

하이퍼튜브 추진 · 부상용 고화질소 냉각식  
고온 초전도 전자석 시제품 제작(No.2)

## 과업지시서

2026. 3. 6.

한국철도기술연구원

# I . 과업지시서

## 1. 일반 사항

### 가. 적용범위

- 1) 본 과업지시서는 한국철도연구원에서 발주하는 “하이퍼튜브 추진 · 부상용 고화질소 냉각식 고온 초전도 전자석 시제품 제작(No.2)”에 대하여 적용한다.
- 2) 본 과업지시서에 명시되지 않은 사항은 발주자인 한국철도연구원과 협의 · 결정하며, 중요 변경 사항은 발주자의 서면 검토 및 승인을 받은 후 적용함을 원칙으로 한다.

### 나. 기타

- 1) 본 과업지시서에 분명하지 않은 사항이나 이해가 가지 않는 사항이 있을 경우에는 계약자는 발주자와 즉시 상의하여야 한다.
- 2) 본 과업지시서에 명시 아니한 사항이나 계약관계 서류상의 모든 해석에 대하여 발주자가 정한 관계 규정 및 발주자의 결정에 따른다.
- 3) 본 과업 지시서에서 명시하는 각 부품의 형상을 따르며, 실제 제작사의 상세 제작 설계 과정에서 시제품의 제시된 요구 사양 및 성능을 만족하기 위하여 형상 또는 치수의 일부를 변경할 수 있다. 제작사는 시제품 제작 전 철도연과 협의하여 최종 제작 설계 도면을 승인하고 제작한다.

## 2. 제작 시방서

### 가 초전도 코일 권선

- 초전도 전자석의 구성에 있어, 다음과 같이 용어를 정의한다. 고온 초전도 선재 (HTS wire)를 보빈이라는 특정 구조체에 권선하여 DPC를 이룬다. DPC의 집합은 자기장을 형성하는 극코일을 구성하며, 이를 진공 단열 용기에 설치한 전체 구조를 초전도 전자석이라 한다.
- SPC (Single Pancake Coil) : 단일 평면 권선 구조로 구성된 코일. HTS 테이프를 하나의 축 방향 보빈(Bobbin)에 나선형으로 감아 제작

- DPC (Double Pancake Coil): 두 개의 SPC 코일을 직렬로 접속하여 하나의 보빈 (Bobbin)에 적층 커플링한 구조
- 극코일 : 복수 개의 DPC 코일을 수직 방향으로 적층하여 하나의 자기극을 구성하는 DPC코일의 집합체
- 초전도 전자석 : 1개 이상의 극코일을 단일 진공 용기 내부에 내장하여 구성되는 자석 단위

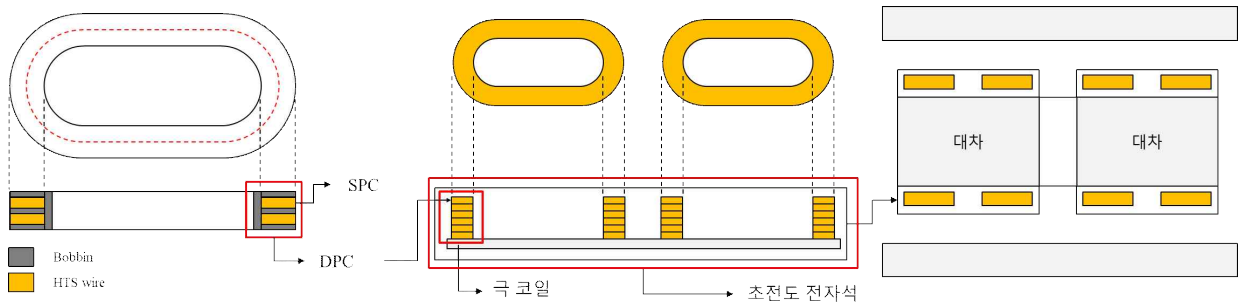


그림 1. 초전도 전자석의 구성

- DPC의 제작 사양 및 형상은 표 1 및 그림 2과 같다. 단, 표 1에서  $R_c$ ,  $W_c$ ,  $H_c$ 를 제외한 초전도 코일의 외관 치수는 제작사의 제작 결과에 따른다.
- 초전도 코일 제작에 사용되는 고온초전도 선재는 표2에서 지정하는 제품과 동등 이상의 성능을 만족할 수 있는 제품을 사용하여야 하며, 선재 공급사에서 발행하는 성능 시험성적서를 첨부하여야 한다. 지정된 제품 이외의 제품을 사용할 경우 철도연과 협의 후 결정한다.
- DPC 코일의 권선수는 200 ~ 290 턴으로 권선 하되, 코일의 제작성을 고려하고 극코일이 정격온도에서 350 kAt 이상의 기자력 성능을 만족할 수 있도록 철도연과 협의하여 설계 권선수를 결정하여야 한다.

표 1. 초전도 코일 제작 사양

항 목	사 양		비 고
극코일/전자석	2 극		
DPC수/극	6개/극		DPC 수 = 2 x SPC
총 DPC수/전자석	12개/전자석		
초전도선재 권선수/SPC	200 ~ 290		※ 철도연과 협의하여 최적 권선수 결정함
DPC 중심 치수	Rc	150 mm	± 2 mm 이내
	Wc	600 mm	± 2 mm 이내
	Hc	300 mm	± 2 mm 이내
코일 형상	레이스트랙형		
코일 절연 방식	Metal Insulation		STS tape 공동권선

