

## 원격조작을 위한 PRIDE 전해환원장치 설계

오승철, 홍순석, 김익수, 최은영, 허진목

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 대덕대로 1045

[nscoh@kaeri.re.kr](mailto:nscoh@kaeri.re.kr)

### 1. 서론

경수로에서 배출되는 사용후핵연료는 산화물 형태이며, 이러한 산화물 사용후핵연료를 금속으로 전환하여 폐기물 저장처분 측면에서는 부피와 발열량을 줄임으로써 폐기물 저장 효율을 획기적으로 높이고, 연료 재활용 측면에서는 고속로와 연계하여 금속연료를 재활용하기 위한 연구가 원자력 선진국들에 의해서 활발히 수행되고 있다 [1,2].

LiCl 용융염에서 우라늄산화물을 전기화학적 방법을 사용하여 우라늄금속으로 환원시키기 위한 연구가 bench 규모 및 실험실 규모에서 성공적으로 수행됨으로써 [3] 상용 규모 전 단계로 50 kg-U/batch 규모의 전해환원 공정을 확립하기 위한 아르곤 분위기에서 운전되는 전해환원장치를 설계, 제작하였다. 전해환원장치가 설치되는 아르곤 셀은 길이 40 m, 폭 4.8 m, 높이 6 m로 전해환원 공정장치 및 후속 공정의 전해정련, 전해제련, 염 폐기물 처리 공정장치 등이 설치되며, 이러한 시설을 PyRoprocess Integrated inactive DEmonstration facility(PRIDE)로 명명하였다. 2011년 말에 완공 예정인 PRIDE 아르곤 셀은 산소농도 및 수분농도를 50 ppm 이하로 운전되며, 셀 내부에서의 원격조작을 위한 크레인과 마스터-슬레이브 조작기(MSM), 양팔 서보 조작기(BDSM)가 설치된다.

본 연구에서는 이러한 아르곤 분위기의 PRIDE 셀 내에 설치되는 전해환원장치 및 전해환원장치의 원활한 운전을 위한 부대장치의 원격운전에 대해 고찰하였다.

### 2. 전해환원장치

전해환원장치는 외부 반응기와 내부 반응기로 구성되어 있으며, 내부 반응기는 LiCl을 충전, 용융함으로써 전해환원조로 사용되고 외부 반응기는 휘발되는 용융염이 전해환원장치 외부로 방출되어 셀을 오염시키는 것을 방지한다. 외부 반응기 플

랜지에는 전해환원 공정에 요구되는 우라늄산화물이 충전된 바스켓을 포함하는 일체형 음극과 양극 및 기준전극이 설치되며, 공정의 원활한 운전을 위해 열전대, 산소이온 농도 실시간 측정센서, 용융염 액위 측정센서 등이 설치되었다(Fig. 1).

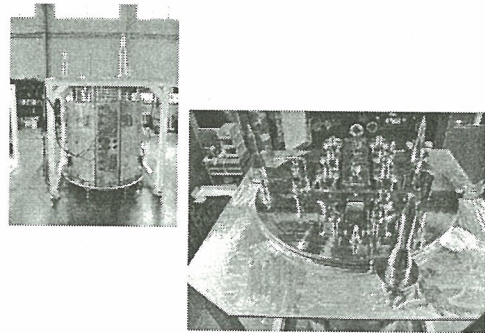


Fig. 1. Electrolytic reducer.

### 3. 원격운전 절차

PRIDE 아르곤 셀의 large transport chamber를 통해 셀 내로 반입된 전해환원장치 내부반응기의 LiCl은 내부 반응기 파지기구 및 크레인으로 전해환원장치의 외부 반응기에 장착한다. 플랜지 거치대의 외부 반응기 플랜지를 플랜지 파지기구 및 크레인을 이용하여 전해환원장치에 장착한다.

플랜지 상부의 각종 전극 및 센서 설치를 위한 노즐에 크레인과 MSM을 이용하여 블라인드 플랜지를 설치하고 아르곤 공급관, 열전대와 전극의 부스바를 연결한다.

음극바스켓에 Fig. 2의 파지/회전장치를 이용하여 전처리 공정으로부터 반입된 우라늄산화물을 충전한다. 파지/회전장치는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 외경 크기가 다른 실린더 형 용기들과 직육면체 형의 음극 바스켓을 파지할 수 있도록 설계되었다.

