

	KSTAR 운영사업	개정번호: 2
	기 술 시 방 서 (Technical Specification)	발행일자: '18.10 페이지: 1/23

KSTAR HRS 상온압축시스템 헬륨압축기 유지보수 기술시방서

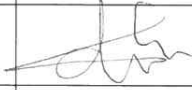


개정 이력

개정번호	개정일자	개 정 사 유
0	2012. 7	최초발행
1	2017.06	헬륨압축기 수량 변경, mechanical seal 구매 추가
2	2018.10	헬륨압축기 수량 변경

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	진공극저온연구팀/담당	주 재 준		2018.10.19
검 토	진공극저온연구팀/팀장	곽 상 우		2018.10.22
승 인	DEMO기술연구부/부장	홍 석 호		2018. 10. 29.

목 차

1. 목적	3
2. 업무범위	3
3. 재료 및 부품	10
4. 기타	11
5. 유지보수 작업 사양서	12
6. 국가핵융합연구소 환경	18
7. 검사 및 시험	19
8. 자료 제출	21
9. 보증 및 기술교육	22
10. Reference	23

1. 목적

본 문서는 국가핵융합연구소(이하 NFRI)의 KSTAR Helium Refrigeration System (이하 HRS) 상온압축시스템의 헬륨압축기 유지보수를 수행함에 있어서 필요한 전반적인 기술사양과 제반 조건을 규정한다. 계약자는 본 시방서가 언급하고, 요구하는 모든 제반 조건 및 기준을 만족시켜야 하며, 본 문서에서 표기한 사양을 만족하기 위한 기술 능력뿐만 아니라 유지보수에 필요한 시험 및 검사 설비 등을 필히 확보하여야 한다. 계약자는 본 시방서에서 요구하고 있는 기술사항 및 제반 기준에 대하여 필요시 국가핵융합연구소의 승인을 취득한 후 각각의 공정을 진행하여야 하며, 당 연구소에서 요구하는 기술적인 요구 사항에 적극적인 협조를 하여야 한다.

2. 업무범위

KSTAR HRS 상온압축시스템의 헬륨압축기 유지보수에 대하여 아래 사항을 계약자의 업무범위로 한다.

- 1) 헬륨압축기의 유지보수를 위한 소모품 공급 및 교체작업
- 2) 헬륨압축기 유지보수를 위한 전처리 작업 및 후처리 작업
- 3) 품질 (성능) 보증 및 이와 관련한 시험과 검사 (검사 장비의 검교정 포함)
- 4) 시험과 검사에 필요한 모든 장비 및 설비의 제공
- 5) 지정 장소까지의 운송 및 설치
- 6) 현장 시운전
- 7) 상기과정과 관련된 모든 문서 및 도면의 제출
- 8) 제작품의 각종 인허가 및 관련 대관업무



Fig. 1 Picture of the WCS in the helium plant room

2.1. 압축기 스테이션의 사양

압축기 스테이션은 미국의 TOROMONT Energy System (TES)에서 제작하였으며, 적용된 주요부품은 아래와 같다.

2.1.1. 압축기(Compressors)

모든 압축기는 급유유회방식의 스크루압축기이며 압축기 축봉장치(shaft seal)의 일반적인 오일 누유량은 75 ml/day이며, 만약 오일 누유량이 450 ml/day가 초과하면 개스킷을 교체해야한다. 2007년부터 가동한 KSTAR HRS의 MYCOM 압축기 누유량은 극히 미미하며, 전 캠페인 기간 (약 4~5개월)동안의 누적 누유량은 500 ml 미만이었다. 스크루압축기 내부에는 헬륨의 순환유량을 조절하기 위해 슬라이드 밸브가 부착되어 있다. 압축기스테이션은 자동운전이 이루어질 수 있도록 자동제어시스템과 계장장치들이 설치되어 있다.

압축기 스테이션은 스크루압축기로 구성된 2단 압축시스템이다.

- LP 압축기 스테이션 : 2 × MYCOM 400S
- HP 압축기 스테이션 : 2 × MYCOM 320S

압축기용 전동기의 전압은 6.6 kV이며, 사양은 아래와 같다.

- LP 압축기 스테이션 : 2 × SIEMENS 5010S (800Hp급)
- HP 압축기 스테이션 : 2 × SIEMENS 5810S (1,500Hp급)



(a) LP compressor station



(b) HP compressor station

Fig. 2 Picture of the compressor station in the WCS

2.1.2. 오일 회로(Oil Circuit)

각각의 압축기는 압축기의 출구 측에서 헬륨과 윤활유를 분리하기 위해 유분리기 (oil separator)가 설치되어 있다. 유분리기 출구에서 헬륨의 오일 함유량은 100 ppmw이며, 유분리기는 오일저장소 (oil storage)의 역할도 동시에 수행한다.

오일펌프와 필터를 포함하는 오일 순환회로 (circuit)를 순환하는 오일은 별도의 오일펌프를 통하여 순환되며, 오일펌프의 유량은 각각 1,230 lpm (LP), 2,165 lpm (HP)이다. 오일펌프와 필터는 오일 시스템의 유지 보수 시에도 시스템의 중단 (shut down)없이 연속적으로 운전하기 위하여 이중화 구조로 설치되어 있다.

