

.....  
**論 文**  
 .....

## 17-4PH 스테인레스강의 기계적, 화학적 성질에 미치는 회수재의 사용과 조성변화의 영향

이선호\*, 강춘식\*, 이경환\*\*, 김도경\*\*

### The Effect of Returned Scrap and It's Composition Change on the Mechanical & Chemical Properties of 17-4PH SS

Seon-Ho Lee\*, Choon-Sik Kang\*, Kyong-Hwan Lee\*\* and Do-Kyong Kim\*\*\*

#### Abstract

Mechanical and chemical properties of the 17-4PH have been investigated after recycled melting. As the result, it has been ascertained that the change of Ni, Cu, Nb, C amount affects the mechanical and chemical properties. It is important to minimize contamination of impurities and to control the amount of Ni, Cu, Nb, C.

#### 1. 서론

17-4PH 주강은 대표적인 마르텐사이트계 석출 경화형의 스테인레스 주강으로 우수한 내식성, 내마모성과 강도를 가지고 있는 재료이다. 이 소재는 헬리콥터 엔진의 compressor wheel 등의 항공기 부품에 많이 이용되고 있고, 기계구조용, 식품, 화학공업 등에 용도가 확대되고 있는 경향이다.<sup>1)</sup> 이 재료를 정밀주조법에 의하여 제품을 생산할 때, 제품의 불량, 압탕, 탕도등으로 인해 수율이 50%이하로 많은 회수재가 발생한다. 이러한 회수재는 재정련의 과정을 거쳐 사용되는데, 이때 많은 비용이 소모되며, 최근에는 환경적인 측면에서도 제강시 발생하는 가스등으로 인해 회수재의 사용에 관심이 고조되고 있다. 그러나, 이러한 문제를 해결할 수 있는 방안이 아직은 미흡하고, 회수재의 성질에 관한 자료가 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 회수재를 활용할 수 있는 기초를 마련하고, 회수재를 일반 구조용 주물재를 사용할 수 있는 가능성을 조사하고자 하였다. 조성을 달리한 master ingot를 주조하여 조

성변화에 따른 제성질을 고찰하고, 1차, 3차, 5차 회수재를 사용한 경우와 비교하여 회수재의 사용에 따른 영향과 조성변화에 따르는 영향을 고찰해 보고자 한다.

#### 2. 실험방법

##### 2.1 주조 및 열처리

주형은 로스트 왁스법에 의하여 제작된 16.5φ × 125mm봉이 10개가 부착된 것을 제작하여 사용하였다. 제작한 주형을 소성로에 넣어 14시간 동안에 1000°C로 상승시켜, 계속 유지하다가 용탕이 적정온도에 도달한 후 소성로에서 꺼내어 용탕을 주입하였다. 용해는 75kw, 3000Hz 고주파 유도로를 사용하여 대기중에서 용해하였으며, 1650°C에서 주입하였다. 조성을 달리한 master ingot, 1차 회수재, 3차 회수재, 5차 회수재를 사용하여 5종류의 시료를 제조하였으며, 그 화학적 조성은 Table. 1과 같다. 회수재를 만드는 방법은 용해후 주괴를 만들고, 성분원소들의 용해손실량을 보충하여 재용해하여 주괴를 만드는 방식을 반복하여 제조하였다.

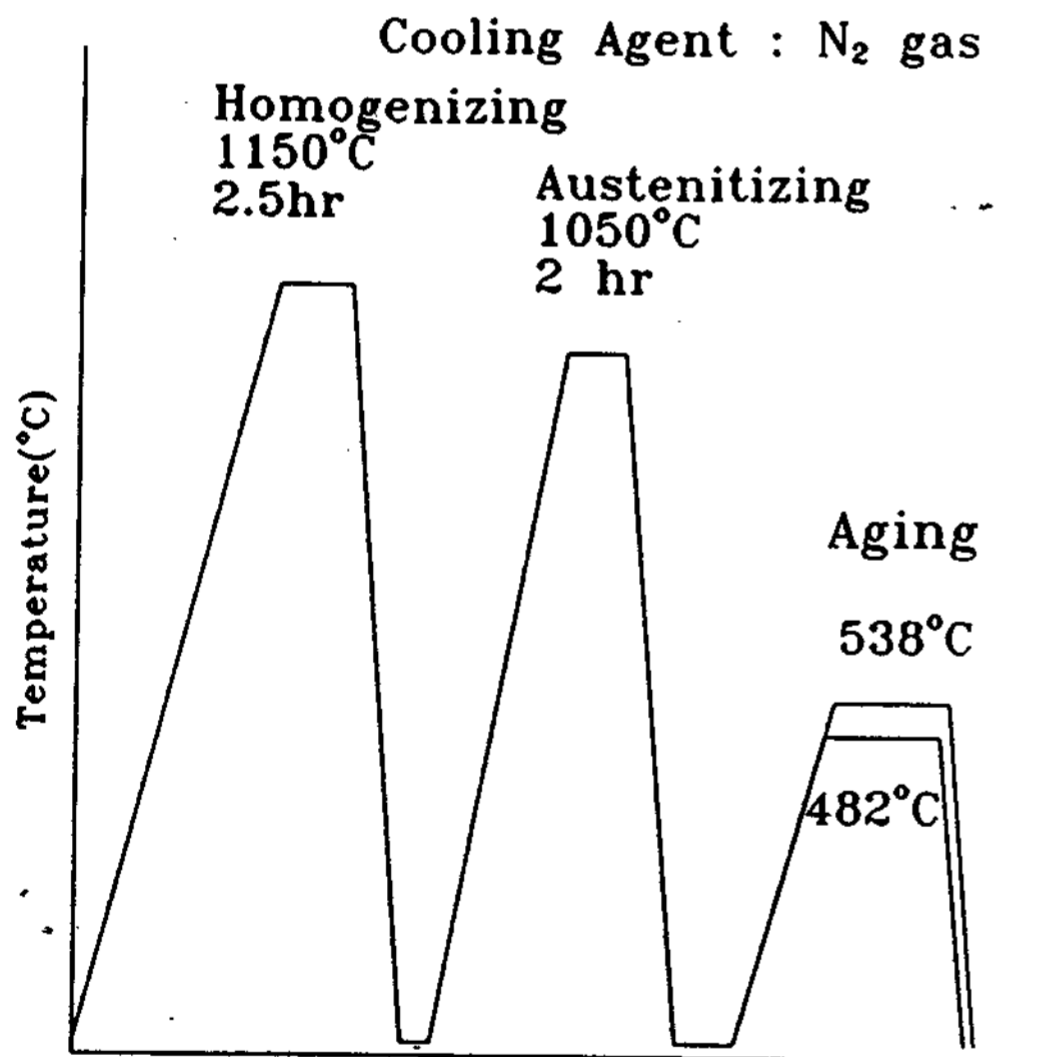
\* 서울대학교 금속공학과(Dept. of Metallurgical Eng., Seoul National Univ.)

