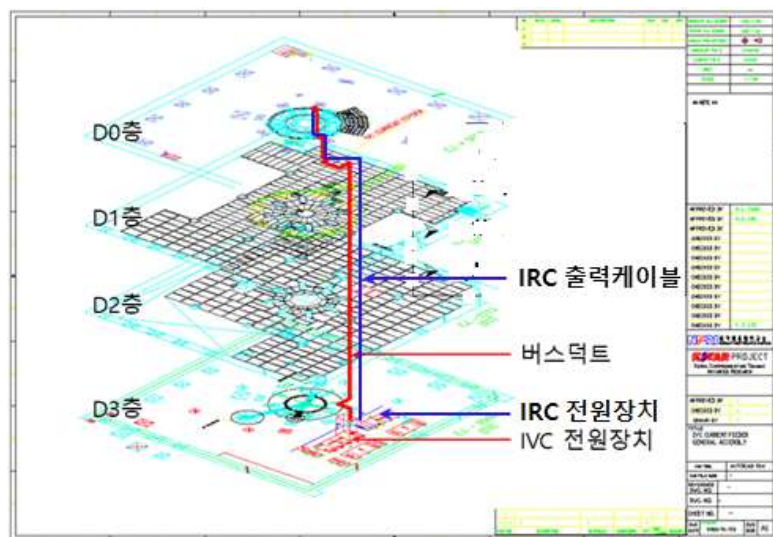


그림 3.4 IRC 전원장치 출력케이블 설치 위치(주장치실)

## 4) 일반 케이블

- 차단기 2차측 부터 전원장치 컨버터 회로까지 AC 케이블 설치
- AC 케이블은 전원장치 설계 후 가닥 수를 선정한다.
- 전원장치 기존 UPS 전원 케이블 철거 및 신규 설치
- 제어용 광케이블등 설치(현장 실측 필요)
- 케이블 용량은 설계에 따르며, Cable tray 설치 필요
- Cable tray 설치 시 고압 케이블, 저압 케이블, 통신케이블을 분리
- 전원장치 메인 접지 케이블은 신규 설치한다.
- 기타 케이블 관련 사항은 계약 후 담당자와 협의

#### 5) 기타

- 출력라인과 접지 사이 내전압 6kV 이상

### 3.3 제어시스템

IRC 전원장치는 고속 제어를 위하여 상위 제어시스템으로부터 전원장치에 이르기까지 통신 딜레이를 최소화할 수 있는 시스템을 요구하며, 구성도는 아래의 그림 3.5와 같다. 제어시스템은 DSP를 활용한 전원장치 제어기와 상위 제어시스템인 LCS로 구성하며, 다음의 역할을 필요로 한다.

- Local host에 의한 전원장치 운전 (Local operation)
- KSTAR Control System과의 연결 및 운전 (Remote operation)
- 전원장치의 상태진단 및 보호회로 동작
- 운전데이터의 서버(MDSPlus Server) 저장

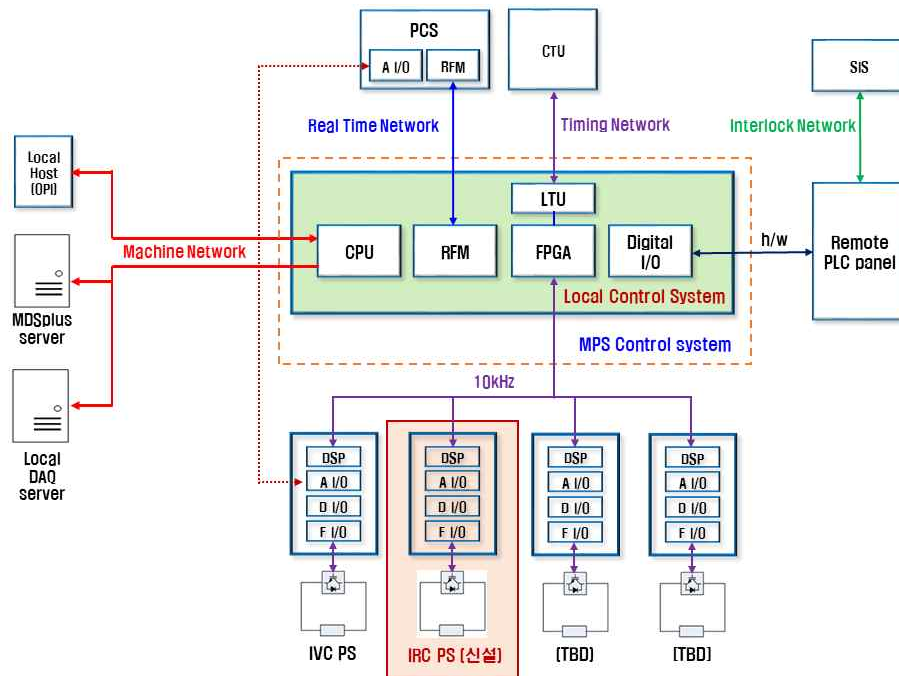


그림 3.5 IVC &amp; IRC 제어시스템 구성도

### 3.3.1 LCS (Local Control System)

LCS는 전원장치의 상위제어 시스템으로 기 설치되어 있는 IVC 전원장치용 LCS의 사용을 적극 권장하며, 신설되는 IRC 전원장치의 DSP 제어기는 LCS와 연결된다. LCS의 기능 및 사양은 아래와 같다.

#### 1) KSTAR Control System 과의 연결

- Machine Network (Gigabit Ethernet)
  - TCP/IP 방식으로 연결되며, EPICS CA(Channel Access)를 통해 정보 교환
  - 전원장치 운전에 필요한 파라미터 및 명령 전송 (저속 데이터)
- RT(Real Time) Network
  - RFM(Reflective Memory) card를 이용하여 RT Network에 연결
  - PCS(Plasma Control System)과 실시간으로 고속 데이터(레퍼런스, 출력 전압/전류 등)에 대한 정보 교환
- Interlock Network
  - hard-wiring을 통한 Interlock Network에 연결
  - KSTAR 인터락 정보 수신 및 전원장치 인터락 정보 송신



- TSS(Timing Synchronization System)
  - Timing Network으로 연결
  - 시간 동기화를 위한 클럭 및 트리거 신호 전송

## 2) LCS 사양

- H/W 사양 (IVC PS용 LCS 사양)
  - 시스템 구성
    - 서버급 PC 사용
    - PC의 PCIe 슬롯에 RFM card, 전원장치와의 통신 card, Digital I/O card, DAC card 등 연결
  - 서버급 PC 사양
    - CPU 3GHz, multi-core (전원장치 4대 동시 제어 가능)
    - 저장장치 : 운전데이터의 Local 저장방식에 따라 아래 구성 방식 중 택 1
      - a. RAM disk 사용 : RAM 128GB 이상, RAM disk 부분 할당 (운전데이터 저장용) + SSD TLC 500GB 이상 (OS 설치용)
      - b. NVMe disk 사용 : RAM 32GB 이상 + NVMe M.2 500GB 이상 (OS 설치와 운전데이터 저장공간 파티션 분리)
  - 통신카드 : Gigabit Ethernet 연결용 (Main 보드에서 연결)
  - RFM Interface 카드 : RT Network 연결용
  - Digital I/O 카드 : 인터락 연결용
    - I/O : Input/Output 각 16 channel 이상 (PLC I/O와 연결)
    - 인터락용 PLC의 경우, 24V를 사용하므로 호환성 필히 확인할 것
  - DAC 카드 : Analog 출력 (8 channel)
    - 4채널 : LCS 전면에서의 모니터링 용도
    - 4채널 : 전원장치에서의 모니터링 용도이므로 광으로 전송해야 함
  - 통신카드 : 전원장치 제어기와 연결(통신주기 : 10kHz)
    - LCS와 전원장치 4대 연결이 가능하도록 구성
    - RFM과 DSP 간의 실시간 데이터 입출력 기능 수행 (10kHz)
    - LTU(Local Timing Unit, KFE 제공)로부터의 TTL 클럭 신호(10kHz) 수신 및 CPU에서 인터럽트 발생 (TTL 신호 수신을 위한 DI 기능 필요)

- S/W 사양
  - Real-Time patched Linux : 아래 제안 중 택 1
    - Scientific Linux 7 + MRG-R
    - Rocky Linux 8.5 이상 + MCore Utils
    - Ubuntu LTS 20.04 이상 + Xenomai
  - EPICS 7.0.6 이상
- 기타 사양
  - OPI는 IVC 전원장치용 PC에 CSS를 이용하여 구성할 것
  - \* IRC PS용 LCS는 IVC PS용 LCS를 이용하여 개발하는 것을 적극 권장하며, 불가능할 경우에는 위 사양을 참고하여 동일한 사양 및 기능을 갖도록 제작해야 함.

### 3.3.2 전원장치 제어기

전원장치 제어기는 전원장치를 직접 제어하는 것으로 DSP 등을 활용하여 제작사에서 개발하여야 하며, 아래의 요구조건을 만족시켜야 한다.

#### 1) 전원장치 제어

- 인버터 switching frequency : 10kHz
- open loop control (전압모드), feedback control (전류제어)
- Analog I/O, Digital I/O, Optic I/O
  - 모든 입력신호는 채널별 isolation
  - Analog 입력신호에 대한 필터 설치 : cut-off frequency는 추후 협의

#### 2) LCS와의 통신

- 통신주기 : 10kHz
- 통신방법 : 제작사 설계에 따름
  - 현재 설치가 진행 중인 LCS를 IRC 전원장치와 공유하기 위해서는 IVC 전원장치에서 사용하고 있는 DSP[TMS320C6671] 사용을 권장하며, 다른 DSP를 사용하고자 하는 경우에는 LCS와의 연결방법을 기술제안서에 명시하여야 함

### 3.3.3 전원장치 운전 및 모니터링 시스템

IRC 전원장치의 시운전은 전원장치실 또는 LCS room에서 이루어지며, 두 곳 모두에서 장치의 운전 및 데이터의 모니터링이 가능하도록 시스템을 구성하여야 한다. 또한 KFE에서 요구하는 PC(2대)에 OPI(CSS)가 동작할 수 있도록 한다.

