

고온 구조 재료 분석 및 U 전착물과 eutectic 반응 특성

이성호, 조춘호, 박성민, 강희석, 이성재, 전완기, 박기민, 이한수, 김정국
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045
 shlee6@kaeri.re.kr

1. 서론

전해정련공정에서 회수되는 우라늄 전착물은 30~%정도의 Salt를 포함하고 있어 전해정련공정내 염증류 공정에서 염증류시킨 후 U의 재활용 및 중간 저장을 위해, 잉곳주조 공정에서 U 잉곳을 제조한다. 그러나, 염증류 장치에서 Distiller 및 Screw 재질로 Stainless steel 304를 사용할 경우 725°C 부근의 온도에서 재료 성분인 Fe와 U 전착물과 eutectic 반응이 일어나, Fe₂U 및 FeU₆의 공용혼합물(Eutectics)이 형성되어 FeU₆ 및 Fe₂U의 공용용 온도는 각각 810°C 및 1231°C 이며, 비교적 낮은 온도에서 구조 재료에서 녹아 나와 구조 재료를 취약하게 한다. 일반적으로 700°C 이상의 고온에서 사용되는 장치의 구조 재료는 열안전성을 고려하여 INCONEL 617 및 HATELLOY 등의 Ni를 주성분으로 하는 합금이 사용되어진다. 본 연구에서는 700°C 이상의 고온에서 운전되어지는 Screw type 연속식 염증류 장치 구조 재료 설계 및 U 전착물 염증류 운전 온도 범위 선정을 위한 기초 기술 자료를 구축하기 위하여, 먼저 일반적으로 고온에서 열안전성 및 내구성이 우수한 예비 고온 구조 재료들의 열화학적 특성에 대해 조사/분석하였다. 또한 U 석출물과 고온 구조 재료의 주요 성분인 Fe, Ni, Cr, Mo 등과의 eutectic 반응 특성에 대한 연구를 수행하였다.

2. 본론

2.1 고온구조 재료 및 주요 구성 성분.

800°C 이상의 고온에서 운전되는 독일의 He 냉각 HTR 에서 구성기기들의 고온 구조 재료로 사용하기 위하여 고려되었던 고온 재료 및 재료의 주요구성 성분은 표 1 에 나타내었다. 표 1 에서와 같이 INCOLOY 800H, HASTELLOY X 및 INCONEL 617 등의 고온 재료들의 주요 성분은 Ni 및 Cr의 양이 많은 반면, TMZ 의 경우 Ni

및 Cr의 양에 비해 Mo의 양이 많아 고온에서의 재료강도는 우수하나, 구조재료로 사용하기에는 재료비가 고가이고 가공성이 나쁜 단점이 있다.

Table 1. Nominal composition of high temp. alloy

Alloy ^a	Nominal composition (wt%)							
	C	Fe	Ni	Cr	Co	Ti	Al	Mo
INCOLOY 800 H (X 10 NiCrAlTi 3220)	0.08	bal.	32.0	21.0	-	0.4	0.4	-
HASTELLOY X (NiCr 22 Fe 18 Mo)	0.07	18.0	bal.	22.0	1.5	-	-	9.0
INCONEL 617 (NiCr 22 Co 12 Mo)	0.07	-	bal.	22.0	12.5	0.4	1.0	9.0
NIMONIC 80 A	0.08	-	bal.	19.5	-	2.2	1.4	-
ALLOY 713 LC	0.05	-	bal.	12.0	-	0.6	6.0	4.5
TZM	0.02	-	-	-	-	-	-	bal.

2.2 U 과 고온 재료의 주요 성분과의 eutectic 반응 특성

U 석출물과 고온 구조 재료의 주요 성분인 Ni, Fe, Cr 및 Mo 등과의 eutectic 반응 특성에 대해 조사 분석하기 위하여 먼저 U-metals phase diagram 을 조사 분석하였다.

그림 1 에 나타낸 U 과 Ni과의 phase-diagram 분석 결과에서와 같이 740°C에서 U과 Ni과의 eutectic 반응이 일어나며, Ni이 rich한 영역에서는 Ni₂U 및 Ni₆U 형태의 공용용체가 각각 형성되어 공용용 온도는 985°C 및 1233°C이며, U이 rich한 영역에서는 NiU₆ 형태의 공용용 혼합물이 형성되어 공용용 온도는 790 °C 이다.

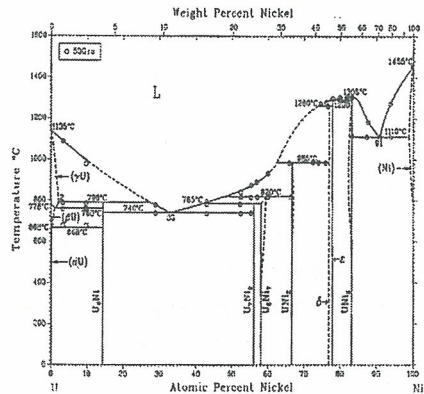


Fig. 1. U-Ni phase diagram

그림 2 에 나타난 U과 Fe와의 phase-diagram 분석 결과에서와 같이 725°C에서 U과 Fe과의 eutectic 반응이 일어나며, Fe가 rich 영역에서는 Fe₂U 형태의 공용융체가 형성되어 공용융 온도는 1231°C이며, U이 rich 한 영역에서는 FeU₆ 형태의 공용융 혼합물이 형성되어 공용융 온도는 810°C 이다.

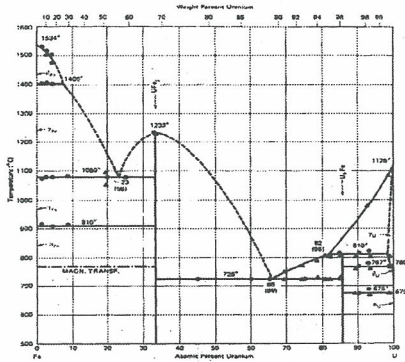


Fig. 2. U-Fe phase diagram

Table 2. Gibbs free energy Fe₂U formation.

Temperature (K)	Gibbs energy of Fe ₂ U formation (kJ per g-atom)				
998	-20.1	-17.9	-20.0	-13.0	-14.7
1504	-13.8	-18.4	-18.5	-13.4	-15.7
Method	Calc.	Exp.	Exp.	Est.	Calc.

Fe가 rich 영역에서는 Fe₂U 형태의 공용융 혼합물이 형성되는 eutectic 반응의 Gibbs free energy는 표 2 에 나타내었다. 표 2에서와 같이 725°C 및 1231°C에서 eutectic 반응시 Gibbs free energy 변화가 negative 값을 나타냄으로 이들 온도에서 Fe-U의 eutectic 반응은 자발적으로 일어남을 알 수 있다.

3. 결론

700°C 이상의 고온에서 운전되는 Screw type 염증류 장치 구조 재료 선정을 위해, 먼저 고온에서 열안정성 및 내구성이 우수한 예비 고온 구조 재료들의 열화학적 특성 및 구성 성분에 대해 조사/분석 하였다. 또한 연속식 염증류 장치의 예상 고온 구조 재료들의 주요 성분인 Fe, Ni, Cr, Mo 와 U 전착물과의 eutectic 반응 특성 연구를 수행 함으로 연속식 염증류장치 고온 구조 재료 설계 및 U 전착물 염증류 운전 온도 범위 선정을 위한 기초 자료를 구축하였다.