\*\* 생산기술연구원(Korea Academy of Industrial Technology)

**Table 1.** Chemical composition of specimens(wt%)

Spe. No.		comp.	C	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Co	Nb	Nb/C
MI-1	master ingot		0.030	0.014	0.007	16.7	0.15	4.25	3.34	0.15	0.21	7
MI-2	master ingot		0.040	0.013	0.006	16.7	0.15	4.48	3.90	0.11	0.22	5.5
RS-1	1차 회수재		0.030	0.014	0.007	16.5	0.15	4.38	3.49	0.14	0.21	7
RS-2	2차 회수재		0.032	0.015	0.007	16.7	0.15	4.40	3.70	0.14	0.16	5
RS-3	3차 회수재		0.035	0.015	0.009	16.5	0.15	4.42	4.12	0.15	0.26	7.4

주조상태의 모든 시료들을 진공상태에서 1150°C에서 2.5시간 유지후 질소가스로 냉각하여 균질화처리를 한 후, 1038°C에서 2시간동안 유지하고 질소가스로 냉각하여 용체화처리를 하였다. 균질화처리, 용체화처리한 모든 종류의 시료를 각각 H900(482°C), H1000(538°C) 두가지 조건에서 4시간동안 시효처리를 하였다. Fig. 1.은 이러한 3단계의 열처리 과정을 나타낸 것이다.

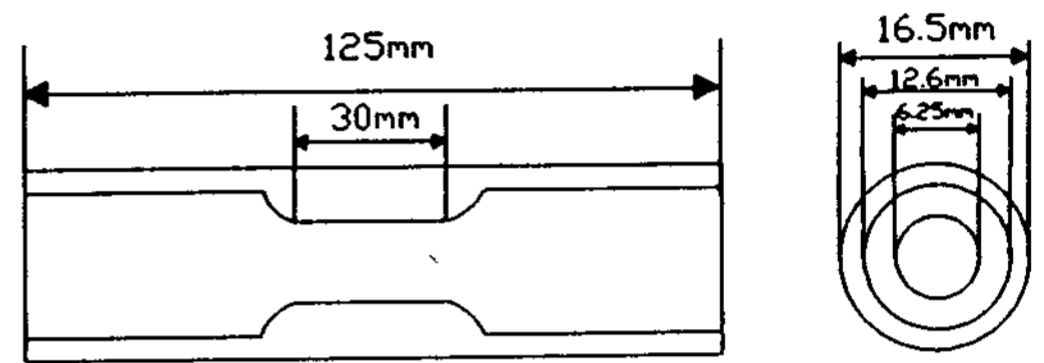


**Fig. 1.** Schematic diagram of heat treatment cycle

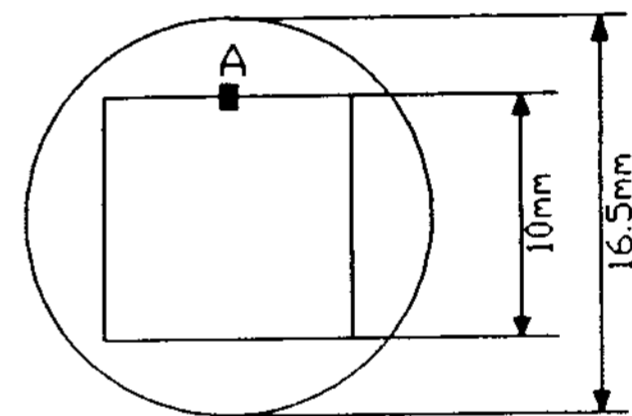
**2.2 시편의 제작 및 시험**

열처리된 봉상의 시편을 Fig. 2와 같은 단면모양으로 인장시험편을 제작하고, 단면의 모양을 Fig.3과 같이 단면을 10mm×10mm로 하고 길이는 각각 다르게 하여 경도, 샤르피 충격, 부식 시험편을 제작하였다.

인장시험은 Simatzu사의 SFL-10A.G model의 만능재료 시험기로 하였으며, cross-head speed는



**Fig. 2.** Cross-section geometry of tensile specimen



**Fig. 3.** Cross-section geometry of impact, hardness, corrosion specimens

3.0mm/min으로 하여 시험하였다.