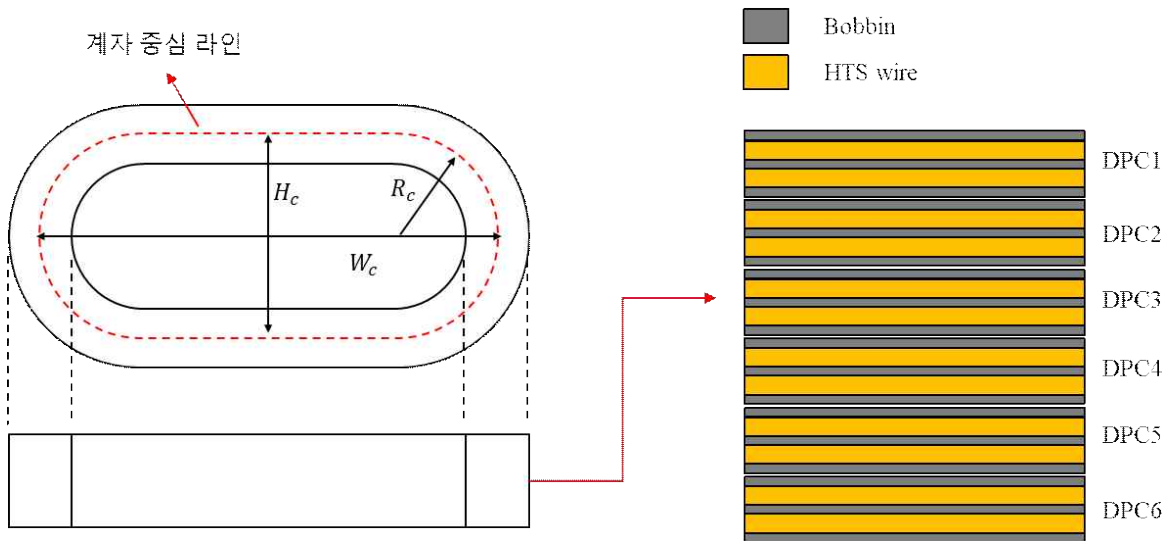


그림 2. 초전도 코일 제작 형상

표 2. 고온 초전도 선재 사양

항 목	사양	비 고
소재	2G(REBCO) HTS Tape	
제작사	Shanghai Superconductor (중국)	
모델명	Electromagnetic Grade S	
Substrate	45 um Hasterlloy	
Min. Piece length	> 100 m	
Post Processing	20 um Copper Plating	
Critical current	> 150 A	77 K s.f.
Width	4 [mm]	
Thickness	95 [ $\mu$ m]	

#### 나. DPC 보빈 제작

- 1) DPC 보빈은 초전도 선재의 권선 시 초전도 코일의 기본적인 형상을 잡아주는 틀 역할을 하는 보빈 센터부와 코일 간 분리를 위한 플레이트, 그리고 DPC의 추가적인 강성을 위한 스페이서 등으로 구성된다. 조립 형상은 그림 3와 같다.
- 2) DPC 보빈은 열전도도가 좋고 가벼운 알루미늄 합금 재질로 제작하며, 알루미늄 자체의 강성을 보완하고 절연 성능을 높이기 위해 표면에 경질 아노다이징 처리를 적용한다.

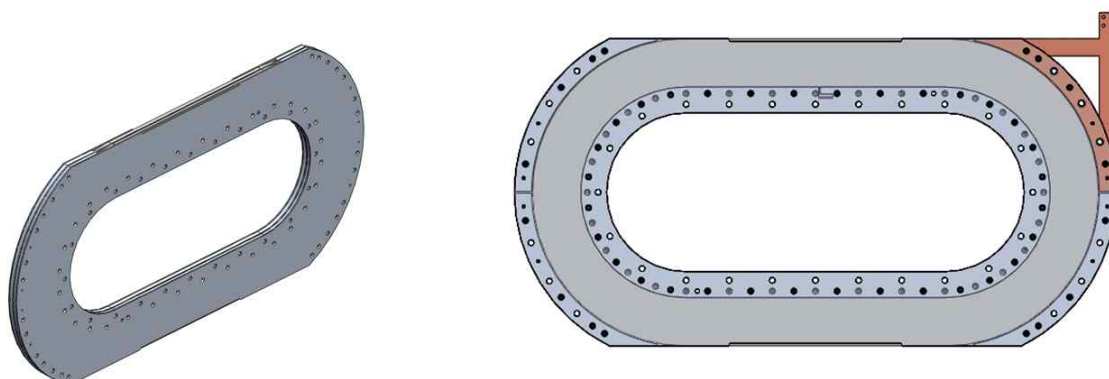


그림 3. DPC 조립 형상

- 3) 코일의 절연은 금속 절연(Metal Insulation) 방식을 적용하며, 코일이 전도냉각 및 구조적 안정성을 고려하여 전자석과 보빈 사이에 에폭시 도포 등의 처리를 할 수 있다.
- 4) DPC의 냉각은 극저온의 기체 헬륨을 이용한 고화 질소 냉각 방식으로 하므로, 보빈은 알루미늄 합금 등 이에 적합한 재료를 사용하며 보빈과 선재의 전기적인 절연을 유지하면서도 열전달이 잘 될 수 있도록 하여야 한다.

#### 다. 초전도 전자석 조립

- 1) 극코일은 한 극당 6개의 DPC로 구성되고 초전도전자석 당 2개의 극코일로 제작한다. 초전도 전자석을 구성하기 위하여 제작된 초전도 코일은 그림 4와 같이 배치한다. 두 극코일간 중심 간격(극피치)는 반드시 810 mm를 유지하도록 배치한다.
- 2) 초전도 전자석에서의 초전도 선재 간의 접합은 스플라이스 접합 방법을 적용하며, 인접한 DPC의 전기적 연결은 각 DPC에서 인출된 전류 터미널 사이를 직렬 연결하여 구성하며, 연결 저항을 최소화하기 위해 초전도 선재를 함께 접합하여 사용할 수 있다.
- 3) 상온 전류 터미널과 초전도 전자석 간의 전기적 연결에 사용되는 금속 전류 리드 및 초전도 전류리드는 사양에서 정한 운전전류를 통전하는데 문제가 없도록 설계 및 제작되어야 한다.

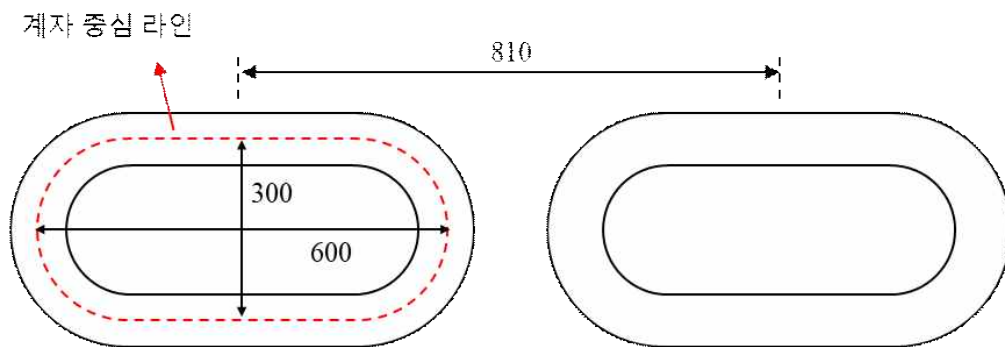


그림 4. 초전도 코일 배치

## 라. 극저온 냉각조

초전도 전자석의 극저온 냉각조를 구성하는 주요 부품과 이에 대한 제작은 다음과 같다.

