

## LiCl-KCl 용융염의 점도 특성

안홍주, 연제원, 배상은, 조영환, 박용준, 송규석  
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045  
 ahioo@kaeri.re.kr

## 1. 서론

2000년대 들어서 전 세계적으로 고유가 행진이 지속되고 있으며, 교토의정서가 발효되면서 이산화탄소 배출규제가 본격화되고 있다. 이에 따라 에너지의 안정적 공급 및 경제성 측면을 고려하여 전세계적으로 원자력발전이 그 대안으로써 주목을 끌고 있다. 원자력발전량이 증가함에 따라 사용후핵연료의 발생량도 점차 증가하고 있기 때문에 사용후핵연료에 대해 부피를 감용과 자원으로 재활용하기 위한 처리 공정 기술이 세계 여러나라에서 개발 중에 있다.

국내에서는 사용후핵연료 처리 방법으로 핵비확산성을 띠고 있는 건식, 파이로 공정이 연구되고 있다. 사용후핵연료 처리를 위한 파이로프로세스 공정은 전해환원, 전해정련, 전해제련의 건식과정을 거쳐게 된다. 이중 환원된 금속연료에서 고체 핵연료를 이용하는 하여 순수한 우라늄만 회수하려는 전해정련은 LiCl-KCl의 용융염 상태에서 전기화학적 반응을 통하여 수행된다. 전기화학반응은 일반적으로 전해질의 전하이동 능력에 따라 그 효율이 결정된다. 즉, 우라늄의 전해정련을 위하여 LiCl-KCl 용융염은 352°C에서 용해되기 시작하고 그 이상의 온도에서만 전하의 이동이 원활하여지므로 전기화학적 반응을 수행할 수 있다. 우라늄의 전해정련 온도를 너무 높이면, 전기화학반응 효율은 증가하지만, 고온가열에 따른 에너지 소비량비 뿐만 아니라 용융염이 기화되어 전해정련을 지속적으로 수행할 수 없게 될 수 있다. 따라서 우라늄 전해정련 효율은 용융염의 물성에 따라 상당히 달라질 수 있기 때문에 효율적인 전기화학적 반응을 위하여 선행적으로 물리적 특성 평가는 필수적으로 요구된다. 그러나 용융염은 약 400°C 이상의 고온에서 수행되므로 물리적 특성 조사는 쉽지 않다. 본 연구는 고온 용융염의 물리적 특성을 조사하기 위하여 고온 점도 측정용 점도계를 고안하고 이를 이용하여 고온에서 LiCl-KCl 용융염의 점도를 조사하였다.

## 2. 실험 및 결과

## 2.1 점도 측정원리

그림 1은 점도 측정원리를 도식화하여 표현하였다. 그림 1에서 spindle을 시료 중에 넣고 일정한 속도로 회전시키면, 시료의 점성에 따라 spindle은 회전에 방해 받는다. 회전속도가 정상 상태에 도달하면 시료의 점성에 의하여 회전 토크가 밸런스 되어 기기 내 스프링이 비틀리면서 변형이 오게 된다. 회전속도는 거의 전단 속도에 대응하므로 이것을 변경함으로써 비뉴턴 액체에서의 의견상 점도의 측정이 가능하다. 일반적으로 비틀림 각은 시료의 점도와 비례한다.

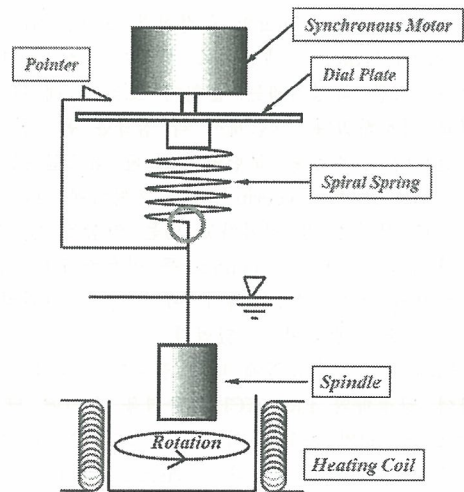


Fig. 1. Schematic diagram of the viscometer

## 2.2 용융염 점도측정

고온 전해정련의 효율을 극대화하고자 LiCl-KCl 용융염에 대해 viscosity meter (Brookfield Viscometer)을 이용하여 물리적 특성인 점도를 측정하였다. 고온에서 점도를 측정하기 위하여 용융