가열로에 전원을 공급하여 내부 반응기 내의 LiCl 용융염 온도가 650℃에 도달할 때까지 가열한다.

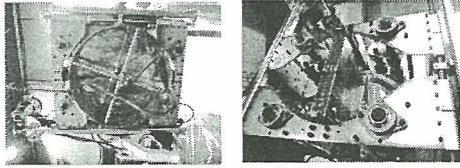


Fig. 2. Gripping & Rotational equipment.

용융염의 온도가 650°C에 도달되면 크레인 및 MSM을 이용하여 반응기 상단 플랜지 노즐의 블라인드 플랜지를 제거하고 각종 전극 및 센서들을 설치한다.

음극 및 양극에 전원을 공급하여 일정 시간 동안 전해환원 반응을 시킨 후에 전해환원을 종료하고 크레인을 이용하여 각종 전극 및 센서를 용융염 계면 위로 상승시킨다.

음극 바스켓의 우라늄금속 및 염을 처리하기 위해 음극 바스켓을 염 증류장치에 설치한다. 이때에는 플랜지 거치대 및 파지/회전장치가 사용되며, 크레인과 MSM을 이용하여 모든 조작이 수행된다.

Fig. 3의 염 증류장치는 음극 바스켓 내의 우라늄금속과 염을 분리하기 위한 장치로 장치 상부에는 휘발되는 LiCl 염의 회수를 위한 용기가 있으며, 장치 하부에는 우라늄금속을 회수하기 위한 용기가 장착되어 있다.

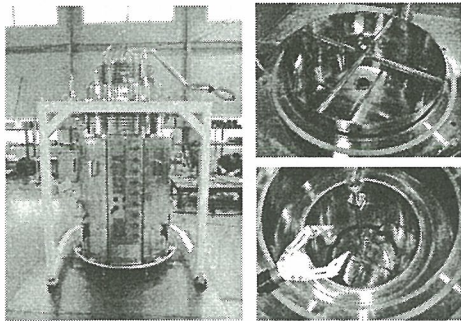


Fig. 3. Cathode processor.

플랜지 거치대의 반응기 플랜지를 플랜지 파지기구 및 크레인을 이용하여 염 증류장치에 장착하고 MSM을 이용하여 열전대 및 진공 배관을 연결한 후에 가열로에 전원을 공급하여 일정 온도로 가열하고 반응기 내부를 진공 상태로 유지하여 염의 휘발을 촉진한다.

염의 포집이 종료되면 반응기 가열을 중지하고 반응기 내부가 상온으로 냉각되면 회수된 우라늄 금속과 염을 파지/회전장치를 이용하여 저장용기에 저장한다.

한편, 가열로의 유지보수를 위해 가열로 파지기구 및 반응기에 가열로 탈부착을 위한 원격치구들을 설계, 제작하였다.

#### 4. 결론

전해환원장치는 2011년 말에 완공될 PRIDE 아르곤 셀에 설치될 예정으로 모든 운전과 유지보수는 원격조작에 의해 수행되어야 한다. 전해환원장치와 전해환원장치의 원활한 운전을 위한 부대장치의 설계 시에 원격조작 전산모사에 의한 결과를 반영하였으며, 장치 제작 후에는 PRIDE 셀과 동일한 환경으로 구성된 원격 mock-up 시설에 설치하여 크레인 및 마스터-슬레이브 조작기와 양팔 서보 조작기만으로 전해환원공정 운전 절차에 따라 검증하였다

#### 5. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국연구재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다.

#### 6. 참고문헌

- [1] S. D. Herrmann and S. X. Li, "Separation and recovery of uranium metal from spent light water reactor fuel via electrolytic reduction and electrorefining", Nucl. Tech., **171**, No. 3, p. 247 (2010).
- [2] Y. Sakamura and T. Omori, "Electrolytic reduction and electrorefining of uranium to develop pyrochemical reprocessing of oxide fuels", Nucl. Tech., **171**, No. 3, p. 266 (2010).
- [3] 이한수 외, "PWR 사용후핵연료 부피감용 기술개발", KAERI/RR-3132/2009 (2009).