

**Pyro 공정장치의 원격 운전/유지보수를 위한
일반지침**

General Guidelines for Remote Operation and Maintenance of
Pyroprocess Equipment

KAERI

2007. 12

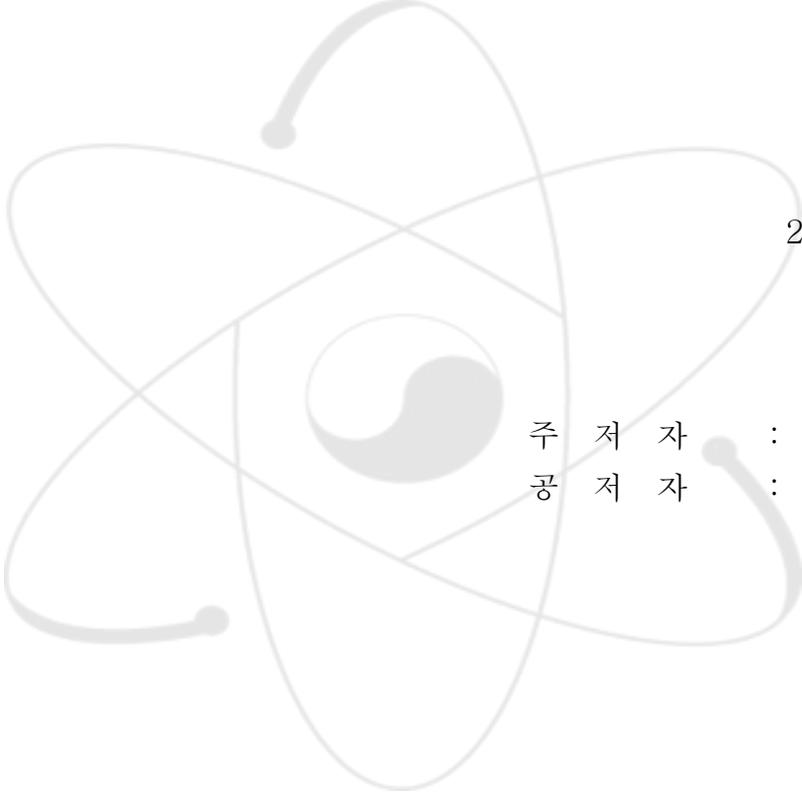
한국원자력연구원

제 출 문

한국원자력연구원장 귀하

본 보고서를 “핵연료주기 원격 취급기술 개발”과제와 관련하여 2007 년도의 기술보고서로 제출합니다.

2007. 12.

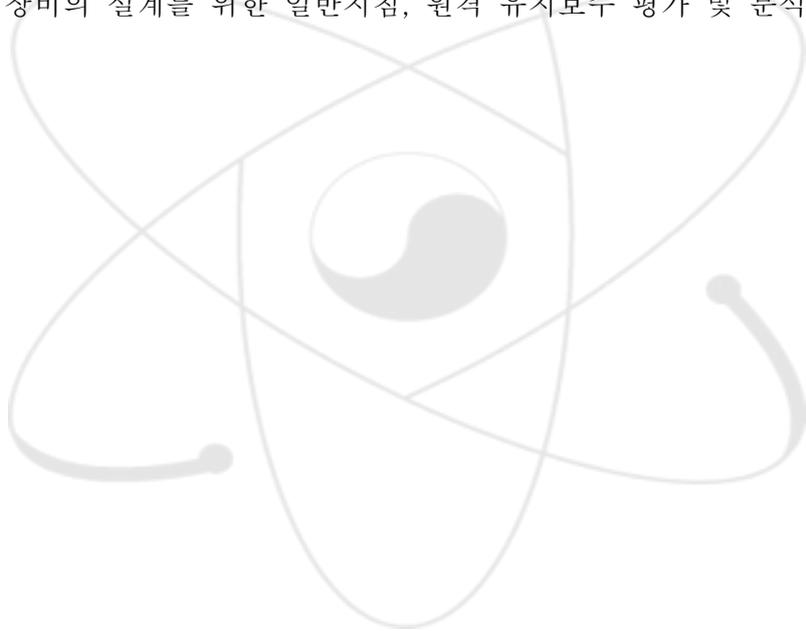


주 저 자 : 김 성 현
공 저 자 : 박 병 석
박 희 성
이 효 직
최 창 환
이 종 광

요 약 문

Pyro 공정은 고방사성 물질을 취급하는 공정으로서 고방사성물질을 취급하는 시설은 고도의 안전성과 방사능 차폐, 엄격한 품질관리 및 최첨단의 원격취급장비가 요구되는 시설이다. 본 지침서는 미국 ANS(American Nuclear Society)의 핫셀시설에서 원격 유지보수와 관련된 장비의 설계 및 지침, ORNL(Oak Ridge National Laboratory)에서 발간된 원격유지보수 장비의 설계 지침 및 ACPF(Spent fuel Advanced Conditioning Process Facility)에 설치된 공정장치에 적용한 설계를 토대로 pyro 공정에 필요한 원격유지보수 장비와 공정장치의 대한 일반지침서를 기술하였다. 본 보고서에 기술된 지침서는 다음과 같다.

Pyro 공정장치의 원격 운전/유지보수를 위한 일반지침(Pyro 공정의 원격 운전/유지보수 장비, 원격 운전/유지보수를 위한 일반적인 고려사항, 원격 운전/유지보수 대상 장비의 설계를 위한 일반지침, 원격 유지보수 평가 및 분석)



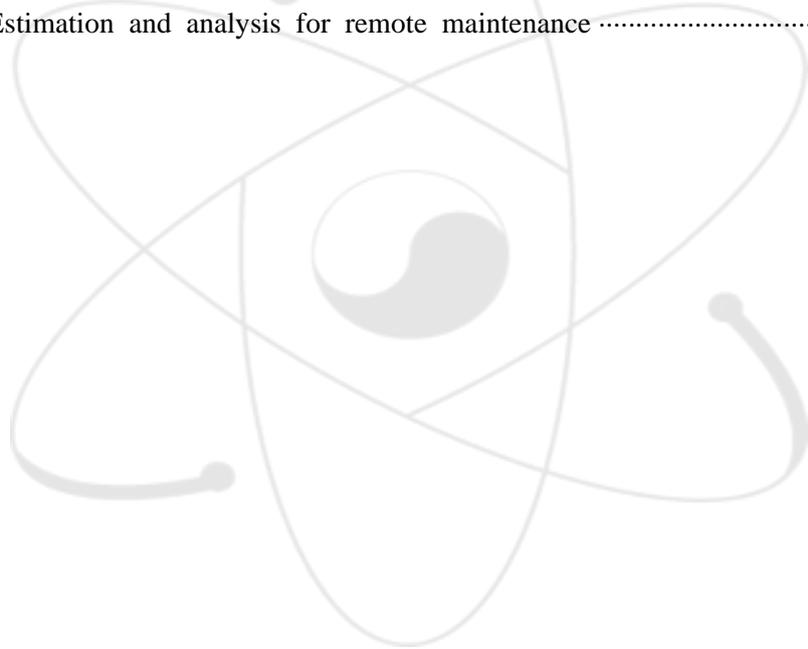
SUMMARY

As the pyroprocess handle the high radioactive materials, a high radioactive material handling facility required high safety, radioactive shielding, strict quality control, and the remote handling equipment of high technology. This report describes the guidelines of for pyroprocess based the design guides for radioactive material handling facility and equipment from American Nuclear Society(ANS), design guidelines for remotely maintained equipment from Oak Ridge National Laboratory(ORNL), and the experience of design for ACP equipment installed at the ACPF(Advanced Conditioning Process Facility). The design guidelines in this report are as follows.

The general guidelines for remote operateion and maintenance pyroprocess equipment : Pyroprocess, Remote handling equipment for pyroprocess, General guide for remote operation and maintenance, General guidelines for the design of remotely operated and maintained equipment, Estimation and analysis for remote maintenance

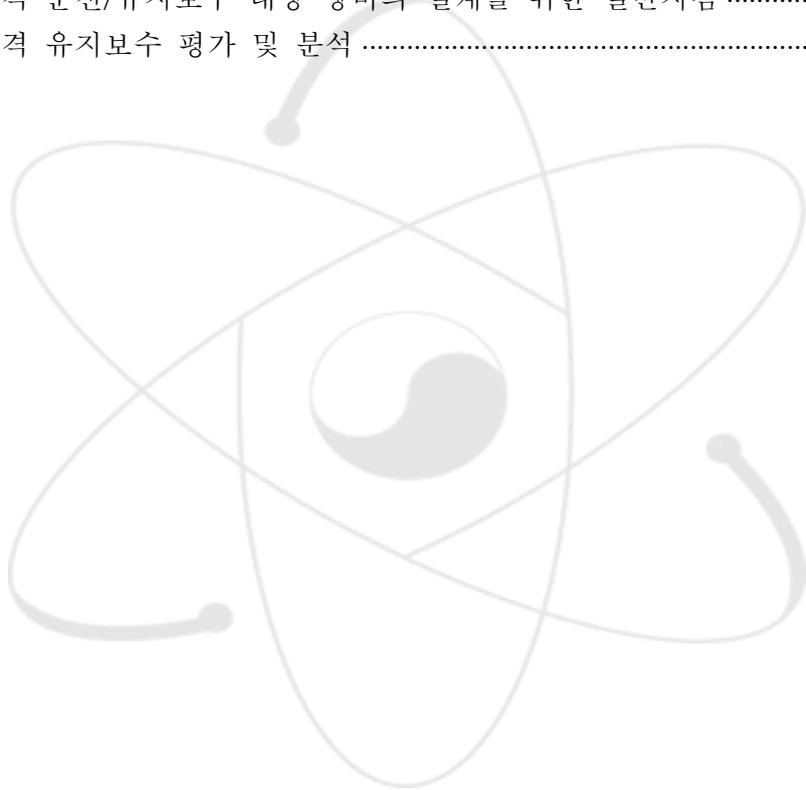
CONTENTS

Chapter 1 Introduction	1
Chapter 2 Design guidelines for remotely operated and maintained equipment for pyroprocess	2
Pyroprocess	4
Remote handling equipment for pyroprocess	6
General guide for remote operation and maintenance	10
General guidelines for the design of remotely operated and maintained equipment	12
Estimation and analysis for remote maintenance	26



목 차

제 1 장 서론	1
제 2 장 Pyro 공정 원격 운전/유지보수 대상 장비의 설계지침	2
Pyro 공정	4
Pyro 공정의 원격 운전/유지보수 장비	6
원격 운전/유지보수를 위한 일반적인 고려사항	10
원격 운전/유지보수 대상 장비의 설계를 위한 일반지침	12
원격 유지보수 평가 및 분석	26



제 1 장 서 론

Pyroprocessing 기술은 고온에서 매우 안정한 매질인 LiCl 혹은 공융조성 LiCl-KCl 용융염계에서 전기화학적 반응을 이용하여 핵연료 물질을 회수하는 기술이며, 전기화학적 반응 구현방법에 따라 전해환원, 전해정련 및 전해제련기술로 크게 구분할 수 있다. 파이로기술은 사용후핵연료를 재사용할 수 있는 우라늄과 TRU 등의 악티늄족 원소를 회수하여 소듐냉각 고속로의 핵연료로 재순환시키는 closed fuel cycle을 완성시키는 미래 핵연료주기의 핵심기술이다. 따라서 금속핵연료 시제품 및 향후 상용규모 시설 확보에 필요한 설계기술 확보가 본 기술 결과물의 목표이다. 현재 pyro 공정의 전해환원공정은 핫셀시설에서 모의 핵연료를 이용한 실증 시험을 수행한 바 있으며 원격 운전/유지보수에 관한 장치의 설계를 적용한 바 있다. 또한, 전해환원 공정의 후속공정인 전해정련 및 전해제련기술은 2011년까지 100kg/batch의 공정을 확립하고 목업에서 전 공정을 수행하는 목표로 연구를 수행하고 있다.

