

## 핵주기 공정장치의 원격취급을 위한 작업 요소 도출 및 분석

유승남, 김성현, 이종광, 박병석, 김기호, 조일계  
 한국원자력연구원, 대전시 유성구 덕진동 대덕대로 989번길 111  
[snvu@kaeri.re.kr](mailto:snvu@kaeri.re.kr)

### 1. 서론

PRIDE (PyRoprocess Integrated inactive DEmonstration) 시설에는 전해환원, 전해정련, 전해제련 및 염폐기물 재생/고화 공정 등을 수행하는 다양한 공정장치들이 배치되며, 이러한 공정장치들은 원격취급 장비에 의해 관리, 운용된다. 이러한 공정장치들은 개발 및 제작 단계에서 PRIDE 환경을 모사한 디지털 목업 및 원격취급성 검증목업을 통한 원격조작성 평가를 병행함으로써 시스템의 완성도를 확보할 수 있다. [1] 본 연구에서는 이러한 원격조작성 평가의 실제 사례를 통하여 장치 운전을 위해 필요한 원격 작업 요소들을 도출하는 한편, 각 장치별로 투입되는 이들 작업 요소들에 대한 작업 강도를 산출하여 비교 및 분석하였다.

### 2. 원격취급 작업 대상 선정 및 작업 정의

본 논문에서는 전해환원공정의 전해환원장치 및

Cathode Processor, 전해정련공정의 RAR 전해제련조 장치, 염폐기물 재생/고화 공정의 산화/침전장치를 대상으로 선정하였으며, 원격취급성 검증목업 내에서 각 장치의 운전절차에 입각하여 장치 운전과정에서 개입되는 원격취급 시스템 관련 작업들을 특별히 분류하여 Table 1에 나타내었다. 이렇게 정의된 단위 작업들은 모든 공정장치에 일괄적으로 적용할 수 있으며, 이를 통해 해당 단위 작업에 대한 각 장치별 동작 발생 빈도수를 계량적으로 파악할 수 있다. 실험을 위하여 전술한 원격취급성 검증목업 내에 설치된 기계식 조작기(MSM), 서보식 조작기(BDSM) 및 천정이동형 크레인을 사용하였다.[1]

### 3. 대상 공정장치에 대한 원격취급 작업 분석

본 연구에서 제시한 공정장치들을 대상으로 Table 1의 원격취급 작업들을 적용하여 1 Cycle의 장치운전 시에 발생하는 단위 작업별 발생 빈도 수 및 작업 강도를 Table 2에 나타내었다.

Table 1. Types and definitions of required tasks for remote handling of target facilities.

구분	단위 작업명	작업 이미지	특기 사항	대상 장비
1	볼트체결/분리 (반자동)		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 체결 작업 자체는 용이하나, 추가적인 공구무게를 사용자가 부담해야함</li> <li>■ 저진동 경량 공구가 바람직함</li> </ul>	MSM, BDSM
2	모듈이동		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 중력의 영향이 적은 수평이동 시에 빈번하게 활용됨</li> <li>■ 리니어 가이드와 같이 마찰이 적은 이송 장비의 활용이 요구됨</li> </ul>	MSM, BDSM
3	기구작동		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 작업자의 Load는 크지 않지만 High Dexterity가 요구됨</li> </ul>	MSM, BDSM
4	인양고리 체결 및 해제		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 가장 난이도가 높은 작업 군에 속함</li> <li>■ 과도한 반복 작업 시에 작업자의 근피로도가 가중될 가능성이 높음. 서보식조작기로 수행하는 것이 유리함</li> </ul>	MSM, BDSM, In-Cell Crane
5	부품 직접파지 및 조립/분해		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 용기 인양을 위한 전용 파지기구 결합과 같은 작업이 이에 속함</li> <li>■ 작업장 시야확보가 곤란한 경우가 많음. 외부로 부터의 보조 카메라 필요함</li> </ul>	MSM, BDSM, In-Cell Crane
6	인양/장입보조		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 크레인의 동적오차 및 작업자의 인적오류(크레인정위치 여부에 대한 판단착오) 등을 작업 계획 시에 감안할 필요가 있음</li> </ul>	MSM, BDSM, In-Cell Crane

\* MSM : Mechanical Master Slave Manipulator, BDSM : Bridge transported Dual arm Servo-Manipulator.

Table 2. Analysis of frequencies and work loads for required tasks of target facilities (Weight factors are normalized values for sum of work-load factors).