2.1.3. 헬륨 및 오일냉각기 (Coolers)

압축기를 사용하여 헬륨을 압축 할 때 많은 양의 열이 발생한다. 저압단 및 고압단의 출구측과 오일-헬륨 분리기의 하단 측에는 관형 열교환기로 제작된 커다란 후냉각기 (after cooler tube-in-shell HX : Henry Technology사제)가 설치되어 있다.

- 냉각제 : 물 (최대 입구온도 32℃/ 출구온도 37℃)
- 냉각기출구의 헬륨 온도 : 약 42℃
- 냉각기출구의 오일 온도 : 냉각기의 바이패스 밸브를 사용하여 조절함.
- LP 압축기 냉각기 물유량 : 190 m³/h
- HP 압축기 냉각기 물유량 : 330 m³/h

2.1.4. Process data

Table 1. Process data of the WCS for the KSTAR HRS

Stage	LP-C/S	HP-C/S
Inlet pressure	1.05 bar	4.5 ~ 5.0 bar
Outlet pressure	4.5 ~ 5.0 bar	18 ~ 22 bar
Flow rate(nominal)	536 g/s	1046 g/s
Absorbed power	Total 3.6 MW	

총 소비전력은 최대부하에서 약 3.6 MW이며 상기의 소비전력에는 전동기의 효율과 역률이 포함되어 있다. 소비전력은 압축기 4대를 모두 전부하 상태에서 운전 할 때에 MCC에서 측정되는 값이다.

2.1.5. 측정 지점(Measuring Points)

시스템의 측정은

- 슬라이드밸브의 위치
- 헬륨과 물의 유량
- 오일(윤활유), 헬륨, 물의 온도
- 윤활유의 수위
- 운전시간 및 횟수(스크루압축기만 측정함)

- 오일(윤활유), 헬륨의 압력
- 모터 및 오일펌프의 온도, 진동 등

2.1.6. 안전장치 및 기타

설비의 안전한 운전을 위해 압축기스테이션에는 안전밸브가 장치되어있다. 운전 중의 헬륨 손실을 최소화해야하며 누설율은 2.3.6에 표기되어 있다.

2.2. 오일제거장치 (Oil Removal System) 사양

압축기 스테이션의 고압측 토출 부에 TES에서 제작한 오일제거장치가 설치되어있다. 오일제거장치는 콜드박스 입구의 헬륨내부에 함유된 오일량을 10 ppbw까지 낮춘다. 헬륨설비의 원활한 운전을 제어하기 위해서 오일제거장치의 출구 측에 Analysis port가 설치되어 순환되는 헬륨의 수분, 산소 및 질소농도를 측정한다.

오일제거장치는 작은 오일입자($3\mu\text{m}$)를 여과하기 위한 3단계의 일체화된 카트리지로 이루어져 있다. 오일제거장치의 하류 측에는 활성탄 흡착기(charcoal adsorber)를 부착하여 오일증기를 제거한다. 흡착기의 출구 측에는 헬륨의 유동에 의한 오일의 범람을 방지하기 위해 필터가 부착되어 있다.



Fig. 3 Picture of the oil removal system in the WCS

2.3. 작업범위

2.3.1. 압축기 분리

- LP/HP 압축기 분리 (MYCOM 400S/320S)

- 압축기 분리 전 coupling 제거 및 상부배관 철거
- 배관 철거 전 내부 헬륨 circuit 오염방지 방안 수립 및 시행
 - NFRI 내부에서 압축기 분리작업 시 압축기 스테이션의 배관 철거 부위 이외의 모든 헬륨 및 오일 circuit은 밀봉용 Flange로 막음 처리해야 함
 - 관련 자재 수급계획서를 포함하는 작업절차서를 NFRI에 제출해야 함

2.3.2. 압축기 운송

- 분해 및 내부 소모품 교체를 위해 수리공장으로 운송
 - ① 압축기 상차 및 하차 시 손상방지에 유의
 - ② 운송 시 압축기의 손상을 방지하기 위한 운송방안 수립 및 시행

2.3.3. 압축기 분해 및 소모품 교체

- 별도의 분해 조립 절차서, 유지보수 부품 리스트 제출
- 압축기 분해 및 소모품 교체 시 ITP (Inspection and Test Plan) 사전제출
- 해당 작업은 MYCOM 유지보수 1급 자격증을 보유한 기술자에 의해서만 작업이 이루어져야 함

2.3.4. 압축기 현장 시험

- 공장에서 압축기 가동시험 실시 (가능 시)
 - ① 가동시험 항목 제출
 - ② NFRI 기술인력 참관 예정

2.3.5. 압축기 재입고 및 재장착

- 수리 공장에서 국가핵융합연구소로 재입고
 - ① 압축기 상차 및 하차 시 손상방지에 유의
 - ② 운송 시 압축기의 손상을 방지하기 위한 운송방안 수립
- 압축기 스테이션에 압축기 재설치
 - ① 설치 후 측정렬 작업 포함
 - ② 측정렬 후 성적서 제출

2.3.6. 배관 재설치 및 내압, 누설시험

- 분리된 배관 재설치
 - ① 배관 재설치 시 필요한 소모품 (seal, gasket 등)은 계약자의 업무범위이

다.