### 1) 외부 진공 용기 외함 및 상판

- 외부 진공 용기 외함 및 상판은 내부 구조물과 외부 대기를 진공 분리하여 대류에 의한 열 손실을 최소화하고 외부 전류리드, 극저온 냉매 출입 및 각종 신호선을 내부 구조물과 연결하는 케이스 역할을 한다.
- 외부 진공 용기 외함 및 상판과의 조립 형상은 그림 5와 같은 형상으로 제작하며, 치수는 제작사의 상세 설계에 따른다.
- 외부 진공 용기 외함은 스테인리스 강 재질로 제작하며 외부 구성요소 및 내부 구조물과 조립이 가능하도록 홀 체결 구조로 제작되어야 하며 외부 진공 용기 상판의 경우 전체 제작품의 경량화를 위해 알루미늄 합금 재질 또는 복합재로 제작한다.
- 외부 구성요소와 조립되는 부분은 적절한 밀폐 구조로 설계하여 진공기밀이 유지되도록 하여야 한다.
- 외부로부터 전류 및 신호 피드스루, 파워 피드스루의 설치, 진공 배기 등을 위해 다수의 포트를 설치하도록 하며, 진공기밀이 유지되도록 하여야 한다.
- 조립 및 분해 편의상 3 축 방향의 지지부 끝단이 외부 진공 용기 외함을 관통하여 외부에 노출 및 체결되며 추가적인 진공기밀을 하는 지지방식을 채택하며, 외부 진공 용기 외함은 이를 위하여 적절한 위치에 지지부 끝이 관통되기 위한 홀을 갖도록 제작되어야 한다.

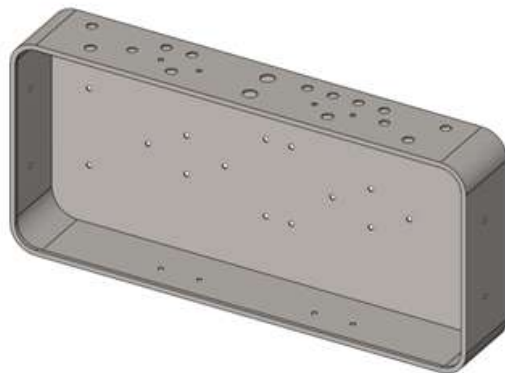


그림 5. 외부 진공 용기 외함 형상

## 2) 메인 지지판

- 메인 지지판은 초전도 전자석으로부터 발생하는 추력, 부상력, 안내력을 1차적으로 부담하여 전체 구조물을 지지하는 요소이며, 초전도 전자석과 고화 질소 용기 사이에 위치하여 두 요소 간 냉각의 열적 통로 역할을 한다.
- 메인 지지판은 그림 6과 같은 형상으로 제작하며, 치수는 제작사의 상세 설계에 따른다.
- 알루미늄 합금 재질로 제작되며 3축 방향의 외력을 지지하기 위해 충분한 강성을 가지도록 제작해야 한다. 그리고 초전도 전자석, 고화 질소 용기 및 3축 방향의 지지부와 조립이 가능하도록 홀 체결 구조로 제작되어야 한다.
- 메인 지지판은 초전도 전자석에 대하여 냉각 채널 역할을 하기 때문에 초전도 전자석과의 접촉면에서의 열적 접촉성이 우수하도록 제작 및 조립되어야 한다.

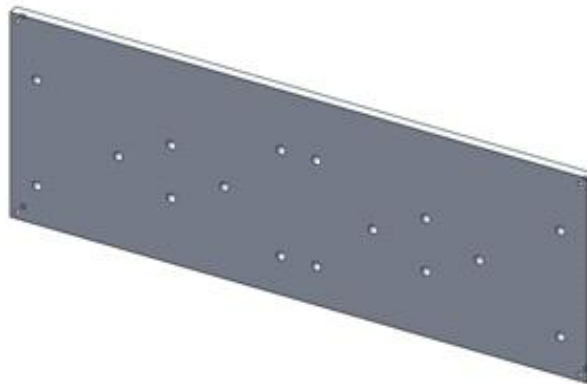


그림 6. 메인 지지판 형상

## 3) 고화 질소 용기

- 고화 질소 용기는 액체 질소 충전 및 냉각에 따른 질소의 고화 시 질소를 담기 위한 역할을 한다.
- 용기는 그림 7과 같은 형상으로 제작하며, 치수는 제작사의 상세 설계에 따른다. 초전도 코일의 운전을 위하여 표 4에 제시된 열용량을 만족할 수 있는 사양으로 제작되어야 한다. 다만, 한국철도기술연구원의 시험 계획에 따라 초전도 자석 운전 시간이 조절될 수 있으며, 이에 상응하는 실제 충전되는 고화 질

소 질량은 달라질 수 있다.

- 고화 질소 충전, 냉각 시 구조적 안정성을 고려하여 스테인리스 스틸 재질로 제작하며, 질소를 보관할 수 있도록 전체적으로 밀폐되도록 제작해야 한다.
- 진공 용기 외함의 진공 배기에 따른 변형을 최소화하기 위해 고화 질소 용기의 내부의 질소 충전 공간은 지지부가 관통할 수 있도록 튜브형 통로를 갖도록 제작될 수 있다.
- 상부 면은 기체 헬륨 배관 및 액체 질소 충전 및 배출 배관이 조립되도록 홀 구조로 제작된다. 내부에는 기체 헬륨 순환 시스템에 의한 냉각을 위한 헬륨 배관이 부착된다.

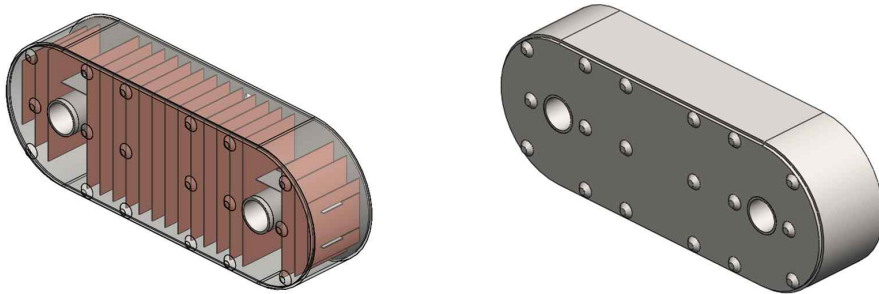


그림 7. 고화 질소 용기 형상

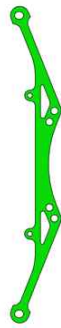
표 4. 고화 질소 용기 냉각 용량

항목	사양	비고
고화 질소 용기 내부 용적	> 0.016 [m <sup>3</sup> ]	
고화 질소 질량	> 10 [kg]	
고화 질소 용기 소재	STS 304	

#### 4) 초전도 코일 하중 지지부

- 코일 하중 지지부는 메인 지지판을 통하여 전달되는 추력, 부상력, 안내력을 냉각조 외부와 지지하기 위하여 메인 지지판에 체결되는 부품이다.
- 지지부가 외부로 노출되는 지지부의 진공 기밀을 유지할 수 있도록 제작되어야 한다.
- 제작 형상은 그림 8과 같으며, 치수는 제작사의 상세 설계에 따른다.

