

Thermal Cycle에 의한 니켈계 구조재료의 부식거동

조수행, 이경현, 홍순석, 오승철, 허진목, 이한수
 한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045
 nshchol@kaeri.re.kr

1. 서론

산화물 사용후핵연료의 전해환원공정은 고온 용융염 LiCl-Li₂O계에서 우라늄산화물을 전해환원하는 공정으로 음극에서 우라늄메탈로 환원되며, 양극에서 산소가 발생된다. 전해환원공정의 주요부분인 반응기는 열 하중에 고려되는 thermal cycle에 의해 화학적, 기계적 및 열적 측면에서 안정성을 만족시키는 구조재료로 설계되어야 한다. 본 연구에서는 전해환원공정장치에서 반응기 구조재료의 부식에 영향을 미치는 주요인자인 thermal cycle을 고찰하여 전해환원공정의 반응기 구조재료개발에 필요한 기초자료를 도출하고자 한다.

2. 본론

본 연구에서 사용한 Ni-Base 합금인 Inconel 600(73.7Ni-16.3Cr-8.15Fe-0.2Si-0.3Mn), Haynes 263(51.4Ni-20.0Cr-19.2Co-2.49Ti-5.8Mo), Inconel 625(65.3Ni-21.2Cr-0.7Fe-3.4Nb-8.6Mo)를 시편크기, 70mm(L)×15mm(W)×3mm(T)로 가공하여 사용하였다. Thermal cycle 의한 부식실험은 LiCl-1%Li₂O, 650℃에서 24시간 유지하고 공냉하여 48시간 유지를 1 cycle 주기로 12회 까지 수행하였다. 실험 종료 후 부식된 시편을 증류수에서 초음파 세척하였으며, 부식생성물의 분석, 미세조직 관찰을 위해 XRD, SEM과 EDS를 사용하여 분석하였다. Fig. 1은 thermal cycle에 의해 부식된 Haynes 263 시편의 표면부식층의 XRD 분석결과를 나타낸 것이며, Fig. 1에 의하면 열 반복의 증가에 따라 최외각층은 금속간화합물인 FeNi₃로 나타났다[1]. LiCrO₂ 산화물은 지속적으로 형성되었으며, 열 반복 횟수의 증가에 따라 부식층 직하에 Ti-산화물층이 형성되는 것으로 나타났다[2]. 이는 Fig. 2의 표면단면조직과 원소분포도의 결과에서도 알 수 있다. 내부부식은 국부 부식형태로 나타났으며, 12회 반복 때, 총 부식층의 깊이는 25μm 범위였다.

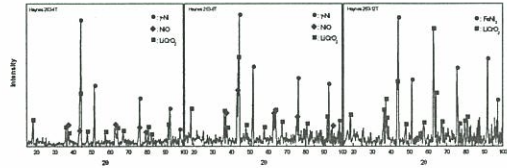


Fig. 1. XRD patterns of the surface of Haynes 263 specimen corroded at 650℃ up to 12 cycles

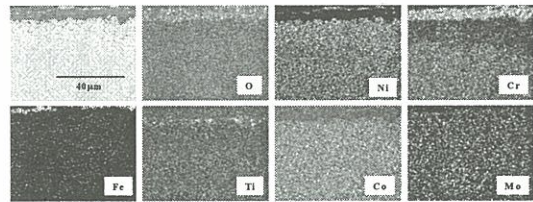


Fig. 2. Cross-sectional SEM image and elemental maps of Haynes 263 specimen corroded at 650℃ for 12 cycles

Fig. 3과 4는 thermal cycle에 의해 부식된 Inconel 600 시편의 표면부식층의 XRD 분석결과 및 단면조직과 원소분포도를 나타낸 것이다. Fig. 3과 4에 의하면 부식층에는 Haynes 263과 같이 금속간화합물의 형성은 없으나, LiCrO₂ 산화물층은 나타났다. 아울러, 내부부식은 입계부식의 형태로 진행되는 경향을 보였으며, 12회 반복 때, 총 부식층의 깊이는 36μm 정도로 나타났다.