#### 1) LCS room

- 그림 3.6의 우측과 같이 LCS 하단에 데이터 측정이 가능하도록 Analog output 단자 (BNC type) 4개를 설치
  - LCS에 설치되는 DAC 카드에서 4개의 출력을 output 단자로 연결
- OPI에서 Analog 신호의 종류, scale, offset 선택이 가능하도록 구성

#### 2) 전원장치실

- 전원장치 옆에 19" Rack을 설치하고 내부에 OPI PC를 설치
- OPI PC는 Machine Network에 연결되며, OPI를 이용하여 운전 수행
- Rack 내부에는 아날로그 출력(4ch)이 가능하도록 시스템을 구성
  - LCS DAC 카드에서 4개의 출력을 광으로 전송, 또는 통신을 이용하여 신호를 전송하여 시스템을 구성. DA conversion은 10kHz이며, 성능을 만족하는 범위에서 다른 방식으로 구현 가능
  - OPI에서 Analog 신호의 종류, scale, offset 선택이 가능하도록 구성
- 기 설치되어 있는 IVC 전원장치용 19" Rack 내부의 OPI PC 및 아날로그 출력 활용 권장

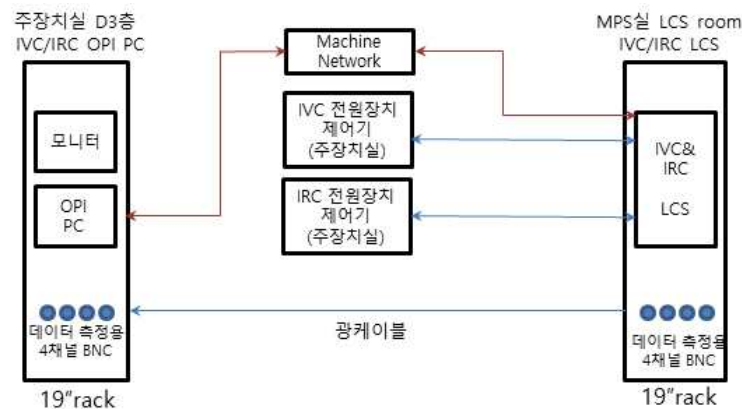


그림 3.6 IRC 전원장치 운전데이터 측정 시스템

### 3.3.4 전원장치 제어시스템 공급범위

IRC 전원장치 제어시스템의 공급범위는 아래의 표 3.1과 같으며, 표에 명시되지 않았지만 시스템 구성에 필요하다고 판단되는 모든 설비는 제작사가 제공하여야 한다.

- 1) LCS Cabinet은 IVC LCS용 19" Cabinet 사용을 권장하며, 신규로 설치가 필요한 경우는 KFE와 협의 필요
- 2) 신호선
  - 장치간 연결 및 KSTAR Control System과 연결되는 모든 신호선 포설
  - 광케이블은 Redundancy를 포함하여 2배수 이상 포설
    - 신호선의 수, 길이 등에 대한 부분은 견적 과정에서 협의 가능

표 3.1 IRC 제어시스템 공급범위

| 항 목      | 수량 | 사 양   | 비 고 |
|----------|----|---|-----|
| 전원장치 제어기 | 1  | DSP를 활용한 장치 제어기 (통신카드 포함)   |     |
| LCS      | 0  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• IVC 전원장치용 LCS 사용 권장               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 하드웨어 변경없이 소프트웨어 수정 및 추가</li> </ul> </li> <li>• 시스템 구성에 필요한 부품이 있으면 추가할 것</li> </ul> |     |
| OPI PC   | 0  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• IVC 전원장치용 OPI PC 활용</li> </ul>   |     |

## 3.4 Utility

### 1) 제어 전원

- 전원장치의 모든 전원은 현재 UPS 220V 전원사용
  - 주장치실 벽면의 UPS 분전함 이용
  - UPS 220V 전원 용량이 부족할 경우 증설한다.
  - 증설할 경우, UPS 전원은 MPS실 PF 전원장치용 분전함에서 용량에 맞는 차단기를 교체하고 용량에 맞는 케이블로 교체하고 한다.

## 2) 냉각수 라인

- 냉각수 Main 배관(Supply, Return)은 전원장치 상부에 설치될 예정
  - Main 배관으로부터 전원장치까지는 절연 호스로 연결
- 유량 : 설계 후 KFE에 통보
  - 유량 정보를 신속하게 발주자에게 통보해야 냉각팀에게 전달됨.
- 장치 내부 절연호스 연결은 모두 피팅 타입으로 연결
  - 호스밴드 절대 사용금지

## 3) 신호선

- 신호선과 고전압 케이블은 트레이를 각각 분리 설치 후 포설한다.
- 전원장치와 LCS 연결
  - 전원장치와 LCS간 신호선은 광케이블로 연결한다.
  - IRC 전원장치에서 LCS room까지 연결되는 케이블은 기존 케이블 루트와 동일하게 포설한다.
  - 케이블 길이는 약 150m로 추정됨(필요시 현장 방문 후 실측)
- 네트워크 케이블
  - 전원장치에서 Machine Network은 주장치실 D3층 IPS LCS 뒤편 허브에 연결 (거리는 약 50m로 추정)
  - LCS와 KSTAR 상위 제어시스템 간의 연결은 LCS room내에서 이루어지며, 계약자는 필요한 케이블을 설치해야 함
- 광케이블 수량은 시방서에서 요구하는 수의 2배로 설치한다.
- 모든 신호선에는 케이블 식별표시를 부착한다.

## 4) DCDS

- DCDS는 그림 3.7과 같이 전원장치 출력과 IRC 부하로 연결되는 출력케이블 사이, 더미로드 상부에 각 1 set를 설치하고, DCDS controller는 IVC용 DCDS control box를 수정하여 구성한다.
- DCDS 사양
  - 전류 :  $\pm 5\text{kA}$  연속 (pulse  $\pm 10\text{kA}$ )
  - 전압 : 1000V 이상
  - 구동방식 : 전동식
  - DCDS 구동 controller 설치

- 수량 : 2set

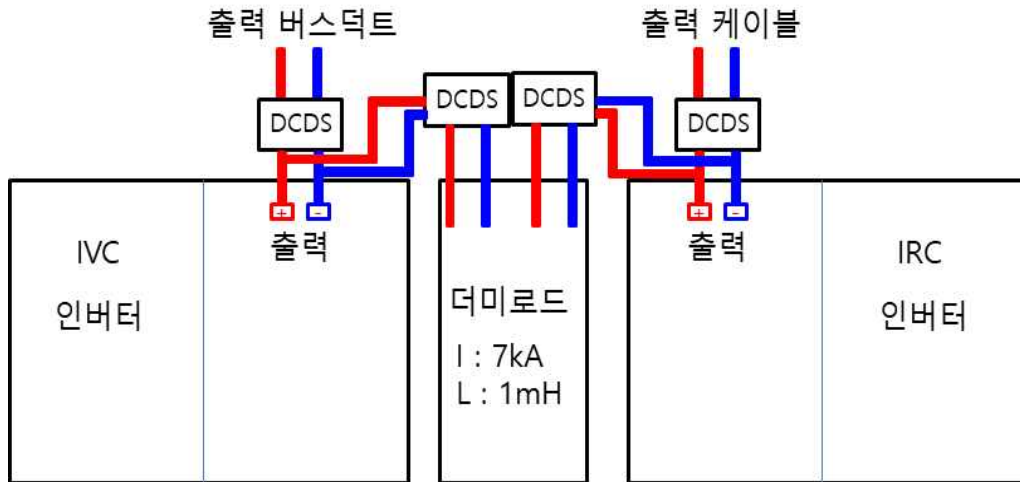


그림 3.7 DCDS 배치(안)

## 4 IPS 제작 사양

### 4.1 전원장치

#### 1) 전원장치 설계

- 수량 : 1 set (1set = 2.5kA 2 병렬구조)
- 출력전압 :  $\pm 500V$
- 출력전류 :  $\pm 5kA$ 
  - Stack(2.5kA) 2병렬 구성
  - 2개의 Stack에 대한 독립운전 및 병렬운전 가능
- 스위칭 주파수 : 10kHz
- 운전모드
  - Local 운전 : LCS에서의 전원장치 단독 및 연동운전 가능
  - Remote 운전 : KSTAR 제어시스템(PCS)에 의한 운전
- 제어모드
  - 전압모드 : Open loop voltage mode
  - 전류모드 : current feedback control (Bandwidth : 1kHz)

\* Local/Remote 운전에서 모두 가능

- 전원장치 topology : 고속제어가 가능한 단상 인버터
- Stack간 current imbalance : 5% 미만(Stack 2.5kA 기준)

## 2) 컨버터 설계

IPS의 개념도는 그림 4.1과 같으며, 세부 설계내용은 아래와 같다.