고방사성 물질을 취급하는 시설은 고도의 안전성과 방사능 차폐, 엄격한 품질관리 및 최첨단의 원격장비가 요구된다. Pyro 공정은 고방사성 물질을 취급하는 공정으로서 핫셀 내에서 이루어지기 때문에 모든 운전은 원격으로 진행되며, 공정장치의 고장으로 인한 유지보수 또한 원격으로 수행되어야 한다. 본 보고서에서는 방사성 물질을 취급하는 시설에서의 원격 운전/유지보수 대상의 장비에 대한 설계지침을 기술하였다. 이 지침은 미국 ANS(American Nuclear Society)에서 “고방사성 차폐시설의 설계지침”, ORNL(Oak Ridge National Lab.)의 “원격 유지보수 장비의 설계 지침”, 및 차세대관리공정의 장치 설계 경험을 바탕으로 pyro 공정장치의 원격 운전/유지보수를 위한 일반지침을 기술하였다. 본 지침은 pyro 공정의 원격 운전/유지보수 장비, 원격 운전/유지보수를 위한 일반적인 고려사항, 원격 운전/유지보수 대상 장비의 설계를 위한 일반지침, 원격 유지보수 평가 및 분석에 대하여 기술하였다.

제 2 장 Pyro 공정장치의 원격 운전/유지보수를 위한 일반지침

Pyro 공정의 원격조작되는 공정설비와 원격취급 장비는 성공적인 운전을 위해서는 시설, 장비 운전 및 원격 유지보수 개념을 포함하고 있어야 한다. 원격 운전/유지보수는 장비의 설계 초기 단계에서 도출하여 계획을 세워야 한다. 운전/유지보수를 위해 필요한 공정장비 및 원격 취급계통을 나타내는 흐름도, 장비의 기능, 장비의 보수 방법, 고장해석, 유지보수 및 운전기능 분석 등의 사항들이 분석되어 원격 운전/유지보수 대상장비의 설계에 반영되어야 한다. 본 보고서에 기술된 일반 지침은 목업 설계에 따른 원격취급 장비의 작업영역 분석을 통하여 추후 지속적인 수정 및 보완이 이루어 질 것이다.



- 목 차 -

1. Pyro 공정
 - 1-1 Pyro 공정 개요
 - 1-2 Pyro 핵물질 흐름도
 - 1-3 Pyro 공정의 사용후핵연료 기준 사양
2. Pyro 공정의 원격 운전/유지보수 장비
 - 2-1 벽 부착형 마스터/슬레이브 조작기(MSM)
 - 2-2 크레인(Overhead Crane)
 - 2-3 천정이동 양팔형 텔레스코픽 서보 조작기
3. 원격 운전/유지보수를 위한 일반적인 고려사항
4. 원격 운전/유지보수 대상 장비의 설계를 위한 일반지침
 - 4-1 방사선 차폐
 - 4-2 표준화
 - 4-3 교환성
 - 4-4 접근성
 - 4-5 고장 고려사항과 오작동 진단
 - 4-6 장비의 저장
 - 4-7 장비의 모듈화
 - 4-8 특수 공구
 - 4-9 인양 고리
 - 4-10 조작을 쉽게 하기 위한 기계적인 도움
 - 4-10-1 화스너(Fastener)
 - 4-10-2 정착물(Fixture)
 - 4-10-3 가이드(Guide)
 - 4-11 재료선정
 - 4-12 전원 커넥터
5. 원격 유지보수 평가 및 분석

1. Pyro 공정

1-1 Pyro 공정 개요

Pyro 공정은 사용후핵연료에서 재사용할 수 있는 우라늄과 TRU 등의 악티늄족 원소를 회수하는 기술로서, 향후 GEN-IV와 연계하여 Closed Fuel Cycle을 완성시키는 미래 핵연료주기의 핵심기술이다. 이 기술은 사용후산화물 핵연료를 대상으로 우라늄과 초우라늄원소를 금속으로 회수하여 소듐냉각 고속로의 핵연료로 재순환시키는 기술 및 공정을 개발을 목적으로 하고 있고, 금속핵연료 시제품 및 향후 상용규모 시설 확보에 필요한 설계기술 확보가 본 기술 결과물의 최종 목표이다.

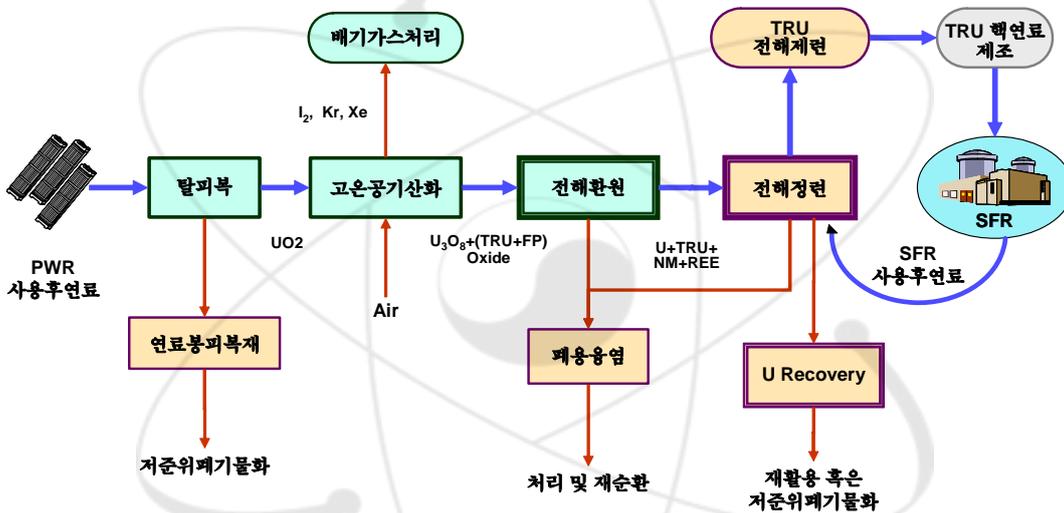


그림 1-1 Pyro 공정의 개념.

1-2 Pyro 공정 및 핵물질 흐름도

Pyro 공정의 주 공정은 핫셀에서 사용될 사용후핵연료의 이송에서 시작된다. 먼저 발전소에 수송된 캐스크가 Pyro 공정 처리시설로 운반되어 오면 사용후핵연료 집합체를 사용후핵연료 저장고에 저장한다. Pyro 공정에 필요한 사용후핵연료를 얻기 위해 사용후핵연료 집합체를 해체하고 공정처리가 용이한 크기로 절단하는 기계적 전처리공정을 거친다. 절단된 연료봉에서 고온으로 공기를 공급하여 UO₂ 펠릿을 U₃O₈ 으로 산화시켜 균질화된 미세 분말로 제조하는 분말화공정을 거치게 된다. 전해환원은 PWR SF를 금속전환과 일부 고방열 핵종을 선택적으로 분리하는 기술로, LiCl-Li₂O 용융염계에서 PWR SF의 금속전환 반응과 Li₂O의 전해반응이 동시에 진행하여 SF로부터 금속전환된 잉곳을 얻으

며 금속 전환된 잉곳은 금속 우라늄과 초우라늄 원소 및 란탄족 원소로 구성된다. 이들을 분리하기 위하여 전해정련과 제련공정, 환원, 산화추출공정 및 석출물 회수공정 등 크게 3부분으로 분류된다. 전해정련 공정은 핵분열 생성물을 용융염에 남겨 두고 악티늄 원소만을 회수하는 가장 중요한 공정이다. 사용후 핵연료를 건식처리에서 발생된 용융염 폐기물은 폐기물의 양이 최소가 되도록 처분장 수용기준에 적합한 고건전성 고화체로 제조되는 폐기물 처리공정이 포함된다. 그림 1-2는 Pyro 공정의 엔지니어링 스케일 Pyro시설(ESPF)의 핵물질 흐름도를 표시하였다.

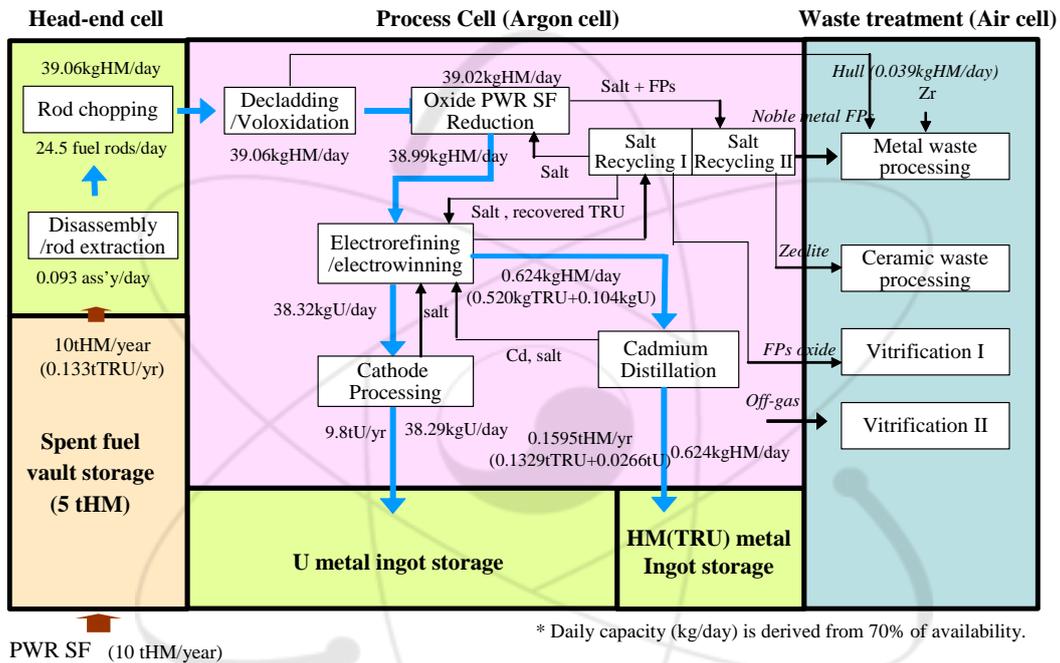


그림 1-2 Pyro 공정의 흐름도.

