

고체-액체 통합형 음극 장치에 대한 연구

권상운, 박기민, 김정국, 심준보, 김광락, 백승우, 김시형, 안도희, 이한수
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150
swkwon@kaeri.re.kr

1. 서론

파이로프로세스의 여러 기술들 가운데 용융염 매질에서 전기화학적으로 분리하는 공정의 연구가 가장 활발하며, 전해환원, 전해정련 및 전해제련 등의 단위공정들로 구성된다. 파이로프로세스의 원리는 우라늄, 희토류 원소, TRU 원소 및 귀금속 등으로 구성된 ingot 양극으로부터 용융염으로 녹아나오는 원소들 중에서 우라늄을 고체음극에 전착시켜 제거하고(전해정련), 나머지 원소들 중에서 악티나이드 원소들을 액체음극에 전착시켜 회수하는(전해제련) 것이다[1,2].

전해정련 공정에서는 고체음극을 이용하여 순수한 우라늄을 분리하며, 이때 전착되는 우라늄의 순도를 고려하여 용융염중의 Pu/U의 비가 2.5~3 정도에 이를 때 까지만 회수하고, 나머지 우라늄과 TRU 원소들(악티나이드)은 액체음극을 이용하여 회수한다. 따라서, 용융염 중에는 많은 양의 우라늄이 남아 있고, 이는 후속공정인 전해제련 공정에서 액체음극을 이용하여 우라늄을 포함한 TRU 원소들의 회수시 우라늄이 덴드라이트를 형성하여 전해제련 조업에 어려움을 준다.

본 연구에서는 액체음극의 조업을 안정적으로 수행하기 위한 새로운 형태의 전극으로 고체-액체 통합형 음극을 제안하였다.

2. 본론

액체 음극 표면에 생성되는 우라늄 덴드라이트의 생성을 억제하고, 성장을 막는 장치를 개발하기 위하여 미국 및 일본 등의 국가에서 많은 연구가 진행되고 있다. 미국 알콘 연구소에서는 상하로 움직이면서 회전/교반하는 파운더(Pounder)라고 하는 기기를 이용하여 덴드라이트 상을 액체 카드뮴 음극으로 밀어 넣는 장치를 개발하였으며, 이는 용융염중의 Pu/U의 무게 비가 클 경우에 효과적이었다. 일본에서는 액체 카드뮴 음극 표면에 성장하는 우라늄 덴드라이트를 상하 한

쌍의 회전 날개에 의하여 파쇄, 전단하거나 혹은 상하 한 쌍의 이동판에 의하여 압축, 분쇄 후 카드뮴 음극 내부로 침강시키는 방법을 이용하였다. 또 일본의 전력중앙연구소(CRIEPI)에서는 카드뮴 액체음극 내부를 패들(paddle) 형태의 교반기로 교반해줌으로써 덴드라이트의 형성 없이 우라늄 전착량을 어느 정도 늘리는 방법을 개발하였다[3].

그러나, 이 방법들은 원칙적으로 용융염중의 초기 우라늄 농도가 높으면, 덴드라이트의 생성과 성장을 잘 막지 못하거나 제거가 어렵다는 문제점이 있다.

액체 음극 운전중 우라늄 덴드라이트가 음극 표면에 생성 혹은 성장되는 것을 막을 수 있는 다른 방법으로는 적절한 방법으로 액체음극 운전 전에 먼저 용융염중의 우라늄을 어느 정도 제거하여 Pu/U의 비를 크게 해주는 것이다. 그러나 이 경우 회수된 우라늄에는 용융염이 많이 함유되어 있어, 액체음극에서 악티나이드계 원소를 얻기 위해 증류하는 과정을 거치듯 용융염 제거 과정을 따로 거쳐야 하며, 전해정련을 위한 고체음극, 전해제련을 위한 고체음극과 액체음극 등 세 종류의 음극으로 인해 전해조 내부가 구조가 복잡해지는 문제가 있다.

본 연구에서 제안하는 고체-액체 통합형 음극은 액체 음극 상부에 생성되는 우라늄 덴드라이트의 생성과 성장을 억제하면서, 악티나이드계 원소를 회수하기 위한 방법이다. 즉 먼저 고체전극으로 용융염 중의 우라늄을 추가로 제거하여 용융염 중의 Pu/U의 비를 2.5~3 보다 크게 높인 후, 액체전극을 사용하여 악티나이드계 원소를 회수하면 액체전극 표면에 우라늄 덴드라이트의 생성 및 성장의 억제가 가능해져 액체음극의 조업 안정성이 커지므로 악티나이드계 원소를 효율적으로 회수할 수 있다.

고체-액체 통합형 음극은 그림 1에서처럼 고체 전극부와 액체 전극부로 구성되며, 고체 전극부는 고체 전극 지지대, 고체 전극 지지대 하부에 부착되는 고체 전극, 고체 전극 지지대 내부를 관통하

여 고체 전극과 연결되는 고체 전극 리드선 등으로 이루어지고, 액체 전극부는 고온에서 액체인 카드뮴(Cd)과 같은 액체 금속으로 이루어진 액체 전극, 액체금속조(crucible) 및 액체 전극 리드선 등으로 이루어진다.

3. 결론

액체음극 표면에 생성되는 우라늄 텐드라이트의 생성을 억제하고, 성장을 막아 액체음극의 조업을 안정적으로 수행하기 위한 새로운 형태의 전극으로 고체-액체 통합형 음극을 제안하였다.

4. 감사의 글

이 논문은 교육과학기술부의 원자력연구개발 사업의 지원으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] J. J. Laidler, J. E. Battles, W. E. Miller, J. P. Ackerman, and E. L. Carls, Progress in Nuclear Energy, 31, 131 (1997).
- [2] S. W. Kwon, D. H. Ahn, E. H. Kim, and H. G. Ahn, J. Ind. Eng. Chem., 15, 86 (2009).
- [3] Koyama., J. Nucl. Mater., 247, 227 (1997)

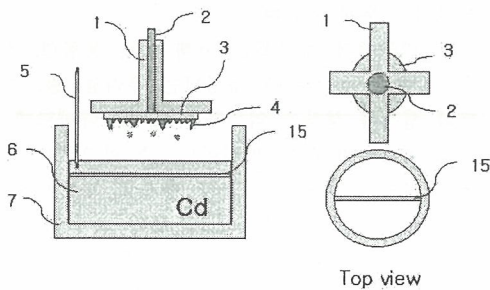


Fig. 1. Schematic diagram of the solid-liquid integrated cathode [1: 고체 전극 지지대, 2: 고체 전극 리드선, 3: 고체 전극, 4: 우라늄 전착물, 5: 액체 전극 리드선, 6: 액체전극, 7: 액체 전극 반응조, 8: 전해제련조, 9: 용융염 전해질, 10: 양극(anode), 11: 양극 리드선, 12: 전원]