- 배관 재설치 후 내압 및 누설시험 실시

① 내압시험 조건 : 설계압력의 1.2 배 (질소 혹은 헬륨 사용)

② Individual leak rate to ATM at working pressure < 1.0E-5 mbar·l/s

2.3.7. 배관 내부 Conditioning

- 재설치된 배관 내부에서 헬륨이외의 불순물을 제거하기 위한 Conditioning 작업 실시

① Conditioning에 필요한 진공펌프는 NFRI에서 제공 가능함.

② 진공펌프 가동을 위한 전력 유틸리티의 제공은 NFRI와 계약자가 협의하여 결정한다.

③ Conditioning에 필요한 질소 및 고순도 헬륨가스 (99.999 %)는 계약자의 업무범위에 포함시켜야 한다.

2.3.8. WCS 가동시험

- 압축기 재설치가 완료되면 압축기를 순차적으로 가동하여 압축기의 상태를 점검해야 한다.

- 점검항목은 아래와 표 2와 같다.

Table 2. Test criteria of the compressor running test

Item		Criteria	Remarks
가동전 점검		분리된 장비 및 계장류 재설치 후 점검	
압축기 가동상태		회전 및 용량조절밸브 작동	
압력	LP	1.05 bar	DCS 제어
	MP	4.5 ~ 5.0 bar	
	HP	17 bar ~ 22 bar	
유량	LP-C/S	> 536 g/s	DCS 측정값 기준
	HP-C/S	> 1046 g/s	
압축기 소음		< 95 dB(A)	
압축기 진동		< max. 4.5 mm/s RMS	현재 상태에 준함
Shaft seal 누유		제작사 표준에 따름 (<75 ml/day)	

2.3.9. 기타

- 유지보수 및 시험에 필요한 절차서는 당 연구소에 제출하여 승인을 득할 것.
- 고압가스안전관리 법규에 따른 인증작업 필요 시 업무범위에 포함 할 것
- 모든 압축기 수리용 부품은 MYCOM ((株)前川製作所)의 순정부품을 사용해야 하며, 부품 원산지 및 사양 확인을 위한 서류를 필히 제출해야 한다.
- 본 유지보수에 필요한 모든 치공구류 준비는 계약자의 업무범위에 포함된다.
- 본 유지보수 작업은 압축기 제조사인 (株)前川製作所 (MAYEKAWA MFG. CO., LTD.)의 warranty 유효범위 안에서 진행되어야 한다.
- 견적금액은 VAT를 포함 할 것.

2.4. 교정 및 수정

계약자는 제작 도중 필요에 따라 국가핵융합연구소의 승인을 취득한 후, 교정 및 수정 작업을 수행할 수 있다. 본 지시서에서 언급하는 교정 및 수정이라 함은 유지보수 작업 도중 또는 완료된 후 국가핵융합연구소에서 실행하는 각종 시험결과에 따라서 시행되는 수정 및 교정 작업을 말한다. (단, 별도로 정한 사소한 수정사항은 제작자 임의로 수정 및 교정 작업을 수행할 수 있다).

3. 재료 및 부품

- (1) 모든 사용 재료와 부품은 MYCOM 순정부품의 사용을 원칙으로 하며, 제작사에서 성능향상, 사양변경 등의 사유로 부품 사양이 변경되었을 때에는 관련사양을 NFRI에 통보하고 승인을 획득해야 한다.
- (2) 계약자가 사용 재료 또는 부품을 발주할 때는 발주할 자재 목록표 및 사양서 1부를 국가핵융합연구소에 제출하여야 하며 발주 자재가 입고된 후에는 (1)항에 언급하고 있는 사항 등을 확인하기 위한 관련 시험 성적서나 품질보증서 또는 품질확인서를 반드시 NFRI에 제출하여야 한다.
- (3) 관련 사양서에 언급되지 않거나 누락된 부품이나 재료의 사양에 대해서는 제작자가 임의로 결정해서는 안 되며 반드시 용도, 사양, Catalogue 등 관련 자료를 서면으로 제출하여 국가핵융합연구소의 승인을 취득한 후 사용한다(단, 본 제품과 관련이 없는 Jig & Fixture류는 제작자 판단 하에 별도의 서면 제출 없이 임의로 사용할 수 있다).

4. 기타

- (1) 계약자는 제작 착수 전 작업에 관계되는 절차서 및 사양서, 도면 등을 국가핵융합연구소에 제출하여 승인을 받은 후 작업에 착수하여야 한다.
- (2) 모든 공정은 관련 사양서 및 도면에서 명시된 사항들을 준수해야 함이 원칙이며, 변경 시에는 국가핵융합연구소와 협의한다.
- (3) (2)항과 관련하여 국가핵융합연구소는 사양서에 언급되어 있거나 또는 절차상의 중요한 문제점이 있는 경우에는 계약자에게 제작공정의 변경을 요구할 수 있으며, 필요시 국가핵융합연구소와 협의 후 제작공정 변경이 가능하다.
- (4) 계약자는 계약 후 월간 진도 보고 시 아래 명기한 사항이 포함된 추진현황 및 추진 예정 계획서를 작성하여 국가핵융합연구소에 반드시 제출하여야 한다.
 - 1) 자재 발주 및 입고현황
 - 2) 설계, 제작, 시험 및 검사 업무 현황
 - 3) 유지보수 작업 ITP (Inspection and Test Plan)
- (5) 압축기의 유지보수 작업 완료 후 작업결과에 대한 보고서를 작성해서 NFRI에 제출해야 하며, 모든 조립공차는 정상범위 안에 있어야 한다.