작업명	운전	유지 보수	작업 강도			작업 강도 합계	운전 빈도수(횟수 / 횟수*작업 강도 가중치)		
			High Dexterity: 1	High Payload: 2	High Concentration: 3		전해환원 장치+CP장치	RAR장치	산화침전장치
A.볼트체결/분리 (반자동)	●	●	-	●	-	2	7 / 0.56	-	2 / 0.16
B.모물 이동	●	●	●	-	-	1	-	3 / 0.12	1 / 0.04
C.기구작동 (벨브, 잠금장치, 고리 등)	●	-	●	-	●	4	3 / 0.48	1 / 0.16	-
D.인양고리 체결/해체	●	●	●	-	●	4	48 / 6.56	2 / 0.32	4 / 0.64
E.부품 직접파지 및 조립/분해 (커넥터, 전용파지장치 등)	●	●	●	●	●	6	17 / 4.08	24 / 5.76	-
F.인양보조	●	●	●	-	-	1	42 / 1.68	1 / 0.04	3 / 0.12
G.장입보조	●	-	-	-	●	3	22 / 2.64	-	2 / 0.24

위의 분석표는 아래와 같은 가정을 기반으로 작성되었다.

1. 덮개 및 임시조립 부품의 해체 및 결합은 미포함
2. 볼트 해체 및 결합은 볼트 개수에 상관없이 전체 볼트 해체 또는 결합을 1회로 산정
3. 기구작동은 왕복 동작을 1회로 산정
4. 용기 또는 부품의 단순 Place-down 동작은 장입보조 동작으로 취급하지 않음
5. 센서 분리/결합은 열전대만을 대상으로 함
6. 장치 설계 변경에 따라 단위 작업 종류와 횟수는 달라질 수 있음

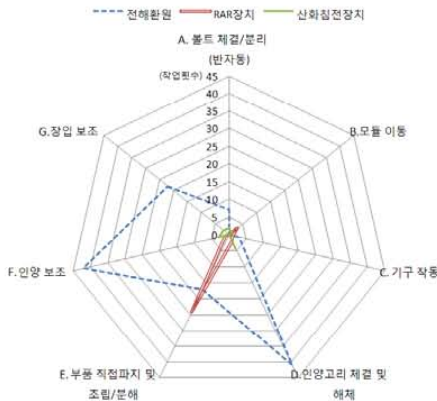


Fig. 1. Numbers of required tasks during the 1-cycle operation of the target facilities.

Fig. 1은 Table 2의 결과를 그래프로 도시한 것이며, 그래프에서 확인할 수 있듯이 전해환원장치의 경우, 내부 용기의 빈번한 장치 출입으로 인하여 인양고리의 체결 및 해체 작업과 인양 보조 작업이 다른 장치에 비하여 많이 발생하며, 작업 강도 측면에서도 Fig. 2의 결과를 통해 작업자에게 상대적으로 큰 부하로 작용할 수 있음을 예측할 수 있었다. 여기서 주목할 점은 RAR장치에서

의 전극 및 교반기 출입 작업은 전해환원장치에서의 인양고리 체결 작업만큼 빈번하지는 않지만, 작업 강도 측면에서는 전해환원장치의 인양고리 체결과 비슷한 수준의 부하가 예상된다.

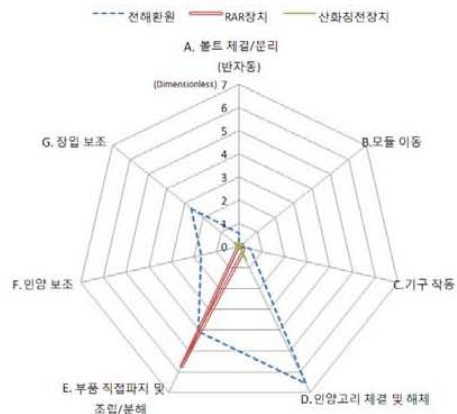


Fig. 2. Relative work-loads among the required tasks during the 1-cycle operation of the target facilities.

#### 4. 결론

본 연구에서는 PRIDE 공정장치들에 대한 원격 취급장치 기반 운전시험을 통하여, 각 장치별로 요구되는 원격조작 작업 요소를 분석하고 작업 강도 측면에서 계량화함으로써, 각 장치 간 작업 강도의 정량적 비교 및 기구적 개선 요구사항을 도출 할 수 있었다.

#### 5. 참고문헌

[1] 유승남, 김성현, 이효지, 이종광, 박병석, 김기호, "파이로 공정장치의 원격 취급성 평가에 관한 연구", 한국정밀공학회 춘계학술대회, pp.515-516, 2011.