1-3 Pyro 공정의 사용후핵연료 기준 사양

Pyro 공정의 실증시험에 사용될 핵물질의 취급 기준량이나 기준 방사능을 설정하기 위해서는 사용할 사용후핵연료의 기준 사양의 결정이 선행되어야 한다. Pyro 공정의 엔지니어링 스케일 Pyro시설, 한국형 차세대 Pyro 시설(KAPF)에 사용되는 사용후핵연료의 취급량은 각각 10 tHM/y와 100 tHM/y이며 사용후핵연료의 기준사양은 아래와 같다.

- U-235 농축도 : 4.5 wt%

- 연소도 : 45,000 MWD/MTU
- 냉각기간 : 10 년



2. Pyro 공정 원격 운전/유지보수 장비

원격 취급작업은 다음과 같이 세 가지로 분류할 수 있으며 대부분의 원격작업은 아래 작업을 두 가지 또는 그 이상을 조합하거나 동시에 적용이 될 수 있다.

- 1) 인양(lifting) : 단순한 인양작업으로서 수 kg - 수 톤에 이르는 용량을 취급하는 크레인 및 호이스트를 사용하는 작업이다.
- 2) 중 조작 : 취급용량이 0 - 272 kg 이며 다 자유도를 갖고 조작할 수 있다. 일반적으로 전동식 매니퓰레이터를 사용하는 작업이다.
- 3) 정교한 조작 : 취급용량 및 인간과 같은 정교한 작업을 제외하고는 중 조작과 동일하며, MSM 및 글로브로 작업을 수행한다.

원활한 원격 취급작업 수행하는데 시각은 매우 중요하기 때문에 요건은 만족하기 위해서는 여거가지의 시각 장치를 병행하여 사용한다. 시각장치에는 일반적으로 방사선 차폐창, cctv, 벽 부착 잠망경 및 거울 등이 있으며 이를 보완하기 위해 쌍안경, 망원경 및 borescope 등이 사용된다. 또한 조명은 시각계통의 중요한 구성품으로 시각계통을 보완한다.

Pyro 공정의 실증을 위해 핫셀에 설치될 원격 운전/유지보수 장비로는 무거운 물건의 운반을 위한 크레인, 핫셀 벽에 부착되어 원격 작업을 수행할 마스터/슬레이브 조작기 및 천정이동형 장비에 부착되어 이동하면서 작업을 수행할 수 있는 천정이동 양팔형 텔레스코픽 서보 조작기가 있다. 원격 작업이 요구되는 공정장치들은 원격 운전/유지보수 장비의 작업영역 내에 위치하여야 하며, 실제적인 작업을 위한 공간 분석은 원격 유지보수 장비의 접근성 및 작업성 등을 고려해 별도로 수행되어야 한다. 이런 작업범위의 해석을 위해 시설 및 장비의 상세한 3차원 배치도, 원격취급계통, 실물크기 모형, 축적 모델, 컴퓨터 그래픽스 등이 사용된다.

2-1 벽 부착형 마스터/슬레이브 조작기(Master/Slave Manipulator : MSM)

기계식 마스터 슬레이브 매니퓰레이터는 적절하게 균형 잡히고 마찰 및 관성이 적은 장비이다. 작업자는 마스트 끝에서 운전을 하고, 작업은 슬레이브 끝에서 수행된다. 기계식 MSM은 자유자재로 움직일 수 있기 때문에 슬레이브 끝이 딱딱한 물체와 충돌할 때, 또는 하중을 다룰 때 작업자가 쉽게 조종감을 느낄 수 있다. 슬레이브 끝은 불규칙한 표면을 닦거나 크랭크의 회전운동 등을 수행하도록 용이하게 조작할 수 있다. 기계식 MSM은 X,Y,Z 상승(Elevation), 방위(Azimuth), 뒤틀림(Twist), 파지(Tong Squeeze Motion)의 7종류의 동작을 수행한다. 기계식 매니퓰레이터는 6축의 자유도로 작업 공간 내에서 자유자재로

움직일 수 있다. 기계식 매니플레이터는 4가지 기본형상과 5가지 주요 형식을 갖는다. 4가지 기본 형상은 차폐의 한계성으로 저준위 방사능 시설에 사용되는 ball joint manipulator, over-the-wall manipulator와 고준위 방사능 시설에 사용되는 관절형 thru-wall manipulator, telescoping형 thru-wall manipulator로 나뉜다. 5가지 주요 형식은 다음과 같이 분류된다.

- (1) 경량 매니플레이터 : 취급 용량은 5kg의 경량으로 4가지 기본 형상이 가능하며 일반적으로 소형이다.
- (2) 표준 매니플레이터 : 취급 용량은 10kg으로 telescoping 형 형상을 갖으며 벽에 있는 구멍을 통하여 설치된다. 표준 매니플레이터는 경량 매니플레이터 보다 더 크고 더 높은 위치에 설치된다.
- (3) 중량 매니플레이터: 취급 용량은 23kg으로 telescoping 형 형상을 갖으며 벽에 있는 구멍을 통하여 설치된다. 물체의 파지를 제외한 기계적 동작의 편의성은 없으며, 매니플레이터는 손잡이의 파지력이 45kg 이상에 도달하면 정지하도록 파지력을 지속적으로 증가시킨다.
- (4) Rugged-duty 매니플레이터 : 취급 용량은 45kg으로 telescoping 형 형상을 갖으며 벽에 있는 구멍을 통하여 설치된다. 이 매니플레이터 역시 물체의 파지를 제외한 기계적 동작의 편의성은 없다.
- (5) 봉인(Sealed) 매니플레이터 : 취급 용량은 경량, 표준, 중량의 경우에 모두 적용 가능하며, telescoping 형 형상을 갖으며 벽에 있는 구멍을 통하여 설치된다. 이 매니플레이터는 슬레이브 팔, 봉인관(Seal Tube), 마스터 팔의 3 개의 독립적인 조립품으로 구성되어 있다. 봉인관은 시설의 벽을 밀폐시키기 위해 사용되며, 각 운동은 한 쌍의 패킹을 갖는 회전체에 의해 마스터로부터 슬레이브로 전달된다. 봉인관의 한 끝으로부터 다른 끝의 누출을 방지하기 위하여 각 패킹 사이의 공간은 가압할 수 있으며, 패킹의 누출정도를 판정하기 위해 봉인을 감시할 수 있다. 봉인 매니플레이터는 불활성 가스 및 진공시설 또는 부식성 물질 취급 시설 등과 같은 극한환경에 사용된다.

작업범위는 다음과 같다. 경량 매니플레이터는 폭 1,200 - 1,800 mm, 바닥으로부터 1,000 mm 이상에서 깊이 900 -1,500 mm의 작업범위를 가지며, 양손에 하나씩 두 조의 매니플레이터를 설치하여 작업공간의 중심에서 중첩되도록 한다. 표준, 중량 및 Rugged-duty 매니플레이터 모두는 대략 같은 규모의 크기로 폭 2,400 - 3,000 mm, 깊이 1,800 -2,400 mm, 바닥으로부터 1,000 mm 이상의 작업 범위를 가지며, 연장 팔을 설치하며 아래 쪽 및 깊이방향으로 작업 범위가 증가된다.

pyro 공정위 전처리 공정이 있는 Air 분위기의 핫셀에는 일반적으로 telescoping 형 매니플레이터를 사용할 수 있다. Pyro 공정의 주공정이 설치될 Ar 분위기의 핫셀에서는 봉인 매니플레이터가 사용되어야 한다. 또한 설치될 공정장치의 운전 및 유지보수를 위해 취급중량에 따라 표준이나 중량 매니플레이터가 사용될 것으로 예상된다.

예로서 사용후핵연료 차세대관리종합공정에 설치된 매니플레이터(MSM)는 표 2-1 과 같은 사양을 갖으며, 취급범위는 그림 2-1 과 같다. 또한 Pyro 공정에서의 핫셀 및 공정장치의 설계시 참고가 되리라 사료된다.

표 2-1 ACP공정에 사용된 MSM 의 사양

구 분	핫 셀	M8a Cell		M8b Cell
형식		Master-Slave Manipulator, Alpha-tight		
최대 취급 용량		8kg	8kg	8kg
작업 반경 (mm)		1,712	1,985	1,860
설치 높이 (mm)		2,600	2,600	2,600
갯 수		2 쌍	2 쌍	1 쌍
취급용량(Handling Capacity)				
X, Y, Z Motion		8 kg		
Azimuth, Elevation, Twist Rotation		9 kg		
Vertical(Lift) Handling with hook		max. 25 kg		
그리퍼 벌림(Tong Opening)		65 ± 3 mm		

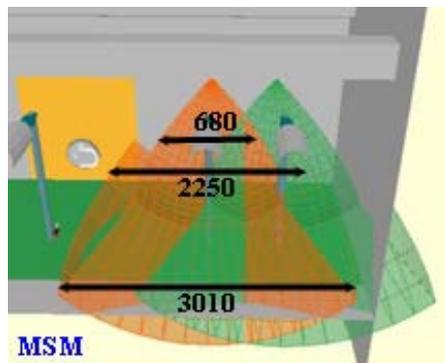


그림 2-1 ACP공정에 사용된 MSM 의 작업범위.

2-2 크레인(Overhead Crane)

셀 내에서 물건의 이송을 위한 천장주행 크레인(overhead crane)으로 핫셀 내에서 MSM 및 서보 조작기로 운반이 불가능한 핵물질의 운반을 위하여 활용된다. 이 경우 주변장치 등과의 간섭 및 이송할 수 있는 영역 등을 고려하여야 한다. 크레인은 사용후 핵연료 집합체가 담겨진 캐스크의 운반, 전처리 공정에서의 사용후핵연료 집합체의 이송, 공정장치의 유지보수 모듈 이송 등과 같은 작업을 하기 위해 수십 kg - 수백 톤을 인양하여 이송할 수 있다. 크레인은 용량, 인양높이, 주행거리, 스펠 등의 사양에 따라 제작될 수 있다.

2-3 천정이동 양팔형 텔레스코픽 서보 조작기

서보제어 조작기는 기계식 MSM 처럼 적마스터와 슬레이브 암사이의 직접적으로 연결하는 대신에 통신을 사용한다. 마스터의 움직임에 따른 제어정보에 의해 슬레이브가 원격으로 작업을 수행한다. 서보제어 조작기의 슬레이브 팔의 용량은 전형적으로 10 - 45 kg 이며, 양방향 힘반영 매니플레이터의 마스터 팔 용량은 일반적으로 최대 11 kg으로 이 값은 작업자의 최대 안전작업을 나타낸다. 서보제어 조작기의 국지적인 작업범위는 기계적 MSM의 경우와 같으며, 총체적인 작업범위는 슬레이브 팔의 부착 방법 및 마스터와 슬레이브 사이에 사용되는 통신형태에 의해 결정된다. Pyro 공정에 사용되는 서보제어 조작기는 천정에 있는 이송장치에 부착되어 셀내를 이동하며 작업을 수행할 수 있다. 핫셀에 설치될 서보제어 조작기는 두개의 슬레이브를 갖는 천정이동 양팔형 텔레스코픽 서보 조작기가 셀내에 설치되며, 셀 밖의 운전지역에는 컴퓨터 제어반 및 마스터 조작기가 설치된다. 또한, 상하이동을 위한 telescoping tube는 6개까지 사용이 가능하다. 이는 MSM의 사용이 불가능한 핵물질의 운반 및 유지보수 작업에 활용된다.

