

Ni-P 전주도금층의 기계적 특성 및 미세조직에 미치는 첨가제 및 교반의 영향  
 The effects of additive and agitation on mechanical properties and  
 microstructure of Ni-P Electroformed Layer

정현규, 서무홍\*, 김승호, 천병선<sup>a</sup>, 김정수  
 한국원자력연구소, a 충남대학교

1. 서론

원자력발전소 내부의 증기발생기는 원자로에서 발생된 에너지를 방사능에 오염된 1차 냉각계통의 고온, 고압(323℃, 175atm)의 냉각재를 통하여 방사능에 오염되지 않은 2차 냉각계통(터빈계통)으로 열 전달하는 중요한 구성요소이다. 증기발생기 전열관 손상을 보수하기 위하여 손상된 전열관 내부에 슬리브 관을 삽입한 후 모재와 슬리브 관을 용접하거나 기계적 접합으로 연결하는 방법을 사용하고 있다<sup>1)2)</sup>. 슬리브 관을 삽입하여 보수하는 방법들은 모두 모재와 조인트부를 필요로 하게 되므로 연결부 제작시 인입되는 가공유기응력이 결합발생의 잠재요인으로 작용하여 설치후 결함을 유발할 수 있게 된다. 그러나, 전기도금을 이용한 Electrosleeving기술은 조인트부가 없는 일체형이므로 기존의 단점을 보완할 수 있으며, 그밖에도 차기보수를 위한 접근성 양호, 모재의 미세조직 불변, 틈새 없는 연속적 결합, 냉각재 유속 감소 최소, 잔류응력제거 및 슬리브 관 삽입 불필요, 기계적 강도 우수 등의 장점이 있어 차세대 보수법으로 대두되고 있다.

본 논문에서는 Electrosleeving기술 개발을 위한 Ni-P 전기도금의 기초실험을 통해 얻어진 도금층의 기계적 특성을 평가하였으며, 미세조직을 관찰하였다.

2. 실험방법

Ni-P 합금도금을 하기 위해서 Ni 공급원으로 설펜산니켈을, P 공급원으로 아인산을 사용하였다. 전주도금시편은 Table 1에 나타낸 바와 같이 50℃의 설펜산니켈도금욕에서 전류밀도 10A/dm<sup>2</sup>, pH 1의 공정조건으로 인하대학교 황운석교수님 실험실에서 제작하였다.

Table 1 Electroforming Process Conditions.

	Solution	Current Density (A/dm <sup>2</sup> )	Temp. (℃)	pH	RPP (Additive, ml)	Agitation	Heat Treatment
P1	Sulfamate	10	50	1	N	N	N
P2R					0.5	N	N
P2					0.5	Y	N
P2H					0.5	Y	343℃, 1hr

Sulfamate = Ni(SO<sub>3</sub>NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> 1.39mol + H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 0.65mol + H<sub>3</sub>PO<sub>3</sub> 0.018 mol

기계적 특성을 평가하기 위해 경도측정과 인장시험을 행하였다. 인장시편크기는 ASTM E8-94a의 Subsize를 수정하여 사용하였고, 시편가공은 가공유기응력을 배제하기 위해 EDM(Electro Discharge Machining)가공을 하였다. 인장시험은 Instron 8872를 사용하여 변형을 0.1mm/min으로 실시하였다. 미세조직은 Jeol사의 주사전자현미경 JSM5200을 사용하

여 기공과 파면을 관찰하였으며, Oxford Link(Model ISIS-5947) EDX가 부착된 투과전자현미경 2000FX를 사용하여 입계와 석출물을 관찰하였다.

### 3.결과요약

#### 3-1.기계적 특성

비커스 경도측정결과, 샘플 P1, P2R, P2, P2H에서 각각 385, 420, 450, 500의 경도를 나타내었다. P1보다 P2R, P2에서 높은 경도는 RPP(Additive) 첨가가 핏팅 억제뿐 아니라 응력증가효과를 보이기 때문인 것으로 판단된다. 또한 343℃에서 1시간동안 열처리에 따른 P2H의 경도 상승은 Ni<sub>3</sub>P의 석출물에 의한 것으로 생각된다. 인장시험결과는 Table 2에서 보여주고 있다. P1의 낮은 Y.S, U.T.S 값은 TEM 관찰결과에 의하면 입계 크기가 P2에 비하여 큰 것이 주원인인 것으로 판단된다<sup>3)</sup>.

Table 2 Result comparison of tensile test.

Sample No.	Additive(RPP) & Agitation	Cross-section Area(mm <sup>2</sup> )	Thickness (mm)	YS(kgf/mm <sup>2</sup> )	UTS(kgf/mm <sup>2</sup> )	Elongation(%)
P1	X	0.87	0.20	71.83	114.79	5.66
P2	O	0.78	0.18	126.9	189.52	6.48

#### 3-2.미세조직

도금층의 표면을 앞면, 모재와의 경계면을 뒷면이라고 명명하였다. P1 뒷면에서는 10 $\mu$ m 정도의 큰 기공과 보통 평균 5 $\mu$ m 정도의 기공들이 다량 분포된 것을 확인할 수 있었다. 앞면에서도 뒷면과 동일하게 다량의 기공들이 발견되었지만, 그 크기는 뒷면에서 발견된 기공 크기의 1/2이하로 작았으며 평균 2 $\mu$ m 정도를 나타내고 있다. P2는 앞면에서 기공이 전혀 관찰되지 않았으나, 뒷면에서는 1 $\mu$ m이하의 미소 기공들이 다량 발견되었다. 앞면에서 발견되지 않았던 기공이 뒷면에서 발견된 것은 P1에서의 원인과 동일하다고 판단된다.

P1은 입계 크기가 매우 불규칙적이며, 1 $\mu$ m이상의 입계도 관찰되었다. 평균적으로 나노크기 이상의 입계를 보여주고 있으며, 이를 SAD 패턴을 통해 확인할 수 있었다. P2는 SAD 패턴에서 Ring 형상을 나타내고 있으나 불연속적인 형태를 갖고 있다. 이는 입계가 평균적으로 나노크기를 나타내나, 마이크로 입계도 불규칙적으로 존재하기 때문인 것으로 판단된다. P2H의 SAD는 P2와 유사하나 343℃에서 1시간동안 열처리의 결과로 Ni<sub>3</sub>P 석출물로 보이는 다량의 검은점들이 관찰되었다<sup>4)</sup>.

### 참고문헌

- 1) F. W. Cooper, "In-Place Retubing and Sleeving of Nuclear Steam Generator", Paper presented at American Nuclear Society Meeting, Detroit, Michigan, June 1983.
- 2) Electric Power Research Institute, Workshop Proceedings, "Replacement and Repair of Steam Generator", Report No. EPRI NP-3207-SR, August 1983.
- 3) A. M. El-Sherik, U. Erb, G. Palumbo, and K. T. Aust, Scripta Metallurgica et Materialia, Vol. 27, p.1185-1188, 1992.
- 4) K. Boylan, D. Ostrander, U. Erb, G. Palumbo and K. T. Aust, Scripta Metallurgica et Materialia, Vol. 25, p.2711-2716, 1991.