

Connector용 Cu-Ni-Si-P 합금의 특성에 미치는 Ni 및 Si의 영향에 관한 연구

노한신* · 이병우 · 이광학 · 김홍식

울산대학교 금속공학과

*(주) 풍산품질관리부

A Study on the Influence of Ni and Si Content on the Characteristics of Cu-Ni-Si-P Alloy for Connector Materials

H Han Sin Noh*, Byoung Woo Lee, Kwang Hak Lee and Hung Sik Kim 1

Department of Metallurgical Engineering, University of Ulsan, 680-749

*Department of Quality Control, Pung San Company, Inc. 689-890

초 록 강도, 도전율, 스프링성, 내열성 및 굽힘 가공성등의 적절한 조화를 갖는 콘넥팅재료를 개발하기 위하여 Cu-Ni-Si-P 합금에 대하여 연구하였다. Ni와 Si의 조성을 달리한 3종류의 합금을 용해, 주조하여 약 900°C에 열간압연 후 수냉하고, 그 후 냉간압연하여 450°C, 500°C 및 550°C에서 시효처리한 후 기계적성질 변화와 도전율 등을 조사하였다. 고강도와 고전도율의 적절한 조화를 나타내는 Cu-2.7%Ni-0.53%Si-0.029%P 합금을 만들었다. 합금 1을 0.5mm두께의 콘넥팅재료로 가공한 후 여러가지 특성은 인청동(C5210R-H)과 황동(C2600R-EH)에 비해 우수한 것으로 평가되었다.

Abstract Cu-Ni-Si-P alloys have been studied in order to develop connector material which has a favorable combination of strength, electrical conductivity, elastic limit, thermal softening resistance and bend formability. Three kinds of trial alloys with various nickel and silicon content were melted and cast, hot rolled at about 900°C and cold rolled. Mechanical properties and electrical conductivities of these alloys annealed at 450°C, 500°C and 550°C were investigated. An alloy with the composition of Cu-2.7%Ni-0.53%Si-0.029%P, which shows a favorable combination of high strength and high electrical conductivity, has been developed. Various characteristics of the alloy 1 connector material were evaluated and compared with phosphor bronze(C5210R-H) and brass(C2600R-EH) connector material.

1. 서 론

전자기기의 기능발전에 따라 이것을 구성하는 부품이 점차 소형화 및 정밀화 되어가는 추세이며, 이용되는 부품재료 또한 다양한 특성과 높은 신뢰성이 요구되고 있다. 전자기기의 주요부품인 Connector용 재료의 요구 특성으로 강도와 도전율이 크고 Spring성이 양호하며, 고온에서의 내Creep성이 우수할 것 등이 있다. Connector용 재료로서는 표1에 보인 바와 같이 다양한 종류의 동합금이 쓰이고 있으나, 그 중에서도 황동 및 인청동이 가장 많이 사용된다. 황동은 성형성과 가공성이 좋으

나 내응력부식균열성이 불량하여 신뢰성의 관점에서 사용상 제약을 받아왔다. 인청동은 황동보다 신뢰성이 커 대체합금으로 널리 사용되어 왔으며, 그 수요가 계속 증가하고 있다. 그러나 인청동 역시 값비싼 Sn을 다량 함유하기 때문에 고가이며, 고온에서의 내 Creep성이 불량하고 도전율이 낮다는 등의 단점을 갖고 있다. Cu-Ni-Si-P합금은 1927년 Corson¹⁾에 의해 발견되어 Corson합금이라 불리우는 석출경화형합금으로 상변태도 (그림 1)와 같이 석출경화에 기여하는 것은 Ni, Si합금으로 알려져 있으며, 北風敏三²⁾은 2.4%Ni와 0.4%Si를 갖는 동합금에 0.16%P를 첨가하여