- 컨버터 설계
  - Precharging 회로 설계
  - 컨버터 용량 설계
- 충전 시정수
  - 충전 완료 시간은 Precharging 버튼 조작 후 5초 이내에 완료
- 컨버터는 3상 다이오드 컨버터를 기본으로 한다.
  - 다이오드 용량 설계

## 3) DC Link 설계

- DC link 용량 설계
  - 정격 운전 시 최저 전압이 550V가 되도록 설계
- DC Link에 사용되는 콘덴서는 전해 콘덴서를 사용해서는 안된다.
- DC Link 설계 시 방전저항은 그림 4.1과 같이 2가지를 설치하여야 하며, 저속/고속 방전회로의 요구조건은 아래와 같다.
  - 저속 방전회로 : 시정수는 5분 이내
  - 고속 방전회로 : 시정수는 30초 이내
  - 고속방전 스위치(S1) 동작 조건
    - Switch Open
      - 제어기에서 Capacitor의 충전명령이 있을 경우 [Precharge on]
    - Switch Close
      - 제어전원이 차단되어 있을 경우
      - 제어기에서 Capacitor에 충전명령이 없을 경우 [Precharge off]

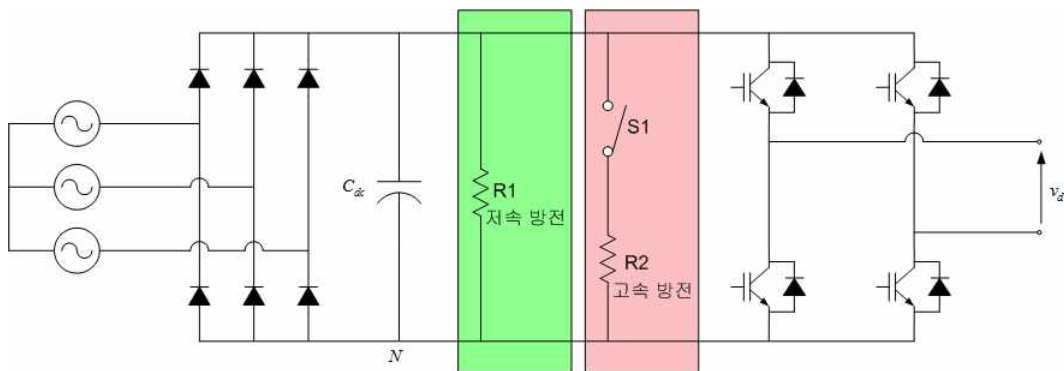


그림 4.1 IPS 방전저항 설치 개념도

#### 4) 인버터 설계

- 인버터 사양
  - 출력전압 :  $\pm 500\text{V}$
  - 출력전류 :  $\pm 5\text{kA}$
  - 인버터 구성
    - 인버터는 2.5kA stack 2개를 병렬로 구성
    - 출력전압 센서 : 1kV급 DC+AC 측정 가능 (2EA)
    - 출력전류 센서 : 3kA급 DC+AC 측정 가능 (2EA)
  - 스위칭 주파수 : 10kHz
  - 냉각방식 : Water Cooling
  - 운전시간 : 최대 5분 이상
  - 인버터 topology : 고속제어가 가능하고 노이즈 발생이 적은 topology 선택
- 전원장치에 필요한 냉각수 유량, 압력 설계
- 인버터 설계 시 current imbalance 및 overload 정격을 고려하여 최대 2.75kA 1분 이상 운전이 가능하도록 설계, 제작하여야 한다.
- 시운전 또는 Simulation을 위한 운전 시나리오
  - DC 5kA, 5분 운전 (RMP 제어성능 확인)
  - AC 1kA, 1kHz sine waveform (RWM 제어성능 확인)
  - DC 4kA + AC  $\pm 500\text{A}/1\text{kHz}$  sine waveform (기타 제어성능 확인)

#### 5) 전원장치 내부 회로에 필터 설치



- 입력측 필터 설계조건
  - 인버터에서 발생한 스위칭 노이즈가 수전측으로 유입되지 않도록 설계
- 출력측 필터 설계조건
  - 반도체 소자의 턴 온/오프 시 발생하는 피크 전압 제한
  - 코일 양단의 전압이 상승되지 않도록 할 것
  - 출력케이블 및 출력단자에서 발생하는 스위칭노이즈가 접지 및 타 설비에 전파되지 않도록 할 것
  - 단, 출력필터로 인하여 시스템의 응답특성이 지연되어서는 안된다.

#### 6) 전원장치 출력 필터 설치

- 필터 사양
  - Capacitance : 12uF
  - Inductanc : 910uH
  - Resistance : 500Ω
  - Cut-off frequency : 6.7kHz
- 수량 : 1set
- 출력필터는 기존 IPS 출력필터를 참고하여 동일하게 제작 설치한다.
- Inductor : 나노크리스탈 코어

#### 7) 보호회로 구성

- 전원장치 보호를 위한 고장 검출 기능
  - DC Link overvoltage / undervoltage
  - Output overvoltage
  - Output overcurrent
  - Stack overcurrent
  - Cooling water flow fault
  - Gate driver fault
  - 기타
- 위 기능 이외에 필요하다고 판단되는 내용은 추가 가능

#### 8) 판넬 설계

전원장치 판넬 설계 시 아래 내용을 충분히 고려하여야 한다.

- IGBT 및 Capacitor에 연결되는 판 버스바 등은 몰딩처리 한다.
- 하나의 판넬에 하나의 전원장치(컨버터, 2.5kA stack 2병렬)를 구성한다.
- 판넬 상부에 stack 출력라인(버스바) 각각 배치
  - o Stack의 출력은 patch panel까지 각각 연결이 되며, 5kA 운전을 위한 Stack의 병렬연결은 patch panel 내부에서 이루어진다.
- 냉각수 입력 및 출력은 판넬 상부에 위치
  - o 판넬 내부에 메인 입력 압력계, 감압기(입력), 압력계(입,출력), 유량계(출력), 온도계(입, 출력) 등 설치
  - o 판넬 내부 냉각수 메인 Return line에 인터락을 위한 flow switch 설치
- Panel 전면에 표시램프 설치
  - o 전원장치 상태 표시 : RUN, STOP, Ready, Fault 등
- Panel 전면에 E-STOP 스위치 설치(커버용)
- Panel 전면에 디지털 메타 설치
  - o 냉각수 온도 표시계 설치 [2EA, Supply/Return 온도]
  - o DC Link Voltage
- 타워램프 설치 (LED type, 4색)
  - o 청색 : 제어전원 투입, 녹색 : Ready, 주황색 : Fault, 적색 : Run
- 게이트 보드에 게이트 파형 측정을 위한 테스트 핀 설치
- 유지보수가 용이하도록 구조설계 및 전장품 설치
- 판넬 접지는 접지함에서 각각 연결한다.(버스바로 연결 권장, 추후 협의)
- 판넬 내부 전장품 접지는 접지 버스바에서 각각 연결한다.
- 판넬 간 연결되는 케이블은 상부 덕트를 이용하여 포설 한다.
- 판넬 크기
  - o 기존에 설치되어 있는 IPS panel과 동일한 사이즈로 제작한다.
- 판넬 바닥 고정 시 절연을 해야 한다.
- 위 항목외 장치의 안정성 강화를 위해 필요한 사항 도출 시 제작사에서 추가 설치한다.

## 9) 시스템 특징 및 요구사항

- IPS의 운전에 있어서 중요한 것은 고속의 전류 driving이 가능하도록 빠른 응

답특성을 갖는 것이다.

- IPS의 운전 패턴은 규칙적이지 않지만 DC  $\pm 5\text{kA}$  및 AC  $\pm 1\text{kA}$  범위에서 운전되며 또한 AC로 운전될 경우 bandwidth는 수 kHz로 운전될 수 있다. 제작사는 이점을 숙지하여 제작하여야 한다.
- 제작사는 설계 시 필요한 사항이나 추가사항이 발생될 경우 담당자와 협의하여 진행한다.
- 전원장치는 단독 운전과 연동 운전이 가능하여야 하며, 단독 운전 시에는 서로 간 간섭이 없어야 한다.
- 전원장치 제작 시 유지보수가 용이 하도록 제작한다.
- 운전 시 다른 장치들에게 IPS에 의한 노이즈 영향을 주지 않아야 한다.
- 개발된 제어프로그램 소스는 기관에 귀속한다.
- Stack간 current imbalance는 5% 미만으로 제작한다.
- 전원장치, 수전설비, 제어 등 엔지니어링 마진은 약 10% 이상으로 제작한다.
- 전원장치 명판은 “IPS 6”으로 한다.

#### 10) 공급범위 요약

- 수전설비 (Power system, power cable)
  - 변압기는 기존 설비 사용한다.
  - ACB는 기존 IPS 1 ACB 판넬을 이용 권장
  - 전원장치 신규 제작, 설치에 따라 차단기부터 전원장치까지의 전력케이블은 신규로 설치
- 전원장치 : 신규 제작 “4.1 전원장치 설계” 참조
- 전원장치 제어시스템
- 각 시스템 설치, 시험 등
  - 신규 전원장치 설치
  - 전원장치 및 제어시스템 성능시험

## 4.2 수전설비

### 4.2.1 개 요

KSTAR 장치의 플라즈마 시험 시 IPS에 안정된 전원을 공급할 수 있도록 구축함을 원칙으로 하며, 구성 품목은 차단기, 변압기, 전력케이블 등으로 이루어진다.

### 4.2.2 수전설비

수전설비는 주장치실 하부(D3)에 설치되어 있으며, 공급범위는 아래와 같다.

