

가공송전선 코아용 고질소강 연구

김봉서, 유경재*, 권해웅*, 이희웅, 김병걸
한국전기연구소, 부경대학교 재료공학과*

High Nitrogen Steel for Core of Over-head Transmission Line

Bongseo Kim, Kyungjae Yoo*, Haewoong Kwon*, Heewoong Lee, Byunggeol Kim
Korea Electrotechnology Research Institute, Pukyong National University*

Abstract - In order to investigate the core material for over-head transmission line with non-magnetic and high strength nitrogen steel, microstructure and several basic properties of Fe-Mn-Cr-Ni-N steel have been studied. It is necessary that core material have a γ phase to have a non-magnetic characteristics. To acquire a γ phase, Mn, Ni and C are added as a alloying element.

It was found that Fe-25Mn-16Cr-1Ni-N alloy have a stable γ phase. The precipitate from this alloy system was $(Cr, Fe)_7C_3$. High Mn and N steel satisfies Sievert's relation that solubility of nitrogen increases with the square root of partial pressure of gas in metal-gas system and the hardness have proportional relation with nitrogen concentration.

1. 서 론

기존의 가공송전선은 내부에 강도를 유지하는 탄소강과 전기 전도를 담당하는 알루미늄 도체로 구성되어 있다. 실전력계통에 사용될 경우 철탑과 철탑사이에 걸리는 하중을 담당하고 전선의 강도를 유지하는 강심 재료(코아)는 탄소강을 사용하기 때문에 자성 특성을 나타내며 이로 인하여 와전류손 및 철손이 발생하여 송전효율을 낮추고 있으며, 재료 자체의 내식성 등에 개선의 필요가 대두되고 있다.

그래서 본 연구에서는 기존의 가공송전선에 사용되는 강심재료인 탄소강을 대체할 수 있는 재료로 고강도, 고인성, 내식성 및 비자성 특성을 가지는 고질소-고망간강을 제조하여 기존의 강심을 대체할 수 있는 가능성을 조사하기 위하여 재료의 미세조직과 기본 특성을 조사하였다.

기존의 304 오스테나이트 스테인레스강에서는 니켈의 농도가 약 8%정도이기 때문에 내식성 등은 우수하지만, 재료의 인성이 낮고 니켈이 고가이기 때문에 경제성이 좋지 않다. 니켈의 양을 최소로 하고 대신에 오스테나이트 안정화 원소인 망간과 질소를 다량 함유시켜 오스테나이트강을 제조함과 동시에 고강도, 고인성의 비자성 강을 제조하고자 하였다.

본 연구에서는 기존의 오스테나이트강의 특징인 내식, 내열성 및 인성이 우수하면서 비자성특성을 가지는 재료를 제조하기 위하여 망간 25%, 크롬 16%, 니켈 1%, 질소를 5000ppm 이상 함유시킨 강을 제조하여, 기본적인 물성 및 미세조직을 관찰하여 기존의 탄소강을 대체할 가능성 조사를 위한 기본 연구를 수행하였다.

2. 실험 방법

본 연구에 사용된 재료는 5kg 진공유도용해로(VIM)

에서 초기진공을 2×10^{-5} torr의 진공상태로 유지한 후, 질소가스를 충전하여 질소 분압을 0기압, 1기압, 1.5기압 하에서 시료를 유도용해하였다. 이때 제조된 시편의 성분 분석은 ICP(inductively coupled plasma)를 이용하였고, 질소는 가스분석기를 이용하여 분석하였다. 이때 제조된 시편의 분석결과를 표 1에 나타내었다. 진공유도 용해된 강괴를 1100°C에서 균질화처리 후 고온 단조 과정을 거쳐 두께 12mm의 판상시편을 제조하였다. 또한 본 실험에서 요구되는 조직은 오스테나이트조직을 가지는 γ -상을 가지고 있어야 하기 때문에 열간 단조 후에 용체화처리 과정으로 1100°C에서 2시간 유지한 후 수냉하였다.

이상과 같이 제조된 시편의 조직관찰을 위해 광학현미경을 이용하였고, X-선 회절기(XRD)로 재료의 상분석을 하였다. 또한 Micro-Vickers경도기(하중:500gf)를 이용하여 재료의 경도를 측정하였으며, 온도에 따른 재료의 상변태, 열적특성조사 및 비저항측정을 위해 시차열분석(DTA)과 전기저항-온도특성시험(JIS C 2526)을 하였다.