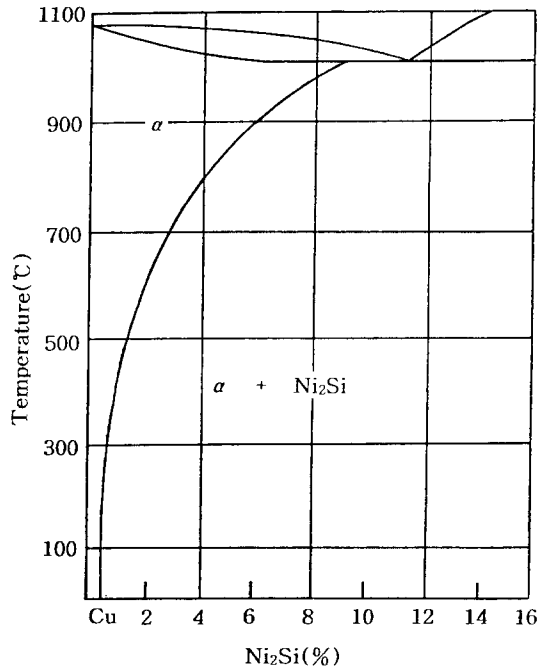


Fig. 1. Phase diagram for Cu-Ni₂Si dual base

800°C에서 용체화처리하여 급냉하고 350~650°C에 시효처리 후 냉간가공을 할 경우 P 첨가로 인장강도와 도전율이 함께 증가함을 알았다. 또한, Dies³⁾은 0.85~4%와 0.4~0.8% Si를 갖는 동합금에서 시효처리시 재료의 연성 및 가공성을 개선하기 위해 시효처리전 재료의 소성변형을 가해 모상내의 슬립밴드에 석출물을 형성시켜 입계석출을 억제해야 한다고 보고 하였으며, Robertson⁴⁾은 1.73~1.93% Ni과 0.51~0.73%Si를 갖는 동합금을 850°C에서 용체화처리하여 수행한 후 냉간 가공을 거쳐 300~450°C에서 시효처리한 경우 Ni₃Si 화합물이 슬립밴드에 석출된다고 보고하였다. Teplitsky 등⁵⁾은 Ni와 Si사이의 화학양론적비 (Ni/Si=4.18)를 만족시켜 2.8%Ni와 1.3%Si를 갖는 동합금을 1000°C에서 용체화처리하여 수행한 후 450~700°C에서 4시간 시효처리 했을 때 Orthorhombic구조를 갖는 Ni₂Si석출물이 형성된다고 하였다. 김영길 등^{6~8)}은 0.5~2%Ni, 0.1~0.4%Si 및 0.01~0.06%P를 갖는 동합금을 950°C에서 용체화처리하여 수냉 후 350~550°C에 시효처리하여 화학양론적비, P, 시효처리 전 냉간가공등의 기계적성질과 도전율에 미치는 영향을 보고하였다. 또한, 실

용 Cu-Ni-Si-P 합금의 강화는 Ni-Si 및 Ni-P 화합물의 시효석출경화, 결정립 미세화에 의한 강화 및 소성변형에 의한 가공경화등의 단독 또는 복합작용으로 이루어진다^{9~17)}. 한편, (주)풍산에서는 Cu에 Ni, Si 및 P를 첨가하여 Ni₃P와 Ni₂Si형태의 화합물로 석출시키고, 결정립을 미세화시켜주므로써 높은 강도(540MPa이상)와 전기전도도(60%IACS이상)를 갖는 Cu-Ni-Si-P 합금(PMC102)를 개발하여 반도체용 Lead frame소재로 큰 성과를 얻고 있다. 그러나 이 합금은 강도와 Spring 성등이 Connector용 재료에 요구되는 수준에 미치지 못하는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 앞에서 언급한 Connector용 재료들이 갖고 있는 단점을 개선한 새로운 동합금과 그 제조법을 개발하고자 하였으며, 개발합금의 특성은

- (i) 인장강도 640MPa이상일 것.
 - (ii) 도전율 55%IACS이상일 것.
 - (iii) 내열성이 인청동보다 우수할 것.
 - (iv) 기타 Connector용 재료에 요구되는 여러특성을 만족시킬 것.
- 등을 기본목표로 하였다.

우선 기존의 Cu-Ni-Si-P 합금(PMC102)에서 Ni 및 Si조성을 달리한 3종류의 합금을 대상으로하여 동일조건으로 가공 및 시효처리한 후, 시효조건에 따른 기계적성질과 도전율의 변화를 조사하여 그 가운데 특성이 가장 우수한 합금을 선정하였다. 다시 선정된 합금을 Connector용 재료의 제품치수로 가공한 후 기계적성질, 도전율등 기본특성외에 실용상 중요특성인 Spring성, 굽힘가공성, 내열성 등을 기존의 Connector용 재료인 인청동, 황동 및 PMC102 등과 비교평가하였다.