#### 1) 저압차단기 (ACB)

- 기 설치되어 있는 ACB와 동일한 제품 사용
- 과전류 차단기능
- 수량 : 1EA
- ACB : IPS 1 판넬를 2층 구조로 설치 권장  
(2층 구조가 안될 경우 차단기 판넬 신설)
- 설치 위치 : 주장치실 D3층

### 4.2.3 수전설비 공급범위

IPS 수전설비 공급범위는 아래의 표 4.1과 같다.

표 4.1 IPS 수전설비 공급범위

| 항 목 | 수 량  | 사 양   | 비 고 |
|-----|------|---|-----|
| ACB | 1 EA | <ul style="list-style-type: none"> <li>● ACB panel : 1면 [ACB 2단 적재] <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2단 적재 불가능 시 신규 제작</li> </ul> </li> <li>● 변압기에서 ACB까지 결선 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 전원장치 용량에 맞게 Busbar 설치</li> </ul> </li> </ul>  |     |
| 케이블 | 1 식  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● ACB에서 IPS 컨버터까지의 결선 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 케이블 단면적 : <math>240\text{mm}^2</math></li> </ul> </li> <li>● 인버터에서 필터까지의 결선 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 케이블 단면적 : <math>240\text{mm}^2</math></li> </ul> </li> <li>● 필터에서 patch panel 까지 <ul style="list-style-type: none"> <li>- PNCT 케이블 단면적 : <math>240\text{mm}^2</math></li> <li>- 케이블 색 : 검정색</li> <li>- 케이블 수량 : +/- 각각 2가닥 포설</li> </ul> </li> </ul> |     |

#### 4.2.4 수전설비 설치 절차

- 1) 수전설비 입고에 대해서는 현장책임자와 충분히 협의하여 입고한다.
- 2) 수전설비는 헬륨실 장비 반입구를 통해 하역하고 주장치실(D3층)로 입고한다.
- 3) 수전설비의 이동 및 입고에 관련된 작업은 외부업체(도비), 현장관리자(제작사), 현장책임자(KFE)와 같이 진행한다.
- 4) 작업 전 작업자들은 안전바, 안전화 및 안전모를 착용하도록 하며, 전원장치 입고 시 헬륨설비실 및 D1, D2층의 개구부 주면에는 안전 Fence 및 감시자를 배치한다.
- 5) 헬륨 설비실의 크레인을 이용하여 헬륨 설비실, D1 및 D2층의 개구부를 연다.
- 6) D3층까지 수전설비를 내릴 수 있는 Bar를 크레인에 걸고 장비를 이동한다.
- 7) D3층까지의 장비 반입이 완료되면 D1, D2 및 헬륨 설비실의 개구부를 크레인을 이용하여 닫도록 하며, 주변의 Fence를 철거한다.
- 8) 출력 케이블은 인덕턴스를 최소화할 수 있는 포설방법을 설계하여 발주처의 승인을 받은 다음 설치해야 한다.

#### 4.2.5 Utility

- 1) 전원장치 제어전원
  - 전원장치에 필요한 제어전원은 기존 IPS 분전반을 이용한다.

- 분전반 내부 차단기가 부족할 경우 차단기 증설 후 연결한다.
- 차단기 설치가 안될경우 분전반을 신규 제작한다.
- 신규 제작할 경우 IPS 전체에 대한 용량 계산 후 설치한다.
- 신규 제작할 경우 차단기 여유분을 설치한다.
- 내부 차단기는 전원장치 각각에 전원을 연결할 수 있도록 설치한다.

## 2) 접지

전원장치 접지는 기존 IVC 전원장치에 사용되고 있는 접지케이블을 이용한다.

- 위치 : 주장치실 D3층 남쪽 벽
- 케이블 굵기 : GV 150SQ
- 기 설치되어 있는 IVC용 케이블을 설치한 접지 분전함에 연결하여 IPS에 분기하여 연결한다.
- 전원장치 외에(제어시스템, DCDS 등) 필요한 접지는 분전함에서 각각 연결한다.  
(절대로 접지를 점퍼 연결하지 말 것)

## 3) 수전설비 전원용 분전함

- 위치 : 주장치실 D3층 동쪽 벽면에 설치
- 전압 종류 : DC 100V 및 AC 220V 전원
- DC 전원 : 전원은 기존 분전함 차단기를 사용하고 여유분이 없는 경우 추가
- AC 전원 : IVC용 UPS 전원 사용
- 분전함 내부 차단기는 설계 후 필요한 차단기 수를 확인 후 여유분 추가 설치

## 4) 제어시스템 연결

- IPS 제어시스템과 상위 제어시스템 및 ACB와의 연결은 아래의 표 4.2와 같다.

표 4.2 IPS 제어시스템과 상위 제어시스템과의 연결

| 시스템 | Network           | 케이블 종류           | 이격거리 | 설치  |
|-----|-------------------|------------------|------|-----|
| CCS | TCP/IP            | Ethernet cable   | TBD  | 공급사 |
| PCS | Real Time Newtork | Optic cable      | TBD  | 공급사 |
| TSS | Timing Network    | TBD              | TBD  | TBD |
| SIS | Interlock Network | hard wired cable | TBD  | TBD |
| ACB | -                 | hard wired cable | TBD  | 공급사 |

\* ACB는 IPS의 입력단에 위치해 있으며, DSP 제어기에서 on/off 제어 및 상태 확인을 위한 케이블 포설이 필요함.

#### 5) 냉각배관 절연호스 설치(전원장치 냉각수 공급 배관)

- 절연호스는 냉각수 메인 배관과 전원장치 냉각수 배관 사이의 절연 및 연결을 위한 것으로 길이는 냉각수 배관과 전원장치의 설치 완료 후 길이를 측정하여 설치한다.
- 절연호스는 연결부위에 누수가 없어야 한다.(압력시험 필요)

## 4.3 IPS 제어시스템

### 4.3.1 제어시스템(LCS) 개요

IPS의 제어시스템은 전원장치 제어기와 LCS로 구성되며, 그 역할은 3.3에서 설명하는 IRC 전원장치의 제어시스템과 동일하지만 LCS의 구성에서 차이가 있다. 현재 KSTAR에서 IPS는 5대가 운영되고 있으며, 본 계약은 1대를 추가하는 것으로 기존에 설치된 IPS와 동일한 성능을 낼 수 있도록 제어시스템을 구성하여야 한다. IPS LCS는 uTCA.4를 Hardware platform으로 사용하고 있으며, 개념도 및 시스템 구성은 그림 4.2, 4.3과 같다.

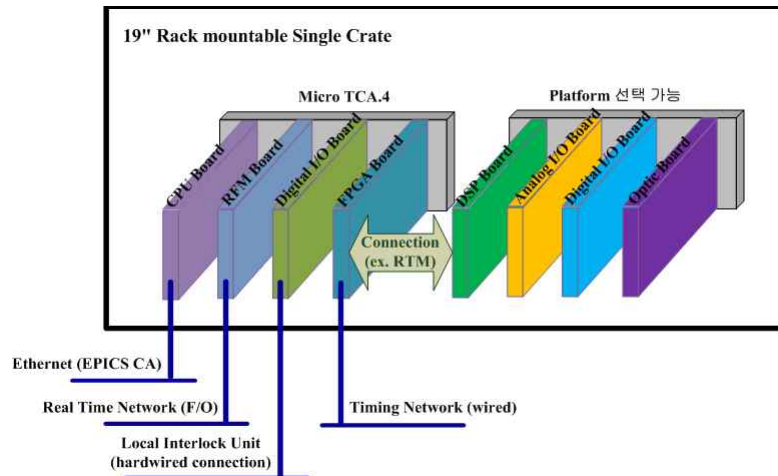


그림 4.2 IPS 제어시스템 개념도

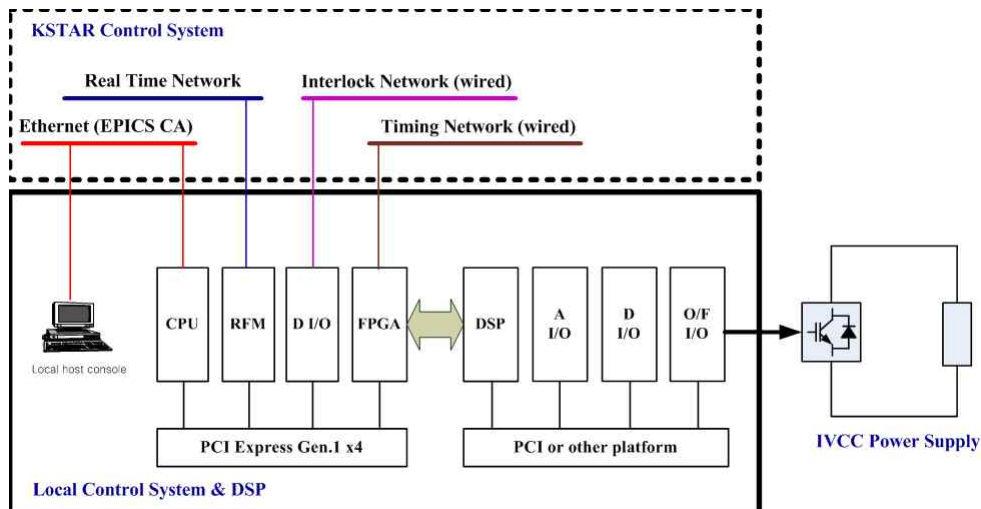


그림 4.3 IPS 제어시스템 구성도

### 4.3.2 제어시스템 사양

IPS 제어시스템은 그림 4.4와 같이 5대의 LCS가 하나의 Cabinet에 설치되어 각 IPS와 연결이 되어 운영하고 있으며, 신규로 추가되는 IPS 및 제어시스템은 기존 시스템을 이용하거나 신규로 추가하여 구성할 수 있다. 입찰에 참여하는 업체는 효율적인 시스템 운영과 설치 공간을 최소화할 수 있도록 시스템을 구성하여야 한다. 현재 구축되어 있는 제어시스템의 사양은 표 4.3과 같다. 장치 운전을 위한 OPI는 CSS로 작성하며, 기 구축된 OPI에서 IPS 한 대를 추가로 구성하여야 한다.