Table 1. Chemical composition of specimen(wt%)

	Fe	Mn	Cr	Ni	N	C	Si
A	Bal.	26.6	8.6	1.06	-	0.50	0.43
B	Bal.	25.2	15.8	1.12	0.64	0.52	0.58
C	Bal.	24.3	16.6	1.09	0.81	0.73	0.51

3. 결과 및 고찰

기존의 상용화되어 있는 재료의 경우에는 질소의 농도가 최대 2500ppm(0.25%)정도이지만, 본 실험에서 제조된 경우에는 표 1의 조성분석결과에 나타난 바와 같이 질소의 분압을 1기압, 1.5기압으로 증가시킬 경우 시편에 용해된 질소의 양은 8100ppm이상의 매우 높은 질소함유량을 나타내었다. 이 결과는 금속-가스 시스템에서 가스의 분압과 농도의 관계를 나타낸 Sievert 관계를 만족하고 있는 것으로, 질소의 농도는 (분압)^{1/2}에 비례하는 것을 알 수 있다. 이것은 질소의 분압을 대기압 이상으로 하고 질소의 고용도를 높일 수 있는 Mn과 같은 원소를 첨가하게 되면 기존의 재료보다는 매우 높게 질소를 함유할 수 있게 된다.

Fe-25Mn-16Cr-1Ni 조성에서 0.73% C, 0.53% Si와 0.81% N을 첨가한 재료(시편 C)의 광학현미경 조직을 그림 2에 나타내었다. 이 광학현미경 조직에서 알 수 있듯이 전형적인 고망간-고질소강의 조직을 관찰할 수 있었다.

또한 이와 같이 제조한 시편의 질소농도에 따른 Micro-Vickers 경도 측정결과를 그림 3에 나타내었다. 이 결과에서도 알 수 있듯이 질소의 양에 따라 경도의 변화를 알 수 있고 질소의 농도가 높을수록 재료의 경도는 질소의 분압에 따라 직선적으로 증가하였다.

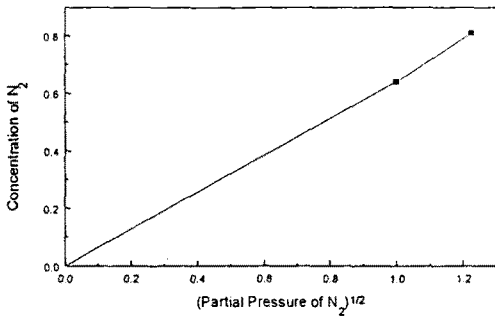


Fig. 1 Relation between concentration and partial pressure of nitrogen

또한 질소의 분압에 따라 재료에 용해되어 들어가는 질소의 양이 증가함으로써 재료의 경도가 증가하기 때문에 본 실험에서 이루어진 질소분압보다 큰 2기압 이상의 분압으로 용해하면 질소의 농도가 증가하게 되어 경도의 증가가 예상된다. 질소의 영향 이외에도 추후 계속 되어질 재료의 가공공정과 열처리 공정을 통하여도 보다 큰 경도 값을 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

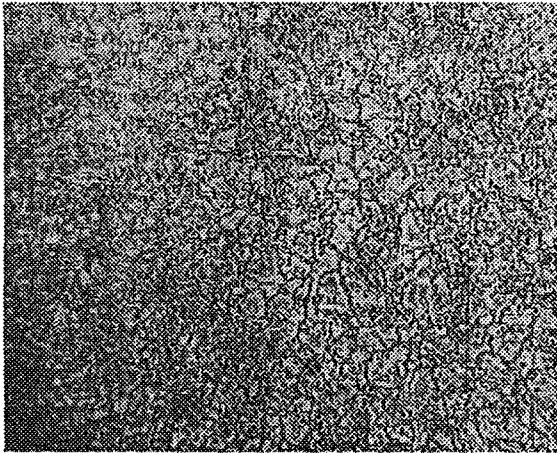


Fig. 2 Optical microstructure of specimen C solution-treated at 1100°C for 2hrs.