경도시험은 Rockwell C scale로 시험하였으며, 표면에서 3.25mm 내부인 Fig. 3의 A지점에서 5회 측정후 평균하였다.

충격시험은 상온에서 길이 55mm, 노치가 2mm인 표준 시편을 제작하여 샤르피 충격시험(CI-NO. 30)을 하였다.

부식시험은 10mm×10mm×10mm크기의 시편을 황산 5%, 증류수 95%를 혼합한 수용액에서 40분 동안 비등상태로 유지한 후, 부식 감량을 구하는 방법으로 하였다.

**3. 실험결과 및 고찰**

**3.1 회수재 사용이 제 성질에 미치는 영향**

인장강도, 경도, 충격, 부식 시험을 한 결과, 회

수재의 차수와 재성질과의 관계는 일관된 경향을 보이지 않았다. 그 이유는 Table 1에서 나타낸 바와 같이 불순물이 P, S의 조성이 유도 용해로 인해 모든 경우에 비슷한 값을 나타내기 때문인 것으로 사료된다. 즉, 회수재의 차수를 늘리더라도 불순물에 의한 오염이 거의 되지 않기 때문에 회수재의 차수가 아닌 용해시 발생한 화학적 조성의 변화에 의하여 재 성질들이 변화하였기 때문으로 사료된다.

**3.2 조성의 변화가 기계적 성질에 미치는 영향**

회수재의 사용에 따른 재 성질의 상관관계가 나타나지 않았기 때문에, 회수재를 사용한 것은 고려하지 않고, 성분원소의 화학적 조성과 기계적, 화학적 성질과의 관계로 나타낸 것이 Fig. 4, 5, 6, 7, 8이다.

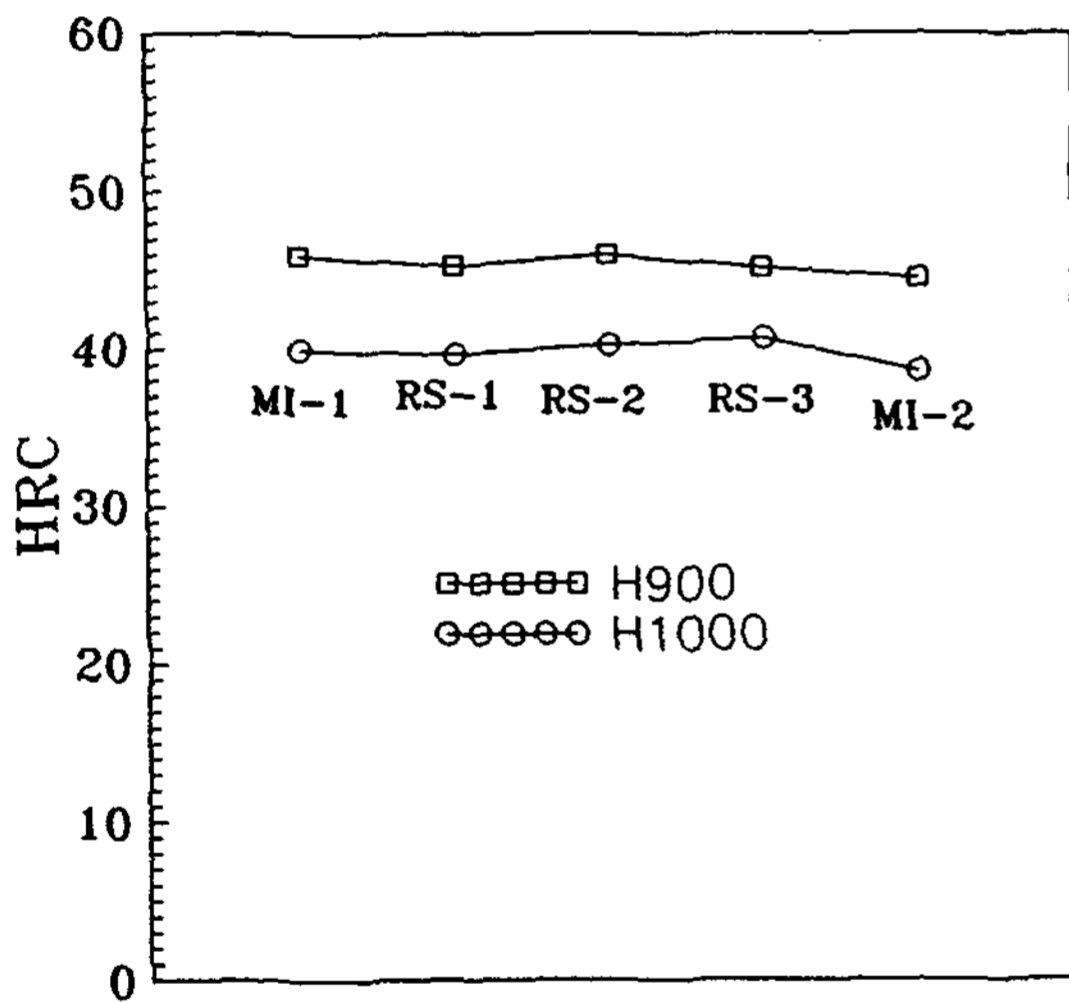


Fig. 4. Effect of returned scrap on the hardness

Fig. 4는 경도값을 나타낸 것인데 master ingot를 사용한 MI-1,2와 회수재를 사용한 RS-1,2,3의 모든 시료에서 거의 일정한 값을 나타내고 있다. 이러한 이유는 경도를 상승시키는 성분과 경도를 저하시키는 성분의 복합적인 작용에 의한 것이라고 생각된다.