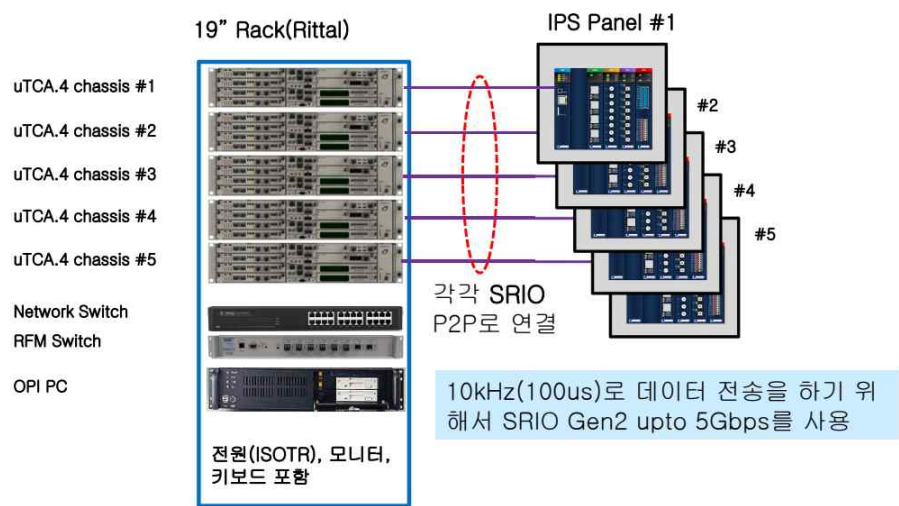


그림 4.4 IPS 제어시스템 구성 및 연결

표 4.3 현재 사용중인 IPS 제어시스템 사양

| 항 목               | 수량 | 사 양   | 비 고         |
|-------------------|----|---|-------------|
| Chassis           | 5  | 19", $\mu$ TCA.4 플랫폼, Power Module, MCH 포함<br>[모델명 : Chassis(VT812), MCH(UTC004)] |             |
| CPU Board         | 5  | Intel® Xeon, 2GHz, 8MB LLC, PCIe x4<br>[모델명 : AMC720]                             | O/S : Linux |
| Digital I/O Board | 5  | 하드웨어 플랫폼( $\mu$ TCA.4)에 호환<br>용도 : 10kHz clock 수신 및 인터락 시스템 연결                    |             |
| RFM Board         | 5  | 128MB, PMC-5565PIORC  |             |
| RFM Carrier Board | 5  | AMC100  |             |
| RFM Optical Hub   | 1  | VMIACC-5595, 8 port   |             |
| FPGA Board        | 5  | 하드웨어 플랫폼( $\mu$ TCA.4)에 호환<br>LCS와 DSP 사이의 고속통신 담당                                |             |
| DSP Board         | 5  | TMS320C6671, 인버터 제어   |             |
| Analog I/O Board  | 5  | DSP와 연결 가능한 플랫폼 선택  |             |
| Digital I/O Board | 5  | DSP와 연결 가능한 플랫폼 선택  |             |
| Optic I/O Board   | 5  | DSP와 연결 가능한 플랫폼 선택  |             |

#### 4.3.4 제어시스템 공급범위

IPS 제어시스템에서 DSP로 구성되는 전원장치 제어기는 신규로 추가되어야 하며, LCS의 경우에는 표4.3을 참조하여 1 set를 추가하거나 기존의 설비를 활용하여 구축할 수 있다. 시스템 구성에 필요하다고 판단되는 모든 설비(KSTAR Control System과의 연결을 위한 케이블 포함)는 공급자가 제공하여야 한다.

### 5. 성능시험 및 시운전

#### 5.1 개요

제작사는 제작하는 장치에 대한 보증 책임을 지며, 장치의 설치 및 조정 작업 완료 후 시스템의 성능을 확인하기 위하여 각종 시험을 제작사가 제출하여 승인된 시운전 요령에 의거 성능시험을 실시한다.

#### 5.2 검사

제작사는 현장에 설비를 설치하기 전에 설치요령, 취급 방법 및 기타 필요한 자료를 제공하며, 설치에 대한 기술지도 및 성능시험 시 입회하여 확인을 득한다. 장치의 입고 수량 검사 완료 전에 발생 되는 원형의 변형을 초래하는 경우는 제작사 책임하에 재제작하여 공급한다.

##### 5.2.1 입고 전 검사

제작사는 설비 제작 완료 후 아래 시험을 실시한 제작회사의 시험 성적서를 장치 납품 시 제출하고 제3공인기관의 시험을 요청한 경우 제작사의 부담으로 실시한다.

- 1) 외관, 치수 및 가공 상태
- 2) 부분 조립 검사
- 3) 시운전 검사(단독기기)
- 4) 전기시험
- 5) 기타

### 5.2.2 입고 후 검사

입고 후 발주자 입회하에 다음의 검사를 실시한다.

- 1) 외관 및 내부 전장품 이상 유무 검사
- 2) 수량 검사
- 3) 설치 검사

## 5.3 성능시험 및 시운전

### 5.3.1 성능시험

계약자는 전원장치의 제작, 설치를 완료하고 성능 검증을 위해 성능시험 진행 계획서를 제출하여 KFE 승인을 득한 후 성능시험 계획서에 의해 시험을 실시 하여야 하며, 시방서에 명기된 성능조건을 만족하도록 하여야 한다. 진행된 시험 결과에 대해서는 결과서를 반드시 제출하여야 한다.

- 시운전은 전원장치 제작 완료 후 KFE와 협의 후 진행한다.
- 성능시험 단계에서 필요한 모든 Cable 및 구성 품목은 전원장치 시험 조건에 적합한 제품을 선정하여 공급한다.
- 성능시험에 필요한 모든 계측기는 제작사에서 제공한다.

### 5.3.2 성능시험 기준

#### 1) 냉각수 가압 테스트

- IVC 전원장치 공급 조건의 1.5배(10bar) 되는 압력에서 1시간 이상 경과 후 모든 지점에서 누수 현상이 없을 것.
- 냉각수 공급 압력은 7.5bar로 운전하고 있음.

#### 2) 전원장치 절연저항 측정

- 제작사는 전기 안전법에 의거하여 검사를 시행한다.
- 절연저항(500V) 기준
- 전원장치 : > 2.5M $\Omega$
- DC Busbar : > 10M $\Omega$

## 3) 전원장치 내전압시험

- 전원장치 출력과 접지 사이에 DC 6kV를 1분간 인가하여 누설전류가 기준치 이하로 측정되어야 한다.
- 누설전류 측정은 장치 내부에 DI water 공급 조건임
- 누설전류 기준값 : 2.4mA DC 6kV 1분 유지

## 4) 전원장치 전류 시험

- 전압 발생 시험
  - 전압모드로 운전
  - 운전모드 및 레퍼런스는 OPI에서 설정
  - 레퍼런스 : KFE와 협의 후 진행
- 정격전류 출력 시험
  - 사인과 및 구형파 20Hz, 60Hz/7kA 5분 운전(주파수는 협의 가능)

## ● 시험 방법

제작사에서 공급한 제어시스템을 이용하며, 정격시험은 추후 KFE와 협의 후 진행하고 제어기 디버깅은 제작사에서 제작한 더미 부하를 이용하여 시험을 진행한다.

- 전장품 이상 유무 확인 및 발열 상태 확인
  - 제작사에서 기준 값을 설계한 후 운전 시 측정 확인
- 노이즈 측정 시험
  - 제작사는 전원장치 출력 노이즈 저감 확인을 위한 시험 진행
  - 전원장치 노이즈 필터 전, 후를 측정하여 노이즈 저감을 입증하여야 한다.

## 5) 제어 시스템

제어시스템을 구성하는 각 모듈은 24시간/365일 동작이 가능하여야 하며 standby 상태의 대기모드를 유지할 수 있어야 한다. 이를 위하여 기술시방서에 명시된 모든 기능 및 성능검사를 수행함과 동시에 시스템의 최대 성능을 측정하여 제공하여야 한다. 시험방식은 KFE와 충분한 협의 후 절차서를 작성하여 수행하며 시험을 위한 장비 및 환경은 제작사가 제공하도록 한다. 단, KSTAR와의 연계 운전이 필요한 사항은 KFE가 지원한다.

- LCS 성능 및 기능시험

시스템의 성능 및 기능시험은 자체시험과 KSTAR 제어시스템과의 인터페이스 시험으로 나누어 수행한다. 또한 모든 검사 및 시험은 수행 전 “검사 및 시험 계획서”를 KFE에 제출하여 승인을 득하고 KFE의 입회하에 실시하여야 하며, 검사 및 시험 항목에는 아래사항을 반드시 포함하여야 한다.

- EPICS device driver 기능시험
- 제어시스템의 event response time 성능 측정
- RFM 입출력 인터페이스의 최대 성능 측정
- 시스템 구성 모듈간의 전달 딜레이 및 처리 시간 측정

#### 6) 기타

공급범위에 포함된 모든 부품들에 대하여 시험 기준을 제작사에서 정하여 공급이 완료된 후에 기준 값에 따라 시험을 진행한다. 기준 미달일 경우 재 제작하여 공급한다.