염 시료 용기는 stainless steel 316 재질로 용기 외관에 heating coil을 감아 온도가 600 °C까지 승온 유지될 수 있도록 특수한 장치를 제작하였다. LiCl-KCl은 공기중에 있는 습기와 반응성이 좋기 때문에 점도측정을 위한 모든 실험은 380 ~ 550 °C의 범위에서 Ar 분위기의 Glove box 내에서 수행되었다. LiCl-KCl 시료는 13 g을 취하여 용기에 넣고 각 측정 온도로 승온시켜 30분간 유지한 후 점도값을 읽었다. viscometer에 대한 점도 보정을 위하여 glycerin-water를 이용하여 온도 증가에 따라 점도를 측정하였고, 문헌에 보고된 점도 값과 비교 검토하였다. LiCl-KCl 용융염의 점도는 모두 5회 반복하여 측정하였다.

### 2.3 점도측정 결과

LiCl-KCl 용융염의 점도를 측정하고자 회전식 점도계를 이용하여 380 ~ 550 °C의 범위에서 점도를 측정하였다. 회전식 점도계는 액체의 어느 부분에서도 일정한 전단속도(전단응력)를 얻을 수 있으므로 각속도(또는 토크)를 바꾼 측정에서 비뉴턴 액체의 유동 곡선을 직접 구할 수 있다.

그림 2는 viscometer의 측정결과 보정을 위하여 Glycerin-Water를 대상으로 점도를 측정된 결과이다. 또한 측정결과는 문헌에 보고된 데이터와 비교 검토하였다. 그림에서 각 점들은 온도별 측정결과이며, 실선은 문헌에 보고된 점도결과들이다. 그림 2에서 glycerin-water 혼합량에 따라 각 점들과 실선은 잘 일치하고 있는 양상을 보였다. 이와 같은 결과는 viscometer를 이용한 LiCl-KCl 용융염의 점도 측정결과가 어느 정도 신뢰성을 갖는 것으로 판단할 수 있었다.

LiCl-KCl의 용융염에 대해 점도를 측정하기 위하여 일정량의 LiCl-KCl 용융염을 용기에 담고, heating coil의 온도를 서서히 올렸다. 측정하려는 온도가 일정하게 유지되고, viscometer에서 점도의 수치가 안정화 될 때 점도 값을 읽었다. 5회 반복을 통하여 점도 측정결과에 대해 신뢰도를 높였다. LiCl-KCl 점도는 Ar 분위기의 glove box 내에서 380 ~ 550°C의 범위에서 측정되었으며, 용융염의 점도는 3 ~ 20 mPa·s의 범위에서 측정되었다.

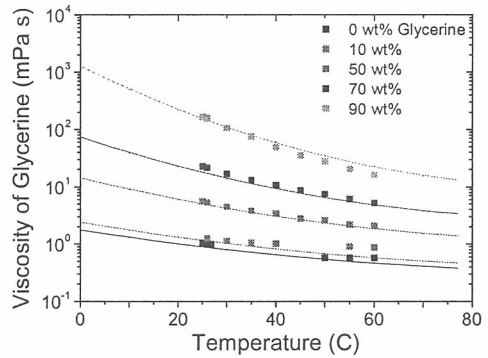


Fig. 2. Viscosity results of Glycerin-Water

### 3. 결론

고온 LiCl-KCl 용융염의 물리적 특성을 조사하기 위하여 고온 점도 측정용 viscometer를 특수하게 고안하여 점도를 측정하였다. 분석결과 380 ~ 550°C의 온도범위에서 3 ~ 20 mPa·s의 범위로 점도가 측정되었다.

### 4. 감사의 글

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국연구재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다. 실험에 도움을 주신 김나영 연구원에게 감사드립니다.

### 5. 참고문헌

- [1] Y. Sato, "Viscosity of molten silicon and the factors affecting measurement", J. Crystal Growth, **249**, pp 404, 2003
- [2] Raja R. Roy, "Viscosity and density of molten salts based on equimolar NaCl-KCl", **38**, pp 566, 1997