3. 원격 운전/유지보수 대상 장비의 설계를 위한 고려사항

Pyro 공정과 같이 고방사성 물질을 취급하는 시설에서 원격으로 취급해야 할 공정장치를 설계할 때 필요한 일반적인 고려사항은 다음과 같다.

- (1) 모듈화 : 장비는 여러 개의 조립품으로 구성되고 고장이 발생할 시에 특정 부위의 조립품을 제거하고 재조립하도록 설계한다. 이는 장비의 교체 비용을 감소와 원격유지보수, 운전, 및 처분을 용이하게 한다.
- (2) 표준화 : 장비의 체결장치, 접속장치, 플랜지 접속 볼트 혹은 작동하는 구성품을 같은 규격으로 설계하면 같은 공구를 사용하여 취급할 수 있다. 따라서 특수 공구의 수량을 감소시켜 핫셀내 저장 공간을 줄이고 작업흐름을 증가시킨다.
- (3) 장비 집합체 : 장비는 다른 장비와의 접속을 위해 원격장치 및 체결장치를 갖춘다. 정밀 작업을 요구하지 않을 경우에는 볼트 체결방식으로 설계한다. 체결장치는 최소의 힘으로 제거할 수 있고 핫셀내에 잔류하는 부분은 더 큰 강도를 갖도록 설계한다.
- (4) 장비 규격 : 부집합체 혹은 집합체의 크기 및 중량은 취급장비의 사양을 고려하여 설계한다. 장비의 규격은 유지보수에 맞는 구속요건을 도출하고 구동집합체의 이동경로에서 사용된 인양장비, 이동통로 및 취급기기에 따라 결정된다.
- (5) 장비 교체시 취급 : 장비는 취급중 단순한 동선을 갖도록 설계한다. 크레인 이송인 경우 집합체의 수직인양 만 하도록 설계하는 것이 바람직하다. 인접장비에 방해받지 않고 제거 및 교체 할 수 있도록 설계한다. 원격으로 취급되는 구성품은 접근이 용이하며 명확히 식별되도록 한다. 단일 업무를 위해 취급되는 구성품의 수량은 최소화하고 취급공구의 용량에 맞도록 설계한다. 장비에는 인양 손잡이, 인양고리 또는 돌출부를 설치하여 원격으로 무게중심에 따라 자동적으로 접속할 수 있도록 설계한다.
- (6) 장비보수 : 보수 또는 폐기시 새로운 부품으로 교체할 수 있도록 설계한다. 원격보수가 계획된 장비는 원격 해체, 수리, 조립 및 검사가 가능하도록 설계한다. 이러한 목적을 위해서는 특수 공구가 필요하며, 장비를 설계할 때에는 특수공구를 최소화하도록 한다. 제염후 접촉 보수를 고려할 경우에도 제염에 앞서 원격 인양, 취급, 제염, 해체 등을 고려하여 설계한다. 접촉 유지보수도 ALARA원칙을 적용하여 접촉시간을 최소화하도록 한다.
- (7) 장비 고장의 진단 : 고장보드 해석, 세부적 운전사항 및 고장 발생 후 복구까지의 작업흐름 분석을 통해 원격 고장진단에 필요한 설계 자료를 도

출한다.

- (8) 원격 검교정 : 장비의 원격 검교정 및 검사는 운영중, 고장시 혹은 교체 후에 계통의 건전성을 위해 필요하여 이 기능을 갖도록 설계에 반영한다.
- (9) 오염 및 방사선 준위 : 오염 및 방사선 준위는 이동경로를 설정할 때 고려하여야 한다.
- (10) 장비 설치 : 원격장비를 설계할 때에는 방사선에 취약한 구성품을 최소화하거나 없게하여 계통의 신뢰도를 높이고 원격 유지보수 및 위급을 최소화하도록 한다.
 - 계장부분은 셀 밖에 설치하고 감지장치는 방사선구역 내에 설치한다. 방사선에 취약하고 유지보수가 필요한 전자장비도 비방사선구역에 설치한다.
 - 동력전달을 위해 벽에 관통부를 설치하여 펌프와 같은 구동 장치는 방사선구역에 설치하고 모터는 직접 유지보수가 가능하도록 방사선 구역 밖에 설치한다.
 - 에어리프트와 같은 비기계적인 유체 이송방법을 사용한다. 가능하면 비전자식 공압장비를 사용한다.
- (11) 인간공학 : 기능적으로 효율적이며 능률적이고 안전한 장비운전을 보장하기 위해 인간공학을 설계에 반영한다. 인간공학적 설계는 설계에 영향을 미치는 인간의 구속요건을 도출하여 시설의 운전 및 유지보수에 적용한다.
- (12) 재료 : 모든 장비는 부식, 마모, 방사능 및 체염조건에 적합한 재료를 사용하여 제작하여야 한다. 장치제작에 있어 설계자는 금속과 세라믹 구성품은 방사선에 강한 재료로 통상적으로 주기적인 유지보수를 하지 않고 계통의 수명기간 동안 사용되지만, 방사선에 민감한 유기재료[예, 플라스틱과 탄성체와 같은 유기재료로 제작된 제품(유공압장치의 윤활제, 씰, 호수, 등)]을 함유한 구성품은 예상수명기간을 산정하여 유지보수를 수행할 수 있도록 장치를 설계하여야 한다.

4. 원격 운전/유지보수 대상 장비의 설계를 위한 일반지침

이 장의 내용은 고방사성 물질을 핫셀 내에서 원격으로 운영해야 하는 장비들에 대한 설계 시 고려하여야 할 일반적인 사항이다. 따라서 차세대관리공정과 같이 사용후핵연료를 취급하고, 핫셀 내에서 원격으로 운전해야 하는 장비의 설계자는 반드시 참고하여 실증용 장치의 설계 시에 반영하여야 한다.

4-1 방사선 차폐

사용후핵연료는 다음의 3가지 조성을 갖고 있는 강한 고준위 방사선원이다.

- (1) α -선과 중성자의 주요 선원인 악티나이드 원소(우라늄, 넵튬, 플루토늄, 아메리슘)
- (2) 대부분의 β -선 및 γ -선의 주요 선원인 핵분열생성물
- (3) 유도방사능으로부터 많은 β -선 과 γ -선을 방출하는 핵연료 집합체 구조물

공정장비의 설계자는 여러 재료에 영향을 미치는 γ -선 효과에 특히 주의하여야 한다. 일반적으로 대부분의 금속은 영향을 받지 않으나, 전자 부품과 고무제품, 오일 및 플라스틱 등과 같은 유기물은 심각하게 영향을 받아서 고 γ -선 구역에서는 사용을 제한 받을 수 있다. 유기물의 사용이 불가피하거나 대용물질이 없을 경우에는 국부적으로 금속재를 사용하여 차폐시킴으로 방사선 손상에 대해 보호할 수 있다. 차폐재를 사용할 경우에는 중량, 공간 및 추가냉각 등을 고려하여야 한다. 필요한 차폐정도는 설계물질의 방사선 저항성 및 공정 셀 환경에서의 위치 등에 따라 결정된다. 표 1은 비차폐값의 1/10로 γ -방사선량을 감소시키는데 필요한 차폐물질과 차폐두께를 나타낸다.

표 4-1 방사선량을 1/10로 감소시키는데 필요한 차폐 두께

재료	밀도(g/cm ³)	1/10 선량을 차폐 두께(cm)
콘크리트	2.4	23.11
철	7.94	6.86
납	11.34	2.79
텅스텐	19.64	1.78
우라늄	18.76	1.37

4-2 표준화

장비설계의 표준화는 원격장비취급 기기의 특수 요건을 최소화 할 수 있다. 체결장치, 접속장치, 플랜지 접속 볼트 혹은 작동하는 구성품을 같은 규격으로 설계하면 같은 공구를 사용하여 취급할 수 있다. 특수 공구의 수량을 감소시킴으로써 핫셀내 저장공간을 줄이고 작업흐름을 증가시킬 수 있다.

표준 장비선정은 시설의 전체 설계 및 건설비용을 감소시키고, 예비부품의 저장량을 감소시키며, 유지보수를 위한 작업자의 훈련기간을 최소화할 수 있다. 장비설계자를 위한 표준 설계지침에는 다음사항이 포함된다.

- (1) 특수 설계 및 제작 구성품 보다는 상용화되어 있는 구성품 및 이를 개조한 구성품을 적용하는 것이 바람직하다.
- (2) 상용화 구성품을 사용할 때 서로 다른 종류의 수를 제한 한다.

4-3 교환성

모듈의 교환성을 향상시키기 위해서는 다음의 설계 제한사항을 고려한다.

- (1) 유지보수 장비(크레인, MSM, TSM)를 사용하여 원격으로 유지보수 되도록 모듈을 설계한다. 가능하면 특수 공구, 지그 및 고정체(fixture)를 배제시킨다.
- (2) 모든 모듈 및 교환 구성품의 준공치수를 유지한다.
- (3) 장비에 설치되는 곳을 식별하기 위해 모듈에 표식 혹은 라벨을 붙인다.

4-4 접근성

렌치 등을 사용하여 장비 모듈의 볼트를 제거하거나 혹은 풀기 위해서는 볼트 근처에 접근하기 위하여 충분한 공간이 필요할 뿐만 아니라 접근 방향으로 부터 유지보수 장비까지 작업 공간에 공구를 이동시키기 위한 충분한 접근 경로도 필요하다. 이외에 볼트를 풀 때 나사부의 이동도 수용할 수 있는 충분한 여유가 있어야 하고 셀 내부 시각 장비로 볼트의 머리부를 볼 수 있어야 한다. 접근성을 보장하기 위한 일반 설계지침에는 다음사항이 포함된다.

- (1) 모듈은 차폐창 혹은 CCTV계통을 통해 적절히 볼 수 있도록 설계한다
- (2) 모듈은 셀 내부에서의 위치와 다른 장비 혹은 모듈과의 관계를 고려하여 가용한 원격장비로 접근하여 분리하고 운반할 수 있도록 설계한다.
- (3) 모듈은 다른 장비에 방해를 최소화하면서 분리되고 제거할 수 있도록 설계한다.
- (4) 모듈장비는 제공된 주위의 셀 공간에서 쉽게 검사하고 유지보수 될 수 있도록 설계한다.

- (5) 모듈은 가용한 셀의 이송통로 혹은 관통부를 통해 운반할 수 있도록 설계한다.
- (6) 가용한 유지보수 장비로 모듈을 운반할 때 상기에 기술된 각 유지보수 장비의 취급하중과 도달 거리를 고려하여 사용되어야 한다.

4-5 고장 고려사항과 오작동 진단

설계자는 오작동과 고장 같은 돌발사건을 예상하여야 한다. 고장이 발생했을 때 이로 인해 다른 고장을 단계적으로 유발하지 않도록 안전장치가 보장되도록 제어할 수 있어야 한다. 모든 장비는 다음사항을 고려하여 설계하여야 한다.