2. 실험방법

2.1 시편

2.1.1 용해 및 주조

99.9%이상의 순도를 갖는 전해 Cu, 전해 Ni 및 금속 Si과 13.5% P-Cu모합금을 고주파 유도로에서 목탄 피복하에 대기 용해한 다음 연속주조법에 의해 두께 160mm×폭 630mm×길이 3400mm의 주괴를 만들었다. 주조직전 용탕으로부터 시료를 채취하여 X선 형광분석기

Table 1. Physical and mechanical properties of various connector materials

특성 \ 품종	C5210R-H (인청동)	C7701R-H (양백)	C2600R-EH (황동)	CDA725-EH	KLF5-H	PMC102-EH
화학성분 (wt%)	Cu Bal. Sn 8.0 P 0.15	Cu Bal. Ni 18 Zn 27	Cu Bal. Zn 30	Cu Bal. Ni 9.0 Sn 2.3	Cu Bal. Sn 2.0 Fe 0.1 P 0.03	Cu Bal. Ni 1.5 Si 0.3 P 0.03
비중	8.80	8.69	8.55	8.90	8.90	8.91
탄성계수 (10 ⁴ MPa)	9.8	12.7	11.0	14.2	12.1	12.7
전기전도도 (%IACS)*	11	5.5	28	11	35	62
열전도도 (W/m-K)	63	29	120	46	134	260
인장강도 (MPa)	647	666	568	608	540	558
0.2% 항복강도 (MPa)	568	540	490	440	-	520
연신율 (%)	20Min.	4Min.	6Min.	9Min.	7	6
경도 (Hv)	200	200	170	180	150	160
Spring limit(MPa)	390	480	200	290	390	290

* : 이 도전율의 단위는 1913년 소둔된 순동의 고유저항 20°C에서 1.7241 μΩcm이었을 때 이것을 표준으로 하여 100%IACS(International Annealed Copper Standard)로 정한 것으로 모든 재료의 도전율은 이와 비교하여 백분율로 표시된다.

Table 2. Chemical composition of cast slabs(wt. %)

Alloy	Ni	Si	P	Cu
1	2.74	0.53	0.029	Bal.
2	2.90	0.24	0.029	Bal.
3	1.46	0.26	0.027	Bal.

* : Alloy 3=PMC102

로 성분을 분석하였으며, 그 결과를 표2에 나타내었다.

2.1.2 압연 및 시효처리

이들 주괴를 900°C에서 두께8mm로 열간압연하여 수냉한 후 용체화처리됨, 표면의 산화스케일 및 결함제거를 위하여 양면을 0.4mm씩 밀링하였다. 계속하여 두께 1.5mm까지 냉간압연한 재료를 시험로에서 450°C, 500°C 및 550°C호 1~12시간 시효처리를 수행하고 경도, 인장강도 및 도전율을 측정하여 시효처리

조건에 따른 물성의 변화를 조사하였다.

2.1.3 재료가공

Alloy 1에서 1.5mm두께로 냉간압연된 재료를 시험용 압연기에서 다시 0.7mm두께로 냉간압연하고 450°C에서 10시간 동안 시효처리한 후 0.5mm두께로 냉간압연하였다. 이 냉간압연된 시료의 잔류응력제거와 Spring성 개선을 위해 450°C의 Tension Annealer(이 장치는 장력을 부과한 상태에서 소둔을 실시하는 설비로 현장에서는 생산성 고려라는 관점에서 잔류응력 제거와 스프링성 개선을 위해 고온에서 단시간 열처리하는 공정이며, 현재 이 설비는 량산체계로 외국에서도 이 설비를 실제 가동하고 있음)에서 1분간 열처리한 후 최종시편으로 하였다. 또한, 비교시편으로는 C5210R-H(인청동), C2600R-EH(황동) 및 PMC102-EH(Alloy 3)을 사용하였다.