5. 유지보수 작업 사양서

5.1. MYCOM 스크루 압축기 개요

스크루압축기는 용적식 압축기의 한 종류이며 왕복운동에 의해 기체를 압축하는 왕복동식 압축기와는 달리 한쌍의 스크루 치형이 회전운동을 하면서 밀봉체적을 감소시키며 압축하는 방식으로 기체를 압축한다. 기체압축을 위한 스크루 로터는 양단의 베어링에 의해 지지된다. 스크루 로터 중 볼록한 단면형상을 가지는 스크루 로터를 수로터 (male rotor)라고 칭하며 오목한 단면형상을 가지는 스크루 로터를 암로터 (female rotor)라고 통칭한다. 아래의 그림 4는 MYCOM 스크루압축기의 일반적인 단면구조를 보여주고 있다.

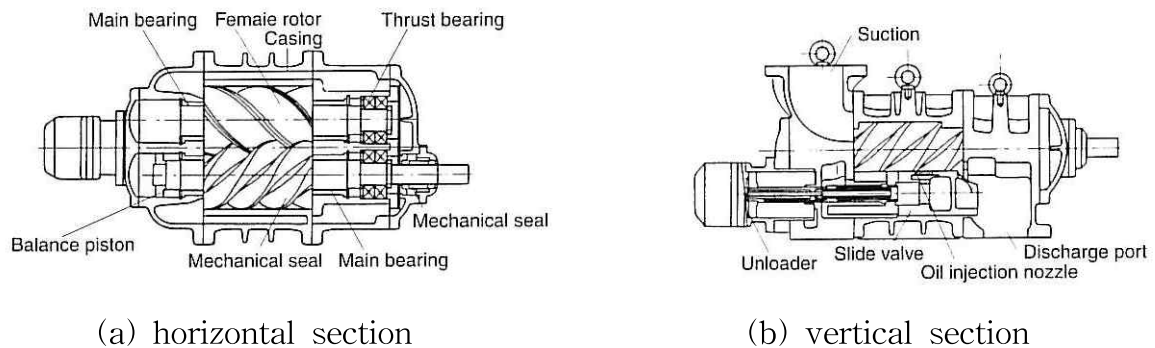
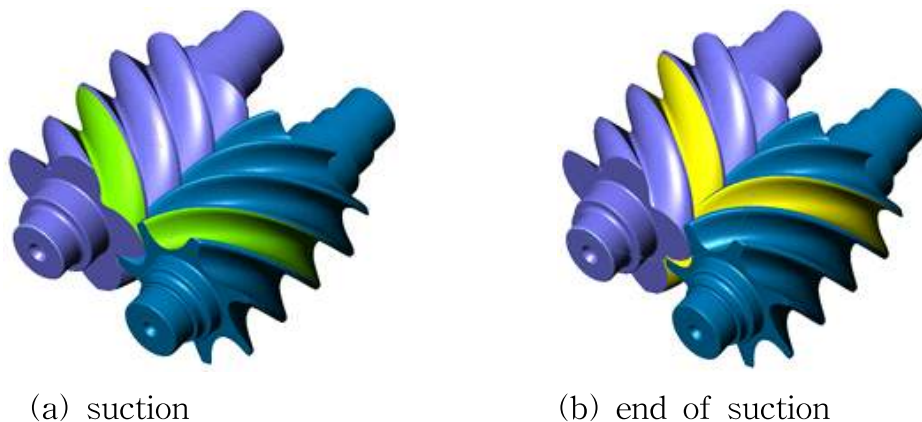


Fig. 4 Typical structure of the MYCOM screw compressor

스크루압축기의 압축과정은 아래의 그림 5와 같이 흡입→흡입종료→압축→토출과정으로 이루어지며, 이러한 과정은 구동축인 수로터가 1회전할 때마다 4회씩 반복된다. 따라서, 60Hz의 2극 전동기에 연결된 KSTAR HRS의 헬륨압축기는 이론상 3,600 rpm (60 Hz)으로 회전하므로 1초당 240회의 흡입, 압축, 토출과정이 발생한다.