- (1) 효과적으로 고장을 탐지하고, 특정한 오작동 혹은 고장과 이들의 원인을 식별 할 수 있는 방법을 제시한다.
- (2) 모든 고장을 복구하고 수리하는 방법을 규정한다.
- (3) 공정물질의 흐름을 차단하거나 혹은 바이패스 시키는 방법을 제시한다.
- (4) 고장난 계통으로부터 반응 혹은 생성 물질의 제거 및 저장 방법을 제시한다.
- (5) 설계 및 관련 장비 유지보수기간이 시설의 가동률 요건을 만족시킴을 보장하여야 한다.
- (6) 운전 중 예방 유지보수 검사 및 작업과 이를 원격으로 수행하는 방법을 제시하여야 한다.
- (7) 장비가 모듈 설계기준을 만족시킴을 보장하여야 한다.
- (8) 고장형태가 더 이상의 고장을 유발하지 않음을 보장하기 위해 장비운전의 오작동 및 고장 해석을 수행하여야 한다.

4-6 장비의 저장

장비의 저장에 관한 일반 지침은 다음과 같다.

- (1) 오염되지 않는 대부분의 예비 부품 및 구성품은 셀 바깥의 관리 저장 구역에 저장한다.
- (2) 고장난 부품의 신속한 수리가 필요한 곳에서는 예비부품을 셀 내부의 관리저장 구역에 저장한다. 예비부품의 이동거리를 최소화하기 위해 사용될 곳의 근처에 저장하는 것이 바람직하다. 셀 내부에 저장하는 부품에 대해서는 방사선 손상을 고려하여야 한다.
- (3) 셀 내부장비의 설치, 제거 및 검증을 위해 가끔 사용되는 공구 및 장비의 저장도 고려하여야 한다. 이러한 품목은 오염될 가능성이 있으므로 다음

과 같은 장소에 저장할 수 있다.

- 서비스되는 장비 근처
- 셀 내부의 관리 저장 구역
- 제염후 셀 밖의 기밀백 혹은 콘테이너

(4) 예비부품, 공구, 기구 및 저장장소는 장비설계의 일부로서 인식되어야 한다.

4-7 장비의 모듈화

모듈의 교환을 용이하기 위해 추천된 몇 가지 실용적인 모듈 설계는 다음과 같다.

- (1) 모듈은 특수한 공구, 지그, 고정물(fixture)을 사용하지 않고 단순히 유지보수 장비를 이용하여 원격으로 유지보수 될 수 있도록 한다.
- (2) 모든 모듈이나 교환될 수 있는 구성요소의 as-built 치수를 준비한다.
- (3) 어디에 있는 기계와 짝을 이루는가를 확인하기 위해 모듈을 마크하고 라벨을 붙여야 한다.
- (4) 모든 연결 케이블, 와이어, 처리선 등에 마크하고 라벨을 붙여야 한다.
- (5) 제거와 교환 방향을 준비하고, 케이블, 와이어, 처리선 등의 제거와 연결의 순서를 강조하여야 한다..
- (6) 구성요소 제거 전에 처리물질의 유동을 멈추거나 바이패스 그리고 구성요소를 흐르게(drain) 하기 위한 방법을 규정하여야 한다.
- (7) 결합된 시스템의 처리나 부산물의 제거와 저장을 위한 방법을 세분화해야 한다.
- (8) 유지보수 시간은 운전 요건을 만족시킨다는 것을 보장해야 한다.
- (9) In-service 예방 유지보수 검사와 원격으로 수행하기 위한 운전과 방법을 추천해야 한다.

4-8 특수 공구

특수한 공구는 특수한 유지보수 작업을 수행하기 위해 필요하다. 예를 들면, 빈번하게 사용되지 않는 특수한 인양기구는 특수 공구이다. 특수 공구는 저장하기도 어려울 뿐만 아니라 필요할 때 재 설치하기도 어렵다. 설계자는 원격장비를 유지보수하기 위해 필요한 특수공구, 기구 및 게이지의 수요를 최소화하는 것이 바람직하다. 특수공구 및 기구는 대안이 없을 경우에만 적용한다.

4-9 인양 고리

모든 교체 가능한 모듈 혹은 부조립체는 셀 내에서 운반, 설치 및 교체를 위해 인양이 필요하다. 인양에 관한 일반지침에는 다음사항이 포함된다.

- (1) 가능하면 모듈에 고정된 인양 고리를 설치하여 특수 인양 기구를 배제시키고 유지보수 소요시간을 최소화하도록 한다.
- (2) 고정된 인양 고리가 장치의 설치시나 운전시에 간섭이 발생할 경우에는 필요시 아이볼트를 체결하기 위하여 모듈의 인양지점에 경사진 구멍을 설치한다.
- (3) 인양 고리, 아이볼트 및 케이블은 2이상의 설계 안전계수를 갖도록 하는 것이 바람직하다.
- (4) 크레인 후크와의 체결을 위해 인양 고리 주위에는 필요한 접근 공간이 확보되어야 한다.
- (5) 크레인 후크와의 체결 혹은 분리 작업 중 셀 내부 카메라를 통해 인양지점을 볼 수 있어야 한다.
- (6) 정상적인 상태에서 모듈의 제거 및 설치작업이 쉽게 될 수 있도록 인양지점은 무게중심 위에 있도록 한다.
- (7) 똑바른 수직 인양이 되도록 인양 고리를 설계한다. 일반적으로 하중을 인양할 때 크레인에는 수직하중만이 작용하도록 하는 것이 바람직하다.
- (8) 일반적으로 매니플레이터로 취급하는 작은 모듈은 매니플레이터의 파지능력을 향상시키는 특성(마찰 증대, 이탈 방지 등)을 갖도록 설계한다.
- (9) 공간이 허용된다면 운반될 집합체 혹은 부집합체에 인양 고리를 사전에 설치하는 것이 원격으로 설치하는 것보다 바람직하다.
- (10) 매니플레이터와 접촉되는 인양고리는 집계에 확실한 파지를 보장하도록 돌출부 혹은 다른 구조를 갖도록 한다.
- (11) 인양고리는 장비의 체결요건에 맞추어 다른 방향으로부터 작용하는 하중에 견딜 수 있는 구조적 건전성을 갖도록 설계하여야 한다. 또한 장비 자체도 평면에 위치할 때 안정되도록 설계해야 한다.

4-10 조작을 쉽게 하기 위한 기계적인 도움

4-10-1 화스너(Fastener)

일반적으로 사용되는 화스너에는 볼트, 너트, 스크류, 클램프 및 핀 등이 포함된다. 대부분의 경우, 원격으로 교체되는 모듈과 부조립체를 체결하기 위해 사용되는 볼트와 스크류는 매니플레이터 혹은 크레인 후크에 접속시켜 모터 가동 충격렌지 혹은 너트 런너를 사용하여 조이거나 풀 수 있다. 원격 유지보수를 용이하게 하기 위한 화스너의 지침은 다음과 같다.

- (1) 낮은 비용 및 쉬운 이용성 때문에 상용화된 화스너를 선택한다. 그러나 안내장치(pilot nosed end)의 추가와 같은 화스너의 일부 보완이 필요하다. 일반적으로 특수한 화스너의 설계 및 제작은 불필요하다.
- (2) 모듈의 설치 혹은 유지보수 동안에 공구의 교환을 최소화하기 위해 가능하면 흔한 치수 및 일정한 치수를 선택하도록 한다.
- (3) 볼트 혹은 스크류의 치수는 6 mm 이상이 되도록 제한한다.
- (4) 매니플레이터 정교성의 제한을 고려하여 홈형 혹은 소형 소켓 헤드를 갖는 스크류를 피한다. 이는 또한 먼지나 오염물이 끼기 쉽다.
- (5) 매니플레이터 공구의 사용에 따른 나사부 손상을 줄이기 위하여 굵은 나사를 적용한다.
- (6) 스크류 맞물림을 시작할 때에 나사부 손상을 피하도록 한다. 나사부의 끝단은 특수 가공(chamfer 혹은 thread blunting) 하거나 카운터보어(counterbore) 혹은 카운터싱크(countersink)를 설치한다.
- (7) 빈번하게 화스너를 제거해야 하는 곳에는 ACME 나사를 적용한 화스너를 사용한다.
- (8) 접합 나사부는 윤활을 하지 않아도 견딜 수 있어야 한다. 볼트와 너트, 스크류와 나사부 시트는 다른 재질 혹은 다른 경도의 재료로 제작하여 손상을 방지한다. 그러나 접합 나사부를 윤활시키지 않는다면 운영 중 계속적인 진동으로 마멸(abrasion) 및 마손(fretting)이 발생할 수 있다 윤활이 허용되는 곳에서는 손상의 주원인이 되는 나사부 표면에 금속이송을 방지할 수 있다.
- (9) 분리(unseating) 혹은 운반 후 잃어버림을 피하기 위해 화스너는 모듈 구조물에 구속(captive)되도록 설계한다. 헐거운 볼트 혹은 너트의 사용을 피한다. 그림 4-1 ~ 4-4에 나타난 화스너의 설계 예와 같이 스크류도 구속시킨다. 정밀도가 낮은 조립체에 볼트를 사용할 때에는 그림 4-4에 나타난 바와 같이 너트를 구속할 수 있다.
- (10) 하중 구속볼트는 특히 수직으로 설치될 경우, 풀어짐이 발생했을 때 이를 표시하고, 모듈의 운반과 설치중 간섭과 볼트 손상을 피하기 위해 튀어나오게 한다. 구속 볼트가 풀어진 곳에서 스프링은 충격렌치로 동료 볼트를 풀 때 진동으로 인한 체결을 방지한다. 그림 4-3에는 스프링하중 구속볼트를 예시하였다.
- (11) 정렬을 보장하고, 축의 중심선에 따라 인장 하중만이 볼트에 작용하도록 핀 혹은 솔더(shoulder)를 설치한다. 조립체를 밀어서 정렬할 때 지나친 하중이 화스너에 작용하지 않도록 한다.
- (12) 후크에 부착된 충격렌치를 사용하여 설치하는 스크류 화스너는 수평 혹은 수직 방향으로 작업되도록 한다. 경사진 렌치작업은 호이스트와 더블

어 공구의 위치를 유지시키기 위해 2차원으로 스크류의 추적(chasing)이 필요하다.

- (13) 가능하다면, 자석의 특성(magnetic properties)을 이용하여 화스너를 잡거나 위치시키도록 한다.
- (14) 상용화된 볼 잠금 핀(ball-lock pin) 화스너를 고려한다. 그러나 이때에는 매니플레이터 그리퍼의 밀고/당김 작업을 위해 핀은 그림 4-5에 나타난 바와 같은 그립헤드(grip head)를 갖도록 수정하여야 한다.
- (15) 빈번하게 이동되어야 하는 모듈을 체결하기 위해서는 상용화된 토글 및 스윙 클램프(toggle and swing clamp)의 사용이 가능하다. 이때에는 매니플레이터 공구를 사용하여 클램프를 조정하기 위해 접근이 가능하여야 한다.
- (16) 스프링링(spring snap), 롤핀(roll pin), 코터핀(cotter pin) 및 스프링 스냅(spring snap) 등과 같은 기타 화스너는 원격으로 교체되는 개체를 구속하기 위해 제한적으로 사용된다. 그러나 이러한 화스너는 셀 바깥에서 접촉 유지보수를 수행하는 장비에 한해 제한적으로 사용된다.