Fig. 5와 Fig. 6은 각각 H900조건과 H1000조건에서 Ni의 조성에 따른 인장강도와 연신율을 나타낸 것이다. 이 재료의 인장강도와 연신율은 Cr, Ni, Cu등에 의하여 영향을 받는다.<sup>1),2)</sup> 그러나, Cr의 조성은 모든 종류의 시편에서 거의 비슷하

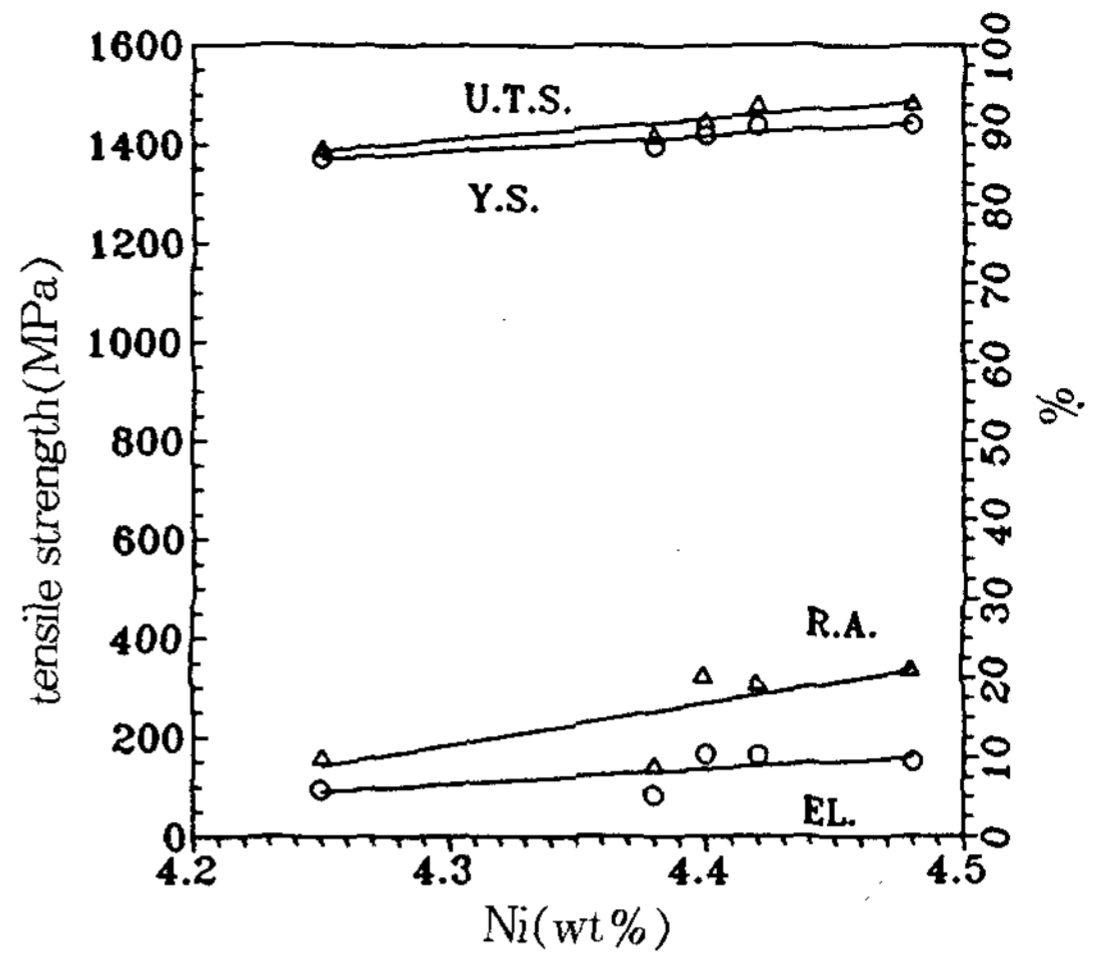


Fig. 5. Effects of Ni on the tensile strength and elongation at H900 condition

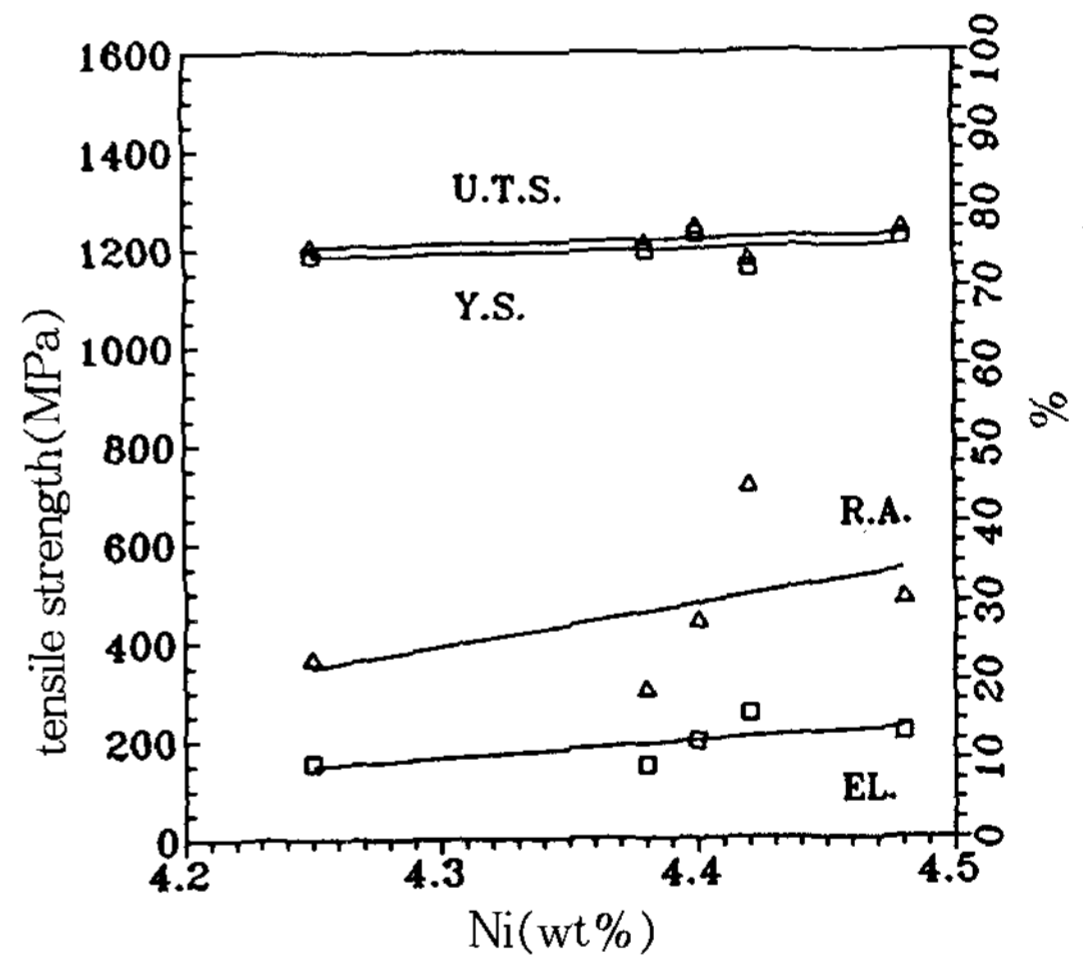


Fig. 6. Effects of Ni on the tensile strength and elongation at H1000 condition

고, Cu는 3%이상에서 조성이 증가에 따라, 강도는 약간 증강하고 연신율은 약간 감소한다.<sup>1)</sup> Ni의 영향은 熊田文勝등<sup>2)</sup>의 보고에 의하면, Ni의 조성이 약 4.5%까지 약간의 강도감소와 거의 일정한 연신율을 나타낸다. 그리고, 시편번호 4,5의 경우만 제외하고 Ni조성의 증가와 더불어 Cu의 조성이 증가하므로, Fig. 5,6에서 Ni의 조성과의 인장강도, 연신율의 관계로 나타내었다. Fig.5,6에서 증가에 의한 최고인장강도, 항복강도는 H900 조건에서는 약 40-50MPa의 증가를 나타내고

