

직립형 Cd 증류장치를 이용한 증류거동 연구

김정량, 김광락, 김택진, 정재후, 김가영, 심준보, 백승우, 안도희

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

blueikr@kaeri.re.kr

1. 서론

사용후 핵연료 전식처리공정(pyroprocess)은 전해환원공정(electroreduction), 전해정련공정(electrorefining), 전해제련공정(electrowinning) 등으로 구성되어 있다[1]. 전해제련공정은 정련공정 후 LiCl-KCl 염에 잔류하는 우라늄과 악티나이드 원소들을 액체카드뮴음극(Liquid Cadmium Cathode; LCC)을 이용하여 전기화학적으로 전착하여 회수하는 공정이다[2]. 카드뮴 증류 공정은 전해제련의 후속 공정으로서 회수된 우라늄 및 악티나이드 원소들과 카드뮴의 증기압 차이를 이용한 분리 공정이다. 진공증류 공정은 구성 물질간의 증기압 차이가 커서 공정이 복잡하고 까다롭다. 하지만 카드뮴의 경우 증기압이 커서 회수된 actinide와 카드뮴을 진공증류 공정으로 분리하기에 적합하다[3].

본 연구에서는 수평형 Cd 증류장치의 문제점을 개선·보완하여 제작한 직립형 Cd 증류장치를 이용하여 카드뮴, LiCl-KCl등을 단일 성분 및 다성분계 환경에서의 여러 온도조건을 부여하여 실험을 진행하고, 이를 이용하여 목적 물질의 회수효율 향상 및 최적 온도 조건 도출 등의 연구가 수행되었다.

2. 본론

본 연구에서 사용된 Lab-scale의 직립형 Cd 증류장치는 PRIDE Cd 증류장치의 적용을 목적으로 제작되었으며, 장치의 성능 및 각각의 운전 조건에 따라 그 효율성을 평가하였다. Lab-scale의 직립형 Cd 증류장치의 구성은 크게 Frame, Furnace, Distiller vessel, Crucible support, Utility 및 Control box로 되어있다. 직립형 Cd 증류장치의 특징으로는 기존에 양 방향 구조로 시료가 주입 및 회수되는 형태였으나 이를 개선·보완하여 단일구조의 형태로 주입·회수가 가능하게 하였다. 이와 같은 구조 변경으로 인하여 장치의 진공 유지 효율이 수평형 Cd 증류장치와 비교하여 향상

되었다.

실험에 사용된 카드뮴 증류장치를 Fig. 1과 같이 나타내었다. Fig. 1(a)는 수평형 Cd 증류장치로서 좌측에 위치한 휘발부에 시료가 주입되어 반응이 일어나고, 이때 발생된 카드뮴 증기가 우측에 위치한 회수용기에 응축되는 구조이다. 수평형 Cd 증류장치의 문제점으로 운전 시에 카드뮴 증기가 응축부에 위치한 회수용기가 아닌 휘발부 하단에 응축되는 현상을 보인다. 또한, 양 방향의 출입구조로 인하여 진공 유지 면에서 좋지 못하였다. Fig. 1(b)는 수평형 Cd 증류장치를 개선·보완한 직립형 Cd 증류장치이다. 기존 장치와 비교하여 단일 출입구조의 직립형 Cd 증류장치는 진공 지속력이 향상되었다. 직립형 Cd 증류장치의 구조는 반응기의 내부에 휘발용기와 회수용기가 위치하며, 이는 Crucible support에 의하여 상승하여 공정이 진행되고 공정이 완료된 후에는 하강하는 구조로 되어있다. 전기로는 총 4개의 히터존으로 나누어져 있고 이는 반응기를 감싸는 구조이다. 1구역은 1,200 °C, 2구역은 1,000 °C, 3구역 800 °C, 4구역 600 °C로 가열할 수 있도록 설계되었으며, 상시 내부온도 측정이 가능하도록 총 5개의 센서가 설치되어있다.

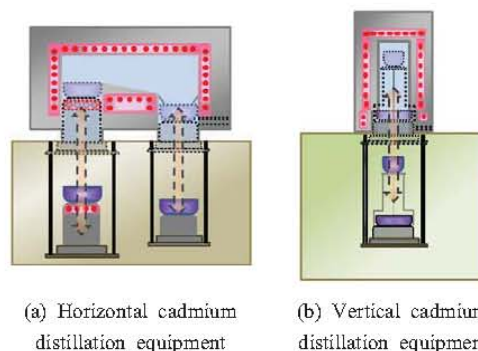


Fig. 1. Comparison of cadmium distillation equipments.

