

프라이드 RAR 공정장치의 설계, 목업시험 및 제작 설계

심준보, 김지용, 김택진, 김가영, 김시형, 정재후, 김광락, 안도희, 이한수, 백승우
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

njbshim@kaeri.re.kr

1. 서론

지속 가능한 에너지원의 확보를 위한 미래 원자력시스템의 완성 및 사용후핵연료의 감용에 반드시 필요한 파이로 공정(Pyroprocessing) 기술은 경제성을 제고하고 방사선 안전에 대한 신뢰성을 높이려면 고준위폐기물에 들어가는 악티늄족 원소의 양을 최소화시켜야 한다. 전해제련 공정에서 나오는 폐 용융염으로부터 악티늄족 원소를 최대로 회수하기 위해 사용하는 “잔류악티늄족 회수(RAR; Residual Actinides Recovery)” 공정 및 장치를 한국원자력연구원에서 개발하였다[1]. LCC 전해 및 CdCl₂ 산화제를 활용하여 악티늄족의 잔류농도를 0.01 wt% 이하로 감축시키는 방법을 실험실 규모의 장치 시험을 거쳐 확립하였으며, 앞으로 이 기술이 실용화되기 위해서는 실제 악티늄족 원소(TRU)를 이용한 검증시험 및 장치의 규모가 확장된 공학규모의 원격장치 기술의 확보가 뒤따라야 한다.

본 논문에서는 공학규모 RAR 공정장치의 확립에 필요한 PRIDE 시험시설의 아르곤 셀에 설치되는 “프라이드 RAR 장치”의 사양, 설계, 3D 검증시험, 목업시험, 제작 및 프라이드에 설치 등 일련의 RAR 장치 구축에 관련된 수행 내용을 요약하였다.

2. 본론

2.1 RAR 장치 개요, 설계, 목업시험 및 제작

PRIDE RAR 장치는 전해제련 공정 후 공융염에 소량으로 잔류하는 악티늄족 원소(U 및 TRU)를 LCC(Liquid Cadmium Cathode; 액체카드뮴음극)에 전착시켜 회수하고, 이 때 함께 전착되는 희토류 금속(Rare earths)은 CdCl₂ 산화제를 넣어 염화물로 만든 뒤 용융염 속으로 다시 나오도록 하는 장치이다. RAR 장치에서 사용하는 LiCl-KCl 공융염 및 Cd의 양은 각각 80 kg 및 10 kg이다. 이 장치는 PRIDE 시설의 Ar-cell 내에서 MSM(Master Slave Manipulator), BDSM(Bridge transported Dual arm Servo-Manipulators) 및

크레인을 이용하여 운전할 수 있도록 장치의 “원격 운전 및 유지·보수” 개념을 반영하여 제작되었다. 장치가 운전 중 고장이 났을 경우 셀 외부로 반출하여 유지 및 보수가 용이하도록 가급적 장치 및 모든 부품들은 모듈화를 하였다. 따라서 위의 요건을 만족시켜 줄 수 있도록 PRIDE RAR 장치를 설계하였다(Fig. 1). 3D 모델 틀로 장치의 운전성능을 모의 검증하였으며(Fig. 2), Mock-up 용 장치의 제작 및 2차례에 걸쳐 목업시험을 수행한 후(Fig. 3,L) 이로부터 도출된 장치의 미비점을 개선 및 보완하여 실제 장치를 제작하여 아르곤 셀에 설치하였다(Fig. 3,R).

2.2 RAR 장치의 구성 및 사양

PRIDE RAR 장치의 주요 구성품은 Frame assembly, Furnace assembly, 전해조 assembly, Flange assembly, LCC crucible assembly, LCC 교반기 assembly, LM guide assembly, 도가니 수직/수평 이송 및 회전장치, LCC 도가니 운반 모듈, LCC 도가니, Cd 안전용기, 전원 커넥터 assembly, Control panel, 전극 거치대, Flange 거치대 등이다. RAR 장치의 사양은

- Batch당 처리 용량: LiCl-KCl 공융염 80 kg 및 Cd 10 kg
- 장치 크기: H(높이) 1,996, W(두께) 1,431, L(길이) 1,749 mm
- LCC 도가니(알루미늄)의 크기: OD 175, ID 150, H 150 mm
- Cd 안전용기(STS)의 크기: OD 230, ID 220, H 100, T 2 mm
- 장치의 주요부 재질: 용융염 반응기의 경우 스테인레스 강(SUS), 용융염과 직접 접촉이 없는 구조물이나 히터 외부는 알루미늄을 사용.
- 장치의 구동 방법: MSM, BDSM 및 크레인에 의한 원격 운전성 확보
- Control panel의 크기: H 1810, W 580, L 580 mm 이며, 색상은 회색
- 가열로에 사용되는 전원: 220 V, 3상, 100 A

- 전해용 Potentiostat 전원: 220 V, 30 A이고, CV에 의한 모니터링용 Potentiostat에 사용되는 전원은 220 V, 2 A.

