

가압을 이용한 LiCl-KCl-UCl<sub>3</sub> 용융염 이송 및 펠렛제조 특성

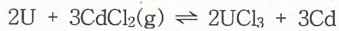
강희석, 우문식, 전완기, 김정국, 이한수

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

[hs kang1@kaeri.re.kr](mailto:hs kang1@kaeri.re.kr)

## 1. 서론

건설의 고온용융염 전해정련 방법은 사용후핵연료로부터 핵연료 원료인 U 및 TRU 금속의 회수를 위한 제한된 몇 가지 방법 중의 하나이다. 전해정련조에서 사용되는 전해액은 고온에서 액상으로 유지되는 LiCl-KCl 용융염이며, 이 용융염에는 U 및 TRU 금속과 여러 불순물이 포함된 양극에서 전기화학적으로 순수한 우라늄만 선택적으로 음극에 전착 분리시키기 위하여 초기 salt 용액에 충분한 양의 우라늄 이온이 존재해 있어야 한다. 상용의 UCl<sub>3</sub> 확보가 곤란하므로 전해정련 반응을 위해서 직접 제조해야만 한다. 한국원자력연구원에서는 여러 가지 LiCl-KCl-UCl<sub>3</sub> 용융염 제조 방법 중 우라늄 금속과 CdCl<sub>2</sub> 산화제를 반응시켜 얻는 방법으로서



위 방법을 이용하여 LiCl-KCl-UCl<sub>3</sub> 용융염을 제조한 바 있고, 이 반응에 사용된 산화제 CdCl<sub>2</sub>는 매우 가격이 높아 다량의 UCl<sub>3</sub> 제조 시 경제성 문제가 있으며, UCl<sub>3</sub>를 제조하기 위해 사용된 산화제(CdCl<sub>2</sub>)의 반응 후 잔유물로 남는 Cd 금속은 방사능 물질에 오염된 폐기물로 남게 되는 문제점이 있기 때문에 상대적으로 저렴한 Cd의 염소화반응을 거쳐 제조된 CdCl<sub>2</sub>를 산화제로 사용하는 제조장치를 제작하여 LiCl-KCl-UCl<sub>3</sub> 용융염의 제조실험을 수행하였다. 이 공정에서 제조된 LiCl-KCl-UCl<sub>3</sub> 용융염을 전해정련 공정에 공급하는 과정에서 LiCl-KCl-UCl<sub>3</sub> 용융염 제조반응기에서 반응기 하부의 Cd 층을 제외하고 수작업으로 직접 용융염을 분리시켜야만 한다. 하지만 고화된 LiCl-KCl-UCl<sub>3</sub> 용융염은 그 견고성으로 인하여 반응기로부터 분리 작업이 매우 힘들고 반응기 하부의 Cd 층과 명확한 분리가 용이하지 않으며, 용융염의 분리과정에서 다량의 분진이 발생될 뿐만 아니라 분리시킨 용융염의 형태도 일정하지 않아 여러 형태의 불편한 점이 야기되었다. 따라서 LiCl-KCl-UCl<sub>3</sub> 용융염의 제조반응 직후 용융

온도에서 펠렛 제조 장치까지 액체 상태로 이송한 다음 펠렛 제조 장치에서 미리 크기와 모양이 정해진 몰드를 이용하여 펠렛 형태로 고화시킨 다음 전해정련 공정으로 공급할 필요가 대두되었다. 본 연구에서는 LiCl-KCl-UCl<sub>3</sub> 용융염 제조반응 직후 용융온도에서의 용융염의 이송 및 펠렛 제조실험을 수행하였다.

## 2. 내용 및 결과

## 2.1 실험장치 제작

LiCl-KCl-UCl<sub>3</sub> 용융염 이송 및 펠렛 제조실험을 위해 실험장치를 설계·제작하였다. 장치의 구조는 그림 1에 보인바와 같이 크게 용융염 수직 유도관, 용융염 수평 이송관, 펠렛제조장치 연결 수직 이송관, 그리고 펠렛 제조장치의 부분으로 구성되어 있다. LiCl-KCl-UCl<sub>3</sub> 용융염 제조 시에 사용되는 염소가스의 강한 부식성과 용융염의 수분에 대한 강한 반응성 때문에 용융염의 이송 및 펠렛 제조장치의 내부 조작용 불활성 가스(알곤) 분위기에서 이루어져야 한다. 또한 염소의 강한 부식성과 400℃ 이상의 고온에서 수행되는 점을 고려하여 장치의 내부는 모두 내부식성을 갖는 스테인레스 스틸(STS-316L) 재질을 사용하였다. 이송관의 외부는 400℃ 이상의 고온을 유지하기 위해 반응기 및 펠렛제조장치 내부로 삽입되는 부분은 튜브히터로, 외부로 노출되는 부분은 처음부터 끝 부분까지 히터로 감아서 제작하였다. 용융염 펠렛 제조장치 내부는 그림 2에서 나타난 바와 같이 펠렛 제조용 몰드를 설치하였다. 몰드의 재질은 STS316, OD 90mm, T 3mm, H 250mm의 크기로 제작하였으며, 그림 3에서 보인 바와 같이 몰드 내부는 펠렛의 제조 크기를 조절하기 위한 격벽을 설치하였다. 격벽의 재질도 STS316을 사용하였고, T 3mm의 두께로 제작하였다. 격벽의 맨 위쪽 중앙 부분은 격벽의 전체 높이보다 약간 낮게 제작하여 이송된 용융염이 이송관에서 공급될 때 분사의 불균형으로 몰드의 격벽에 의해 나뉘어진

네 부분의 공간 중 어느 한쪽 공간이 먼저 채워지는 경우 인접한 공간으로 넘쳐 흘러들어가서 덜 채워진 부분을 순차적으로 채워질 수 있도록 유도하였다. 용융염 이송관의 내·외부 온도를 감시 및 조절하기 위해 elbow connector 내부 및 이송관 외벽에 그림 3과 같이 열전대를 설치하였다.