2.2 시험방법

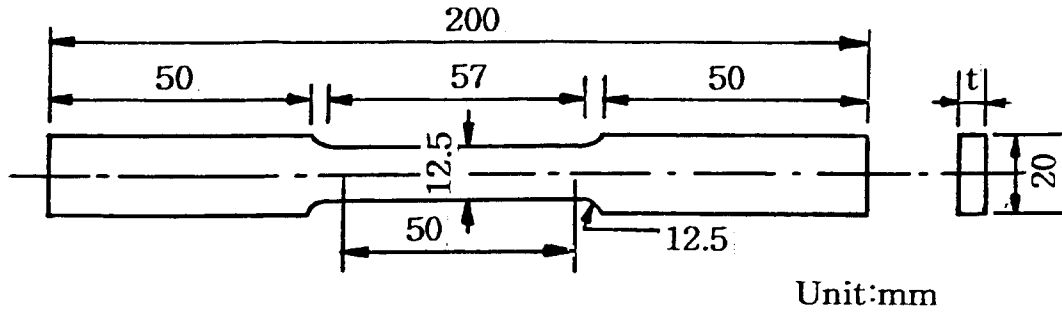


Fig. 2. Specimen for tensile test(ASTM E8)

인장시험은 압연방향에 평행하게 가공한 ASTM E8시편(그림 2)을 만능시험기(Instron 사제, model 1137)에서 최대하중 2.5ton, Cross head speed 10mm/min.의 조건으로 시험하였다. 항복강도는 0.2% offset으로 구했으며, 연신율은 표점거리 50mm로하여 표점간 길이변화율로 산출하였다.

또한, 경도시험은 Vickers경도기(Matsuzawa 제, model DVK-1S)를 사용해 하중 5kg, 하중유지시간 15초로 측정하였으며, 도전율은 그림 3의 Kelvin type bridge(Yokogawa제)를 사용하여 전기저항을 측정한 후 중량법으로 산출하였다. 시편의 길이는 650mm로하여 그림 3처럼 시편양끝에 3A의 일정전류를 흘려 전기저항(R)을 측정하고, 다음식에 의해 도전율을 환산하였다.

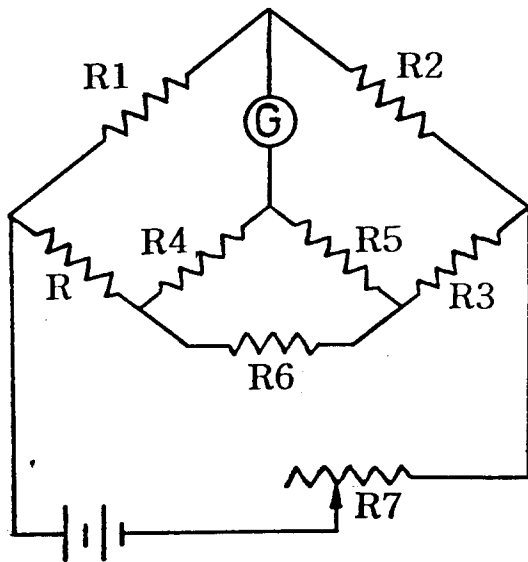


Fig. 3. Kelvin type double bridge

$$EC = \frac{C}{\frac{Rt \times m}{L_1 \times L_2} (1 + \alpha_{20}(20 - t))} \times 100$$

여기서, EC : 도전율 (% IACS)

Rt : t°C에서의 시편의 전기저항(Ω)

m : 시편의 전질량(g)

L₁ : 전기저항 측정단자 사이의 거리(mm)

L₂ : 시편의 전길이(mm)

t : 측정시의 온도(°C)

α : 20°C에서의 정질량 온도계수 (0.00393)

C : 0.15328

Spring limit시험은 JIS H 3130에 따라 Spring tester(Akashi사제, model SSF)를 사용하여 측정하였다. 폭 10mm, 길이 200mm의 시편을 압연방향에 평행하게 절취해 시편의 한 끝을 고정시킨 후 다른 한 끝의 부하점에 추를 접촉시켜 굽힘변위를 주었다(그림 4). 시험은 굽힘변위량을 편심 Roller의 조절로 단계적으로 증가시키면서 각 측정시마다 200cycles/min.의 속도로 50회 반복굽힘을 주고나서 그 때마다 부하점의 영구변형을 측정해 이 영구변형이 0.1mm를 초과할 때 까지 행하였다. 영구변형이 0.1mm에 상당하는 최대표면응력을 다음식에 의해 구하고, 이를 Spring limit로 하였다.

$$Kb = \frac{1.5 \times F \times t \times E}{L^2}$$

여기서, Kb : 표면최대응력치(Spring limit, N/mm²)

E : Young율(kN/mm²)