- 지지부는 유리섬유강화플라스틱 재질의 지지부 및 스테인리스 강 재질의 연결부로 제작되며, 진공기밀 부품은 스테인리스 강 재질로 제작된다.
- 지지부는 작용하는 외력에 대하여 충분한 강성 가지도록 제작되어야 하며, 상온과 열적으로 연결된 형상이므로 전도에 의한 열 손침입을 최소화할 수 있도록 제작되어야 한다.
- 안내방향 지지부는 메인 지지판을 기준으로 고화 질소 용기 측과 초전도 코일 측으로 구분되며, 두 측의 지지부가 메인 지지판에서 상호 체결되도록 제작된다. 지지부는 외부 진공 용기의 구멍을 관통하며 체결되는 구조로 제작한다.
- 추진 및 부상 방향 지지부는 한쪽 끝단이 메인 지지판에 체결된다. 반대편 끝단은 외부 진공 용기의 구멍을 관통하여 체결된다.



추력 및 부상력 지지부 예시



안내력 지지부 예시

그림 8. 3축 방향 지지부 형상

#### 5) 복사 차폐층

- 복사 차폐층은 외부로부터의 복사 열침입을 최소화하기 위한 부품으로, 상온부와 극저온부 사이에 중간 온도를 가지는 영역을 만들어, 복사열 침입량을 줄여 시스템의 냉각 성능 향상시키는 역할을 한다. 제작 형상은 그림 9와 같으며, 치수는 제작사의 상세 설계에 따른다.
- 복사 차폐층은 알루미늄 재질로 제작하며, 복사 차폐층 및 전자석 표면에 복사 열손실 저감을 위해 다층박막단열재를 20매 이상 설치한다.
- 본 장치에서 복사차폐층은 초전도 코일과 외부 진공 용기 사이에 설치된다.

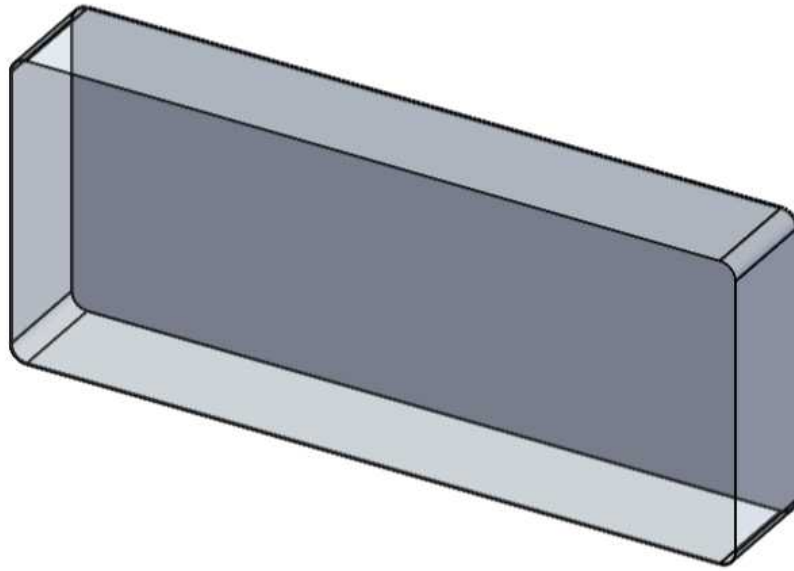


그림 9. 복사 차폐층 형상

#### 마. 냉각 및 통전용 인터페이스 부품

초전도 코일의 전류 인가 및 냉각 시스템과의 연결을 위해 아래와 같은 인터페이스 부품들이 제작되어야 하며, 이에 대한 상세한 내용을 아래에 명시한다.

##### 1) 초전도 코일 연결 내부 단자대

- 초전도 코일 연결 내부 단자대는 초전도 코일과 탈부착형 외부 전류 터미널의 금속 전류리드를 전기적으로 연결하기 위한 부품이며, 형상은 그림 10과 같다.
- 초전도 코일에 전기를 공급하는 금속 전류 리드 및 초전도 전류 리드는 열침입이 최소가 되어야하며, 초전도 코일의 통전 전류에 적합하도록 설계 및 제작을 해야 한다.
- 초전도 코일 연결 내부 단자대는 구리 재질로 제작되며, 초전도 코일 및 탈부착형 외부 전류 터미널 이외의 요소들과 전기적으로 절연되도록 제작해야 한다.
- 탈부착형 외부 전류 터미널의 금속 전류리드가 상하 움직임에 따라 금속 전류리드가 초전도 코일 연결 내부 단자대의 접속부를 통해 접촉 및 분리 되도록 제작해야 한다.

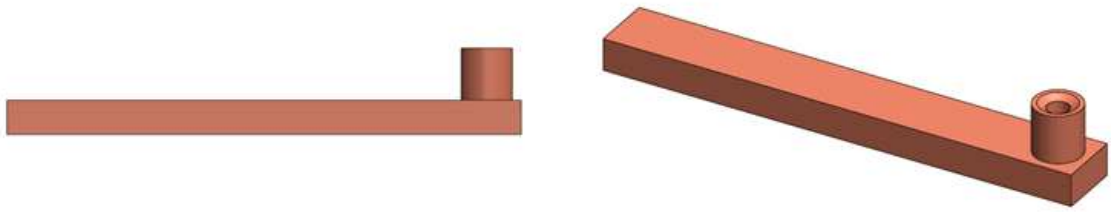


그림 10. 초전도 전자석 내부 연결 단자 형상 (예시)

## 2) 통전 터미널

- 외부 전원 연결 커넥터는 외부 전류 터미널이 외부 전원과 전기적으로 연결되도록 입출을 고려하여 전자석당 2 set로 제작되어야 하며, 외부 전류 터미널 형상의 예시는 그림 11과 같다.
- 외부 전류 터미널은 외부 진공 용기 표면을 기준으로 위로 스테인리스 강 재질의 하우징, 하우징과 터미널이 전기적으로 절연되기 위해 세라믹실 또는 절연 가능한 재료로 구성할 수 있다. 외부 전류 터미널과 진공용기 외함은 오링을 사용하여 진공기밀을 유지한다.
- 여기서, 초전도 전자석 모듈 간의 전기적 연결을 위하여 별도의 외부 전류리드 시스템을 구성할 수 있다.