### 5.3.3 공장 시험(FAT)

제작사는 장치 제작 완료 후 장치의 성능을 확인하기 위하여 발주처 담당자 입회하에 시험을 진행하여야 한다. 공장 시험은 5.3.2 성능시험 기준에 따른다.

- 제작사는 공장시험 진행 전 시험 절차서를 작성하여 발주처 승인을 득한 후에 절차서의 절차에 따라 시험을 진행한다.
- 공장시험은 제어시스템을 이용하여 시험을 한다.
- 정격시험(5분)에 필요한 더미부하, 계측기 등은 제작사에서 제공한다.
- 부품 시험 시 담당자 입회가 필요하면 입회 요청을 한다.

### 5.3.4 현장 시험(SAT)

- 현장시험은 시험 절차서를 작성 후 발주처 승인을 받은 후에 절차서에 따라 시험을 진행한다.
- 시험용 부하
  - IRC 전원장치 : IVC dummy load 사용
  - IPS : IPS dummy load 사용
- 장치 디버깅을 위한 전류시험은 제작사에서 납품한 더미 부하로 진행한다.

- 현장 시험은 4.3.2 성능시험 기준에 따른다.

### 5.3.5 시운전(실부하 시험)

성능시험 완료 후 토카막 장치에 설치된 IRC 및 IVCC 코일에 전원장치를 연결하여 상위 제어기(PCS)에 의한 실험을 진행하며, 제작사는 KFE에서 요구하는 조건을 만족할 수 있도록 협조하고 안정적인 동작 상태를 입증하여야 한다.

### 5.3.6 운전 절차

제작사는 제작 완료 후 공장 시험 시에 운전 절차를 작성하여 절차서에 따라 시운전을 진행 하여야 한다. 또한, 현장 설치 완료 후 전원장치 점검을 위한 점검 절차를 작성하여 KFE 직원과 함께 작성된 절차서에 따라 점검을 진행하여야 한다.

## 5.4 성능보증기간

- 1) 전원장치에 대한 성능보증 기간은 성능시험 완료 후 2년간을 성능보증 기간으로 한다. 제작사는 성능 보장 기간 중 발생 된 사고 및 성능 발휘에 문제가 발생할 경우 모든 책임을 지고 무상으로 교체 또는 교환한다. 단, 천재지변으로 인한 사고에 대해서는 책임을 지지 않는다.
- 2) 제작사는 성능보증 기간 중에는 휴일을 포함하여, 상시 연락 접수창구를 두어 장애신고 접수 후 8시간 내에 조치 될 수 있도록 한다.
- 3) 제작사는 보수체제, 보수 방법에 대해 납품 이전에 KFE와 협의 하여 승인을 받는다.

## 5.5 전원장치 최종 승인

- 1) 장치의 최종 승인은 플라즈마 발생 실험 시 장치의 안정적인 동작 성능을 확인 후 승인한다.
- 2) 2023년 플라즈마 실험은 8월 이후에 시작 예정임.
- 3) 2024년 플라즈마 실험은 미정

## 6. 현장 설치 시 요구사항

### 6.1 케이블 포설시 주의사항

- 1) 모든 케이블에는 name tag를 부착한다.
- 2) 모든 케이블 트레이에는 전력용 및 통신용 케이블로 구분하여 시설하여야 한다.
- 3) 통신케이블과 통신장비 전원용 케이블(220V/380V)을 포설할 때는 반드시 분리해서 포설한다.
- 4) 케이블은 KS 규격 또는 IEC 규격에 맞는 제품을 사용한다.
- 5) 전선관(후렉시블 포함)에 배선을 할 경우에는 굴곡개소 등을 고려하여 전선관의 내 단면적의 50%이하가 되도록 시설한다.
- 6) 전선관 등은 항상 주변 구조물과 수직, 수평, 평행, 직각이 되도록 설치한다.
- 7) 직경이 작은 케이블(통신, 제어케이블 등)의 경우, 케이블 트레이에 펼치지 않고 후렉시블 전선관에 넣어 포설하거나 여러 가닥을 모아 일정 간격으로 묶어준 후 가로바 2칸당 1회 이상씩 케이블 타이를 이용하여 트레이에 고정시킨다.
- 8) 작업을 위해 전원선을 사용할 경우에는 일정한 간격으로 전선에 표식을 달아서 현재 사용하고 있는 부서, 공사명, 담당자명, 연락처 등을 기록해서 작업용으로 임시 설치된 케이블임을 알 수 있도록 하며, 임시사용하고 있을 지라도 정리정돈은 철저히 해야 한다.
- 9) 포설이 완료되지 않은 케이블의 끝부분은 단정하게 정리해 두고 적절한 표식(공사명, 담당자, 연락처, 작업 완료 시점)을 붙여둔다.

### 6.2 현장 설치 조건

- 1) 전원장치는 주장치실 바닥과 절연이 되도록 설치한다.
- 2) 전압의 종별에 따라 특고압, 고압, 저압, 제어용 케이블을 분리하여 포설하도록 한다.

### 6.3 기타

- 1) 작업자는 안전사고가 발생하지 않도록 만전을 기해서 작업한다.
- 2) 산업안전공단에서 정한 안전. 보건 11대 기본 수칙을 준수하여 작업한다.

## [ 안전·보건 11대 기본수칙 ]

1. 작업 전 안전점검, 작업 중 정리정돈
2. 작업장 안전통로 확보
3. 개인보호구 지급·착용
4. 전기활선 작업 중 절연용 방호기구 사용
5. 기계·설비 정비 시 잠금장치 및 표지판 부착
6. 유해·위험 화학물질 경고표지 부착
7. 프레스, 전단기, 압력용기, 등근톱에 방호장치 설치
8. 고소 작업 시 안전난간, 개구부 덮개 설치
9. 추락방지용 안전방망 설치
10. 용접 시 인화성·폭발성 물질 격리
11. 밀폐 공간 작업 전 산소농도 측정

#### 6.4 추가 요구사항

- 1) 현재 전원장치 접지는 KSTAR 접지와 분리되어 단독 접지 사용하고 있음.
- 2) 설계 시 입, 출력에 노이즈 발생을 최소화로 설계.
- 3) 모든 설계 시 마진을 고려하여 설계할 것.
- 4) 장치 등 접지연결은 현재 사용하고 있는 접지를 사용한다.
- 5) 설계 시 요구사항이 있으면 KFE 담당자에게 연락

## 7. 제출자료

### 7.1 기술제안서 포함 목록

입찰에 참여하는 업체는 본 기술시방서 내용을 숙지하여 기술제안서를 작성하여야 하며, 제안서는 기술시방서에 작성된 순서로 작성해야 한다. 또한 입찰참여자는 시방서 내용 숙지 미숙으로 인한 피해는 업체에서 감수한다.

- 1) 전원장치 설계(IRC/IPS 각각 작성, 기술심사진행계획서 참조)
  - 인버터 설계
  - 컨버터 용량 설계



- Precharging 회로 설계
  - DC Link 용량 설계
  - 방전회로 및 DB 회로설계
  - 냉각시스템 설계 (냉각수 압력, 유량 등)
  - 전원장치 보호회로 설계
  - 전원장치 판넬 구조, 스택 배치, 판넬 수량 등 개념 설계
- 2) 제어시스템 설계
- 제어시스템 구성 및 설계
  - LCS와 전원장치 제어기(DSP) 사이의 통신보드 개발 방향
    - 기술시방서에서 요구하는 사양에 대한 적합여부 확인
  - 제어시스템과 인버터 판넬 간 신호선을 전기적으로 분리하기 위한 방법
  - 전압 모드와 전류제어 모드의 latency 특성 비교
- 3) 부대설비 설계
- 노이즈 영향을 최소화하기 위한 필터 설계
  - 기타 전원장치에 필요한 기능 설계
- 4) 수전설비 설계
- 차단기 설계
  - 케이블 설계

## 7.2 제출항목 및 시기

### 7.2.1 적용범위

- 1) 이 시방서는 계약자가 구매자에게 제출해야 할 각종 서류, 도면 및 품질증빙서류 등에 대한 세부요건을 규정한다.
- 2) 계약서 본문(계약일반조건, 계약특수조건, 기술시방서 본문 등)에 규정된 요건은 이 시방서에 기술된 내용에 우선하여 계약자에게 적용한다. 만일, 이 시방서와 계약서 본문내용이 상호 불일치하거나 불명확한 내용이 있을 경우에 계약자는 구매자에게 통보하여 명확한 해석을 받은 후 이행하여야 한다.

### 7.2.2 일반요건

- 1) (계약자 의무) 계약자는 이 시방서에서 정하는 대로 계약 이행을 위한 각종 서류 및 도면을 구매자에게 제출하여야 한다.
- 2) (서류품질) 계약자가 제출하는 서류 및 도면은 정상적인 육안으로 판독이 가능할 수 있도록 작성 또는 복사상태가 양호해야 하며 재복사 또는 전자매체 제작 등이 가능한 상태의 품질이 유지되어야 한다.
- 3) (구매자의 검토) 계약자가 제출하는 서류 및 도면은 계약요건에 따라 업무에 적용하기 전에 구매자의 검토를 받아야 한다.
- 4) (서류식별) 계약자가 제출하는 서류에는 서류명칭, 서류번호, 개정번호, 작성일자 등이 명확하게 기재되어야 하며 서류의 각 면마다 서류번호, 개정번호, 페이지가 표시되어야 한다.
- 5) (서류번호) 계약서요건에 구매자가 제시한 서류분류번호 부여방법이 있을 경우 계약자는 이를 준수해야 한다.
- 6) (서류승인) 계약자가 제출하는 모든 서류에는 작성, 검토, 승인권자의 소속, 직책, 성명, 서명, 일자 등이 포함되어야 한다.