그림 4에서는 질소의 분압이 1.5기압 하에서 용해된 시편의 X-선 회절분석결과를 나타내었다. 이 회절결과에서 알 수 있듯이 용체화처리후 시편은 면심입방구조 (fcc)를 가지는 γ -오스테나이트 상으로 존재함을 알 수 있다. Fe-Cr 2원계 상태를 조사해 보면 13%Cr이상의 조성에서는 bcc구조를 가지는 α 상을 가지는 것으로 나타났으나 본 합금계와 같이 25%이상의 Mn과 austenite 안정화원소인 Ni, C와 N이 첨가되어져 있는 경우에는 α 상으로는 존재하지 않고 γ 상으로 존재함을 알 수 있다.

또한 검은 원으로 표시한 피크들은 (크롬, 철)산화물 ((Cr, Fe)₇C₃)이 석출되어 있는 것으로, 이 탄화물은 철강 재료중에서 석출되는 대표적인 탄화물중의 하나이다. 철강재료에서 석출되는 탄화물은 재료의 결정구조 및 재료 특성에 큰 영향이 미치지 때문에 많은 연구가 진행되어져 왔다. 기존의 연구에 의하면 (Cr, Fe)₇C₃ 탄화물은 육방정계(hexagonal) 구조를 가지는 것으로 알려져 있고, 또한 Cr의 첨가에 의해 탄화물의 입내석출이 현저히 촉진되고 이와 유사한 특징을 나타내는 원소로는 V 등이 있는 것으로 알려져 있다.

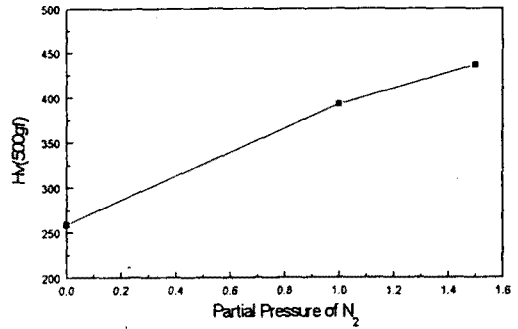


Fig. 3 Effect of partial pressure of N₂ on hardness

기존의 γ -오스테나이트강은 재료의 가공시 마르텐사이트상이 석출되어 자성을 띄게 되지만 본 실험에서 제조한 시편에서는 용체화공정까지의 가공에 의해 마르텐사이트와 같은 제2상의 석출은 관찰되지 않았다.

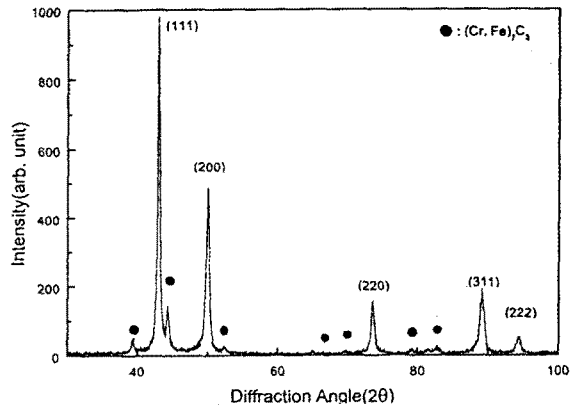


Fig. 4 X-ray diffraction pattern of solution-treated sample C ($P_{N_2}=1.5atm$)

1100°C에서 2시간 유지한 후 수냉하여 용체화처리를 한 시편의 열분석(DTA)결과를 그림 5에 나타내었다. 이 결과로부터, 800°C부근에서 재료의 상변태가 일어남을 알 수 있고 이것은 Fe-Cr 상태도에서 Mn, Ni과 같은 오스테나이트 안정화 원소가 첨가되면 γ 상의 영역이 확대되어 16%Cr조성에서도 γ 상이 존재하게됨을 알 수 있다. 또한 645°C부근의 피크는 자기변태에 의한 피

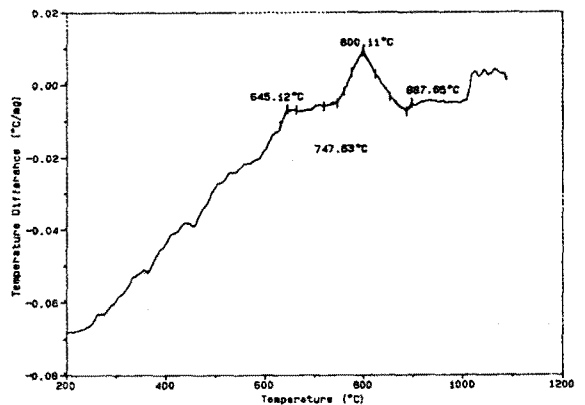


Fig. 5 DTA result of solution-treated sample C ($P_{N_2}=1.5atm$)

크로 예상된다. 이 결과는 고온비저항 측정결과와도 일치하는 것이다.

