

## 실린더 낙하법을 이용한 LiCl-KCl 용융염 점도 측정 연구

김종윤, 최용석, 배상은, 김대현, 연제원, 송규석

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

kjy@kaeri.re.kr

### 1. 서론

고온에서의 용액 점도를 측정하기 위해서는 일반적으로 모세관법(capillary method), 낙하체법(falling body method), 회전법(rotational method), 진동법(oscillational method) 등 4가지 중 하나를 사용한다 [1]. 각각의 방법은 모두 자기 장단점을 갖고 있기 때문에 대상 시료의 특성과 전체 분석 시스템의 관점에서 최적의 방법을 선택해야 한다. 특히, 파이로 공정기술 개발과 관련하여 고온 용융염의 특수 환경 하에서 사용후핵연료에 포함되어 있는 다양한 란타나이드 및 악티나이드 원소들을 포함하고 있는 시료를 분석하는 경우에는 다양한 환경 변수들을 고려해야 하기 때문에 위의 4가지 방법에 대하여 신중히 조사할 필요가 있다. 하지만, 제한된 공간의 글로브박스 내에서 핵물질을 포함하는 고온의 용융염 점도 측정기술에 대한 국내 연구는 한국원자력연구원이 유일하고 [2], 해외에서도 1980년대 이후 새로운 연구발표가 거의 없다 [3,4]. 따라서, 본 연구에서는 현재 한국원자력연구원 내에 구축되어 있는 용융염 물성 분석 시스템에 적합한 점도 측정 기술로서 낙하체 방법을 이용하여 점도를 결정하였다. 일반적으로 낙하체 방법에서는 반지름  $r$ , 밀도  $\rho_A$ 의 완벽한 구형대의 물질을 밀도  $\rho_B$ 의 용액에 넣고, 자유낙하에 의해 떨어지는 시간( $t$ )과 거리( $L$ )를 측정함으로써 아래의 스토크스(Stokes)식을 이용하여 점도를 측정할 수 있다.

$$\mu = \frac{2r^2 g(\rho_A - \rho_B)t}{9L} \dots\dots\dots (1)$$

하지만, 스토크스식은 엄밀하게 여러 가지 가정을 만족시키는 경우에만 성립하는 식이다. 즉, 떨어지는 물체는 표면이 매끄럽고, 변형이 없는 완벽한 구형대이어야 하고, 용액은 균일한 조성의 밀도가 변하지 않아야 하고, 정상상태의 벽효과(wall effect)가 없는 자유흐름 속에서 레이놀즈수(Reynolds number)가 낮은 연속체의 층류

(laminar flow)에서만 성립한다. 따라서, 구형이 아닌 물체에 대하여 벽효과를 보정하기 위하여 형상인자(shape factor,  $s$ )와 파센보정인자(Faxen correction factor,  $f$ )를 도입한 식 (2)를 사용한다.

$$\mu = \frac{2r^2 g(\rho_A - \rho_B)t}{9L} \times f \times s \dots\dots\dots (2)$$

### 2. 본론

#### 2.1 실험

점도 측정 시스템은 Fig. 1과 같이 고온전기로가 장착되어 있는 글로브박스 내와 낙하체의 이동 속도를 측정할 수 있는 광학 측정 시스템으로 이루어져 있다. 장치상수를 구하기 위하여 브룩필드(Brookfield Engineering Laboratories, Inc.)사의 7.5, 15, 20cP 점도표준물질을 사용하였다. 점도 측정의 정확도 평가를 위하여 99.99%의 고순도 염화리튬(LiCl)/염화칼륨(KCl) 공용혼합물을 시그마-알드리치사로부터 구입하여 별도의 정제를 거치지 않고 바로 사용하였다.

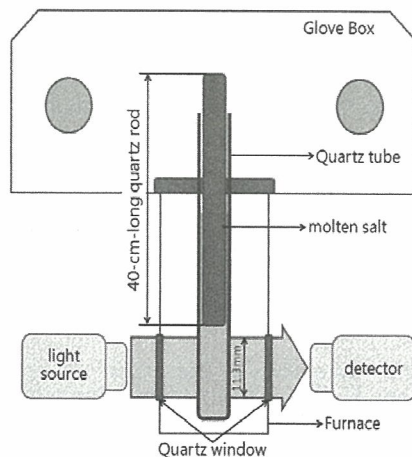


Fig. 1. Viscosity measurement system composed of optical measurement system, high-temperature furnace, and glove box system.

2.2 결과 및 논의

본 연구의 점도 측정 시스템은 식 (2)와 같은 보정인자를 사용하더라도 스토크식의 가정을 만족시킬 수 없기 때문에 그대로 적용할 수 없다. 따라서, “장치상수(apparatus constant,  $K$ )”개념을 도입한 아래의 식을 사용하였다 [2,5].

$$\mu = K \times (\rho_A - \rho_B)t \dots\dots\dots (3)$$

장치상수를 정확하게 결정하기 위해서 이미 점도값이 정확하게 알려져 있는 표준물질을 사용하여 500도에서 순수한 LiCl/KCl의 점도값  $2.5 \pm 0.3cP$ 를 얻었다. 본 연구에서 사용된 고온 점도 측정 시스템의 안정성을 평가하기 위하여 순수한 LiCl/KCl에 대하여 400에서 600도 사이의 범위에서 측정 정확도를 분석한 결과, 고온 용융염내 다양한 조건에서의 다성분계 용융염의 점도 측정에 적합한 것으로 나타났다.

3. 결론

400도 이상의 고온 용융염 점도를 측정하기 위하여 실린더형의 낙하체를 사용하였다. 점도 표준물질을 사용함으로써 장치상수를 구하여 점도를 측정하였고, 측정 정확도를 평가하기 위하여 순수한 LiCl-KCl 공융혼합물을 서로 다른 온도에서 측정한 결과 정확도가 우수하였다.

4. 감사의 글

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국연구재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다.

5. 참고문헌

[1] G.J. Janz, R.P.T. Tomkins, C.B. Allen, J.R. Downey, Jr., G.L. Gardner, U. Krebs, S.K. Singer, J. Phys. Chem. Ref. Data, Vol. 4, pp. 871, 1975.  
 [2] J.-Y. Kim, S.-E. Bae, Y.S. Choi, J.-W. Yeon, K. Song, International Pyroprocessing Research Conference, 2012.  
 [3] S.F. Katyshev, Yu.F. Chervinskii, and V.N. Desyatnik, At. Energ. Vol. 53, pp. 108, 1982.  
 [4] Yu.F. Chervinskii, V.N. Desyatnik, and A.I.Nechaev, Zh. Fiz. Khim. 56, 1946, 1982.

[5] Standard Test Method for Viscosity of Cellulose Derivatives by Ball-Drop Method. ASTM D1343-95.