실험 시 동일한 조건을 부여하기 위하여 0.000 ~10 torr까지 측정이 가능한 진공센서와 진공 펌

프가 구성되어 있으며, 반응기 내부는 항상 Ar 분위기가 유지될 수 있도록 하였다. 실험에 사용된 시료는 Cadmium, LiCl-KCl로 각 성분의 특성에 따라 최적 온도 값을 얻을 수 있도록 실험이 수행되었다.

3. 결론

본 연구에서는 사용된 직립형 Cd 증류장치는 기존 수평형 Cd 증류장치의 문제요소인 휘발부 하단에 카드뮴 증기가 응축되는 현상을 제어할 수 있게 되었다. 직립형 Cd 증류장치를 이용하여 각 성분의 물성치에 따라 운전 조건의 차이를 두었으며, 이는 Fig. 2, 3, 4로 나타낸 바와 같다. 각 실험에서 카드뮴 및 LiCl-KCl 단일 성분 및 Cd-Salt 등의 다성분계를 이용하여 각각 시료에 따라 최적 값을 얻기 위하여 온도 조건을 다르게 부여하였다.

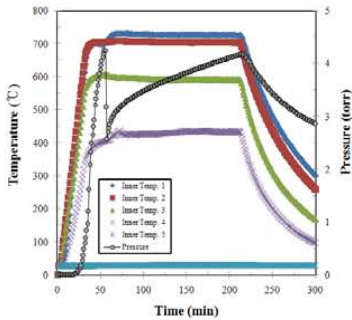


Fig. 2. Changes of inner temperature and pressure in cadmium distillation.

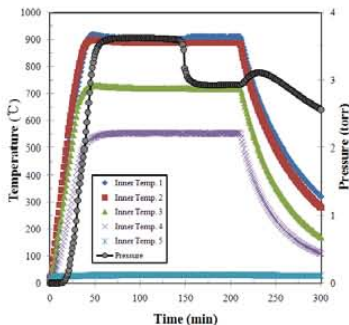


Fig. 3. Changes of inner temperature and pressure in LiCl-KCl distillation.

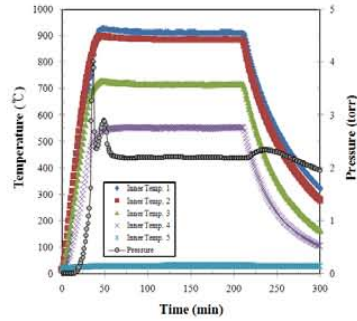


Fig. 4. Changes of inner temperature and pressure in Cd-Salt distillation.

각 조건별 결과 값은 카드뮴 최저 60.12 %, 최고 99.56%의 회수율을 보였으며, LiCl-KCl은 최저 73.79%, 최고 98.42%, Cd-Salt 최저 91.57%, 최고 99.82%의 효율을 측정하였다. 그에 따른 각 성분에 증류 최적 온도조건을 설정하였다. Fig. 2, 3, 4 모두 최적 온도조건에서 98%이상의 회수효율을 보였다. 실험 완료 후 상단의 휘발용기 내에 잔류하는 시료의 양은 극미량으로 측정되었다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력 연구개발 중장기 계획사업의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] H. C. Eun, Y. Z. Cho, T. K. Lee, H. C. Yang, I. T. Kim, H. S. Kim, J. Radioanal Nucl. Chem., 8(2), 103-104, 2009.
- [2] D. S. Yoon, S. H. Kim, K. Y. Kim, S. W. Paek, T. J. Kim, K. R. Kim, J. B. Shi, J. H. Jung, D. H. Ahn, J. Radioanal Nucl. Chem., 9(2), 205-206, 2011.
- [3] D. H. Ahn, J. B. Shim, S. W. Paek, K. R. Kim, S. H. Kim, S. W. Kwon, H. S. Chung, Y. J. Jung, Y. J. Yoo, K. S. Han, D. S. Yoon, J. Y. Kim, Development of volume reduction technology for PWR spent fuel by pyroprocessing(II), Korea Atomic Energy Research Institute(KAERI) Report, pp. 114-115, KAERI/RR-3132, 2010.