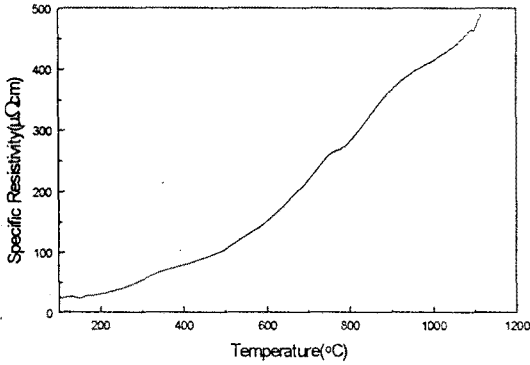


Fig. 6 Relationship of specific resistivity and temperature

그림 6은 온도에 따른 재료의 비저항(ρ)을 측정함으로써 비저항은 온도에 따라 증가하며, 약 800°C부근에서 기울기의 변화가 관측된다. 이 온도에서 재료의 상변태가 일어난 것으로 예상되며, 이 온도는 시차열분석(DTA) 결과와 일치하고 있다. 또한 비저항의 증가는 금속이 온도 상승에 따라 자유전자가 산란되는 것에 의한 것이고, 또한 첨가원소의 증가에 의해 원자의 주기성이 깨어지고 자유전자의 산란에 의한 것으로 생각된다. 여러 종류의 합금 원소의 영향은 명확하지 않지만 Si의 첨가가 비저항에 큰 영향을 미치는 것으로 연구되어져 있고, 자유전자의 산란도에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 Yoshimura 연구그룹에서 발표하였다.

4. 결 론

고망간-고질소강의 사용범위는 극저온 구조재료와 저방사능화 재료의 응용 외에 가공용전선용 코아재료로의 응용 가능성이 있기 때문에 지금까지의 응용 범위와는 다른 각도에서의 고찰이 필요하다. 본 연구에서는 Fe-25Mn-16Cr-1Ni-N 시스템을 기본 조성으로 하여 가압 진공 유도로를 이용하여 질소의 농도를 8100ppm 이상으로 높게 한 후 열간 단조와 용체화처리를 한 시편의 미세조직과 기본 특성을 조사하였다.

- (1) 질소의 농도는 용해시 (질소가스의 분압)^{1/2}에 비례하는 Sievert의 관계식을 만족하고 있다.
- (2) 재료의 경도는 질소의 농도에 직선적으로 비례하여 증가한다.
- (3) 16%Cr의 조성에서도 Mn과 같은 오스테나이트 안정화원소가 다량 첨가되면 fcc구조를 가지는 비자성의 γ 상으로 존재하고, 석출되는 탄화물은 (Cr, Fe)₇C₃상태로 존재할 것으로 예상된다.
- (4) DTA와 고온 비저항 측정결과로부터 800°C부근에서 γ 상에서 α 상으로의 변태가 일어날 것으로 예상된다.

(참 고 문 헌)

- [1] H. Yoshimura et al. "Microstructure, Magnetic Permeability and Electric Resistivity of High Mn-Cr-Ni Steel". 鐵と鋼, Vol. 9, p80, 1979.
- [2] M. Fujikura et al. "effect of Mn and N on the Mechanical Properties of Fe-18%Cr-10%Ni Stainless Steels". Transaction ISIJ, Vol. 15, p464, 1975.
- [3] T. Kato et al. "Structural Stability and Mechanical Properties of Fe-Mn-Cr Alloys". Transaction ISIJ, Vol. 16, p673, 19765.

[4] T. Saito, "Effect of Alloying Elements on Carbide Precipitation in Hadfiled Steel", 鐵と鋼, Vol. 3, p51, 1972.

[5] 斐東樹, "低放射能化 高Mn austenite 鋼の開發に關する 基礎的 研究", 名古屋大學工學博士學位論文, 1994