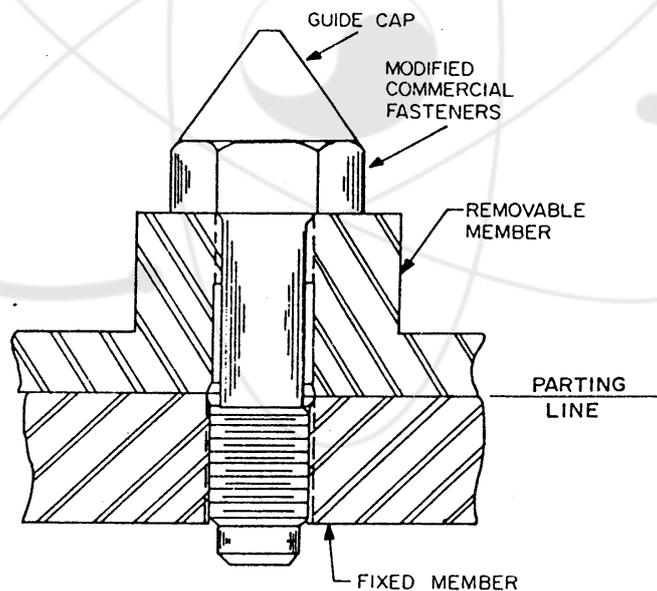
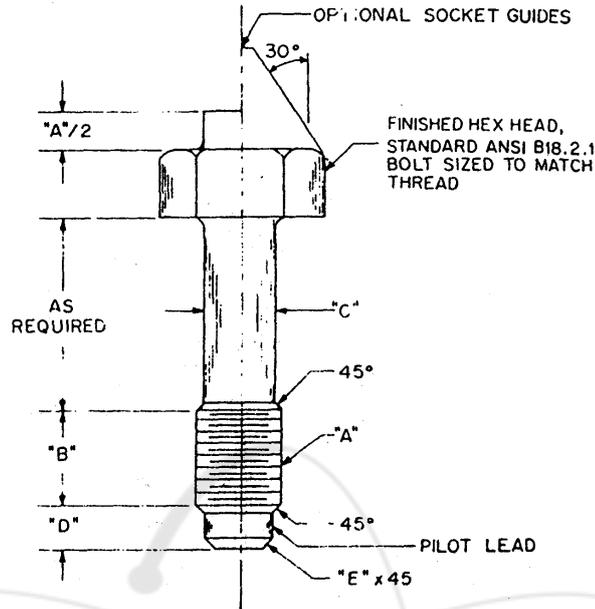


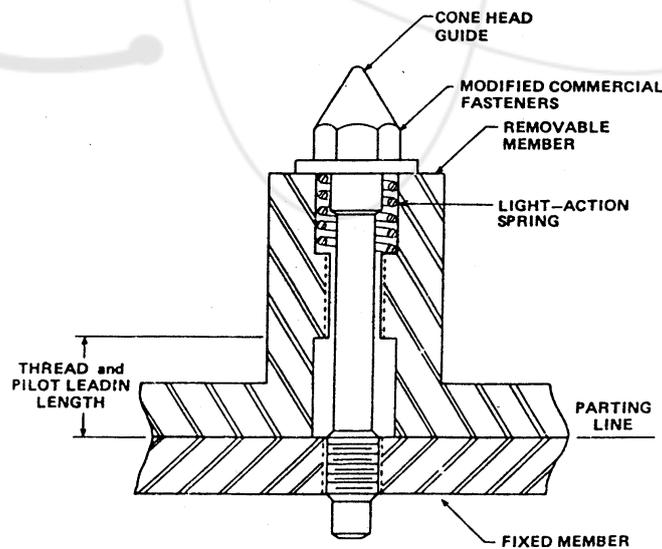
그림 4-1 Captive fastener - typical.



BOLT SIZE (A)	B	C	D	E
3/8 UNC 16-2A	0.38	0.30	0.28	0.06
1/2 UNC 13-2A*	0.50	0.40	0.38	0.06
3/4 UNC 10-2A	0.70	0.63	0.50	0.06
1 UNC 8-2A	0.90	0.85	0.50	0.12
1 1/4 UNC 7-2A	1.10	1.07	0.63	0.12

* A MINIMUM OF CLASS 2A THREADS ARE REQUIRED WITH 3A OPTIONAL.

그림 4-2 Captive bolt sizes.



Note: Recommended fasteners, 3/8", 1/2", 3/4", 1", or 1 1/4" American National Standard Thread

그림 4-3 Spring-loaded captive bolt for remote assembly.

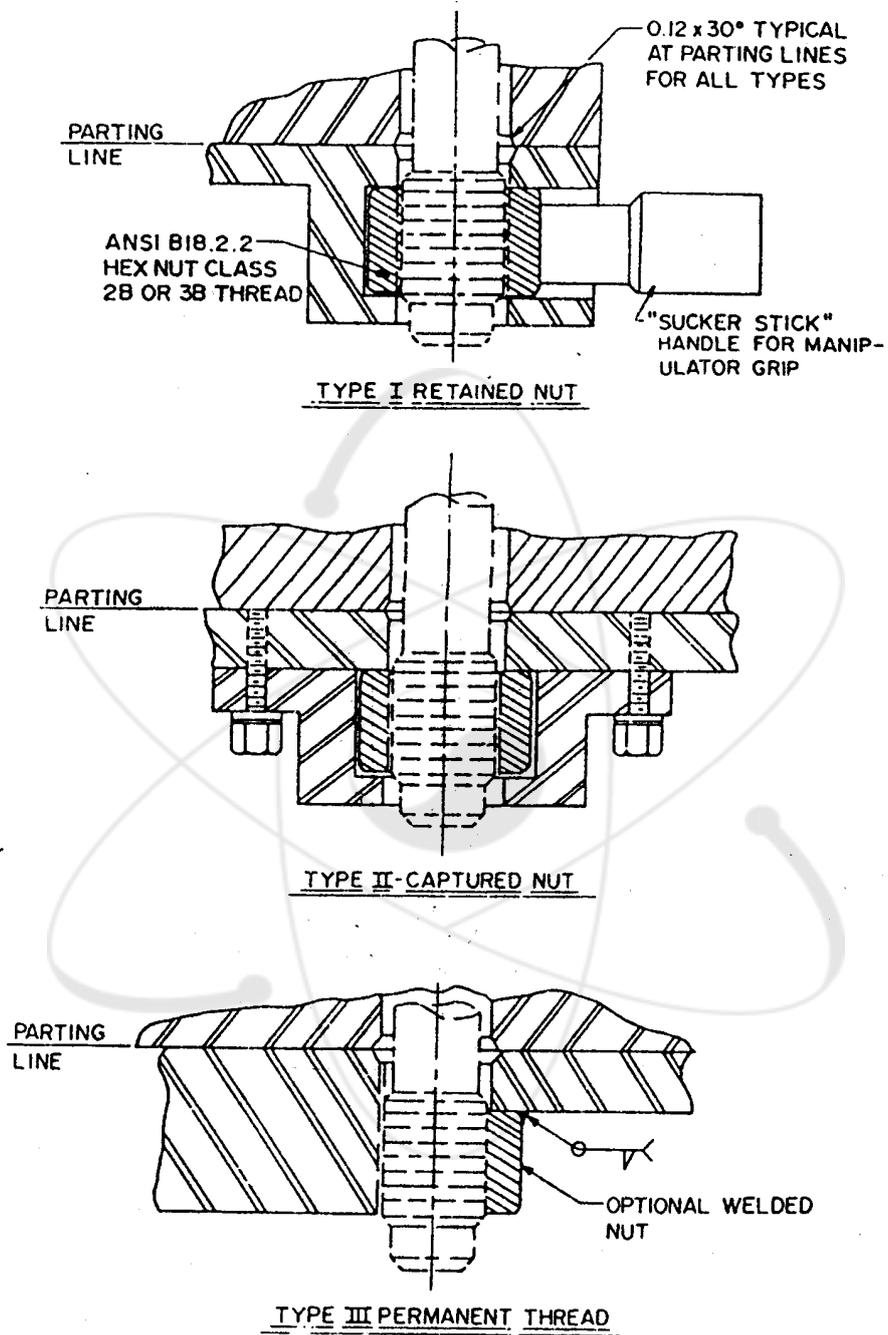


그림 4-4 Captive nuts.

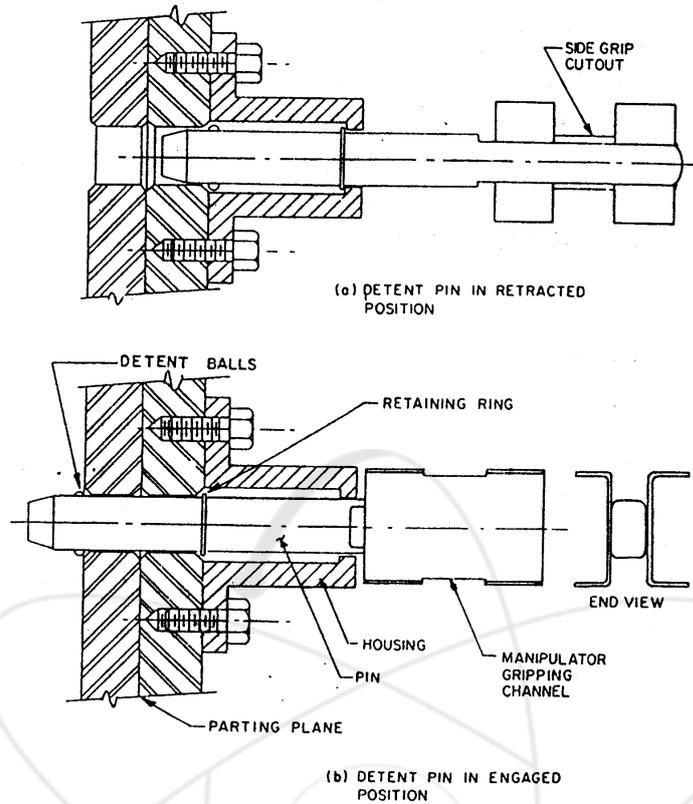


그림 4-5 Detent pin.

