

고온 LiCl-KCl 용융염 내 금속구조재 부식 속도 측정

정현준, 최성열*

울산과학기술원, 울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

*chois@unist.ac.kr

1. 서론

고준위폐기물을 저감시키기 위한 파이로 공정의 주안점 중 하나는 2차 중저준위폐기물의 발생을 최소화 시키는 것이다. 파이로 운전환경에서는 고온 LiCl-KCl 환경에 금속 연료를 녹여내어 전해환원, 전해정련 및 전해제련 하므로 그 과정에서 산소와 염소 가스가 발생하고, 핵분열생성물이 용융염 안에 누적된다. 또한 구조재는 파이로 셀의 전극표면보다 히터에 더 가까이 위치하므로 운전온도보다도 높은 온도에서 운용된다. 따라서 구조재의 부식은 중요하게 고려되어야 하며, 장기적 운영의 측면에서 볼 때 구조재의 부식 속도는 파이로 공정의 효율성에 직접적인 영향을 미치는 요소일 가능성이 높다. 본 연구는 기초적으로 범용적인 물질에 대한 부식 속도를 전기화학적 방법[1]을 통해 측정함으로써 이어질 구조재 후보군을 대상으로 한 실험준비의 일환으로 수행되었다.

2. 본론

2.1 실험 방법

시편의 강종은 스테인리스강 304가 사용되었다. 시편의 형태는 다음과 같다.

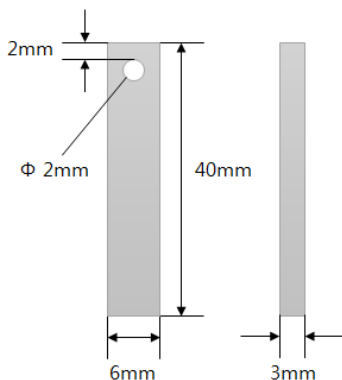


Fig. 1. Specimen for corrosion test.

시편은 Fig. 1과 같이 W6*D3*H40으로 절단되었다. 상단에는 흠을 뚫어 용접 없이 시편을 금속

와이어에 매달도록 하였다. 실험 직전에 320, 400, 600, 800 grit SiC 페이퍼로 순차적으로 연마한 뒤 증류수로 세척 및 에어건으로 수분을 제거하였다. 전해질로는 LiCl-56wt.% KCl eutectic(≥ 99.99)이 사용되었다. H₂O의 영향을 배제하기 위해 무수의 eutectic을 사용 및 200°C에서 5 시간 추가적으로 가열하였다. 글로브박스의 O₂와 H₂O의 농도는 전 과정에서 1 ppm 미만으로 유지되었다. 실험용 셀은 다음과 같이 구성되었다.

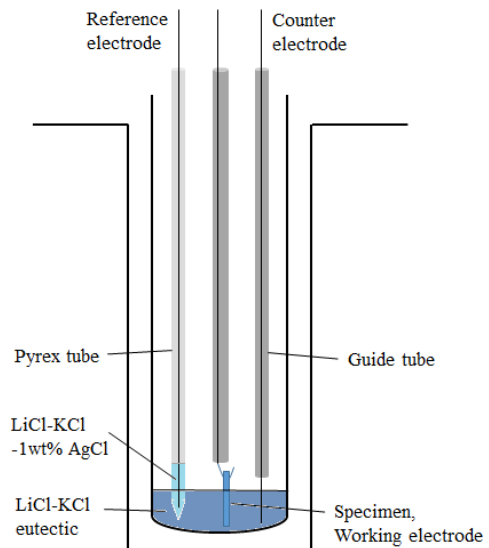


Fig. 2. Corrosion experiment cell.