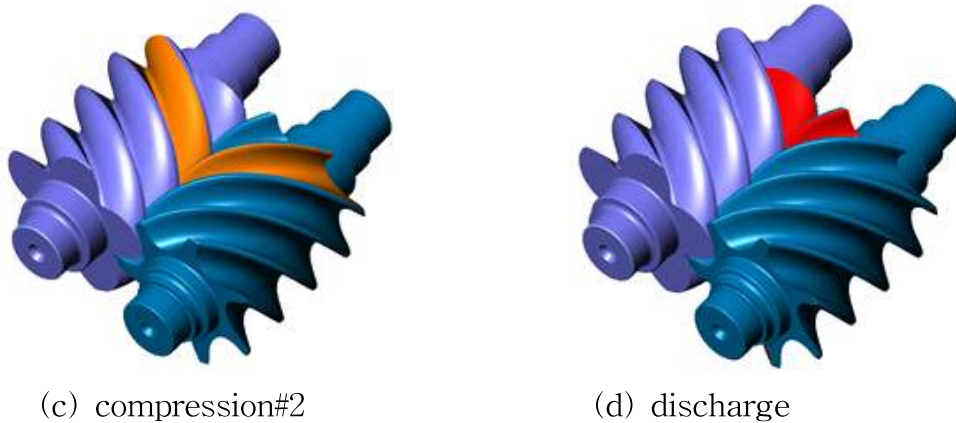


Fig. 5 Compression process of the screw compressor

MYCOM 스크루압축기의 평균유지보수 주기 (MTBM ; Mean Time Between Maintenance)는 매뉴얼 상에서 명확히 규정된 바 없이 압축기의 진동 및 소음 등 운전 상태를 고려하여 결정해야 한다. 하지만, HP 압축기인 MYCOM 320S는 Thrust 베어링이 ball 베어링으로 구성되어 있어 베어링의 한계수명시간인 30,000시간을 초과하지 않도록 규정되어 있다.

현재 KSTAR HRS의 헬륨압축기는 2011년까지 약 16,000시간 운전되었고, 5차 캠페인의 예상운전시간을 고려하면 2012년 말에는 약 20,000시간동안 운전 될 것으로 예측된다. 현재 HP 압축기는 LP 압축기에 비해 높은 진동조건에서 운전되고, 보다 높은 압력비에서 운전되므로 제작사에서 제시한 MTBM (30,000시간)보다 이른 20,000시간 후에 유지보수를 수행하여 압축기 내부 상태를 점검하고 향후 장기적인 압축기 유지보수를 위한 기초자료로 활용할 예정이다.

5.2. MYCOM 스크루 압축기 유지보수

5.2.1. 압축기 분리 준비 및 분리작업

- 압축기와 전동기를 연결하고 있는 커플링 (coupling) 분리
 - 분리한 커플링은 재설치를 위해 모두 분리위치를 표기해야 함.
 - 분리된 커플링은 청결한 보관을 위해 따로 밀봉된 상자에 보관해야 함
- 압축기 상부의 헬륨가스 배관철거
 - 배관상 설치된 각종 계장류, 센서 및 밸브 등이 손상이 없도록 세심한 주의 요망
- 압축기 분리를 위해 철거한 배관 등은 압축기 재설치 시점까지 안전하고 청결한 환경에서 보관되어야 함
- 압축기 스테이션의 기존 부위의 오염을 방지대책 수립
 - 헬륨 순환회로의 불순물 침투를 방지하기 위한 플랜지 밀봉 작업 필요

아래의 그림 6은 현재 설치된 압축기스테이션의 사진을 보여주고 있다. 계약자는 아래의 그림과 현장점검 등을 통해 안전하고 청결한 압축기 분리절차를 수립해야 한다.



(a) motor-compressor coupling



(b) piping on the compressor

Fig. 6 Preparation of the compressor dismantle

압축기 분리작업은 헬륨압축기실 (Helium Plant Room)의 오버헤드 크레인을 사용하여 진행 할 수 있으며, 압축기, 모터 및 주의 장비의 손상을 방지하기 위해 세심한 주의를 기울여야 한다. 원활한 분리작업을 위해 필요하다면 모터를 압축기스테이션 스킴드에서 분리할 수 있다.

5.2.2. 반출 및 운송

압축기 분해 및 유지보수를 위해 압축기는 수리공장으로 안전하게 이송되어야 하며, 운송작업은 계약자의 판단 하에 관련 장비를 준비하여 진행해야 한다. 압축기 운송을 위한 기본데이터 (크기 및 무게)는 NFRI에서 제공할 수 있으며, 추가적인 자료가 필요할 때에는 NFRI의 담당부서에 문의하여야 한다. 압축기 운송 시 발생할 수 있는 위험을 방지하기 위해 계약자는 운송 중 압축기를 확실히 고정해야 하며, 압축기 분리 후 시운전이 완료될 때까지 발생하는 모든 파손, 고장, 손상 등 모든 비정상 현상은 NFRI의 귀책사유가 입증되지 않으면 계약자의 책임이다.

압축기 운송 시 계약자는 안전한 운송을 위해 운송책임자를 선임하여 운송 차량에 동승하도록 해야한다.

5.2.3. 압축기 분해, 검사, 부품교체 및 재조립

압축기 분해, 검사, 부품교체 및 재조립 작업은 계약자의 책임 하에 진행되어야 하며, 분해 중 주요부품은 육안, 혹은 별도의 측정 장비를 사용하여 검사를 수행해야 한다. 분해, 검사, 부품교체 및 재조립 작업 중 중요한 시점은 NFRI의 참관 하에 수행해야 하며 관련 일정 및 절차서를 연구소에 제출하여 연구소의 승인을 획득 한 후 작업을 수행해야 한다.

압축기 검사 및 재조립 후 압축기의 조립공차, 교체부품 리스트 등을 포함하는 검사 성적서 사본을 압축기 입고 시 당 연구소에 제출해야 한다. 그리고 본 유지보수 작업 완료보고서에 관련 자료는 필수적으로 포함되어 있어야 한다.

작업이 완료된 압축기는 공장에서 출고된 신제품수준의 제품 품질을 유지해야 하며 이에대한 보고서는 유지보수 작업 완료 후 제출되는 완료보고서에 포함되어야 한다.