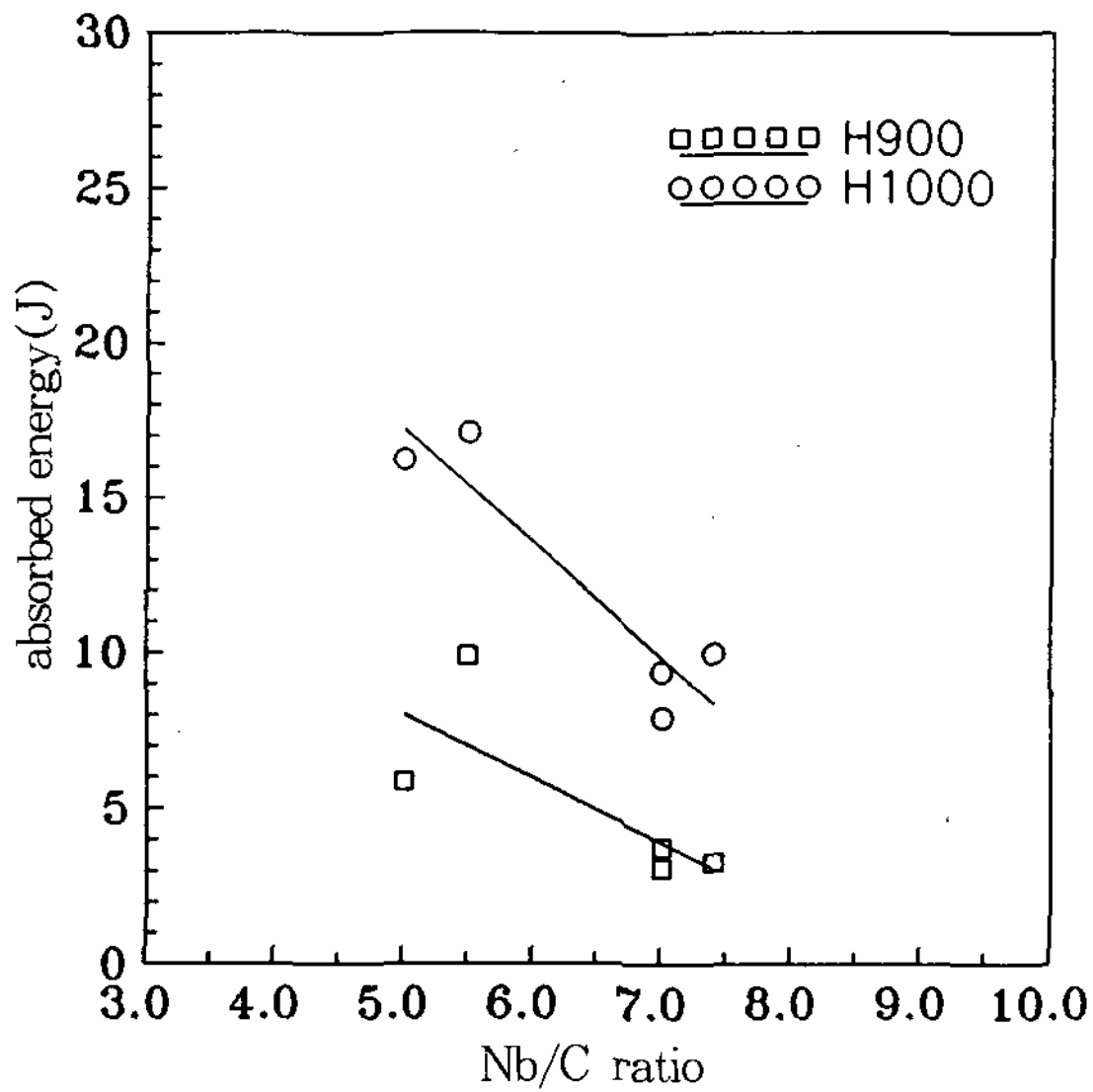


Fig. 7. Effect of Nb/C ratio on