전극은 3 전극법에 기초하여 구성되었다. 작용전극은 몰리브데넘 와이어에 매단 시편이 사용되었다. 대전극은 몰리브데넘 와이어가 사용되었다. 두 전극은 단락을 방지하기 위해 석영 가이드 튜브로 분리되었다. 기준전극은 한쪽이 막힌 파이렉스 관에 LiCl-KCl-1wt% AgCl(≥ 99.99)과 은 와이어를 넣어 Ag/AgCl 전극을 제조하여 사용하였다. 전류 측정 기법은 AMETEK 사의 Versastat 3F를 이용하여 Versastudio의 Multiple Cyclic Voltammetry와 Linear scan method(Linear sweep method)를 활용하였고, 부식속도 계산을 위한 Caceres 모델 유도에 엑셀 Solver 기능[2]을 보조적 활용하였다.

2.2 시편 부식 실험

스테인리스강 304의 부식속도를 측정하기 위해 위의 실험과 같은 조건의 용융염으로 교체하여 Linear scan method를 통해 분극곡선(Polarization curve)을 측정하였다. 실험온도는 500°C이며, 측정 전압범위 -1.0 ~ 0.4 V에서 10 mV/s로 이루어졌으며, Tafel 영향이 최소화되는 부분으로 다시 잘라내었다. 결과는 다음과 같다.

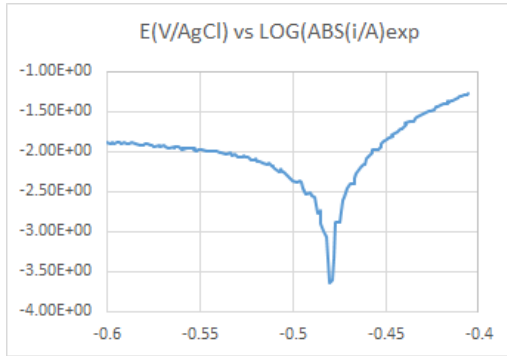


Fig. 3. Polarization curve of SUS304.

Fig. 5는 Cathode과 Anode의 전류가 부식전압인 약 -0.4800 V에서 비슷해져 총전류가 0이 되며, 이 전압에서의 전극 전류가 부식전류임을 보여준다. Khaled와 Amin의 연구[3]에서 Eq.5를 인용하면

$$CR(\mu\text{m}/\text{year}) = 3280i_{\text{corr}} \times (M/nd) \quad (1)$$

CR은 Corrosion rate, M은 Fe의 원자량 (Atomic weight, 55.85g), n은 부식반응에서의 전자 전달 수(n=2) 그리고 d는 SUS304 내 Fe의 밀도 (5.32 g/cm³)이므로 부식속도는 3.897 $\mu\text{m}/\text{year}$ 이다.

3. 결론

본 연구는 전기화학적인 방법을 위주로 활용하여 기초적인 실험환경 검증 및 연계 연구의 가능성을 탐색하는 차원에서 진행되었다. 차후 파이로 공정을 좀 더 가깝게 모사할 수 있도록 더욱 고온에서 산소와 염소가스, 핵분열생성물을 모사하는 불순물을 포함하고, 추가 연구를 통해 선정된 구조재 후보군에 대해서도 다양한 방법으로 수행하고자 한다.

4. 감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 한국원자력연구재단

원자력연구기반확충사업의 지원을 받아 수행되었습니다. 특히 실험 환경 구축을 위해 서울대학교 핵변환에너지연구센터에서 자문을 받았고, 카이스트 방사화학 및 레이저분광연구실과 충남대학교 나노재료공정실험실 견학이 많은 도움이 되었습니다 (NRF-2015M2B2A9028409).

5. 참고문헌

- [1] ASTM International, "Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements", ASTM G102-89 (Reapproved 2010), 1-7 (2010).
- [2] M. Alfaro, "Modeling of polarization curves not exhibiting a Tafel region using Excel spreadsheets", Alexandria Engineering Journal, 53(4), 977-983 (2014).
- [3] K. F. Khaled, M. A. Amin, "Corrosion monitoring of mild steel in sulphuric acid solutions in presence of some thiazole derivatives - Molecular dynamics, chemical and electrochemical studies", Corrosion Science, 51(9), 1964-1975 (2009).