

# 파이로 공정장치의 원격 취급성 평가에 관한 연구 Assessment of Remote Handling Tasks for Pyroprocessing Equipment

\*# 유승남, 김성현, 이효직, 이종광, 박병석, 김기호

\*# S. N. Yu (snyu@kaeri.re.kr), S. H. Kim, H. J. Lee, J. K. Lee, B. S. Park, K. H. Kim  
한국원자력연구원 핵주기시스템공학기술개발부

Key words : Tele-operation System, Pyroprocess, Digital Mock-up Test

## 1. 서론

현재, 원자력발전 시 파생되는 사용 후 연료를 처리할 수 있는 기술은 크게 두 가지로 나눌 수 있는데 하나는 직접 지하에 처분하는 방법이며, 또 하나는 처리를 통한 재활용이다. 직접 처분하는 경우 사용 후 연료로부터 발생하는 열로 인하여 많은 처분장 면적이 필요하다는 단점이 있는 것에 반해, 사용 후 연료를 처리하고 재활용 할 경우에는 처분장 면적을 결정하는 고방열 핵종을 분리하여 별도 관리함으로써, 처분장 면적을 줄 일 수 있으며 타지 않는 우라늄 및 초우라늄 원소를 재활용하여 자원 활용률을 크게 증가시킬 수 있다 [1]. 본 연구에서는 이와 같은 사용 후 연료 재활용 기술의 하나인 파이로 기술과 관련한 공정 프로세스를 안정적으로 수행하기 위해 필요한 원격조작기 시스템을 기반으로 셀 내부 공정장치들의 원격 조작성을 평가하고자 한다. 이러한 평가 방법론은 실제 파이로 공정시설 내에 각종 공정장치를 적용하거나 운용할 때 활용될 수 있다.

## 2. 시스템 개요

파이로공정을 위한 원격조작기는 셀 내부에 설치된 공장 장치 및 관련 보조 설비들을 셀 외부에서 원격으로 운전 및 유지보수하기 위한 시스템이다. 일반적으로 이러한 원격조작기 시스템은 벽 부착형 기계식 마스터-슬레이브 조작기로 구성되어있으며, 본 연구에서 대상으로 하는 시설은 파이로 일관공정 시험시설인 PRIDE (Pyroprocess Integrated inactive DEMonstration facility)의 작업 조건을 기준으로, 전술한 기계식 마스터-슬레이브 시스템 및 전동식 서보형 마스터-슬레이브 시스템이 조합된 타입이다 [2]. 하지만 본 연구에서는 기계식 조작기만으로 대상을 제한하였으며, 셀 내에 위치할 각종 공정장치에 대한 원격조작성

평가 역시 기계식 조작기만으로 수행한 결과임을 밝혀둔다. 본 실험을 위해 실제 PRIDE의 길이만 1/8로 축소한 Mock-up 시설 (RHEM, Remote Handling Evaluation Mock-up)과 시뮬레이터 기반의 디지털 Mock-up을 활용하였다.

## 3. 원격조작성 평가

본 연구에서는 공정 셀 외부를 기준으로 조작자의 외부가시성, 외부접근성, 외부조작성의 세 가지 평가항목을 구성하여 실험을 수행하였다.

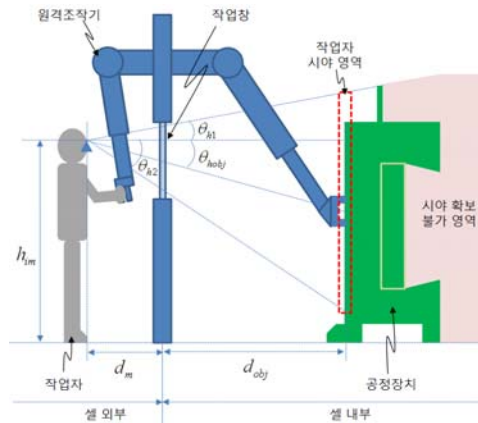


Fig. 1 View range of an operator for Pyroprocessing system (Field of view : 60 deg.)

