

## 고온 용융염 전해환원장치재료 Ni-Base 합금의 부식거동

조수행, 전완기, 조해동, 조춘호, 허진목, 이한수  
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150  
nshchol@kaeri.re.kr

### 1. 서론

산화물 사용후핵연료의 전해환원공정에서 산화우라늄은 고온 용융염 LiCl-Li<sub>2</sub>O계에서 음극에서 우라늄 메탈로 환원되며, 양극에서 산소가 발생된다. 이러한 전해환원공정은 650°C 이상의 고온에서 부식성이 강한 용융염상에서 이루어지고, 산소가 발생되는 산화성분위기이기 때문에 이에 적합한 용융염 취급장치 재료개발이 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 고온 LiCl-Li<sub>2</sub>O 용융염계 산화성분위기에서 고온 용 재료로서 우수한 기계적 성질 및 내부식성을 지닌 합금으로 알려진 IN713LC의 조성을 기반으로 하여 제조한 초합금의 부식거동을 고찰하였다.

### 2. 실험방법

본 연구에 사용한 실험재료는 상용 합금 IN713LC를 기반으로 하여 진공주조로 제조한 초합금을 1,100°C에서 1시간 열처리하였으며, 이들의 화학조성은 Table 1에 나타내었다. 시편의 크기는 70mm (L)×15mm (W)×2 mm (T), SiC paper(#2000)로 일방향 연마하여 증류수와 아세톤으로 탈지시킨 후 건조하여 사용하였다. 부식실험은 부식환경온도; 650°C, 부식시간; 72 ~ 168시간, Li<sub>2</sub>O 농도; 3wt%, 혼합가스 농도; Ar-10%O<sub>2</sub> 분위기하에서, 혼합용융염 LiCl-Li<sub>2</sub>O를 MgO 도가니에 넣고 아르곤 분위기에서 가열하였으며, 용융염의 온도가 650°C에 도달하면 시편을 용융염에 침지시킨 후 용융염 중에 알루미늄 튜브(6φ)를 통해 혼합가스를 공급하였다. 주어진 부식반응시간에 도달하면 시편을 용융염으로부터 분리시킨 후 아르곤 분위기에서 로냉하였다. 실험 종료 후 부식된 시편을 증류수에서 세척하여 용융염을 제거하였으며, 부식생성물의 분석, 미세조직 관찰을 위해 XRD, SEM과 EDS를 사용하여 분석하였다.

Table 1. Chemical compositions of tested alloys(wt%)

Alloy	Ni	Cr	Fe	C	Si	Mn	Ce	Nb	Al	Co	Ti
Superalloy N-1	78.42	11.88	0.20	0.07	0.54	0.04	-	2.19	5.39	0.07	0.70
Superalloy N-2	71.69	18.63	0.11	0.02	0.47	0.03	-	2.06	6.02	0.07	0.58
Superalloy N-3	76.50	12.74	<0.10	0.05	1.79	<0.01	0.04	1.75	6.38	<0.08	0.44
Superalloy N-4	74.80	12.69	<0.10	0.05	2.43	<0.01	0.84	2.15	5.93	<0.08	0.52

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 LiCl-3%Li<sub>2</sub>O, 650°C, 72 ~ 168시간동안 부식실험 한 시편의 부식속도를 나타내었다. 모든 합금은 반응시간의 증가에 따라 부식속도가 증가하는 경향을 나타내었다. 부식속도는 Superalloy N-4 < Superalloy N-1 < Superalloy N-3 < Superalloy N-2 순으로 나타났다. 특히 Cr 함량이 높은 Superalloy N-2 합금의 부식속도가 크게 나타났다. Fig. 2는 LiCl-3%Li<sub>2</sub>O, 650°C, 168시간동안 부식실험 한 Superalloy N-1시편의 부식생성물의 X선회절 분석결과를 나타낸 것이다. 실험한 Superalloy N-1, N-2, N-3 그리고 N-4의 시편, 모두의 부식생성물이 비슷한 피크를 보여 대표적으로 Fig. 2를 나타내었다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 부식생성물은 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NiO, Ni, NiCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>로 나타났다. NiCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>는 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 NiO의 고상반응에 의해 스피넬산화물로 생성되는 것으로 판단된다. Fig. 3은 650°C, LiCl-3%Li<sub>2</sub>O, 168시간 부식실험 한 주조합금 Superalloy N-2의 부식층 단면조직과 구성원소의 mapping 분석결과를 나타낸 것이다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 부식층의 피막은 얇고 연속적이나 간헐적으로 기공이 형성되었으며, 외부부식층은 Cr, Ni, Al-산화물이 주류를 이루고 있는 것으로 나타났다. 부식층 직하에 Cr 고갈현상이 나타났으며, 이는 산소이온의 내부확산을 용이하게 하여 내부산화를 가속하게 할 것으로 판단된다. 이는 Fig. 1의 부식속도의 결과에서도 알 수 있다. Fig. 4에 650°C, LiCl-3%Li<sub>2</sub>O, 168시간 부식실험 한 주조합금 superalloy N-4의 부식층 단면조직과 구성원소의 mapping 분석결과를 나타낸 것이다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 외부부식층은 연속적이며 치밀한 산화피막을 형성한 것으로 나타났다. 특히 외부부식층

직하에 산소활성원소인 Si이 우선 산화되어 부식층을 형성한 것은 기지금속의 산화가능원소의 외부확산을 저지할 것으로 판단되며, 아울러 외부부식층 직하에 형성된 Ni-rich는 산소이온의 내부확산 저지로 인해 부식속도에 영향을 미칠 것으로 예상되며, 이는 Fig. 1의 부식속도 결과에서 알 수 있다.

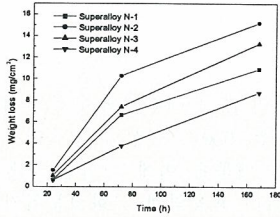


Fig. 1. Weight loss of the alloys corroded at 650°C, as a function of time.

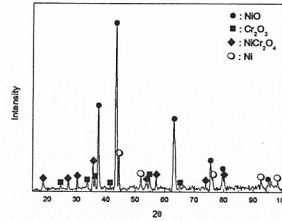


Fig. 2. XRD patterns of the corrosion products of Superalloy N-1 corroded at 650°C for 168 h.

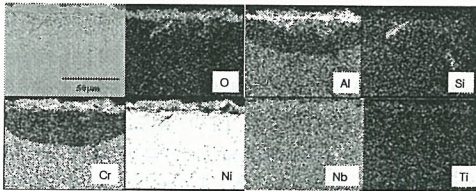


Fig. 3. Cross-sectional SEM image and elemental distribution of Superalloy N-2 corroded at 650°C for 168 h.

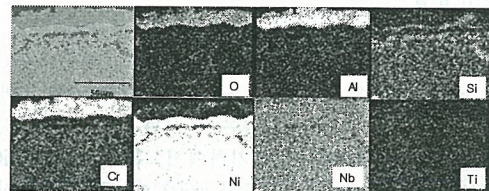


Fig. 4. Cross-sectional SEM image and elemental distribution of Superalloy N-4 corroded at 650°C for 168 h.

### 감사의 글

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국과학재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다. (연구과제 관리코드: 2008-06310)