

수직형 카드뮴 증류장치의 제작 및 시운전

김지용*, 권상운, 김광락, 백승우, 심준보, 김시형, 정용주, 안도희

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

*UST(University of Science & Technology), 대전광역시 유성구 과학로 113번지

kiv82@kaeri.re.kr

1. 서론

파이로 프로세스는 고온에서 사용후핵연료를 핵 확산의 위험 없이 친환경적으로 처리하여 장수명 핵종을 회수한다. 파이로 프로세스에서 전해제련공정은 500℃의 LiCl-KCl 용융염 매질에서 고체음극을 이용하여 우라늄을 선택적으로 회수하며, 전해제련공정에서 액체음극을 이용해 잔여우라늄과 TRU를 함께 회수하게 된다. 전해제련공정 중 카드뮴 증류공정은 LCC(Liquid Cadmium Cathode)에 회수된 actinide를 Fig.1에서 보는 것처럼 증기압 차이를 이용하여 분리하는 공정이다. 최근까지 수평형 카드뮴 증류장치를 이용하여 카드뮴 증류연구를 수행하여 왔으나 카드뮴증기가 응축조를 통과하면서 증류장치의 내부 벽면에 응축되는 등의 문제점이 대두되었다.

따라서 본 연구에서는 수평형 증류장치의 문제점을 보완하고, 공학규모장치인 PRIDE(PyRoprocess Intergrated inactive DEmonstration facility)용 카드뮴 증류장치를 개발하기 위해 lab-scale의 수직형 카드뮴 증류장치를 제작하여 카드뮴의 증류거동을 조사하고 장치성능을 평가하였다.

2. 본론

Fig.2에는 본 연구에서 설계, 제작한 수직형 카드뮴 증류장치의 개략도를 나타내었다. 카드뮴 증류장치는 증류탑본체, 진공펌프, 배가스 처리 장치 및 제어시스템으로 구성되어 있다. 증류탑에서 탑 상단부에는 무게측정을 위한 load cell unit, 중단부는 카드뮴 증류를 위한 가열부, 하단부는 증발된 카드뮴을 냉각시켜 고체로 회수하는 응축부분으로 되어있다. 상단부의 load cell은 수평형 카드뮴 증류장치에서 crucible을 load cell위에 올려 놓는 방식이 아닌 load cell에 crucible을 걸어 놓는 방식으로 기존의 방식에 비해 흔들림이 적어 무게를 정확하게 측정할 수 있도록 설계되었다. 증류탑상단에 카드뮴이 응축되는 것을 방지하기 위해서 중단부의 evaporation crucible은 load cell이 걸쳐져 있는 열전대와 동일하게 온도설정을 하였다. 상단부와 중단부의 경계점에는 증류탑 내부의 증발조와 응축조사이의 열전달을 감소시켜 온도구배를 주기 위해 heat shield를 설치하였다. 하단부에는 증발된 카드뮴이 장치 하단부에 연결된 진공펌프와 상단부를 통한 아르곤 가스유입에 의해 상단부에서 하단부로 유체흐름이 형성되어 카드뮴 회수용기에 응축되며 이 카드뮴 회수용기는 수냉식과 자연냉각식 방법을 모두 다 고려하여 그 크기를 다르게 제작하였다. 증류 시 하단의 진공밸브를 통해 일정한 감압조건을 유지시켜 줄 진공펌프를 설치하였으며, Lab-view 소프트웨어를 이용하여 증류장치 각 부분의 온도, 무게 및 압력 값을 PC에 나타내도록 하였다. 또한 하단 플랜지의 후면에 위치해 있는 배가스 처리장치는 발생하는 카드뮴함유분진을 흡입하여 대기 중으로 방출되는 위험요소를 제거하기 위한 목적으로 설치되었다.

본 장비를 시운전 해본 결과 가열로와 증류탑 내부사이에는 온도 차이를 보인다. 500~650℃ 정도로 가열한 경우 증발조에서는 40℃, heat shield 하단부의 응축조에서는 약 30℃ 정도의 온도 차이를 보였다. 또한 냉각수의 온도를 15℃로 유지하였을 경우 카드뮴회수용기의 온도는 약 420℃, 5.5℃로 유지하였을 때는 약 350℃를 보이는 것을 통해 냉각수의 온도가 카드뮴의 응축에 큰 영향을 끼친다는 것을 알 수 있었다. 또한 이 장치를 이용하여 카드뮴금속의 증류거동을 조사하였다.

3. 요약

본 연구에서는 공학규모 카드뮴 증류장치를 개발하기 위하여 실험실 규모의 수직형 카드뮴 증류장치를 제작하고, 이를 시운전하였다. 공탑 실험에서는 증류탑에 온도분포를 잘 조절할 수 있었으며, 응축조의 냉각성능의 보장이 필요하였다. 이 장치를 이용하여 카드뮴 금속의 증류실험을 수행하였으며, 향후 카드뮴-우라늄 합금의 증류거동을 조사할 계획이다.

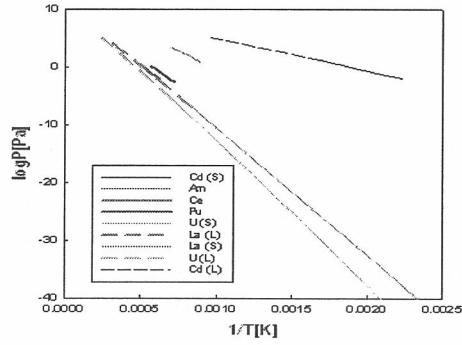


Fig. 1. 카드뮴 및 악티나이드 계열 원소의 증기압

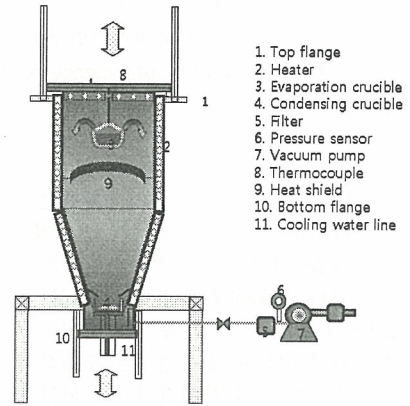


Fig. 2. 수직형 카드뮴 증류장치