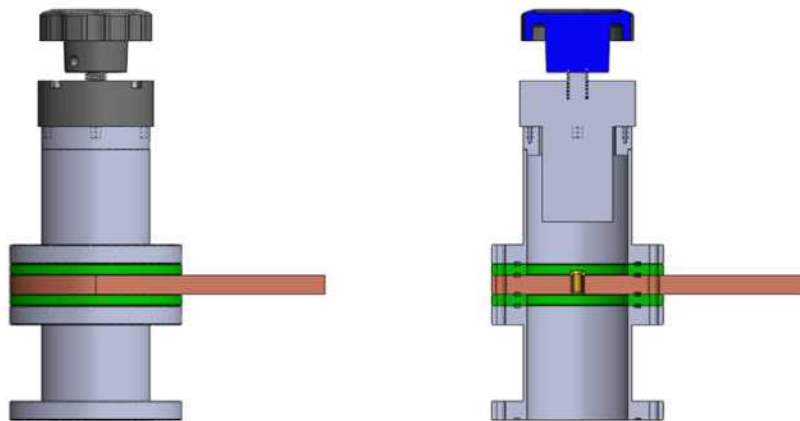


그림 11. 외부 전류 터미널 형상 (예시)

### 3) 영구전류 스위치 (PCS, persistent current switch)

- PCS는 초전도 코일의 영구전류모드(Persistent Current Mode) 운전을 위한 장치로서, 외부 전원에 의해 충전된 초전도 코일 전류가 외부 전원 차단 이후에도 코일 내부에서 지속적으로 순환할 수 있도록 폐회로를 형성하기 위한 구성 요소이다.
- PCS는 초전도 코일과 전기적으로 연결되어 초전도 코일과 함께 초전도 폐회로를 구성할 수 있도록 설계되어야 하며 그림 12와 같이 구성할 수 있다.
- 초전도 코일의 충전 운전 시에는 PCS가 상전도 상태가 되어 외부 전원으로부터 코일에 전류를 인가할 수 있어야 하며, 목표 전류 도달 이후에는 PCS가 초전도 상태로 전환되어 초전도 코일 내부 폐회로가 형성될 수 있도록 구성한다.
- 이를 위해, PCS는 히터를 이용한 국부 가열 방식 등을 통해 초전도 상태와 상전도 상태의 전환이 가능하도록 제작할 수 있다.

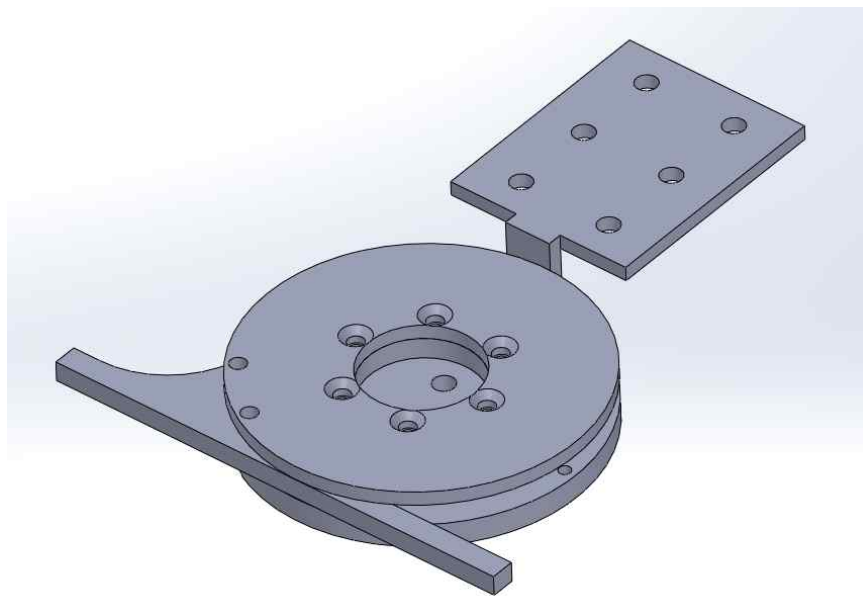


그림 12. 영구전류스위치 (예시)

### 4) 기체 헬륨 순환 배관 및 외부 배관 연결 부속품

- 기체 헬륨 순환 배관은 헬륨 순환 시스템으로부터 극저온의 기체 헬륨을 초전도 전자석, 고화 질소 용기 및 내부 구조물에 공급하기 위한 배관이다.
- 본 과업은 초전도 전자석 모듈 내부 기체 헬륨 순환 배관의 제작 및 외부 배관 연결 부속품 제작을 포함하며, 기체 헬륨 순환 배관 및 배관 연결 부속품의 형

상의 예시는 각각 그림 13, 그림 14과 같다.

- 기체 헬륨 순환 배관은 구리 재질로 제작되어 메인지지판 등에 삽입될 수 있으며, 순환 시스템 전체 연결부는 헬륨의 누설이 없도록 제작해야 한다.
- 고화 질소 용기 내부의 기체 헬륨 순환 배관의 형상은 액체 질소를 효율적으로 고화시킬 수 있는 구조로 제작 설치되어야 한다.
- 외부 배관 연결 부속품은 고화 질소 용기 내부의 기체 헬륨 배관과 외부 배관과 연결되는 기체 헬륨 입출용 베이오넷 포트를 포함하며, 외부 진공 용기의 베이오넷 포트는 헬륨 배관을 통한 전도 열 침입을 최소화하도록 제작해야 한다.
- 외부 배관 연결 부속품 냉각 완료 후 외부 헬륨 순환 라인의 분리를 위해 탈부착이 용이하도록 베이오넷 구조 및 퀵커넥터 구조로 제작할 수 있다.

