

## 염증류 온도에 따른 염증류 거동 특성에 관한 연구

박기민, 권상운, 박성빈, 김정국

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

kmpark1@kaeri.re.kr

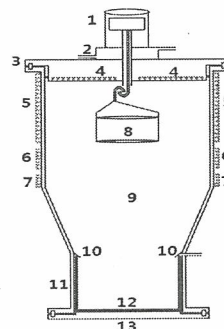
### 1. 서론

Uranium(U)을 효과적으로 회수할 수 있는 전해 정련 공정(Electrorefining, ER)은 전기화학적 반응을 이용하며, LiCl(58.8 mol%)와 KCl(41.2 mol%)로 구성된 공용염을 전해질로 사용하고 있다.<sup>1)</sup> 따라서 전해정련의 전기화학반응이 종료된 후 음극에서 회수되는 우라늄 전착물(Uranium deposit ; UD)내에는 공용염이 잔류하게 되고, 회수된 UD로부터 염이 제거된 우라늄을 ingot화 및 회수된 공용염의 ER 공정의로의 재순환을 위하여 염증류 공정(Cathod process, CP)이 필요하다.<sup>2)</sup> 현재 염증류의 적용 가능한 이론적 연구는 활발히 연구되어 지고 있으나,<sup>3)</sup> 이론적 배경을 구현해줄 수 있는 장치분야는 아직도 미비한 수준에 머무르고 있다. 따라서 본 연구에서는 외부에서 공급되는 에너지 절감과 효율적 염증류 및 회수를 목적으로 수직형 염증류 장치를 이용하였고, 장치의 구간별 온도를 다르게 설정함으로써 나타나는 특성을 파악하여 봄으로써 향후 기초자료로 활용하고자 하였다.

### 2. 실험장치 및 방법

본 연구에 사용된 수직형 염증류 장치의 모식도는 Fig. 1에 나타내었다. 실험장치의 구성은 크게 Load cell 시스템, 상부 및 하부 flange가 있는 Main chamber(MC), 열원으로 사용되는 Heater 4개, 냉각장치가 부착되어 있는 Low chamber, 그리고 실제로 염이 증류되는 Crucible 및 증류된 염을 회수하는 Recovery salt basket 등으로 이루어져 있다. 그리고 보조 장치로서 MC 내부의 진공도를 유지하기 위한 vacuum pump 및 Argon 분위기를 조성하기 위한 Argon 가스 주입장치 등으로 이루어져 있다. 실험방법은 Crucible에 정련 장치로부터 회수된 UD 일정량을 취한 후 MC에 장착시키고 진공펌프를 작동하여 MC내부의 진공도가  $1 \times 10^{-3}$  Torr가 되도록 한다. 이후 목표 온도이외의 온도범위에서 염의 증류를 억제하기 위해 Argon 주입장치를 작동시켜 MC 내부의 진공도가 약 70 Torr가

되도록 한다. 다음으로 Top, Zone 1 Heater : 750~880 °C, Zone 2 Heater : 600~700 °C, Zone 3 Heater : 450~700 °C로 하여 온도구배(Temp. slope)를 갖도록 하고, 반응유지 시간은 load cell의 무게 변화가 없을 때까지 유지 하였다. 염의 회수량은 Recovery salt basket의 초기 무게와 실험 후 무게를 측정하여 그 차로 구하였다.



1. Load cell system 2. Cooling jacket 3. Top flange  
4. Top zone heater 5. Zone 1 heater 6. Zone 2 heater  
7. Zone 3 heater 8. Crucible 9. Main chamber  
10. Salt flow guide 11. Low chamber 12. Recovery salt basket  
13. lower flange

Fig. 1. Detail scheme of the salt distillation equipment for salt separation in uranium deposit.

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 대표적으로 Top과 Zone 1의 설정온도를 850°C, Zone 2 650°C, Zone 3 600°C 하였을 때의 실제온도를 보여주고 있다. 그림에서 보는바와 같이 구간별 실제온도는 Top Zone 831°C, Zone 1 830°C, Zone 2 624°C, Zone 3 543°C로 나타났고, 이러한 결과로 설정온도와 실제온도의 온도 차이가 구간별 약 20~57°C 발생하는 것으로 나타났다. 또한 구간별 온도차이의 범위는 실험에 사용된 모든 온도에서 비슷한 경향을 보였다. 염증류 온도에서 염의 증류량 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 나타나듯이 염증류 온도에 도달하기 전까지는 염증류가 일어나지 않는 것을 알 수 있으며, 이러한 원인은 MC 내부의 진공도가 약 70 Torr 이상을 유지함으로써 높은 온도에서도 염의 증발은