2.2 용융염 이송 및 펠렛 제조 실험

제작된 LiCl-KCl-UCl<sub>3</sub> 용융염 이송 및 펠렛 제조장치를 LiCl-KCl-UCl<sub>3</sub> 용융염 제조장치에 연결하고 용융염의 이송 및 펠렛 제조 실험을 수행하였다. 용융염의 이송 및 펠렛 제조 실험은 고온에서 용융 및 용기 내 압력 조절에 의해 액체상태의 용융염을 고온에서 이송해야 하므로 실험장치 제작 직후의 초기 실험은 작업자의 안전을 위해 우라늄(UCl<sub>3</sub>)을 제외한 LiCl-KCl 용융염을 사용하여 이송 및 펠렛 제조실험을 수행하였다. LiCl-KCl-UCl<sub>3</sub> 용융염 제조반응기 내의 실험조건은 UCl<sub>3</sub>를 제외한 나머지 조건은 동일하게 조성하였다. Cd 787.4g 과 LiCl-KCl 537.3g을 UCl<sub>3</sub> 용융염 제조 반응기에 넣고, LiCl-KCl 용융염의 용융점은 372℃ 이지만 LiCl-KCl-UCl<sub>3</sub> 용융염 제조 반응기의 온도는 용융염 제조 온도인 600℃로 유지하였다. 펠렛 제조장치 내부는 90℃로 유지하면서[1] UCl<sub>3</sub> 제조반응기에 알곤 가스를 3~5bar로 가압하여 용융염의 이송실험을 수행하였다. LiCl-KCl 용융염의 이송이 확인된 후 펠렛 제조장치 내부의 온도를 상온으로 냉각시킨 다음 펠렛 제조장치의 플랜지를 해체하고 그림 4와 같은 용융염 펠렛의 제조결과를 확인할 수 있었다.

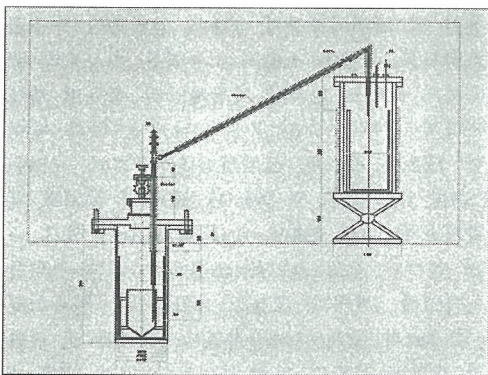


Fig. 1. Schematic diagram of LiCl-KCl-UCl<sub>3</sub> eutectic salt transfer and pelletizer

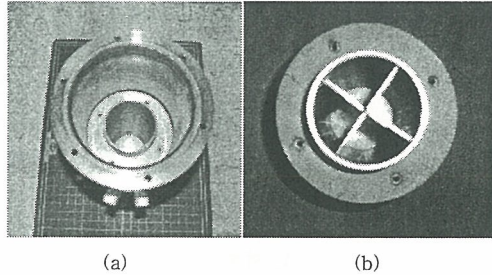


Fig. 2. LiCl-KCl-UCl<sub>3</sub> eutectic salt pelletizer; (a) the inner part (b) mold with a partition

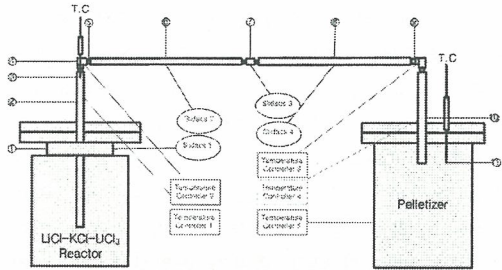


Fig. 3. Temperature control system of LiCl-KCl molten salt transfer and pelletizer

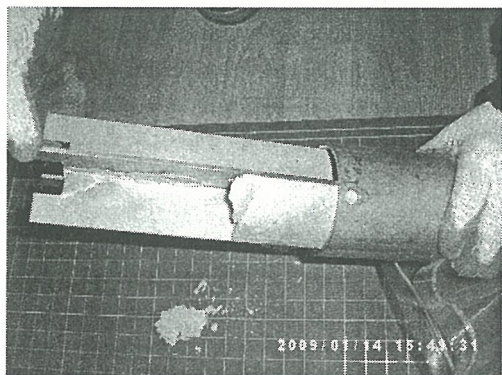


Fig. 4. Photography of the pellet and pellet mold of salt

3. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

4. 참고문헌

[1] 서중석 외 “사용후핵연료 차세대관리공정 개발”, KAERI/RR-2773/2006 (2006)