5.2.4. 압축기 재입고 및 재설치

압축기 재입고 및 재설치 작업은 반출 시와 마찬가지로 압축기의 손상이 없도록 운송에 세심한 주의를 기울여야 한다. 압축기 재설치 후 압축기 분리를 위해 철거한 배관은 재설치하여야 하며, 분리된 배관은 보관 중 내부에 녹발생, 이물질 침착 등을 내시경 등으로 검사하여 이상이 발생 시 내부를 세정 후 설치해야 한다. 또한, 재설치 시 철거되지 않은 헬륨배관에 불순물이 유입되어 전체 헬륨 회로가 오염되는 것을 방지하기 위해 배관설치절차에 유의해야 한다.

배관설치 후에는 배관의 체결상태를 확인하기 위한 내압시험과 헬륨가스의 누출을 확인하기 위한 헬륨누설시험을 수행해야 한다. 내압시험과 헬륨누설시험은 KSTAR HRS의 제작단계에서 적용한 규격을 적용해야 하며 본 규격은 본 문서에 첨부물 형태로 제공될 것이다. 압축기 및 배관의 재설치 후에 실시하는 내압시험, 누설시험 및 내부 Conditioning 작업은 본 장비가 제작될 당시 적용한 절차 및 규격에 따라 수행되어야 하며, 본 절차는 NFRI에서 제공될 것이다.

5.2.5. 압축기 가동준비

압축기 재설치 후에는 압축기 시험가동을 위한 준비 작업을 수행해야 한다. 가동준비 작업은 압축기의 정상적인 가동을 위한 모든 작업을 의미하며 본 시방서에서 기술되지 않았더라도, 압축기의 정상가동에 필요한 작업은 계약자의 업무범위에 포함된다.

우선 배관설치 후 배관내부의 공기, 수분 등 헬륨이외의 불순물을 제거하기 위한 Conditioning (혹은 헬륨 치환) 작업을 수행해야 한다. KSTAR HRS의 헬륨 circuit이 질소 및 산소 허용량은 총합 10 ppm 미만이며, 측정장비의 오염이 우려되는 부위의 불순물 검사는 생략할 수 있지만, 이를 위해서는 적어도 7회 이상의 진공배기 후 헬륨 충전 작업을 수행해야 하며 이는 NFRI의 표준작업 절차이

다. 제거되었던 각종 계장류와 센서 등은 재설치 후 작동여부에 대한 점검을 완료해야 하고, 제어밸브 류 등은 작동시험은 가동 전 필수적으로 수행해야 한다.

이후 압축기와 모터의 축을 정렬한 후 coupling을 체결해야 한다. coupling을 체결하기 전 NFRI의 담당부서와 계약자는 모터 단독 가동시험을 수행하여 혹시 모를 모터의 역회전을 점검해야 한다. 모터와 압축기의 축정렬 작업은 숙련된 전문 인력에 의해 수행되어야 하며, 축정렬 절차 및 기준과 관련된 문서는 연구소의 승인을 획득한 후 실시해야 한다.

5.2.6. 압축기 가동시험 (시운전)

압축기의 가동시험은 KSTAR HRS의 가동을 산정하여 LP와 HP 압축기 4대를 모두 가동시키면서 시험을 수행해야 한다. 압축기의 기동은 DCS를 이용한 자동 기동 방식으로 기동해야 한다. 기동 후 아래의 표에 나온 항목에 대한 점검을 수행해야 한다.

시험은 최소 24시간동안 수행되어야 하며, 압축기 가동시험에 소요되는 전력, 냉각수의 공급은 시운전 일정에 맞추어 NFRI에서 준비할 예정이다. KSTAR HRS의 WCS 운전압력은 크게 저압 (LP), 중압 (MP) 그리고 고압 (HP)로 나누어지는데 이중 MP와 HP는 운전자가 설정 값을 변경할 수 있다. 시운전 기간 동안 WCS의 운전압력은 전 영역에서 NFRI 운전자의 제어에 따라 안정되게 유효 숫자 3자리 범위 내에서 운전되어야 한다.

압축기 가동시험 중 시험항목의 측정을 위한 계측기는 계약자가 준비해야 하며, 계약자와 NFRI의 합의에 따라 NFRI의 계측기를 사용할 수 있다.

Table 3. Test items for the compressor running test

Items		MYCOM 400S (LP-C/S)	MYCOM 320S (HP-C/S)	Remarks
Press.	suction	1.05 bar	4.5 ~ 5.0 bar	
	discharge	4.5 ~ 5.0 bar	18 ~ 22 bar	
Temp.	suction	40 °C	←	± 10 %
	discharge	< 90 °C	←	
	lubricant	< 54 °C	←	
Mass flow for skid		< 536 g/s	< 1,046 g/s	
Noise level	indoor	< 95 dB(A)	←	
	outdoor	< 75 dB(A)		
Vibration (3-axis)	comp.	< 2 mm/s (each)	< 4 mm/s (each)	RMS value
	motor	< 2 mm/s (each)	←	
	oil pump	< 2 mm/s (each)	←	
Slide valve		0~100 %	←	
Mechanical seal leak.		< 75 ml/day	< 75 ml/day	

5.2.7. 핵융합연구소의 감독업무

본 유지보수 작업이 수행될 때 핵융합연구소의 담당부서 직원은 감독업무를 수행한다. 핵융합연구소 직원의 업무는 절차서 및 사양서, 결과보고서, 발주자재 등에 대한 검토·승인 업무를 수행하고, 압축기의 분해, 검사, 재조립 작업 진행 시 현장참관 및 검사 업무를 수행한다. 계약자는 NFRI 직원이 수리공장에서의 검사 업무에 지장이 없도록 제반협조를 해야 한다.