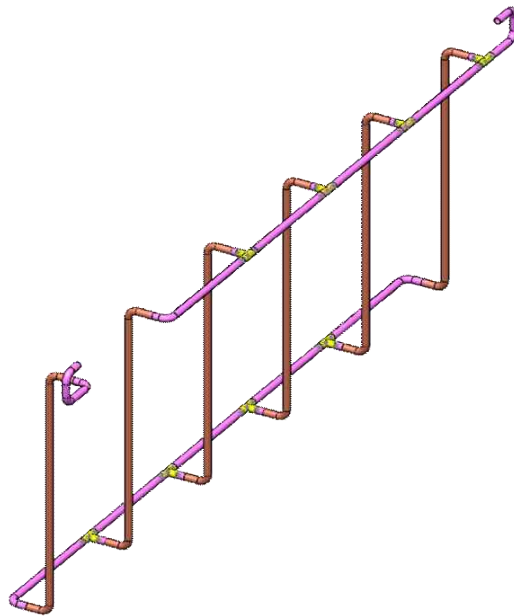


그림 13. 기체 헬륨 순환 배관 조립 형상 (예시)

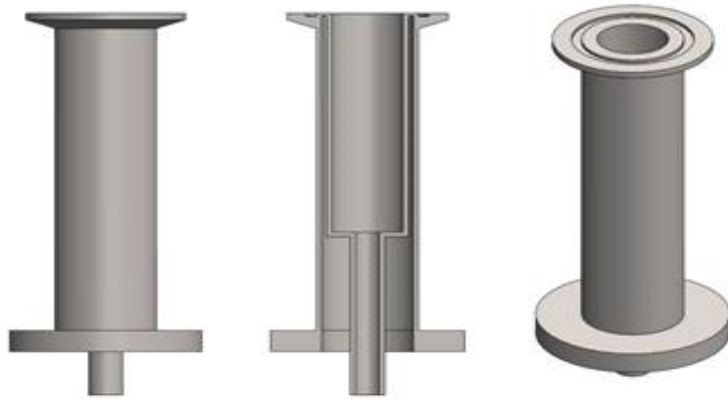


그림 14. 바이오넷 구조 헬륨 입출 포트 형상 (예시)

5) 액체 질소 충전/배출 포트 및 연결 배관

- 액체 질소 충전/배출 포트 및 연결 배관은 고화 질소 용기 내부에 액체 질소를 충전하고 기화된 질소를 외부로 배기하는 역할을 한다.
- 액체 질소 충전/배출 포트의 형상의 예시는 그림 15와 같다.
- 액체 질소 충전/배출 포트 및 연결 배관은 스테인리스 강 재질로 제작되며, 질소의 누설을 방지하기 위해 밀폐되고, 냉각 시 충전/배출 배관의 내부가 고화 질소에 의해 막히지 않도록 제작해야 한다.
- 고화 질소 용기로부터 외부 진공 용기 충전/배출 포트까지의 연결 배관은 플렉서블 형태로 하여 시스템 조립 및 분리에 용이하도록 제작할 수 있다.

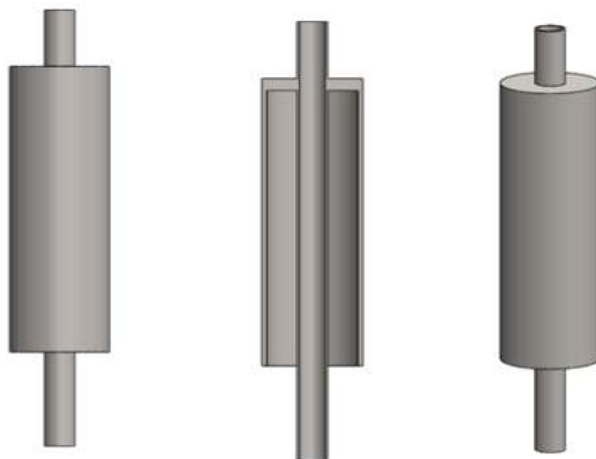


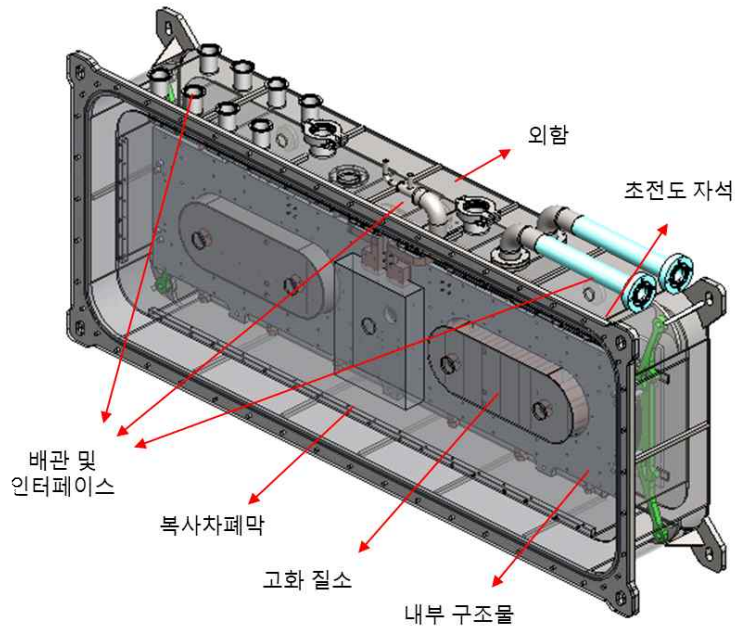
그림 15. 액체 질소 충전/배출 포트 형상 (예시)

#### 바. 냉각 및 코일 제어 모니터링 시스템

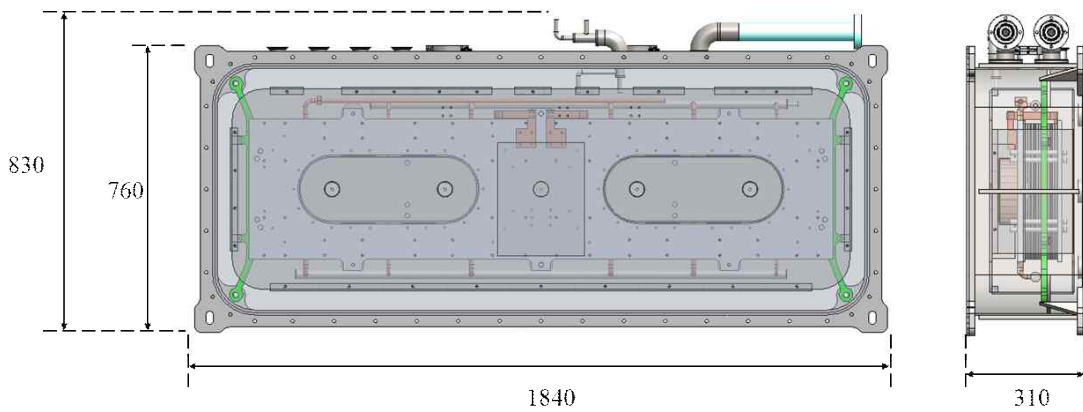
- 1) 냉각 및 코일 제어 모니터링 시스템은 초전도 전자석의 안정적인 운전을 위하여 필요한 극저온 환경 조성 및 운전 상태 확인을 지원하기 위한 시스템이다.
- 2) 본 시스템은 초전도 전자석을 극저온 상태로 유지하기 위하여 운전되는 기체 헬륨 순환 냉각시스템의 운전 상태를 모니터링하고, 초전도 전자석 운전과 관련된 주요 운전 상태를 확인하기 위한 목적으로 구성한다.
- 3) 모니터링 및 제어 시스템은 PLC 기반 제어 시스템을 적용하여 냉각 및 운전 상태를 실시간으로 확인할 수 있도록 구성한다.
- 4) 모니터링 측정 항목은 다음과 같은 항목을 포함하여 구성할 수 있으며, 세부 구성은 철도연과 협의하에 결정한다.
  - 헬륨 가스 온도, 압력, 유량, 냉각 유로 차압, 블로어 운전 상태
- 5) 본 시스템에 의해 측정된 신호는 초전도 전자석 운전 시 극저온 환경 유지 상태 및 냉각 운전 상태를 확인하는 데 활용할 수 있도록 구성한다.
- 6) 냉각 및 코일 제어 모니터링 시스템은 냉각시스템과의 신호 연동이 가능하도록 제작하며, 냉각 운전 상태 확인 및 블로어 운전 상태 관리가 가능하도록 구성한다.