absorbed impact energy

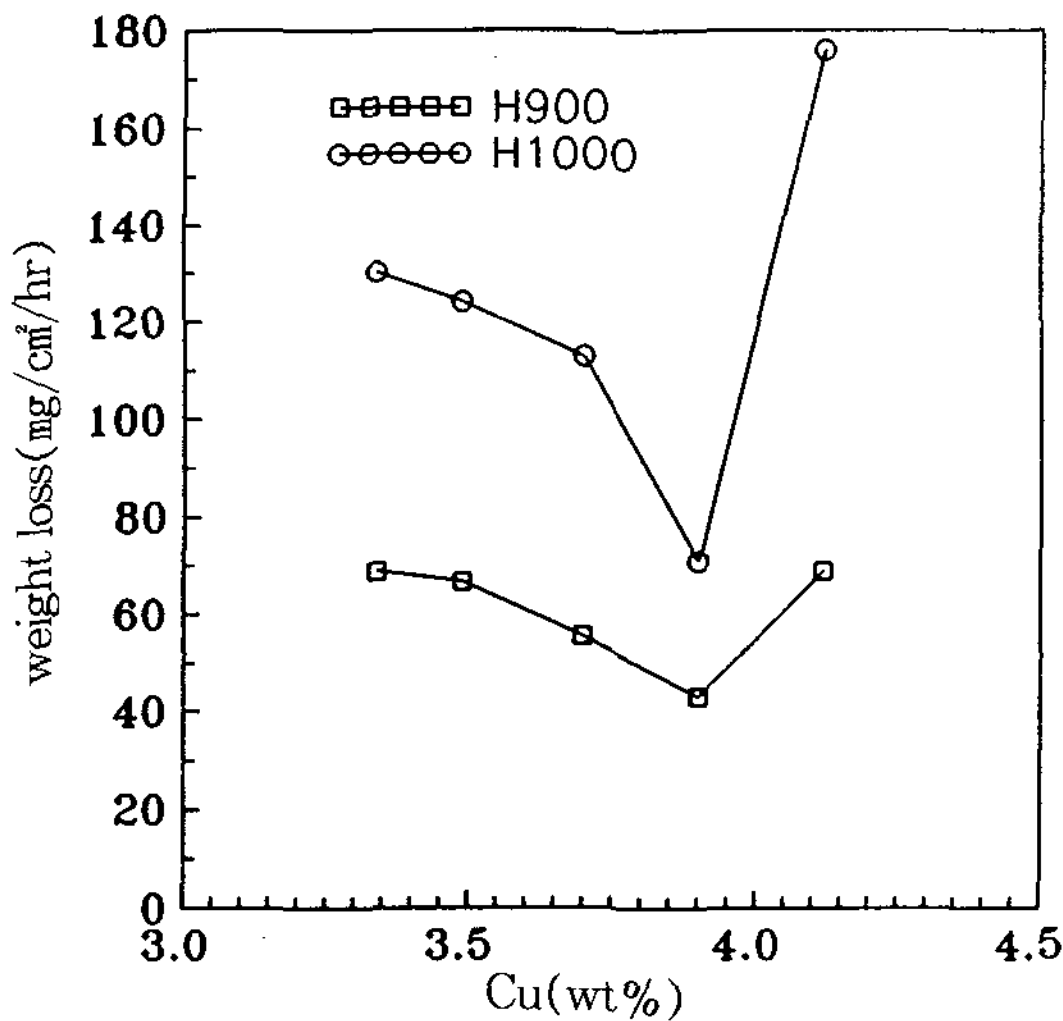