일어나지 않았다. 그러나 목표 온도에 도달하였을 때 진공펌프를 작동하여 약 70 Torr 이하의 진공도로 높이면 염의 증발이 활발히 일어나는 것을 알 수 있다. Top zone과 Zone 1의 온도를 750°C, 830°C, 850°C, 880°C로 각각 설정하고 시간당 제거되는 염의 양을 구하여 본 결과 11.4 g/hr, 16.2 g/hr, 47.4 g/hr, 61.8 g/hr로 각각 나타났다. Top과 Zone 1의 온도를 850°C, Zone 3의 온도를 700°C로 하고 Zone 2의 온도를 650, 700°C로 각각 다르게 하여 염의 증발량을 구해본 결과는 47.88 g/hr, 30.97 g/hr로 650°C일 때 높은 증발량을 보였다. 이러한 원인으로서는 Zone 1과 Zone 2의 온도차이가 비슷하면 증발된 염이 증발구역인 Zone 1에 오래 머무르는 현상으로 염의 증발량을 억제시키는 것으로 사료된다. Top, Zone 1을 850°C, Zone 2를 650°C로 고정하고 Zone 3를 550, 650°C로 설정하고 실험한 결과는 염의 증발량에 미비한 영향을 미침으로서 Zone 3 구역은 염의 회수구역에 속함을 알 수 있었다. Zone 3 구역의 온도를 550, 600, 650°C로 하고 염의 회수율을 구해본 결과 65.7wt%, 99.9wt%, 75.2wt%로 각각 나타났으며, 이러한 수치는 소량의 염을 이용하여 증류함으로써 비교적 정확하지는 않으나 증발된 염의 회수율 경향을 예측해 볼 수 있었다. Zone 3의 설정온도가 너무 낮으면 증류된 염이 Recovery salt basket에 도달하기 전에 액화되어 반응기 내부에 응축되어짐으로서 회수율이 감소하고, 반대로 너무 높은 온도에서는 증류된 염이 액화되는 속도를 저하시킴으로서 염의 회수율을 감소시키는 것으로 보여 진다.

#### 4. 결론

수직형 염증류 장치의 구역별 적정 온도를 알아보기 위하여 실험한 결과는 아래와 같다.

- 염의 증발량에 영향을 미치는 구역으로는 Top과 Zone 1 그리고 Zone 2의 온도에 영향을 받으며, Top zone와 Zone 1 850°C와 Zone 2 650°C가 증발효율에 좋은 영향을 미치는 것으로 나타났다.
- Zone 3 구역은 Low chamber와 함께 염의 회수에 영향을 미치는 구역으로 나타났고, 그 적정 온도는 600°C로 가장 높은 염 회수율을 보임을 알 수 있었다.
- 따라서 본 실험에 사용된 수직형 염증류 장치를 이용한 염의 증류와 회수에 있어 각 구역별 적정온도는 Top와 Zone 1, Zone 2 그리고

Zone 3에서 850, 650, 600°C로 나타났다.

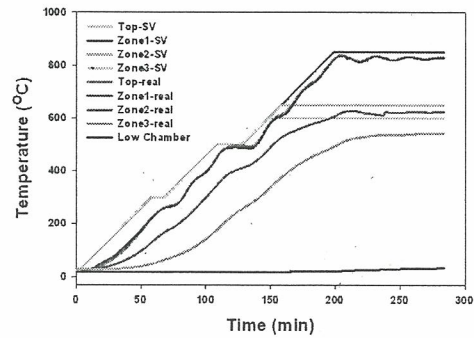


Fig. 2. The difference between set temperature and actual temperature in each section.

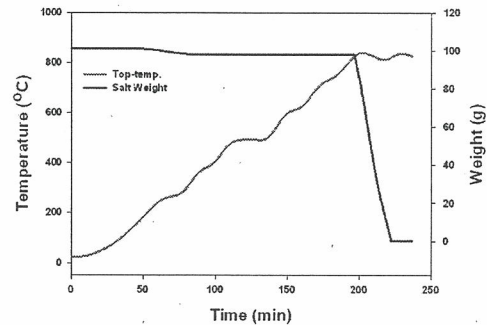


Fig. 3. Experimental result of the salt removal of uranium deposits at 850°C (Top zone and Zone 1).

#### 5. 참고문헌

- [1] Jong-Hyeon Lee, Young-Ho Kang, Sung-Chan Hwang, Joon-Bo Shin, Byung-Gil Ahn, Eung-Ho Kim and Seong-Won Park., "Electrodeposition Characteristics of Uranium in Molten LiCl-KCl Eutectic and its Salt Distillation Behavior", J of Nuclear Science and Technology, Vol 43, pp. 263-269, 2006.
- [2] S.W.Kwon, K.M.Park, H.G. Ahn, H.S.Lee, J.G.Kim, "Separation of adhered salt from uranium deposits generated in electro-refiner", J Radioanal Nucl Chem, pp. 789-793, 2011.
- [3] LILY L. WANG and TERRY C. WALLACE, SR, " Vacuum Evaporation of KCl-NaCl Salts: Part I. Thermodynamic Modeling of Vapor Pressures of solid and Liquid solutions", Metallurgical and Materials transactions B, Vol. 27B, pp. 141-146, 1996.