#### 사. 초전도 전자석 전체 조립

- 1) 초전도 전자석 전체 제작 형상은 그림 16와 같다. 극저온 용기의 치수는 2극의 초전도 코일의 배치가 가능한 최소 치수로 제작하며, 주행체와 인터페이스 될 수 있도록 하여야 한다. 제시된 치수 및 형상은 참고치로서 철도연과 협의하에 최종 제작 설계를 결정한다.



(a) 고화질소 냉각식 냉각조 형상 (예시)



(b) 외관 주요부 제작 치수(참고치)

그림 16. 초전도 전자석 시작품 형상

2) 냉각조와 초전도 코일 사이의 지지 구조는 열침입이 최소가 될 수 있도록 하여야 하며, 추진/부상/안내력에 대하여 초전도 코일이 충분한 하중을 견딜 수 있도록 설계하여야 한다. 초전도 코일과 냉각조의 지지 구조에 대한 기계적 하중조건은 표 5와 같다. 제작사는 지지 구조에 대한 하중 해석 결과를 제시하고 철도연과 협의 후 제작한다.

표 5. 3축 방향 하중 조건

항 목	사양	비고
Fx	> 5.28 kN	(2 safety factor)X(3,500 kg X 3 m/s <sup>2</sup> )/(4 modules)
Fy	> 17.2 kN	(2 safety factor)X(3,500 kg X 9.8 m/s <sup>2</sup> )/(4 modules)
Fz	> 8.6 kN	(2 safety factor)X(3,500 kg X 4.9 m/s <sup>2</sup> )/(4 modules)

### 3) 전류리드

- 초전도 코일의 통전은 2세트의 전류 리드를 통해 이루어지며, 각 전류리드는 초전도 코일의 전류 용량을 고려하여 설계/제작된 금속전류리드부와 초전도 전류 리드부로 구성된다.
- 초전도 코일과 초전도 전류 리드사이의 연결부는 초전도 선재의 뒤틀림이나 접촉 불량 발생하지 않도록 제작하여야 한다.
- 금속 전류 리드와 초전도 전류 리드의 열침입량은 최소화 되어야 하며, 이를 위해 금속 전류리드부는 열침입량을 최소화할 수 있는 단면적:길이 비를 갖도록 제작되어야 한다.

### 4) 온도 및 자장센서 설치

- 전자석의 온도 상태를 파악하기 위해 주요 위치에 극저온 온도 센서를 설치한다. 상대적으로 온도가 높은 영역에는 PT-100 센서를 설치하며, 온도가 낮은 부분에는 Cernox 센서를 설치한다. 센서의 설치 위치와 종류 및 수량은 다음 표 6과 같다. PT-100센서 총 3개, Cernox 센서 총 13개를 설치하며 센서의 설치 위치는 필요시 철도연과의 협의에 따라 변경될 수 있다.

표 6. 극저온 온도센서 설치 위치 및 센서 Type

센서 번호	온도센서	센서 Type
1	전기자부 냉각판 중심	Cernox
2	전기자부 냉각판 좌측 외곽	Cernox
3	전기자부 냉각판 좌측 상부	Cernox
4	전기자부 냉각판 좌측 중심	Cernox
5	전기자부 냉각판 우측 외곽	Cernox
6	전기자부 냉각판 우측 상부	Cernox
7	전기자부 냉각판 우측 중심	Cernox
8	대차부 냉각판 중심	Cernox
9	고화질소 용기 좌측 중심	Cernox
10	고화질소 용기 우측 중심	Cernox
11	기체헬륨 배관 입구측	Cernox
12	기체헬륨 배관 출구측	Cernox
13	전류리드	Cernox
14	복사차폐막 액체질소 용기	PT-100
15	전기자부 복사차폐막 중심	PT-100
16	PCS	PT-100

- 초전도 전자석의 중심 자기장을 측정하기 위해, 2개의 극저온 홀센서를 아래의 그림 17에 표시된 바와 같이 극코일의 레이스트랙 중심 위치에 설치한다. 홀센서의 설치 위치는 필요시 철도연과 협의하에 변경될 수 있다.

표 7. 자기장 센서 설치 위치 및 센서 Type

	설치 위치	센서 Type
1	초전도 자석 우측 중심	HGCT-3020
2	초전도 자석 좌측 중심	HGCT-3020

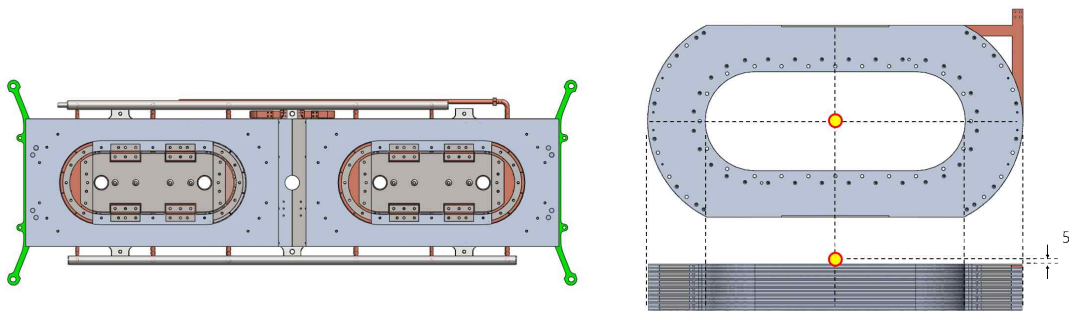


그림 17. 초전도 전자석 자기장 측정 위치

### 3. 시험 및 검사 관련 사항

- 가. 시작품 납품을 위한 시험 및 검사 항목은 표 8과 같다. 단, 극 코일 운전 기차력 시험은 철도연이 설계한 초전도 코일의 성능을 확인하는 시험으로서, 성능 기준

만족 여부와 관계 없이 납품을 위한 시험·검사 항목에서는 제외한다.