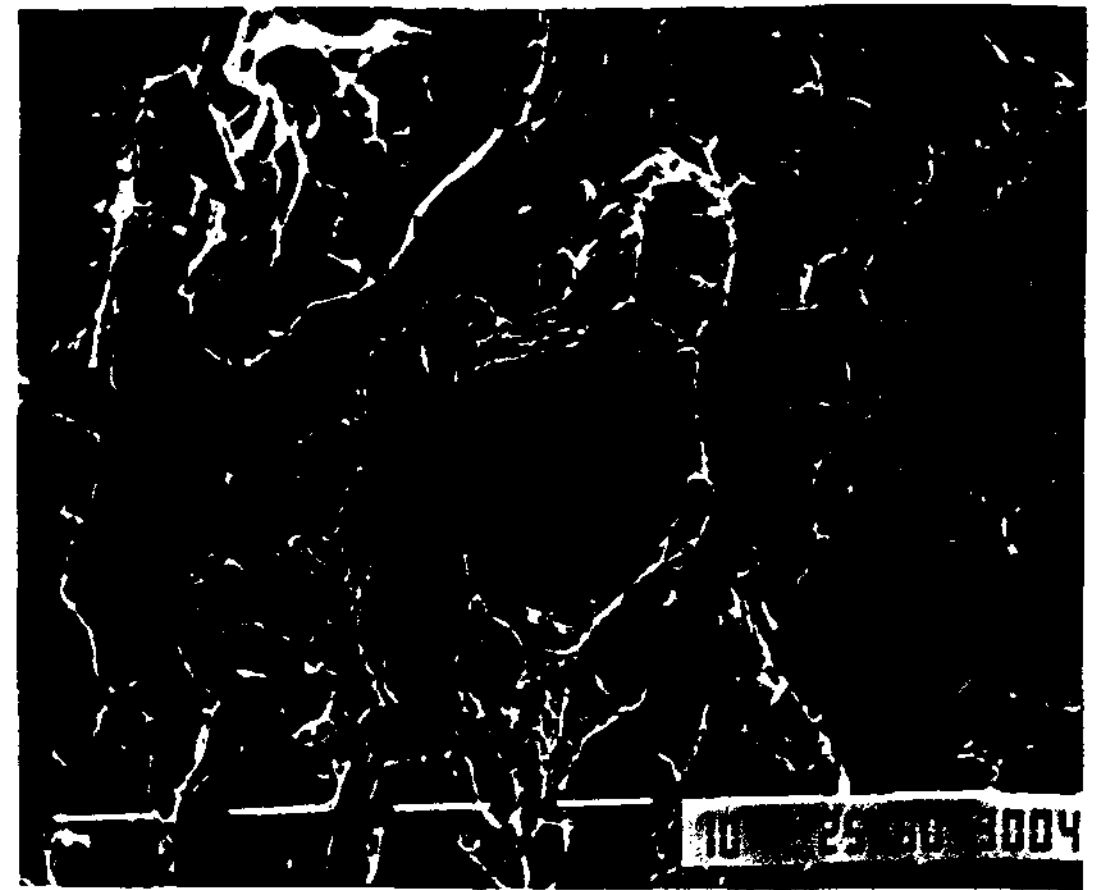
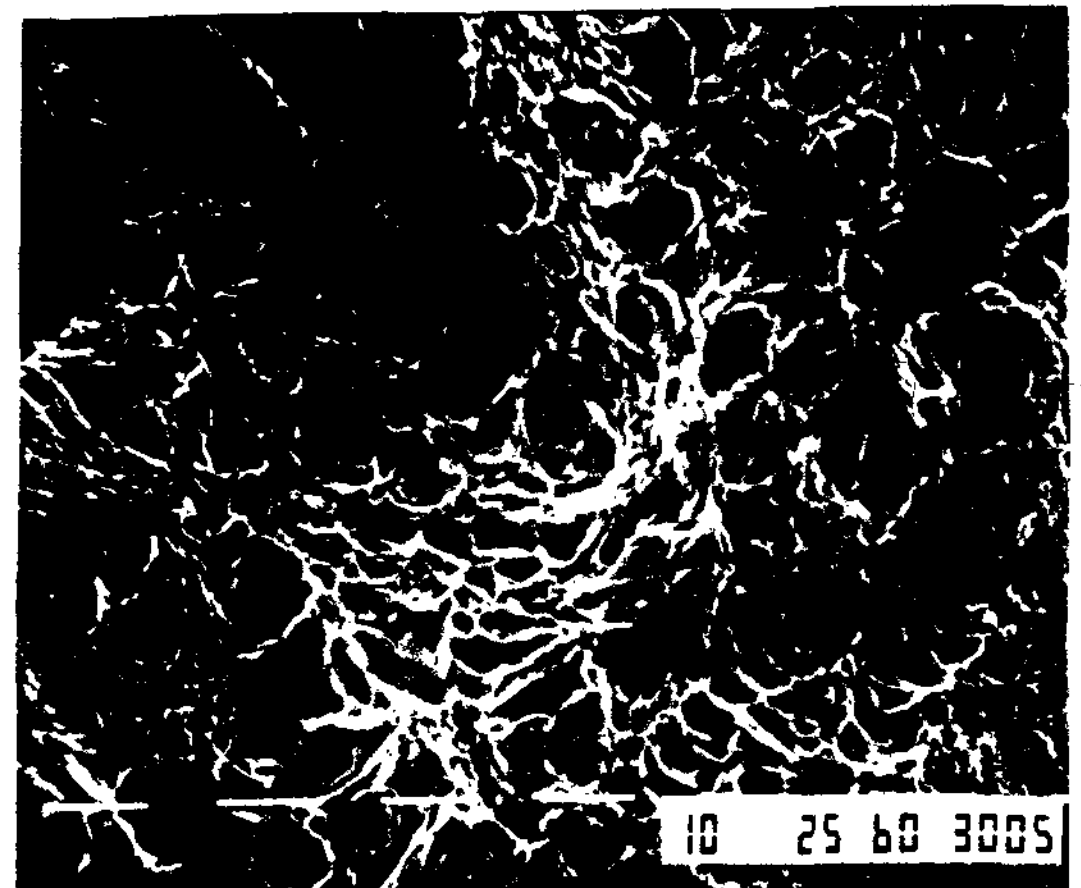