4-10-2 정착물(Fixture)

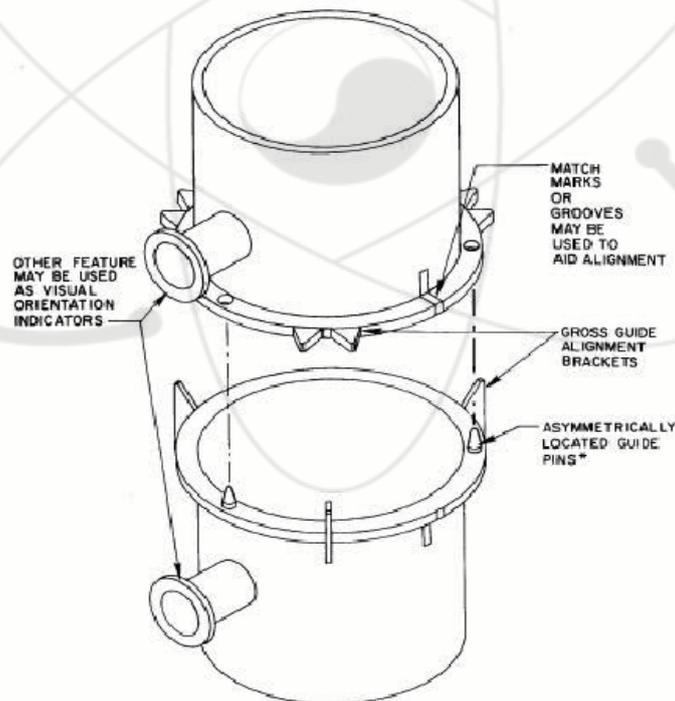
정착물은 원격 분해/조립을 용이하게 하도록 작 부품을 붙잡고 정렬시키는데 도움을 준다. 모듈보다는 조합품의 기초나 프레임에 정착물을 붙이는 것이 좋다. 정착물은 모듈이 떨어지거나 회전하도록 설계한다. 이와 같은 설계는 사람이 모터를 설치하고자 할 때 특히 효과적이다.

4-10-3 가이드(Guide)

모든 원격교체 모듈과 조립체는 용이한 설치를 위해 정렬 가이드가 필요하다. 이에 관한 일반지침은 다음과 같다.

- (1) 모듈을 위치시키기 위해서는 일반적으로 2 쌍의 가이드를 사용한다. 첫 번째 것은 개략적으로 위치를 잡고, 보다 정교한 기어 맞물림 혹은 축 커플링 맞물림을 보장하기 위해 적은 오차의 핀과 구멍으로 구성된 정교한 가이드인 두 번째로 모듈을 유도한다. 잘 채택된 2단 안내 장치는 정렬을 위해 매니플레이터의 도움 없이 단지 호이스트만을 사용하여 적절하게 개체를 지정 장소에 위치시킬 수 있다.

- (2) 정교한 안내를 위해서는 설치 및 제거작업 중 심한 기울임(tilt), 구속(binding), 혹은 붙잡음(seizing) 등을 배제한다. 모듈의 정교한 정렬은 구속을 피하기 위하여 마지막 3~5 mm의 수직이동을 통해서 이루어지도록 한다. 근접 접촉 가이드는 모듈 케이스 재료와 상이한 금속으로 제작하여 마손(galling) 혹은 구속을 효과적으로 감소시키도록 한다.
- (3) 정렬작업은 셀 내부에 설치된 카메라의 시각을 이용하여 수행한다. 적절한 모듈 맞물림과 접촉을 위해 셀 내부에 설치된 카메라는 선명한 시야를 제공하여야 한다. 또한, 모듈 자체에 의한 시야 방해를 피하도록 한다.
- (4) 거친/정교한 가이드는 한 세트의 단순한 핀과 구멍으로 구성되나, 결합을 돕기 위해 높이를 다르게 한다.
- (5) 그림 3-6에는 원격설치용 정렬기구를 예시하였다. 원격으로 교체되는 모듈은 화스너를 체결하기 전에 매니플레이터 혹은 크레인 후크가 분리될 수 있도록 가이드와 핀을 이용하여 설치하고, 정치하는 것이 바람직하다. 정치계통(locating system)은 나사부 혹은 화스너의 손상 없이 스크류가 맞물릴 수 있어야 한다.



*GUIDE PINS OF DIFFERENT LENGTHS SHOULD BE USED TO SIMPLIFY REMOTE ENGAGEMENT WHEN GROSS GUIDES ARE NOT USED

그림 4-6 Flange guide concepts.

4-11 재료선정

고방사선 환경을 제외하고는 일반적으로 표준재료를 사용할 수 있다. 구성품의 성능은 방사선에 영향을 받으며 특히, 유기재료는 방사선에 노출되면 열화가 촉진된다. 예를 들면, 유압장치에 사용되는 탄성셀은 일반적으로 제한 수명이 있지만 방사선환경에 노출되면 사용할 수 있는 제한 수명 보다 더욱 단축된다. 조사된 유기재료의 방출가스는 밀봉된 전기 및 전자 구성품을 파손시키거나 유압장치의 오동작을 유발한다. 또한 유기액과 점도를 변화시켜 저온에서의 순환을 방해한다. 방사선 조사는 전기회로 혹은 장치에 일시적 혹은 영구적인 영향을 미칠 수 있다. 방사선 조사로 인한 물리적 변화는 팽창의 유발, 강도와 탄성계수의 변화 등이 있다. 구성품의 운전 능력에 영향을 미치는 방사선 효과는 다음과 같은 요인들을 갖는다.

- (1) 피폭되는 재질의 형태
- (2) 방사선 흡수량
- (3) 방사선이외의 다른 환경 조건
- (4) 재료의 물리적 처리형태

원격 취급장치는 방사선에 민감한 상당부분이 유기재료를 함유하는 구성품으로 구성되어 있으므로 설계자는 이러한 품목에 관심을 집중해야 한다. 금속과 세라믹 구성품은 방사선에 강한 측면이 있으므로 주기적인 유지보수를 하지 않고 계통의 수명기간 동안 사용된다. 일부 구성품과 재료는 방사선 효과에 특히 민감하므로 유지보수에 특별히 유의해야 한다. 이러한 예는 플라스틱과 탄성체와 같은 유기재료로 제작된 렌즈, 감시창, 전기 및 전자장치, 기계 및 유공압장치의 윤활제, 실, 호스, 유체 등과 같은 구성품이다. 그러나 원격교체가 가능하다면 이런 재료도 사용할 수 있다. 모든 공정장치는 부식, 마모, 방사능 및 제염조건에 적합한 재료를 사용하여 제작하여야 한다. 설계자는 가능하다면 내방사선 구성품을 선택하는 것이 바람직하다. 내 방사선은 일반적으로 기능을 발휘할 때까지의 구성품이 흡수할 수 있는 총 피폭량으로 나타낸다. 피폭량은 통상적으로 rad로 나타낸다. 방사선 손상으로 기인한 구성품의 예상 수명기간은 허용 피폭량을 피폭율로 나누어 계산할 수 있다. 비용과 예상수명을 고려하여 내방사성 구성품을 선정한다. 그러나 경우에 따라 내방사성 재료를 적용할 수 없을 때도 있다.

원격장비의 재료, 도장, 마무리는 여러 조건을 만족시키기 위해 다음사항을 고려해야 한다.

- (1) 마감, 전기 절연, 윤활제 등은 내 방사선을 고려한다.
- (2) 중성자 조사구역에서 사용되는 재료는 활성화를 최소화하도록 한다.

- (3) 부식성 제염용제에 견딜 수 있도록 내화학적 재료를 선정한다.
- (4) 유지 윤활제의 사용이 불가능한 경우에는 마찰을 감소시키도록 한다.
- (5) 다른 부품에 비해 상대적으로 고하중에 취약한 고정밀도 장비는 다른 재료와 호환성을 갖도록 한다.
- (6) 불활성 가스 또는 용융금속 같은 특수 환경에 적응하도록 한다.
- (7) 원격 감시를 방해하는 빛의 반사 부분을 없앤다.

4-12 전원 커넥터 설계시 고려사항

전원 커넥터는 매니플레이터에 의해 연결되고 매우 견고하며, 연결시의 중심을 맞추기 위해 일반적으로 중력방향으로 위치된다. 셀 내부의 커넥터는 시설의 수명을 고려하여 설계되어야 하며, 매니플레이터에 의한 셀 내부의 유지보수가 용이하여야 하고 쉽게 교체할 수 있어야 한다.

- (1) 운전 또는 교체하는 동안 꼬임으로 인한 케이블 손상을 최소화하기에 충분한 길이를 갖는다.
- (2) 원격운전으로 보기 쉬운 전기커넥터 설치 위치를 설정한다.
- (3) 나사못으로 고정을 피한다.
- (4) 부품을 조립하기 위해 보기 쉽고 영구적인 정렬표시를 사용한다.
- (5) 원격셀 환경에 맞는 재료 선택한다.

ACP 공정의 탈피복 장치에 사용된 커넥터의 예로서 그림 4-7은 정렬표시가 있고, 중력방향으로 커넥터를 접속하고, 매니플레이터의 tong으로 잡기 용이하고, 잡는 표면을 울퉁불퉁하게 가공된 면을 갖는 푸쉬/풀 커넥터이다. 이와 같이 Pyro 공정장치에 설치될 전기 및 전기신호용 커넥터는 ACP공정에 사용된 커넥터를 참조하여 장치 설계에 적용해야 한다.

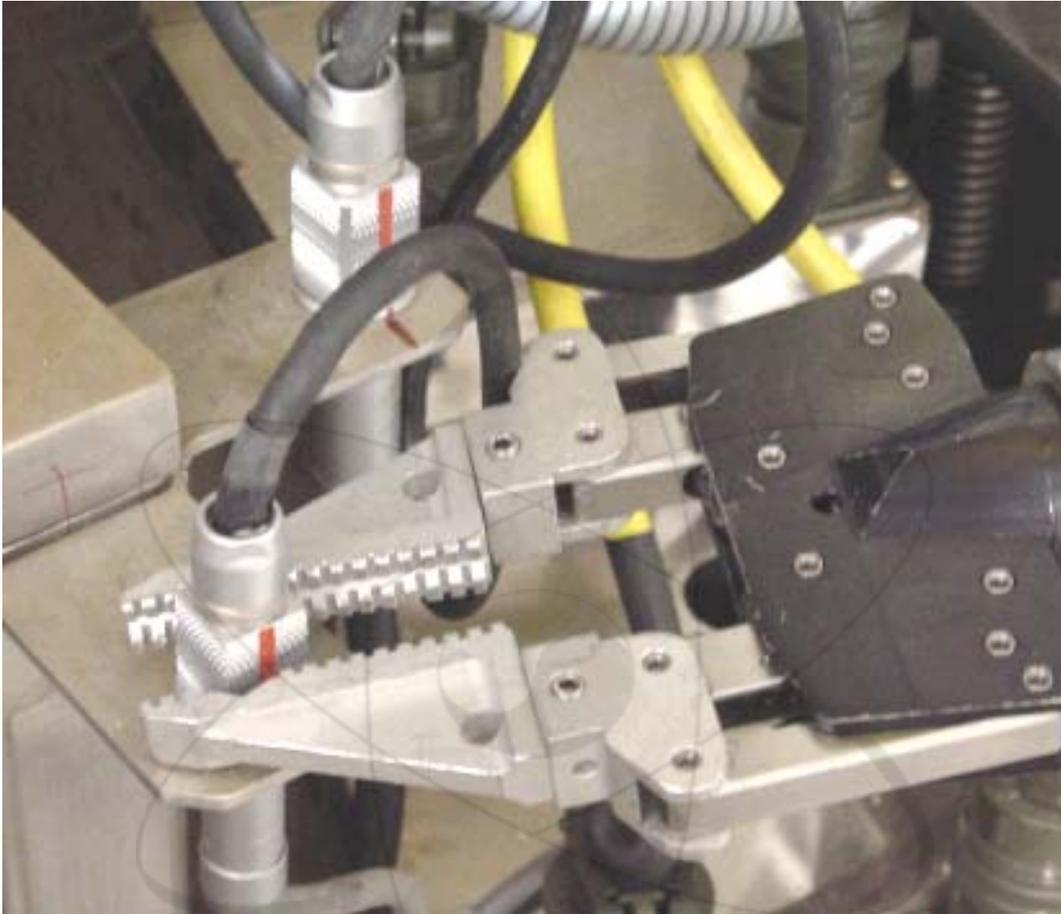


그림 4-7 탈피복장치의 푸쉬/풀 커넥터.

