

LiCl-KCl-UCl₃ 액상이송의 자유 낙하에 대한 냉각 속도에 관한 연구

진형주, 우문식, 강희석, 박기민, 장준혁, 김정국

한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 989번길 111

jinhyoungju@kaeri.re.kr

1. 서론

사용 후 핵연료의 93% 정도를 차지하고 있는 다량의 U 및 TRU 금속의 회수를 위한 여러 방법 중 건식의 고온용융염 전해정련 조에서 사용되는 전해액은 대략 600°C의 고온에서 액상상태로 유지되는 LiCl-KCl-UCl₃의 용융염이다. 여기에는 U 외에 여러 가지 불순물과 TRU 금속들이 있으며 양극에서 순수한 우라늄만 선택적으로 음극에 전착하여 분리시키는데 초기 salt 용액에 충분한 양의 우라늄 이온이 존재하여야 한다. salt 용액 내 우라늄 이온의 공급을 위해 고가의 CdCl₂를 대신하여 한국원자력연구원에서는 상대적으로 저렴한 Cd와 염소화반응을 거쳐 제조한 CdCl₂를 사용하여 용융염 제조실험을 수행하고 있으며, 용융염을 전해정련 공정에 공급하는 과정에서 제조반응기 하부의 Cd층을 제외하고는 수작업으로 LiCl-KCl-UCl₃ 용융염을 분리시켜야 하는 어려움이 따르고 있다. 따라서 펠렛 제조 장치까지 액체 상태로 이송한 다음 펠렛 제조 장치에서 미리 제작된 몰드를 이용하여 냉각후 펠렛 형태로 고화하는 방법을 사용하고 있다. 이에 효율적인 solidification을 위하여 본 연구에서는 액체 상태로 이송한 액적(metal droplet) LiCl-KCl-UCl₃ 용융염의 낙하에 따른 solidification의 냉각 속도의 계산식을 적용하여 입자의 직경, 시간, 거리를 유추하여 더 계산식에 의해 유용한 형태로 고화 및 승화시키기 위해 연구하였다.⁽¹⁾

2. 본론

2.1 냉각속도

액적(metal droplet) LiCl-KCl-UCl₃의 열전달의 관계를 고려하여 분말입자의 냉각속도를 수식에 의해 분말 입형에 영향을 미치는 것을 조사하고 있으며, 입자 형태를 조절하고 냉각속도를 예측하기 위해서는 열 진행과정을 아는 것은 대단히 중요하다. 금속액적의 냉각과 응고 과정에서 액적이 형성된 후 액적의 냉각단계를 크게 용융열 손실, 잠열손실, 입자가 응고하는 동안 용융점 이하

의 온도로 냉각 등 세 가지로 구분할 수 있으며, 열이 갖고 있는 구형의 표면이 열 흐름에 지배적인 저항요인이 된다고 가정할 때 내부의 상당한 열적 구배가 없는 구형으로 고려하여야 한다. 금속액적이 chamber의 벽에 충돌하는 순간까지 발생하는 열전달과정을 이해하는 것은 매우 중요하다. chamber내에서 금속입자들이 자유낙하 하는 동안 운동항과 열전달이 동시에 일어난다. 분말입자의 열손실을 계산하기 위해서 구형 입자에 대해 열전달과 속도변화의 미분방정식을 계산하여야 한다. 그 식은 다음과 같다.⁽²⁾

$$dQ = -(a \cdot d^2 \cdot \pi (T_s - T_w) + \pi \cdot \epsilon \cdot \sigma \cdot d^2 \cdot (T_s^4 - T_w^4)) \cdot dt \quad (1)$$

$$\frac{dQ}{dT} = -A(a(T_s - T_w) + \epsilon \cdot \sigma (T_s^4 - T_w^4)) \quad (2)$$

2.2 결과

수식에 의한 LiCl-KCl(58:42)W%의 밀도(2.0286g/cm³) 면적(cm) 비열(0.285cal/g.k) 열전달계수는 일반적으로 chamber안에서 별다른 유동이 없을 때 자연대류에 의한 대류 열전달 계수 약 86cal/h.cm.c를 이용하였으며 실험실에 맞는 chamber의 거리와 입자의 지름은 보는 것과 같이 계산하여 그림1과 같은 결과를 유추할 수 있었다.

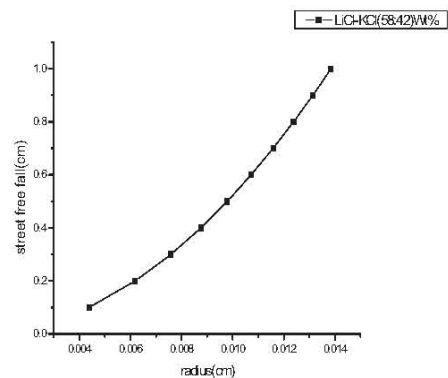


Fig. 1. The free fall distance as a function of particle size.

그림2에서는 시간과 직경의 관계를 묘사하였다. 그림에서와 같이 입자의 크기가 커질수록 시간은 길어짐을 확인 할 수 있다.

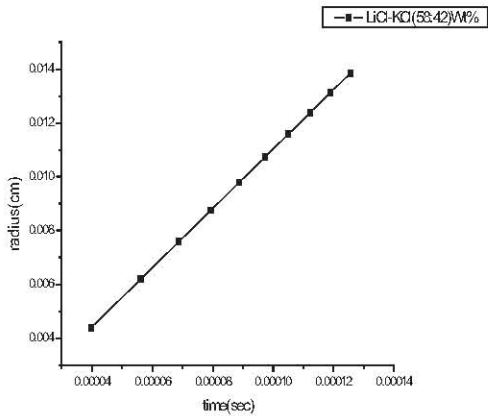


Fig. 2. Solidification time as a function of particle size.

3. 결론

본 연구에서는 액적의 특성과 냉각속도에 관한 연구를 행하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 실험실 조건에 맞는 30cm에서의 자유낙하에서는 입자크기가 대략 0.007cm 이었을 때 응고됨을 유추 할 수 있었으며 입자의 반지름 0.007cm이였을 때 응고되는 시간은 대략 6.8×10^{-5} 임을 확인 할 수 있었다. 입자의 크기가 작을수록 냉각속도가 빠르게 진행되며 입자가 떨어지는 거리도 줄어들고 있음으로 판단 할 수 있었다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] 한국방사성폐기물학회, 2011년 춘계학술발표회 논문요약집, pp.147-148, 2011.
- [2] H.klang.,S.Savaye.Mass and Heat Transfer During Atomization" P.M international .vol 20.No.2.1988.