PRIDE RAR 장치의 특징은 운전 효율을 극대화시키기 위해 간단히 LCC 교반기 어셈블리만 교환하여 LCC 전해제련 장치와 상호 교체·운전(Switching)이 용이하도록 구성하였다.

2.3 RAR 장치의 운전 및 조작

PRIDE 전해제련 운전을 종료한 뒤 전해제련조의 공용염에 잔류하는 악티늄족 원소(U/TRU)를 회수하기 위해, Cd가 담긴 LCC 도가니 및 이중 날개 LCC 교반기를 전해조에 장입하고 전류밀도 10~100 mA/cm² 사이에서 전류의 양을 순차적으로 낮춰가며 전해하여 U(TRU도 고려)를 LCC에 전착시킨다. LCC에 U(TRU)와 함께 전착된 원하지 않는 희토류 금속(RE)은 용융염 속에 CdCl₂ 산화제를 넣어 금속 염화물로 만들어 용융염으로 다시 나오도록 산화시킨다. U(TRU)를 회수한 후 희토류금속 염화물만 남은 공용염은 염폐기물 처리 장치로 이송하고, 회수된 U(TRU)가 들어있는 Cd 잉곳은 Cd 증류장치로 이송하여 RAR 운전을 종료한다.

PRIDE RAR 장치의 작동 방법은 수동과 반자동 방법을 사용할 수 있으며, 제어반(Control panel)에서 작업 공정에 적절한 수동 및 반자동 조작을 선택한 뒤 실행한다. 또한, 이동식 조작 제어반(터치 패널)이 아르곤 셀 창(Window) 옆에 보조로 설치되어 있어 장치가 작동되는 상황을 바라보면서 운전 및 조작이 가능하다.

3. 결론

프라이드 RAR 장치는 전해제련 공정에서 나온 폐 용융염에 남아있는 악티늄족 원소를 최대한 회수하는 공학규모 시험 장치이다. RAR 장치는 PRIDE 아르곤 셀 내에서 폐 용융염을 약 80 kg 처리할 수 있는 용량으로 설계되었다. 이 장치는 아르곤 셀에서 MSM, BDSM 및 크레인을 이용한 원격 운전, 취급 및 고장 시 유지보수를 고려하여 모듈형태로 설계 및 제작되었다. 원활한 원격 조작성을 확보하기 위해 Solidworks에 의한 설계 및 3D 검증시험을 하였다. 목업시험 장치를 제작하고 2차에 걸친 시험을 수행한 후 개선 및 보완하여 프라이드 아르곤 셀에 RAR 장치를 설치

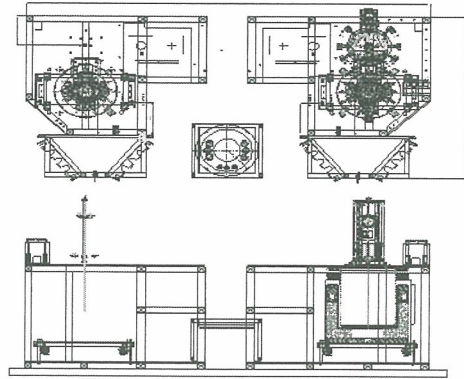


Fig. 1. Design of RAR equipment.

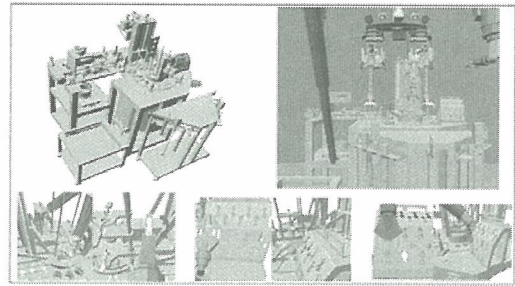


Fig. 2. 3D validation test of RAR equipment.

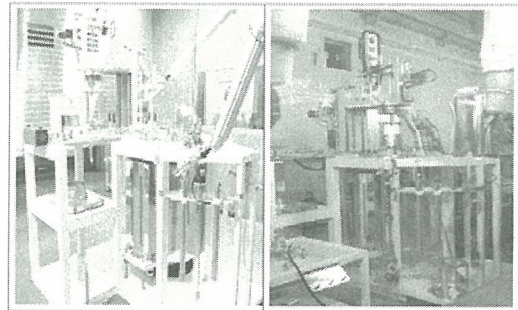


Fig. 3. Mockup test(L) and RAR equipment(R).

완료하였다. 현재 가동 전 예비시험 (Blank test) 단계를 진행하고 있다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력 연구개발 중장기 계획사업의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] 심준보 외, “염화물 용융염에서 잔류 악티늄족 원소의 회수방법”, 대한민국 특허등록 제 10-1047838호, 2011.