Fig. 8. Effect of Cu on corrosion resistance

H1000 조건의 경우에는 1200MPa로 일정하게 나타나 다른 연구자들의 보고와 일치하였다. 연신율은 Ni이 증가함에 따라 1.5배 정도가 증가하였고, 이것은 熊田文勝<sup>2)</sup>의 보고와 일치하였다. Photo 1.은 주사 전자 현미경(SEM)을 이용한 H900조건과 H1000조건에서 인장시험 후, 파면을 관찰한 것이다. 모든 종류의 시편에서, 상대적으



(a)



(b)

Photo 1. SEM micrography of the fracture surface of (a) H900 condition and (b) H1000 condition

로 낮은 시효온도인 H900조건의 파면은 물결무늬와 편평한 면이 동시에 나타나는 준(quasi) 취성파괴의 모양을 나타내고 있으며, 상대적으로 높은 시효온도인 H1000 조건의 파면은 물결무늬 모양이 나타나는 전형적인 연성파괴의 모양을 나타내고 있다.

Fig. 7은 Nb/C의 값에 따른 충격 흡수에너지의 관계를 나타낸 것이다. 충격흡수에너지는 결정립계에 P의 편석에 의해 저하되며, Nb/C 값을 조절하여 충격흡수энер지를 개선할 수 있다.<sup>3,4)</sup> 이러한 이유는 결정립계에서 P, C의 상호작용으로 사료된다. R. Moller<sup>5)</sup>에 따르면 결정립계에서 P, C는 경쟁적으로 편석되며 C가 존재할 경

우 P의 편석은 억제된다. 즉, Nb/C가 6이상에서는 NbC의 형성으로 잉여 C가 없어서 결정립계에 P가 편석되어 충격흡수에너지는 낮게 나타나고, 6이하에서는 NbC를 형성하고 남은 C가 결정립계에 편석되어 P의 편석을 막기 때문이다. 그림에서도 Nb/C의 값이 낮은 5, 5.5인 경우에는 높게 나타나고, Nb/C의 값이 높은 7, 7.4인 경우에는 낮게 나타났는데, 이는 R.D.K.Misra 등<sup>3),4)</sup>의 결과와 일치한다.

### 3.3 조성의 변화가 화학적 성질에 미치는 영향

Fig. 8은 부식시험 후 Cu의 조성에 따른 부식감량과의 관계를 나타낸 것이다. 내식성에 영향을 끼치는 주된 원소로는 Mo와 Cu가 있는데<sup>6)</sup> Mo의 조성은 모든 시료를 통하여 거의 일정한 값을 나타내고 있기 때문에 Cu 조성의 영향으로 생각하고 Cu와의 관계를 나타내었다. H1000 조건에서 H900조건보다 더많은 부식이 일어난 것으로 나타나는데, 이는 岡本正三等<sup>1)</sup>의 보고에서 시효온도가 상승할수록 부식에 대한 저항성은 감소한다는 보고와 일치한다. 그리고 Cu가 4%부근에서 영역에서 가장 좋은 내식성을 나타내었고, 4%에서 멀어질수록 내식감량은 증가하였다.

## 4. 결론

17-4HP 주강을 주조할때, 용해재료로 차수가 높은 회수재를 사용하더라도 불순물의 오염이 거의 없었고, 조성의 변화와 관련하여 나타난 기계적, 화학적 성질의 결과가 다른 연구자들의 보고와 거의 일치하는 점으로 보아 제조한 시료의 기계적, 화학적 성질은 회수재의 차수와는 거의 무관한 것으로 판단된다. 즉, 회수재를 사용하여 고품위의 주물을 제조하기 위해서는 불순물의 오염을 최소화 하고, 인장강도와 연신율에 영향을 미치는 Cr, Cu, Ni, 내식성에 영향을 끼치는 Cu, Mo, 충격값에 영향을 미치는 Nb, C등 중요한 첨가원소의 조성을 조절하여 주는 것이 최대 관건이라 시료된다.

## 후 기

본 연구는 생산기술연구원의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다. 그리고 본 연구를 수행하는데 많은 도움을 준 천지산업의 이광호 과장님, 주호술 대리, 이재섭씨에게 감사드립니다.

## 참고문헌

- 1) 岡本正三, 岡田千里, "17Cr-4Ni-4Cu 型不銹鋼に關する研究(第1報), 鑄造材の諸性質に及ぼす Cu, C, N の影響," 日本金屬學會誌, 第22卷(1958), 第7號, p.336
- 2) 態田文勝, 飯島史郎, 松本克夫, "17-4PH鑄鋼の引張性質に及ぼす化學組成の影響," 鑄物, 第51卷(1979), 第3號, p.136
- 3) R.D.K.Misra, C.Y.Prasad, T.V.Balasubramanian and P.Rama Rao, "Effect of Phosphorus Segregation on Impact Toughness Variation in 17-4 Precipitation Hardened Stainless Steel", Scripta METALLURGICA, Vol.20(1986), p.713
- 4) R.D.K.Misra, C.Y.Prasad, T.V.Balasubramanian and P.Rama Rao, "On Variation of Impact Toughness in 17-4 Precipitation Hardened Stainless Steel", Scripta METALLURGICA, Vol. 21 (1987), p.1067
- 5) R.Moller and H.J.Grabke, "Grain Boundary Segregation of Phosphorus in Fe-Nb-P and Fe-Nb-C-P Alloys", Scripta METALLURGICA, Vol.18 (1984), p.527
- 6) 笹倉利彦, 九重常男, 新特喜一郎, "析出硬化型ステンレス鋼の諸性質に及ぼす合金元素の影響", 鐵と鋼, 第52卷(1969), 第9號, p.831