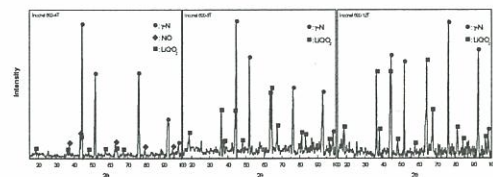


Fig. 3. XRD patterns of the surface of Inconel 600 specimen corroded at 650℃ up to 12 cycles

Fig. 5는 thermal cycle에 의해 부식된 Inconel 625 시편의 표면부식층의 XRD 분석결과를 나타낸 것이다. Fig. 5에 의하면 부식실험 초기에는 금속간화합물이 형성되었으나, 열 반복을 증가하

면 형성되지 않는 것으로 나타났다. Fig. 6은 thermal cycle에 의해 부식된 Inconel 625 시편의 표면단면조직과 원소분포도를 나타낸 것이다.

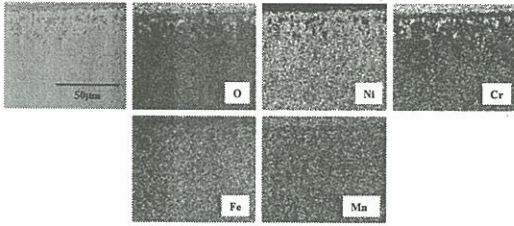


Fig. 4. Cross-sectional SEM image and elemental maps of Inconel 600 specimen corroded at 650°C for 12 cycles

Fig. 5와 6에서 보는 바와 같이 LiCrO_2 산화물이 형성되었으며, 내부부식층의 진행은 전면부식 형태를 나타내었다. Haynes 263과 Inconel 600의 내부부식층의 진행과는 다른 경향을 나타내었다. 아울러, 12 회 반복 때, 총 부식층의 깊이는 약 81µm 나타났다.

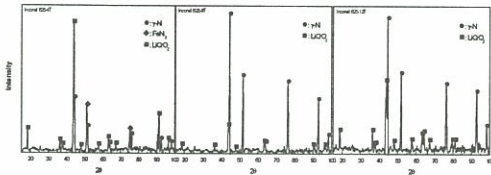


Fig. 5. XRD patterns of the surface of Inconel 625 specimen corroded at 650°C up to 12 cycles

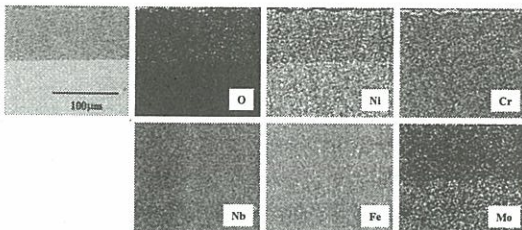


Fig. 6. Cross-sectional SEM image and elemental maps of Inconel 625 specimen corroded at 650°C for 12 cycles

3. 결론

연구의 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었

다.

Haynes 263의 부식층은 연속적이고 조밀한 부식층을 형성하였으며, 부식층 직하에 Ti-산화물층을 나타내었다. 이로 인해 산소의 내부확산을 억제하는 역할로 부식층 깊이로 보아 Inconel 625와 600보다 부식속도가 낮게 나타나는 것으로 보이며, 또한 내부부식층이 국부부식 형태로 진행되는 경향에 의한 것으로 판단된다. Inconel 600의 부식층은 연속적인 Cr-산화물층으로 형성되었으며, 부식층 직하에 Fe-Ni고갈현상을 나타내었다. 내부부식층은 입계부식형태로 진행되는 것으로 나타났다. Inconel 625의 부식층은 얇은 Cr-산화물층으로 형성되었으며, 내부부식층은 전면부식형태로 진행되는 것으로 나타났다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

5. 참고문헌

- [1] G. Cacciamani, J. De Keyzer, R. Ferro, U. E. Klotz, J. Lacaze and P. Wollants, *Intermetallics* 14, 1312(2006).
- [2] S. H. Cho, J. M. Hur, C. S. Seo and S. W. Park, *J. Alloys Compd.*, 452, 11(2008).