전해제련공정을 위한 불활성 양극 장치 개발

김택진, 박대엽, 윤달성, 심준보, 김시형, 백승우, 김광락, 정재후, 안도희
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045(덕진동 150-1)
ktj@kaeri.re.kr

1. 서론

파이로프로세스는 사용후핵연료를 처리하여 부피감용 뿐만 아니라 장수명 핵종의 핵변환을 통한 방사성 독성의 획기적 감소가 가능한 소듐냉각 고속로(SFR)의 연료로써 재활용이 가능하도록 하는 기술의 일련공정들이며 대표적으로 전해환원, 전해정련, 전해제련 및 염폐기물 처리공정으로 이루어져있다. 전해정련 공정의 후속 공정인 전해제련공정은 용융염 내에 잔류하는 우라늄을 포함한 플루토늄, 넵트늄, 아메리슘, 큐리움 등을 액체카드뮴음극(LCC, Liquid Cadimium Cathode)을 사용하여 회수한다. 액체카드뮴을 음극으로 사용하게 되면 악티나이드와 란탄족 원소의 전착 전위가 매우 유사하기 때문에 순수한 원소를 분리해서 회수가 불가능하므로 핵확산 저항성이 크다는 장점을 가지고 있다. 이 때 양극에서는 Cl_2 가스가 발생하게 되고 발생된 Cl_2 가스는 전해조 및 메탈로 이루어진 공정장치의 부식을 야기 할 수 있다는 위험성을 내포 하고 있다. 따라서 Cl_2 가스를 효과적으로 포집하여 장치에서 제거하는 것이 매우 중요하다. 또한, 공정 운전 중 양극이 파손 될 경우 전해조 바닥으로부터 회수가 매우 어렵다는 문제점도 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하여 전해제련 공정 효율성을 향상시키기 위해서 새로운 형태의 양극 장치를 개발하였다.

2. 본론

전해제련 공정운전 중 불활성 양극을 사용할 경우 부식을 야기하는 Cl_2 가스의 발생은 피할 수 없는 문제점이다. 따라서 발생된 Cl_2 가스를 효과적으로 포집하여 제거하기 위한 방안으로 Fig. 1. 과 같은 장치를 개발 하게 되었다. Fig. 1.에서 보는 바와 같이 다공성 세라믹 도가니 안에 복수의 카본 양극체를 패킹하고 다공형상의 스틸 지지체로 외면을 감싸 지지함으로써 다공성 세라믹 도가니의 파손 시 전해조 내부로 유출되지 않고 손쉽게 전해조 밖으로 회수가 가능하도록 설계하였다. 포집된 Cl_2 가스를 외부로 배출하기 위해서 스틸재질의 tube를 사용하여 전해조 밖으로 유도하는 통로를 다공형상의 스틸 지지체에 연결시켜 주었다. 또한, 복수의 카본 양극체와 전기적으로 연결시키기 위해서 상부에서 일정부분을 절연시킨 카본rod를 삽입하였다.

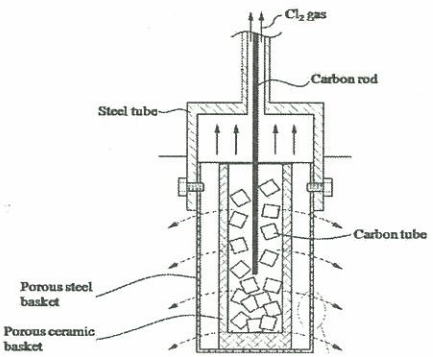
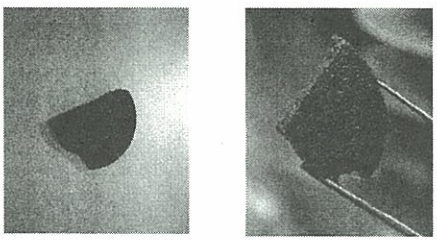


Fig. 1. Schematic diagram of a new inert anode

다공성 세라믹 도가니의 재료로써 일반적으로 많이 사용되는 마그네시아 도가니를 고려하였다. 그러나 마그네시아 도가니는 UCl_3가 존재하는 전해제련 공정 조건 하에서 사용할 경우 반응하여 용해되는 문제점이 발생하다고 보고가 되었다. 특히 Cl_2 가스가 발생하는 조건하에서는 반응이 더 잘 일어나는 것을 열역학 자료를 통해서 확인 하였다. 이러한 문제점으로 인해 다공성 세라믹 도가니로 마그네시아 재질은 적당하지 않다는 것을 확인 하였다. 대체 물질로써 SiC재질의 다공성 세라믹 도가니에 대한 전해제련 조건 하에서의 반응성 여부를 확인하기 위한 실험을 수행하였다. SiC 조각 일부를 취하여 전해제련 공정 조건과 같은 500 ℃ 의 UCl_3-LiCl-KCl 용융염에서 Cl_2 가스가 발생하는 양극쪽에 SiC 조각을 장입 한 후 8시간 동안

전기분해를 해 주었다. 그 결과 Fig. 2.에서 보는 바와 같이 SiC 조각에 변형이 일어나지 않음을 육안으로 확인 할 수 있었다.



(a) Before (b) After

Fig. 2. Test of SiC filter in UCl_3-LiCl-KCl molten salt at 773K

3. 결론

전해제련 공정 운전 중 불활성 양극을 사용할 경우 발생되는 Cl_2 가스를 효과적으로 포집할 수 있고 공정 조건 하에서도 건전성을 유지 할 수 있는 재료를 찾기 위한 실험을 수행하였다. 본 연구를 통하여 개발된 불활성 양극을 제작하여 설치하게 되면 기존에 제기 되었던 Cl_2 가스에 의한 부식 등의 문제점들을 해결할 수 있을 것이라고 기대한다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력 연구개발 중장기 계획사업의 일환으로 수행되었습니다.