5. 원격 유지보수 평가 및 분석

셀 내부의 전기/기계식 장비가 원격 유지 보수될 수 있음을 보장하기 위해서는 설계 기간 중에 원격 유지보수에 대한 체계적인 분석을 수행한다. 이 평가는 구체적인 원격 유지보수 절차를 개발하여 수행한다.

첫 번째 단계는 유지보수 가능 장비를 구분하고(표 4-1 참조), 그 다음 단계는 작업의 순서에 따른 각 모듈의 제거와 교체에 필요한 작업의 순위를 결정한다. 드문 경우이지만 작업을 위해 특수공구가 필요할 때, 각각의 작업 수행에 필요한 특수공구를 도출한다.

각각의 작업 수행을 위해서는 다음 질문에 긍정적인 대답이 요구된다.

- (1) 적용 유지보수 장비는 작업구역에 접근하여 작업을 수행할 수 있는가?
- (2) 작업자는 작업을 수행하기 위해 카메라를 통해 적절한 시야를 확보할 수 있는가?
- (3) 설치 혹은 제거를 위한 모듈의 인양지점이 적절하게 위치되어 있는가?
- (4) 구성품에 손상을 주지 않고 내려놓을 수 있고 건전성을 유지할 수 있는가?
- (5) 모듈을 지정위치로 안내하는 가이드가 있고 작업자는 이를 볼 수 있는가?
- (6) 설치 및 제거를 허용할 수 있는 적절한 작업공간이 확보되어 있는가?

만약 유지보수 작업이 셀 내부, 접촉 작업구역 및 바깥의 글로브 박스에서 수행될 것으로 예상된다면, 제거되고 교체되는 구성품은 식별할 수 있도록 영구적인 라벨을 부착한다. 또한 제거, 해체 및 교체를 위해 필요한 작업 단계를 목록화한다.

원격 장비의 설치 또는 제거를 위한 설계 점검 항목은 아래와 같다.

- (1) 장비 품목에 의해 발생되는(특히 설치위치에서) 반응 하중 및 힘을 고려하였는가 ?
- (2) 장비 품목은 볼트 없이(가이드핀 혹은 중력) 설치될 수 있고, 응력과 유지보수 요건을 만족시키는가 ?
- (3) 장비 품목은 빈번한 교체를 요구하는가(빈번한 교체가 필요하다면 볼트대신에 핀 혹은 비볼트 클램프를 사용한다) 혹은 반영구적인가 ?
- (4) 화스너 혹은 인양고리에 충격렌치 혹은 유지보수 장비가 접근할 수 있도록 화스너와 인양고리 혹은 주위에 충분한 공간이 확보되어 있는가 ?
- (5) 유틸리티 요건(전기, 공압, 계기)과 접속위치(유틸리티 저장소와의 관계)

는 고려하였는가 ?

- (6) 화스너-토오크 요건은 유지보수 장비의 정격하중 용량범위에 속하는가 ?
- (7) 상용장비를 활용하기 위하여 어답터 혹은 유사한 기기를 사용할 수 있는가 ?
- (8) 접속 및 인접장비의 유지보수 작업에 의해 발생하는 허용오차를 고려하였는가 ?

또한 설계 요건을 결정하는데 다음사항을 고려한다.

- (1) 각각의 장비 품목은 정렬을 위하여 2단의 가이드를 사용한다. 동시에 연속적인 맞물림이 이루어지도록 가이드의 길이를 다르게 한다.
- (2) 구성품과 유지보수 장비의 손상을 예방하기 위하여 설치 및 해체에 필요한 힘과 하중을 사전에 결정한다. 특히 전기기계식 매니플레이터는 정격의 50%를, 크레인은 정격의 100%를 초과하지 않도록 한다.
- (3) 반영구 위치에서의 외부 체결기구 및 가이드는 최소화한다. 융통성 없는 곳에 설치되는 구성품은 가상 사고상황에서 발생하는 손상에 견디도록 설계하거나 혹은 셀의 휴지기간에 교체할 수 있도록 설계한다.
- (4) 설치장비에 사용되는 화스너는 풀어 졌을 때에도 장비에 매달려 있도록 설계한다.
- (5) 화스너는 도입부 및 여유를 갖고 자체 정렬되도록 설계한다. 나사부가 적용될 때 에는 cross-threading 혹은 굽힘이 발생하지 않도록 한다.
- (6) 막힌 개구부는 피한다. 그러나 필요할 때에는 침전물 혹은 액체가 제거 혹은 배수될 수 있도록 한다.
- (7) 의도하는 목적(내부식, 제염, 내방사선, 차폐)에 적절한 재료를 선택한다.

원격유지보수 장치를 이용하여 공정장치의 유지보수는 유지보수의 대상과 모듈의 중량, 유지보수를 수행할 때의 유지보수장비, 유지보수 절차, 유지보수시에 필요한 공간 등을 미리 장치의 설계시부터 이에 대한 고려를 예측하고 설계에 반영해야 한다. 표 4-1은 ACP 공정장치에 대한 유지보수 장치, 모듈 무게, 공구 등에 대한 예시를 나타내었다.

표 4-1 원격 취급/유지보수 장치, 모듈 및 공구 분류표 Sample

유지보수 대상				사용 유지보수장비			모듈 체결	체결 공구	운반 고리	운반 공구	비고
공정장치 (L x W x H, m)	무게(kg)	모듈명	무게(kg)	MSM	TSM	Crane					
ASNC (0.7x0.7x0.8)	1700	감속재/차폐체 (5 모듈)	330/ea	-	-	✓	B	IW	W/R	C/H	설치
		Junction Box	50		✓	✓	-	-	W/R	C/H	유지
Slitting Device (0.6x0.6x1)		압출모터 부	6	-	✓	✓	C	G	W/R	C/H	유지
		Blade 부	2	✓	-	-	C	G	-	M/SJ	유지
Voloxidizer (0.76x1.1x1)	120	히터 모듈(2개)	8/ea	✓	-	✓	C	G	EB	C/H	유지
		가열로	25	-	✓	-	B	IW	EB	C/H	유지
		밸브 모듈	20	✓	-	✓	B	IW	EB	C/H	유지
Metallizer (1x1x1.8)		Magnesia Filter	25	-	✓	✓	B	IW		C/H	운/유
		Cathode	<100	-	✓	✓	B	IW	EB	C/H	운/유
		Anode		-	✓	✓	B	IW		C/H	운/유
		상판		-	✓	✓	B	IW	EB	C/H	운/유

* B : Bolt, EB : Eyebolt, IW : Impact Wrench, C : Clamp, G : Gripper,
M/J : MSM Jaw, M/SJ : MSM Special Jaw, W/R : Wire Ring, S/R : Steel Ring, C/H : Crane Hook

서 지 정 보 양 식

수행기관보고서번호	위탁기관보고서번호	표준보고서번호	INIS 주제코드		
KAERI/TR- 3512/2007					
제목 / 부제	Pyro 공정장치의 원격 운전/유지보수를 위한 일반지침				
연구책임자 및 부서명 (AR,TR 등의 경우 주저자)	김성현, 핵연료주기 원격장치팀				
연구자 및 부서명	박병석, 박희성, 이효직, 최창환, 이종광 핵연료주기 원격장치팀				
출판지	대전	발행기관	한국원자력연구원	발행년	2007. 12
페이지	34 p.	도표	있음(o), 없음()	크기	A4
참고사항					
공개여부	공개(o), 비공개()		보고서종류	기술보고서	
비밀여부	대외비(), __ 급비밀				
연구위탁기관			계약번호		
초록 (15-20줄내외)	<p>Pyro 공정은 고방사성 물질을 취급하는 공정으로서 고방사성물질을 취급하는 시설은 고도의 안전성과 방사능 차폐, 엄격한 품질관리 및 최첨단의 원격취급장비가 요구되는 시설이다. pyro 공정에 필요한 원격유지보수 장비와 공정장치의 설계에 대한 지침서를 기술하였다. 본 보고서에 기술된 지침서는 다음과 같다. Pyro 공정장치의 원격 운전/유지보수를 위한 일반지침(Pyro 공정의 원격 운전/유지보수 장비, 원격 운전/유지보수를 위한 일반적인 고려사항, 원격 운전/유지보수 대상 장비의 설계를 위한 일반지침, 원격 유지보수 평가 및 분석)</p>				
주제명키워드 (10단어내외)	Pyro 공정, 핫셀, 원격취급장비, 일반지침				

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET

Performing Org. Report No.	Sponsoring Org. Report No.	Standard Report No.	INIS Subject Code
KAERI/TR-3512/2007			
Title / Subtitle	General guideline for remote operation and maintenance of pyroprocess equipment		
Project Manager and Department (or Main Author)	S. H. Kim, Nuclear Fuel Cycle Remote Technology Lab.		
Researcher and Department	B. S. Park, H. S. Park, H. J. Lee, C. W. Choi, J. K. Lee, Nuclear Fuel Cycle Remote Technology Lab.		
Publication Place	Daejeon	Publisher	KAERI
			Publication Date
			12/2007
Page	34 p.	Ill. & Tab.	Yes(o), No ()
			Size
			A4
Note			
Open	Open(o), Closed()		
Classified	Restricted(), ___Class	Report Type	Technical Report
	Document		
Sponsoring Org.		Contract No.	
Abstract (15-20 Lines)	<p>As the pyroprocess handle the high radioactive materials, a high radioactive material handling facility required high safety, radioactive shielding, strict quality control, and the remote handling equipment of high technology. This report describes the guidelines of for pyroprocess based the design guides for radioactive material handling facility and equipment from American Nuclear Society(ANS), design guidelines for remotely maintained equipment from Oak Ridge National Laboratory(ORNL), and the experience of design for ACP equipment installed at the ACPF(Advanced Conditioning Process Facility). The General guidelines in this report are as follows.</p> <p>The General guidelines for remote operation and maintenance of pyroprocess equipment: Pyroprocess, Remote handling equipment for pyroprocess, General guide for remote operation and maintenance, general guidelines for the design of remotely operated and maintained equipment, Estimation and analysis for remote maintenance</p>		
Subject Keywords (About 10 words)	pyroprocess, hot cell, remote handling equipment, general guideline		