압축기 수리 후 운전 준비작업과 시운전 작업은 NFRI 직원의 감독 하에 계약자가 현장업무를 수행해야 하고, 시운전 작업은 NFRI 직원에 의해 수행되며, 계약자는 시운전 참관을 수행한다. 시운전 시 계약자는 기동 후 24시간 동안 정상운전을 확인 한 후 본 유지보수 작업을 종료할 수 있다.

5.2.8. 계약자의 현장 책임자 (대표자) 업무

본 유지보수 작업이 수행될 때 계약자의 현장대표자 혹은 책임자가 모든 작업을 참관해야 하며, 핵융합연구소의 감독자의 지시사항을 준수할 수 있도록 협조해야 한다. 시운전 시 계약자의 현장대표자 혹은 책임자는 전체 시운전 작업을 참관하며 본 유지보수 작업이 성공리에 완수 되었는지 확인해야 한다.

5.2.9. Warranty

본 계약의 하자보수 기간은 국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률에 따른다.

6. 국가핵융합연구소 환경

6.1. 국가핵융합연구소 출입 및 작업 준수 사항

6.1.1. Access card

제작자가 국가핵융합연구소의 출입을 요청한 모든 작업인원은 국가핵융합연구소가 정한 모든 규정들을 준수한다는 서약을 하고 지정된 작업장소를 출입할 수 있는 출입증이 발급된다.

6.1.2. 작업공간

- (1) 제작자에게 할당된 작업공간은 국가핵융합연구소의 승인 없이 확장할 수 없고 재료와 장비의 보관은 지정된 작업공간에서만 가능하다.
- (2) 재료와 장비를 지정장소에 보관 시 관계자 이외의 제3자가 물품 식별이 가능하도록 별도의 식별표를 부착하여야 한다.
- (3) 작업공간을 구분 짓는 fence가 필요시 작업자가 공급하여야 한다.
- (4) 제작자는 타 제작자 그리고 국가핵융합연구소의 다른 작업들과의 간섭을 최소화하기 위한 적절한 주의를 기울여야 한다.

6.1.3. 화재 예방용 fence

제작자는 화재나 폭발의 위험을 최소화하기 위하여 용접, 절단, 연삭 등과 같이 고온이 발생하는 작업 시, 작업장 주위에는 보호 fence를 설치하여야 한다.

7. 검사 및 시험

7.1. 검사 및 시험 일반

- (1) 계약자는 NFRI가 지정한 검사 이외에도 업무수행 중 진행되는 검사에 대한 제안도 제출하여야 한다.
- (2) 계약자의 최종 검사 계획은 NFRI의 승인을 얻어야 하며 모든 검사의 실행은 계약자의 책임이다. 또한 주요 검사는 실행 1주일 전에 NFRI에 통보하여야 한다.
- (3) 모든 측정 장비는 측정에 적합한 장비여야 하며 검교정이 완료된 장비여야 한다 필요시 검교정자료를 제출해야 한다).
- (4) 유지보수 작업 검사 중 NFRI 대표자들에게는 각종 문서에 대한 열람 권한을 포함한 유지보수와 관련 된 모든 작업장소, 사무실, 실험실에 대한 접근 권한이 부여되어야 한다.
- (5) 검사 중 NFRI의 어떠한 승인도 계약서에 명시된 계약자의 책임으로부터 면제하지 못한다.

7.2. 검사 및 시험 방법

7.2.1. 일반 사항

- (1) 모든 시험 및 검사기준은 관련 도면 및 사양에 따른다.
- (2) 계약자는 관련절차서 제출시 검사품목 및 요령서 (시험항목, 시험기기, 시험기준 및 방법, 검사 Sheet 등)를 제출하여 NFRI의 사전 승인을 받는다.
- (3) 모든 시험 및 검사는 NFRI의 입회하에 공동 실시하는 것을 원칙으로 하며 검사 Sheet에 그 결과를 기록하여 합부 판정을 하며 그 결과를 NFRI에 제출하여야 한다.
- (4) NFRI는 계약자의 제출 자료가 부적합하다고 판단 될 경우, 제3의 공인기관에 성능시험을 의뢰할 수 있다. 공인기관의 검사결과 계약자가 제출한 자료가 부적합한 것으로 판정되는 경우 제작자는 제반비용 일체를 부담해야 한다.
- (6) NFRI의 검사원 또는 위촉한 제3의 검사기관의 검사원이 검사를 실시할 때, 검사원이 필요하다고 판단되는 자료의 제출을 요구하는 경우 제작자는 즉시 그 자료를 제출한다.
- (7) NFRI는 필요 시 제3의 검사기관 또는 검사원에게 감독관에 준하는 권한을 위임할 수 있다.