### 7.2.3 서류 및 도면의 제출

- 1) 계약자는 아래에 명기된 사항이 포함된 제작 추진방안 및 추진일정을 제출하여야 한다.
  - 설계, 제작 및 품질관리 방안
  - 설계계산 기술문서 (상용물품은 매뉴얼로 대체)
  - 추진 인력 편성표(인원, 경력 등)
  - 제작 공정표
  - 기타 관련 자료
- 2) 제작 전 및 제작 기간 중 아래 명기한 자료를 전자파일로 제출해야 한다.
  - 프로그램 설계서 및 도면
  - 제작도
  - 제작절차서 (제작절차, 용접절차, 세정절차, 표면처리절차 등)
  - 제작공정에 대한 검사 및 시험 성적서
  - 주요공정의 제작 진행상황 사진
  - 각 공정별 제작방법 및 품질관리 기록서

- 부적합 보고서
  - 검사 및 시험 계획서(ITP)
- 3) 제작 완료 후 아래 명기한 자료를 제출해야 한다.
- 검사 및 시험 성적서
  - 현장 설치 절차서
  - 포장 및 운송 절차서
- 4) 업무진행 상황 보고
- 계약자는 매주 구매자가 지정한 요일에 주간업무보고서를 작성하여 제출하여야 하며, 주간 진도회의는 필요 시 개최한다.
  - 매월 말 진행상황을 월간 진도회의를 통해 보고하여야 하며, 월간 진도 보고서는 문서 및 전자파일 형태로 제출하여야 한다.
  - 이외, 구매자가 특별한 현안에 대하여 기술회의를 요청할 경우, 계약자는 이에 적극 협조하여 회의에 참석 및 발표 등을 하여야 한다.
  - 모든 공식 회의에서 논의된 내용은 회의록을 작성하여 상호간 검토 후, 구매자에 제출하여 승인을 받아야 한다.
- 5) 완료 시 아래 명기한 자료를 각 5부씩 제본하여 제출하고 전자파일은 USB에 저장하여 제출한다. (도면 및 주요공정 사진자료 이외의 모든 문서는 한글 또는 word로 작성)
- 설계계산서
  - 제작·설치도면 (전기도면 포함)
  - 제작절차서
  - 검사 및 시험 계획서 (ITP)
  - 검사 및 시험 절차서
  - 검사 및 시험 성적서
  - 설치 절차서
  - 주요공정의 제작 진행상황 자료
  - 각 공정별 제작방법 및 품질관리 기록서
  - 부적합 보고서
  - 매뉴얼 (운전 매뉴얼, 유지보수 매뉴얼, 설치 매뉴얼, 점검 매뉴얼 등 포함)
    - 매뉴얼에는 각 구성 회로, 센서 등의 검출장치에 대한 사양 표기

## 6) 자료 제출 일정

- 제작 추진방안 및 추진일정 자료 : 계약 후 14일 이내
- 제작 전 제출자료 : 협의 후 결정
- 제작 중 제출자료 : 협의 후 결정
- 완료 시 제출자료 : 설치완료 검사/시험 완료 후 제출

7) (자체검토, 승인) 계약자가 구매자에게 제출하는 모든 서류 및 도면은 기술시방서 및 계약서에서 요구하는 기술기준과 품질보증계획서에 따라 작성, 검토, 승인되어야 한다. 계약자가 자체승인하지 아니한 서류가 구매자에게 제출되어서는 안 된다.

8) (용지사용) 서류에는 일반적으로 A4용지를 사용하며 도면에는 크기에 따라 A0, A1, A2, A3, A4 등의 용지를 사용한다.

- 도면집은 A3를 사용하고, 설계계산서, 장치 매뉴얼 및 보고서 등은 A4 사용을 권장

9) (전자매체의 사용) 구매자의 요청에 따라 전자매체를 이용한 서류를 제출하는 경우, 이 전자매체는 관리기준이 수립, 운영된 것이어야 하며 검색가능, 복사가능, 재생가능, 이중보관 등의 품질 요건이 충족되어야 한다.

10) (제출) 계약자는 서류 송부 전을 사용하여 서류 및 도면을 구매자에게 제출하여야 한다.

11) (재고기록) 계약자는 구매자가 제공한 품목의 물량에 대한 재고기록을 유지하고 구매자의 요청 시 재고기록보고서를 구매자에게 서면으로 제출하여야 한다.

## 7.3 도면번호

### 7.3.1 도면번호 부여 방법

#### 7.3.1.1 도면번호 체계

ANNN - AN - NNN - ANN - ANN  
 ①            ②            ③            ④            ⑤

- ① 업무분류체계(MPS)
- ② Drawing Size : A0, A1, A2, A3, A4
- ③ Item Number
- ④ Sheet Number
- ⑤ Release Type & Revision Number

예) 적용예 K421 - A3 - 200 - S01 - M00

K421 : PF 1 MPS  
 A3 : A3 사이즈  
 200 : 기구도면  
 S01 : 1번째 시트  
 M00 : 제작도면

#### 1) 업무분류체계

| 코드    | Title     | 코드    | Title    |
|-------|-----------|-------|----------|
| K410  | TF, PF 공통 | K411  | TF MPS   |
| K421  | PF 1 MPS  | K422  | PF 2 MPS |
| K423U | PF 3 MPS  | K424U | PF 4 MPS |
| K423L |           | K424L |          |
| K425U | PF 5 MPS  | K426U | PF 6 MPS |
| K425L |           | K426L |          |
| K427  | PF 7 MPS  | K441  | IVC PS   |
| K442  | IRC PS    | K443  | IPS      |
| K444  | RMP PS    |       |          |

- 2) Drawing Size : 도번의 2nd 코드이며 2개의 확장자 번호를 갖는다. KSTAR의 표준화에서는 한국표준규격에 의하여 A열의 도면(A0~A4) 크기를 사용한다.

|    |                |
|----|----------------|
| A0 | 841 x 1189(mm) |
| A1 | 594 x 841(mm)  |
| A2 | 420 x 594(mm)  |
| A3 | 297 x 420(mm)  |
| A4 | 210 x 297(mm)  |

- 3) Item Number : 도번의 3rd 코드이며 3개의 확장자를 갖는다. 이 확장자는 WBS

에서 정의된 tree 구조 상태에서 도면화 되었을 때 분리되는 객체를 정의하게 된다.

| 코드  | Title  | 코드  | Title         | 코드  | Title |   |      |
|-----|--------|-----|---------------|-----|-------|---|------|
| 100 | 수전설비   | 400 | Busbar        | 7x0 | BRIS  | 0 | 기구도면 |
|     |        |     |               |     |       | 1 | 전기도면 |
| 200 | 기구도면   | 500 | Water Cooling | 8x0 | QP    | 0 | 기구도면 |
|     |        |     |               |     |       | 1 | 전기도면 |
| 300 | 장치 배치도 | 600 | 전기도면          | 900 | DCDS  |   |      |

4) Sheet Number : 도면의 4th 코드이며 3개의 확장자를 갖는다. 이 번호는 같은 도면 내에서의 다량의 시트(multi-sheet)로 사용될 경우에는 같은 크기의 도면을 사용하는 것을 전제로 제한적인 사용을 하고 도면의 Drawing sheet Number의 정의에 따라 순차적으로 등록된다.

5) Release Type & Revision Number : 마지막 코드인 5th 코드의 첫번째 확장자로서 도면의 Release 관계를 규명한다.

|   |  |
|---|--|
| C | Concept Drawing Review                       |
| R | Reference Drawing Review                     |
| A | Actual Drawing Review                        |
| E | Engineering Drawing Review                   |
| M | Manufacturing Drawing Review(MPS는 모두 M으로 표시) |

Revision No. 2nd, 3rd 번째의 확장자로 도면이 Release 된 순서를 정의하여 항상 최종 상태를 유지한다.

### 7.3.1.2 도면 표제란의 도면번호 부여

- 1) 도면 및 자료자체에 본 번호체계를 표기하는 표제란의 서식은 KFE 내 규정으로 지정된 것을 제외하고는 KSTAR 총괄사업 책임자가 결정한 서식을 따르도록 하나, 기본적인 작성방법은 도면관리요령 표제란 작성을 기준하도록 한다.
- 2) 도면의 개정번호(REV.)는 최초 승인이전에는 “A”, “B”, “C”로 표시하고 승인된 도면에는 “0”, 승인된 이후의 개정번호는 1,2,3,...으로 표시한다.

## 7.4 특기사항

- 1) 도면을 제외한 모든 제출서류는 구입사양 순서에 준하여 작성하여 A4로 편철하여 제출한다.
- 2) 도면은 KFE 기준에 의거하여 작성해야 한다.
- 3) 최종도면은 제작 시 발생되었던 내용을 수정, 보완한 후 KFE의 도면번호를 부여 받은 도면을 말한다.
- 4) 제출 자료에 사용되는 문자는 한글과 아라비아 숫자로 표기함을 원칙으로 하며, 단위는 MKS 단위계를 사용한다.
- 5) 제출 자료에 표기되는 상호는 한국핵융합에너지연구원으로 표기하며 제작되는 기기들의 명판에도 한국핵융합에너지연구원으로 표기한다.

## 8. 기타

### 8.1 사양 우선순위

사양의 내용이 중복 또는 그 내용에 차이가 있을 경우 아래의 순서에 따라 적용하도록 한다.