'외부가시성'의 경우 Fig. 1과 같이 셀 외부의 기준 위치에서 조작자의 시야로 취득되는 셀 내부의 시야범위를 의미하며, 작업장으로부터 조작자까지의 거리  $d_m$ , 조작자의 눈높이  $h_m$  및 작업장으로부터 셀 내부의 공정장치까지의 거리  $d_{obj}$ 을 구하면, 작업 면적을 기준으로 한 비례식을 통해 간단하게 작업자의 셀 내부에 대한 시야 면적  $S$ 를 구할 수 있다. 이러한 작업자의 눈높이 좌표 및 시야 범위를 디지털 Mock-up에 적용하면 시뮬레이

션을 통해 외부가시성을 평가할 수 있다.  $d_m = 300mm$ ,  $h_m = 1600mm$ ,  $d_{obj} = 1200mm$ 를 기준으로 하였을 때, 본 연구에서 대상으로 하는 PRIDE의 외부에서 조작창을 통해 Fig. 2와 같은 시야를 확보할 수 있으며, 높이 1900mm, 2400mm의 두 가지 공정 장치에 대한 '외부접근성'을 확인하였다.

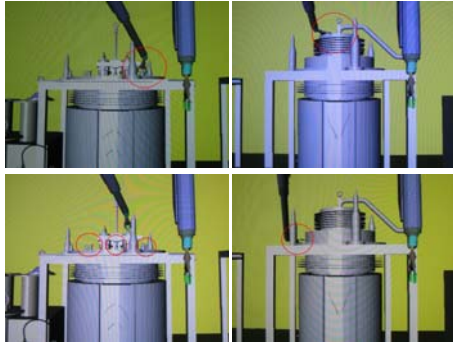


Fig. 2 Test of Approaching Performance of Mechanical Master-slave manipulator (Electro-reducer(Left), Cathode Processor(Right))

시뮬레이션 결과, 장치 상부에 배치된 각종 체결장치 및 열전대 등에 대한 접근성은 용이하였으나 실험장치 거치대를 기점으로 한 공정장치 하부에 대한 접근성에는 제약이 있는 것으로 파악되었다.

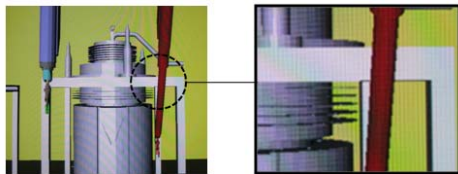


Fig. 3 Collision detection test between the manipulator and obstacles using Digital Mock-up System

이는, 본 연구에 적용된 기계식 조작기의 팔꿈치 관절의 구조적 특성(Prismatic Joint)으로 인하여 Fig. 3과 같이 일부 영역에 대해서는 원격조작기 접근이 곤란함을 의미한다. 실제 실험에 앞선 시뮬레이션을 통하여 확보되는 위와 같은 평가결과들은 공정장치에 대한 원격접근성 측면에서의 시스템 개선에 중요한 정보로 활용될 수 있다.

최종적으로 '원격조작성'의 경우에는 해당 공정장비들을 RHEM에 설치한 뒤, 기계식 조작기를 직접 조작하면서 작업 성능을 테스트하였다. (Table 1, Fig. 4)

Table 1 Experimental Results of Tele-operation task in the 1/8 scale Mock-up Facility

실험 항목	위치 (작업창 기준)	실험 결과
열전대 분리	장치 상부 전면	작업 가능
볼트체결/분리	장치 상부 전/측/후면	전/측면 가능, 후면 불가
Cathode Basket 장입/분리	장치 상부 중앙	크레인 협업 시 가능
전극장입/분리	장치 상부 중앙	크레인 협업 시 가능
히터전극 체결/분리	장치 하부	작업 불편 (위치변경필요)



Fig. 4 Example of tele-operation task in the 1/8 scale Mock-up Facility (Cathode electrode handling)

#### 4. 결론

본 연구에서는 파이프공정 장치들에 대한 원격조작성을 평가하기 위해, 현장에 적용된 기계식조작기를 기준으로 Digital Mock-up 및 RHEM 내에서의 각 공정장치들에 대한 원격가시성, 원격접근성, 원격조작성을 평가하였다. 이를 통해 기존 공정장치들의 현장 적용성을 향상시키는 물론, 향후 실제 현장 작업 상황을 모사한 사전 평가를 수행함으로써 전체 공정완성도를 높이는 데에도 기여할 수 있음을 확인하였다.

#### 후기

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국연구재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다.

#### 참고문헌

1. 이한수, "파이로 건식 처리 공정 기술 개발", 월간 '원자력산업' 3/4월호, 91-117, 2009
2. 김성현, 박희성, 이종광, 이효직, 최창환, 박병석, "디지털 목업을 이용한 PRIDE에서 유지보수 장비의 설계에 대한 요건 분석", 한국방사성폐기물학회, Vol.6, No.2, 314-315, 2008