- (8) 계약자는 제작 중 부품관리 Sheet를 보관 유지해야하며, NFRI에 제출해야 한다.
- (9) 본 작업에 대관업무가 필요하다면 계약자는 관련 서류를 준비하여 인허가 업무까지 완료시켜야 한다.

7.2.2. 용접부 검사

만약 배관 철거 시 배관의 절단은 원칙적으로 불가하지만, 부득이한 배관의 절단 시 절단부위는 완벽히 원상복구 되어야 하며 안전을 위해 아래와 같은 용접부 검사를 수행해야 한다. 배관의 절단, 재연결 작업 시 그라인더 등 particle을 발생시키는 절단장비의 사용은 절대적으로 금지한다. 절단을 위한 장비는 상세사양을 연구소에 제출 한 후 승인을 획득해야 한다.

- (1) 모든 용접 관련 작업은 해당 코드에 의거하여 수행하여야 하고 압력용기와 각종 piping의 용접사는 인증된 검사기관에서 발급한 자격증을 소지하여야 한다.
- (2) X-ray 검사의 정도는 설계규격에 언급된 바를 준수하여야 하며 그 외 비파괴 검사는 성능 의문 시 국가핵융합연구소에서 요구할 수 있다.
- (3) 모든 용접 부위는 100 %의 X-ray 검사를 거쳐야 한다. 용접 관련 결함 및 용접부 누설이 발견될 경우 관련 code에 따라 보수를 수행해야 한다.

7.2.3. 압력 및 누설 검사

- (1) 기압시험 및 수압시험은 관련법규에 따라 시험을 실시한다.
- (2) 모든 내압시험이 완료 후 당 연구소의 승인을 받은 절차서에 따라 헬륨누설시험을 실시한다. 시험 전 계약자는 헬륨누설시험 절차서를 당연구소에 제출하여 승인을 득해야 한다.(누설기준은 본 장비의 제작 시 적용한 규격을 적용한다.)
- (3) 헬륨누설시험 이후 용접부의 수정, 밸브의 탈착, 플랜지부의 개방이 있을 시 절차서에 명기된 헬륨누설시험을 다시 실시한다.

7.2.4. 인허가 및 대관업무

- (1) 본 제품 제작설치 시 필요한 인허가 및 대관업무를 제작사에서 수행해야 한다.
- (2) 인허가 및 대관업무수행에 차질이 없도록 제작사와 국가핵융합연구소는 긴밀한 업무협조를 해야 한다.

8. 자료 제출

8.1. 계약자는 작업개시 1개월 전까지 아래에 명기된 사항이 포함된 추진방안 및 일정을 제출하여야 한다.

- 1) 압축기 분리 절차서
- 2) 압축기 유지보수 절차서
- 3) 교체부품 리스트
- 4) 현장 시험계획서
- 5) 유지보수 ITP
- 6) 기타 관련 자료

9. 보증 및 기술교육

9.1. Warranty

계약자는 압축기 수리 및 설치완료 후 2년간 다음 사항에 대해 보증해야 한다.

- (1) 작업 불량 및 기술 미숙으로 인한 결함
- (2) 사용 재료 불량으로 인한 결함
- (3) 결함에 대한 원인 분석 및 이의 해결책

보증항목에 대해서는 작업 시작 전 NFRI와 협의하여 결정하며, mechanical seal과 베어링의 수명은 필수적으로 보증해야 한다. 각 부품 류의 일반적인 보증 기간은 아래의 표 4와 같다. 단, 연구소의 과실에 의한 장비의 손상이나 고장은 보증항목에서 제외된다.

Table 4. Warranty period

항 목	보증기간	비고
베어링 류	2년	
Mechanical seals	운전시간 8,000시간	
기 타	2년	

9.2. 기타 사항

1) 계약자의 자격요건

- 본 유지보수 계약은 KSTAR HRS에 설치된 동급의 스크루압축기 유지보수 실적을 보유한 업체만이 가능하며, 입찰 시 유지보수 실적을 NFRI에 제출해야 한다.
- 본 작업은 대형 스크루압축기 유지보수작업이기 때문에 특정설비 (압축기) 제조등록이 되어 있는 사업자가 본 작업을 수행해야 하고, 본 작업 수행 시 압력배관의 해체 및 재설치 작업이 예측되므로 압력배관의 절단, 용접 및 비파괴 검사에 관련 작업 가능업체만이 본 계약을 체결할 수 있다.
- 특히, 본 계약을 수행하기 위해서는 KSTAR HRS의 헬륨압축기 제작사 인 株式会社 前川製作所 (MAYEKAWA MFG. CO., LTD.)의 유지보수 허가를 취득해야 한다.

2) 계약자의 선정

본 계약의 계약자 선정은 공개입찰을 원칙으로 하며, 상기의 계약자의 자격을

충족하는 업체만이 공개입찰에 참여할 수 있다.

3) 유지보수 작업 기간

본 유지보수 작업은 계약 완료일부터 6개월 이내에 완료되어야 한다.

10. Reference

첨부#1. MYCOM Screw Compressors maintenance manual (125-400UD)

첨부#2. 22894-EDC-902-2(3) Helium Leak Testing Procedure

첨부#3. 22894-EDC-902-1(4) Internal Cleaning Procedure