- 1) 최종 회의록 및 공문서
- 2) 계약서
- 3) 기술 시방서
- 4) 기타 사양서 및 관련 자료

### 8.2 기술자 파견

설계 및 기술적인 해결문제로 기술자가 필요할 시 제작사는 자비 부담으로 기술협의 및 회의를 위해 결정권 있는 기술자를 파견한다.

### 8.3 납기 및 납품

- 1) 납기는 KFE와 제작사가 공급을 위해 체결된 계약서에 명기된 목적물이 현장에 도착한 날짜로 한다.
- 2) 납품은 KFE가 지정하는 장소까지 운반 후 KFE 검사원의 외관검사,

치수검사, 수량 검사에 합격한 시점으로 한다.

- 3) 모든 제품은 KFE가 인정하는 특별한 상황 외 완전 조립된 상태로 납품함을 원칙으로 한다.
- 4) 제작사는 제작공장 시험 완료 후 납품한다.
- 5) 납품 장소는 KFE 현장 내 KFE의 지정장소로 한다.

## 8.4 포장 및 운반

- 1) 제품의 포장은 운반 및 보관이 용이한 상태로 한다.
- 2) 제작사는 운송 및 납품에서 시운전까지의 시기 동안 기기를 충격, 외부 습기로부터 보호될 수 있도록 한다.
- 3) 파손 또는 분실되기 쉬운 부품은 별도로 포장한다.

## 8.5 도장 및 색채

- 1) 제작사는 KFE 설비의 작업조건과 환경조건을 고려하여 도료와 도장 절차를 선택해야 한다.(KFE와 협의 후 결정))
- 2) 제작사가 선택한 도료, 색상 및 도장절차는 KFE의 승인을 받아야 한다.
- 3) 모든 공급설비는 공급자가 도장해야 한다.

## 8.6 설계도면

- 1) 설계조건을 충족하고 사양에 지시하는 이상의 성능이 되도록 설계한다.
- 2) 설치 현장의 환경, 사양조건에 만족하도록 설계한다.
- 3) 유사품은 호환성을 갖도록 설계한다.

## 8.7 재료

- 1) 사용 재료는 용도에 따라 본 사양서에 명시된 적용법규 및 규격에 합치 또는 동



등 이상의 것으로 사용한다.

2) 재료 및 설비 부품은 표준 규격품 사용을 원칙으로 한다.

## 8.8 특허 분쟁

제작사가 공급한 설비에 대하여 특허 분쟁이 발생하면 제작사 책임 하에 처리하고 관계 서류를 KFE에 제출한다.

## 9. 품질검사 및 시험계획서(ITP)

### 9.1 적용범위

9.1.1 이 문서는 기술시방서에 명시된 대로 구매품목, 기자재 제작, 수리 또는 시공의 작업 공정에 대한 구매자의 품질검사권한, 검사진행요령, 계약자의 자체 품질 관리 책임 등을 규정한다.

### 9.2 용어의 정의

#### 9.2.1 구매자

한국핵융합에너지연구원 또는 그의 위임자를 의미하며, 공사계약의 경우 발주자로도 정의함.

#### 9.2.2 계약자

구매자에게 계약에 의거 기자재 및 용역을 공급하는 자 또는 공사계약을 체결한 자로서 이 시방서에서는 제작사, 공급자, 판매자 및 하도급계약자 등을 포함함.

#### 9.2.3 품질검사계획(Quality Plan 또는 Inspection & Test Plan)

공급품목의 구분, 작업공정 설정, 적용서류의 명시, 검사자 입회점 등을 포함하는 서류로서 계약자가 작성하여 작업착수이전에 구매자의 검토를 받아야 함.

#### 9.2.4 입회점(Witness Point)

계약자가 작업을 진행하기 이전에 구매자에게 서면으로 입회검사를 요청해야 하는 중요 제작 및 시험검사 단계로서 그 입회검사결과가 만족하다는 구매자의 확인서명 후에 다음 공정을 진행할 수 있음. 다만 계약자가 구매자에게 입회요청을 명확하게 하였고 구매자가 입회할 의사가 없음이 확인되면 계약자 판단 하에 작업을 진행할 수 있음.

#### 9.2.5 필수확인점(Hold Point)

입회점보다 더 중시되는 제작 및 시험검사 단계로서 구매자가 입회하거나, 또는 구매자가 입회할 의사가 없음을 서류상으로 확인하기 전에는 해당 작업을 진행할 수 없음.

#### 9.2.6 출하승인서

구매자가 계획한 모든 입회검사결과가 만족할 경우 구매자가 계약자에게 발행하는 서류로서 제작공장에서 제품을 출하하기 위해서는 본 출하승인서를 사전에 발급받아야 함. 출하승인서는 품질증빙서류와 같이 기자재 인도시 구매자에게 제출되어야 하며 출하승인서가 없을 경우 구매자는 기자재 인도를 거부할 수 있음.

단, 구매자의 형편에 따라 출하검사를 생략할 수 있음.

#### 9.2.7 검 사

어떤 품목 또는 업무가 명시된 요건에 일치하는지를 확인하기 위하여 시험, 조사 또는 측정 등을 하는 행위로서 이 부록에서는 품질검사, 입회검사, 검사 등으로 표시됨.

### 9.3 계약자 자체 품질검사요건

9.3.1 계약자의 품질검사조직은 계약서 요건, 계약서가 요구하는 기술기준, 구매자가 검토한 설계서류 및 품질보증계획서 등의 요건에 맞는 품질검사업무를 관리할 수 있도록 해당 검사관련 지시서, 절차서 등을 작성하여 이행하여야 한다.

9.3.2 품질검사 관련 업무에는 품질보증, 설계, 구매, 용접, 열처리, 비파괴검사, 내압(수압, 공기압, 진공)시험, 성능시험, 도장, 포장, 취급, 선적, 운송 등이 포함된다.

9.3.3 구매자의 검사 또는 공인검사를 받기 전에 계약자의 자체 품질검사가 선행되

어 필요한 후속조치가 완료되어야 한다. 계약자의 자체 품질검사가 선행되지 아니하였을 경우 구매자는 검사진행을 거절할 수 있다. 다만, 압력시험 등 부득이한 검사공정의 경우에는 구매자와 계약자 검사인원이 동시에 검사를 진행할 수 있다.

9.3.4 계약자는 원활한 구매자의 품질검사를 위해 구매자의 비용지불 없이 구매자의 품질검사자가 계약자의 해당 공장출입, 자료열람 및 검사장비 사용 등 관련 업무에 협조해야 한다.

## 9.4 품질검사계획(Quality Plan or ITP) 제출 요건

9.4.1 (제출 및 검토) 계약자는 공급품목(하도급 품목 포함)에 대한 제작, 수리 및 시공과 검사 및 시험공정을 자세히 기술하는 품질검사 및 시험계획(ITP)을 작성, 제출하여 제작 또는 작업착수 이전까지 구매자의 검토를 받아야 하며 구매자는 계약자 품질검사계획에 구매자의 품질검사점(입회점, 필수확인점)을 선정한다.

9.4.2 (기술기준의 준수) 품질검사계획은 계약요건에 의해 적용되는 모든 기술기준을 준수 할 수 있도록 제작 및 시험검사 공정이 설정되어야 한다.

9.4.3 (작성방법) 품질검사 및 시험계획에는 최소한 다음사항이 포함되도록 해야하며 양식 견본은 품질검사 및 시험계획서(붙임 1)를 참조할 수 있다.

- 1) 계약번호 및 계약명
- 2) 기기명, 기기번호
- 3) 품질검사계획번호 및 개정번호
- 4) 작업, 시험, 검사공정
- 5) 공정별 적용서류(절차서, 도면 등) 및 개정번호
- 6) 계약자 자체 입회점 및 필수확인점
- 7) 구매자 입회점 및 필수확인점 표시란
- 8) 검사결과 확인서명란
- 9) 해당 공정의 품질보증기록 제출여부 등

7.4.4 계약자는 구매자가 품질검사계획에 대해 승인하지 않은 상태에서는 제작공정을 진행해서는 안된다.

붙임 1 : 검사 및 시험계획서 표지


시공계약자 마크

검사 및 시험계획서(ITP)

Total ○○ Sheets

(with cover sheet)

품질 검사 및 시험계획서(ITP)

|  |          |          |          |
|--|----------|----------|----------|
|   |          |          |          |
| <b>Document status</b>   |          |          |          |
| <input type="checkbox"/> <b>Approved.</b><br><input type="checkbox"/> <b>Approved with comments.</b><br>Work may proceed subject to comments noted.<br><input type="checkbox"/> <b>Revise and resubmit.</b><br>Work may not proceed. |          |          |          |
| <b>Note</b>  |          |          |          |
| 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.<br>No. | Date | Descriptions | Prepared by | Reviewed by | Approved by |

## 붙임 2: 검사 및 시험계획서

| <div style="text-align: center;"> ○○○○○ 제작<br/> 검사 및 시험계획서 </div> |    |           |            | 공 급 자 :                   |  |      |  | ITP No.  |    |
|---|----|-----------|------------|---------------------------|--|------|--|----------|----|
|   |    |           |            | 과 제 명 : (필요 항목으로 변경기재 가능) |  |      |  | 개정번호 No. |    |
|   |    |           |            | 조립단계 : (필요 항목으로 변경기재 가능)  |  |      |  | Page of  |    |
| 번호  | 공정 | 검사 및 시험종류 | 적용 규격 및 절차 | 검사주관                      |  |      |  | 검사보고서 번호 | 비고 |
|   |    |           |            | 시공업체                      |  | 주관기관 |  |          |    |
| 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