- 나. 제작사는 시험 및 검사를 위한 일체의 시설 및 장비를 제공하여야 한다. 단, 시작품의 냉각에 사용되는 냉각시스템은 철도연이 제공하며, 냉각 시스템의 제공이 불가능 할 경우 극저온 냉각 환경에서 시행되는 시험 및 평가 항목은 협의하여 제외할 수 있다.
- 다. 제작된 각 DPC는 액체 질소(77K) 환경에서 통전 실험을 하였을 때 기준 전류에서 켄치 등 이상이 없음을 확인하여야 한다.
- 라. 조립을 완료한 시작품은  $1 \times 10^{-5}$  Torr 이하의 진공도를 유지할 수 있는지 기밀시험 실시하며, 진공 누설 등 이상이 없어야 한다.
- 마. 조립이 완료된 시작품은 액체 질소 및 극저온 기체헬륨 주입에 의한 냉각 시험을 실시하며, 냉각조 및 배관에서의 크랙이나 누설이 없어야 한다.
- 바. 조립이 완료된 시작품에 대하여 냉각 성능 시험을 실시하여 각 부품에 대한 냉각 프로파일을 측정하여야 한다.
- 사. 조립이 완료된 시작품은 정격온도에서 통전 시험을 실시하여 통전 프로파일을 측정하여야 한다.

표 8. 시험 및 검사 항목

구 분		기 준	비 고
DPC	임계전류 (Ic)	50 A 이상 @ 77 K	Ramping rate 0.1 A/s 0.1 $\mu$ V/cm 기준
	Lap joint resistance	200 nOhm 이하	동일 공정의 시료에 대해 평가 (3개 이상)
시작품	극코일 운전 기차력	350 kAt 이상 (@ 40 K) 코일 권선수 X 정격운전전류	※ 납품 시험 항목에서는 제외함
	극저온 기밀 평가	$1 \times 10^{-5}$ torr 이하 (24시간)	냉각 중 진공도 측정
	냉각 제어 모니터링	헬륨 가스 온도, 압력, 유량, 냉각 유로 차압, 블로어 운전 상태 표시 여부	철도연과 협의된 측정 항목 기준

#### 4. 납품 대상

- 하이퍼튜브 추진 · 부상용 고화질소 냉각식 고온 초전도 전자석 시작품
- 제작 및 납품 수량 : 1 set
- 각 시작품에 대한 제작 도면 및 성능 DATA sheet

#### 5. 과업 기간

- 2026년 12월 1일까지  
(단, 철도연이 지정한 초전도 선재 공급업체의 사정으로 납기가 지연될 경우 과업  
기간을 연장할 수 있다.)

#### 6. 과업 완료품의 설치 장소

- 철도기술연구원과 협의하에 지정 (의왕 본원 또는 오송 본원)

## <입찰제안서 평가절차 및 기준>

가. 입찰방식 : 일반공개경쟁

나. 낙찰방식 : 기술/가격분리 동시입찰

다. 평가절차

- 1) 입찰에 참여하고자 하는 사업자는 기술제안서 및 가격입찰서를 동시에 연구원에 제출하여야 한다.
- 2) 연구원은 평가위원회를 구성하여 연구원에서 정한 「제안서 평가표」에 의거 사업자가 작성 제출한 기술제안서를 평가하고 **기술평가 결과 80점(100점 만점 기준) 이상인 자를 기술적격자로 선정**한다.
- 3) 기술제안서를 평가한 후 적격업체에 대해서만 가격입찰 대상으로 통보하며, 가격입찰에서 예정가격 이하의 최저가 입찰자를 낙찰자로 결정한다.

라. 제안서 작성 지침

- 1) 제안서 제출 부수 : 원본 10부
- 2) 제안서 총 페이지 수 : 40 페이지 이내 (단, 납품실적 및 개인정보사항을 포함하는 서류는 별지로 제출)
- 3) 제안서 규격 및 지질 : A4(210m/m×297m/m, 허용오차 ±5m/m는 허용)
- 4) 형 식 : 제안서의 글씨 크기는 보고서 단원의 “주요제목”과 “목차”를 제외하고는 11 Point 기준으로 작성

라. 입찰제안서 평가기준

구 분		평가항목		배점	비 고	
기술평가	수행능력 (20)	참여인력의 우수성	- 박사 (또는 기술사) 1인과 석사 1인 이상 포함	10	10	자격증(또는 학위증명서) 사본 제출
			- 석사 1인 이상 포함	8		
			- 기능사 보유 2인 이상 포함	6		
			- 기능사 보유 1인 이상 포함	4		
			- 미보유	2		
	납품실적	- 6 억원 이상 고온 초전도 전자석 납품실적 보유	10	10	실적증명서 제출 (민간실적의 경우 계산서 및 계약서 첨부)	
		- 4 억원 이상 ~ 6억 미만 고온 초전도 전자석 납품실적 보유	8			
		- 2 억원 이상 ~ 4억 미만 고온 초전도 전자석 납품실적 보유	6			
		- 2억 미만 고온 초전도 전자석 납품실적 보유	4			
		- 미보유	2			
기술 사항 (80)	과업의 이해도	<ul style="list-style-type: none"> <li>고온 초전도 코일 설계에 대한 기술적 이해도</li> <li>고온 초전도 전자석 운전에 대한 기술적 이해도</li> <li>고화질소 냉각에 대한 기술적 이해도</li> </ul>	25	매우우수:25 우수:20 보통:15 약간미흡:10 빈약:5		
	과업 수행 능력	<ul style="list-style-type: none"> <li>고온 초전도 코일 권선 설비 보유 및 권선 방법 제시</li> <li>고온 초전도 전자석 운전 방법 제시</li> <li>과업품의 설치 및 조립 방법 제시</li> </ul>	30	매우우수:30 우수:24 보통:18 약간미흡:12 빈약:6		
	시험 및 검사	<ul style="list-style-type: none"> <li>검사 및 시험 방법의 적합성</li> <li>검사 및 시험 장비의 보유 여부</li> </ul>	15	매우우수:15 우수:12 보통:9 약간미흡:6 빈약:3		
	사업관리 및 지원	<ul style="list-style-type: none"> <li>사업관리 및 수행 계획</li> <li>유지보수 등 지원 계획</li> </ul>	10	매우우수:10 우수: 8 보통: 6 약간미흡: 4 빈약: 2		
<b>합 계</b>				100		
<b>득 점</b>						