

# CICC용 Incoloy 908합금 용접부의 미세조직 변화에 관한 연구

## A study on the microstructure of welded Incoloy alloy 908 for cable in conduit conductor(CICC)

김봉수\*, 송광용\*, 서수정\*, 서창제\*, 임병수\*\*, 김기만\*\*  
\*성균관대학교,  
\*\*삼성종합기술원 Energy Lab.

### 1. 서론

차세대 전기에너지 분야에 대한 연구로서 핵융합 초전도 마그네트, 초전도 에너지 저장 장치, 초전도 발전기 및 초전도 케이블 등의 연구가 활발히 진행되고 있다. 그중 핵융합 초전도 마그네트와 같은 규모가 큰 초전도 자석의 경우, 초전도 선재를 꼬아서 만든 케이블을 강도가 큰 구조재료로 에워싼 형태의 관내연선도체(Cable-In-Conduit, CICC)를 주로 사용하고 있다.

이러한 초전도선재(Nb<sub>3</sub>Sn, NbTi) cable을 조관할 때 사용되는 jacketing재료는 일반적으로 우수한 기계적 특성을 지녀야 하며, 특히 초전도 현상이 일어나는 극저온(4K)에서 안정하게 유지되어야 한다. 현재 이를 위한 jacketing 재료로서 Incoloy 908, STS316LN, STS316L 등이 검토되고 있으며, 국내에서는 KSTAR(Korea Superconducting Tokamak Advanced Reactor)용 초전도자석의 관내연선도체(CICC) 제작을 위한 jacketing 재료로 Incoloy 908합금을 선정하여 연구를 진행하고 있다.

본 연구에서는 Nb<sub>3</sub>Sn 형성을 위한 열처리 단계에 따른 Incoloy 908 합금 및 용접부의 미세조직 변화와 기계적 특성(경도, 인장시험)을 고찰하였다.

### 2. 실험방법

본 연구에서 사용된 Incoloy 908 합금의 화학조성은 Table 1에 나타내었으며, Nb<sub>3</sub>Sn 형성을 위한 열처리 단계별(470°C/100, 570°C/200h, 660°C/h) 특성을 살펴보기 위해 원재료와 TIG를 사용하여 용접된 Incoloy 908 시편을 각 열처리단계 종료 시 시편을 급냉시켜 미세조직 변화를 광학현미경 및 SEM으로 관찰하였고, Microvickers 경도시험기를 이용하여 경도를 측정하였으며 ASTM E-8 규격에 준한 시편을 제작하여 인장시험을 행하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 미세조직 및 경도변화

Fig.1은 열처리전과 최종 열처리 단계를 거친 Incoloy 908합금 모재 및 용접부의 미세조직을 주사전자현미경으로 관찰한 사진이다. 모재의 경우 열처리를 통해 결정립이 조대화 된 것을 관찰할 수 있으며, 용접부의 경우도 마찬가지로 열처리전보다 최종 열처리를 거쳤을 때 조대화된 dendrite 조직을 나타내었다.

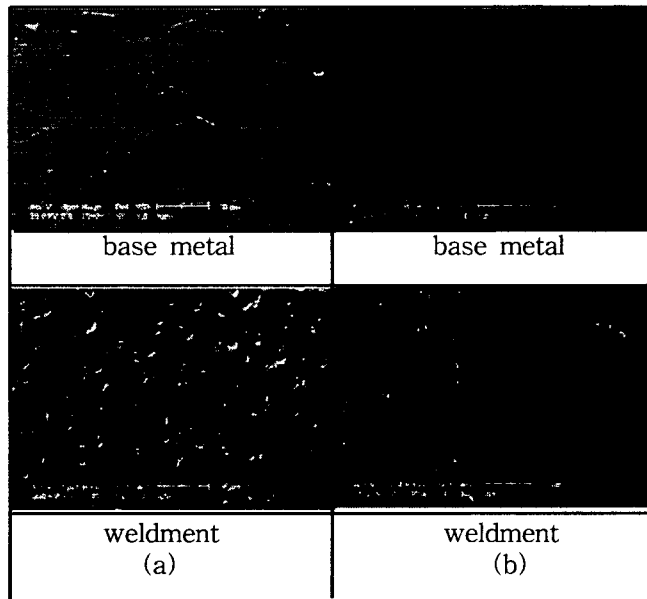
Fig.2는 열처리전과 각 열처리 단계에 따른 모재 및 용접부의 경도를 측정한 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 열처리 단계를 거침에 따라서 경도가 증가하는 경향을 나타내었으며, 특히 열처리 단계 570°C에서 경도값이 크게 상승한 것을 알 수 있는데 이는 Incoloy 908합금이 550~815°C에서  $\gamma'$ 상이 석출되어 시효경화되는 재료이기 때문에 이 열처리 단계 구간에서  $\gamma'$ 상의 석출이 촉진되어 경도증가에 기여한 것으로 사료된다.

#### 3.2 인장 실험

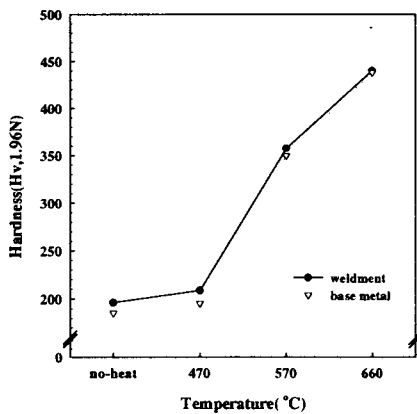
열처리전과 최종 열처리 단계를 거친 용접한 Incoloy 908합금의 인장시험결과를 Fig.3에 나타내었다. 열처리전의 인장강도는 약 817.7MPa, 항복강도 398.6MPa를 나타내었으며, 최종 열처리 단계를 거친 용접부의 인장강도는 1218.4MPa, 항복강도 1033.17MPa를 나타내었다.

**Table 1 Chemical composition and hardness of Incoloy alloy 908(wt.%)**

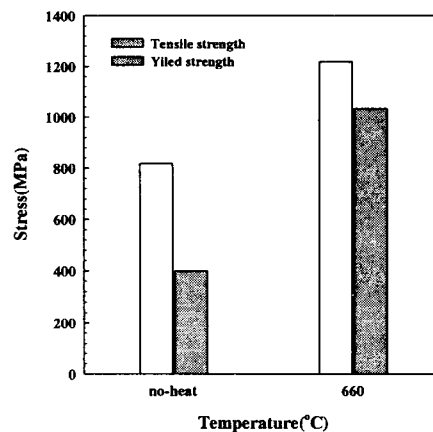
	Ni	Cr	Nb	Ti	Al	Fe
Incoloy 908	49.68	3.76	2.72	1.48	0.82	Bal



**Fig.1 SEM micrographs of base metal and weldment in Incoloy alloy 908  
(a) No-heat treatment (b) Heat treatment at 660°C**



**Fig.2 Microvickers hardness distribution of base metal and weldment according to heat treatment**



**Fig.3 Tensile strength and Yield strength of weldment according to heat treatment**

#### 4. 참고문헌

- 1) 류 경우, 류 강식, 오 봉환, 오상수 "토카막 핵융합장치용 초전도 자석" Proceeding of KIEE. Vol. 45 No.7. Jul, 12, 1996
- 2) G. Deis et al, "TPX Superconducting Tokamak System", 16th Symp on Fus Eng, Sept 1995, 138, 1996
- 3). INCO Alloys International, Inc. INCO Alloys International certified Material Test Report, 1992
- 4) J.W. Ekin " Thermal expansion of several Incoloy Alloys," Final Report, NIST, 1986 I.S. Hwang, et al., "Mechanical Properties of Incoloy 908 - An update," paper BZ-8, ICMC, 1991