F : 부하점의 굽힘변화량(mm)

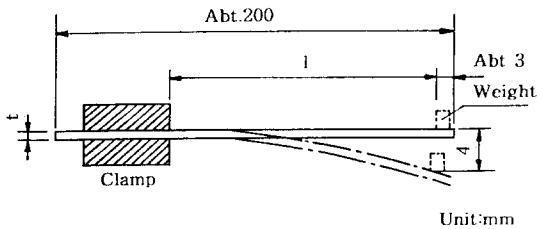


Fig. 4. Schematic diagram for spring test

t : 시편의 두께(mm)

L : 시편의 길이(mm)

굽힘가공성 시험은 폭 5mm와 길이 50mm의 시편을 압연방향에 평행 및 수직으로 각각 절취해 90°C 반복굽힘을 행하여(그림 5), 1항복을 1회로 하여 파단까지의 굽힘 횟수를 측정하였으며, 각 5개의 시편을 시험하여 평균치를 구하였으며, 내열성 시험은 시험로에서 100°C~600°C로 5분간 가열한 후 5kg 하중으로 Vickers경도를 측정해 최초경도의 80%가 유지되는 온도를 산출하여 내열온도로 정의하였다.

조직관찰은 시편을 마운팅하여 0.5μ까지 연마한 후 4ml의 질산, 3ml의 황산, 1g의 염화암모늄, 3.5g의 중크롬산 칼륨과 물 100ml 비율로 섞은 용액에 15초 동안 부식시킨 후, 주사전자현미경(Scanning electron microscope,

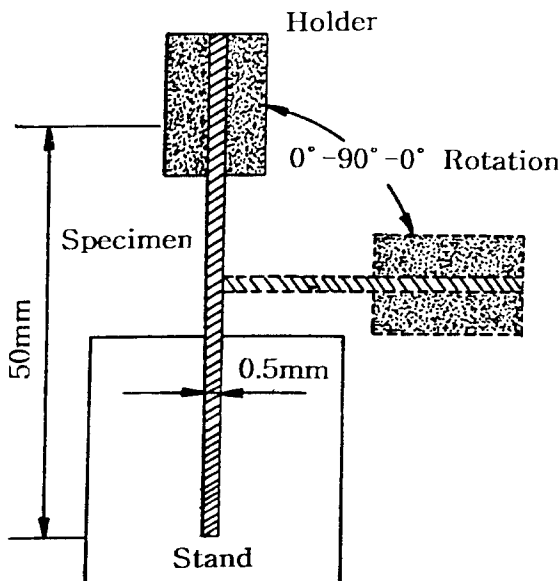


Fig. 5. Schematic diagram for multiple 90°C bend test

SEM)을 이용하여 그 조직을 관찰하였으며, X선 회절분석은 석출물을 조사하기 위하여 X선 회절분석을 행하였다. 분석용시료는 Matrix를 HNO₃ 30%용액에서 용해하여 석출물을 분말로서 농축, 추출후 사용하였다. X-ray diffractometer(Rigaku사제, model 290612-A14)에서 Ni-filtered Cuk α radiation($\lambda=1.542\text{Å}$), Scanning speed $2\theta=0.5^\circ/\text{min}$ 의 조건을 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 시효처리에 의한 물성변화

이들 합금의 물성은 시효시간과 시효온도에 따라 변하기 때문에 본 실험에서는 우선 최적 시효조건을 찾기위해 열간압연후 1.5mm두께로 압연된 재료를 450°C, 500°C 및 550°C에서 시효처리하여 시효시간과 인장강도, 경도 및 도전율사이의 관계를 조사하였다. 그림 6~그림 11에서는 인장강도 및 경도와 시효시간사이의 관계를 나타내었으며, 모든 곡선은 동일시효온도에서는 거의 동일한 시효시간에 Aging peak가 나타나는 형태를 보이고 있다. 이는 시효에 의해 석출된 Ni₂Si 및 Ni₃P화합물과 모상이 정합계면(Coherent interface)을 형성하는 전위의 이동을 억제시키므로써 인장강도와 경도가 증가되어 나타나는 것으로 생각된다. Aging peak는 450°C에서 4~5시간, 500°C에서는 1~2시간, 그리고 550°C에서 1시간 이내 시효시 나타나며, 시효온도가 높을수록 빠르게 나타나는 경향이 있는데, 이것은

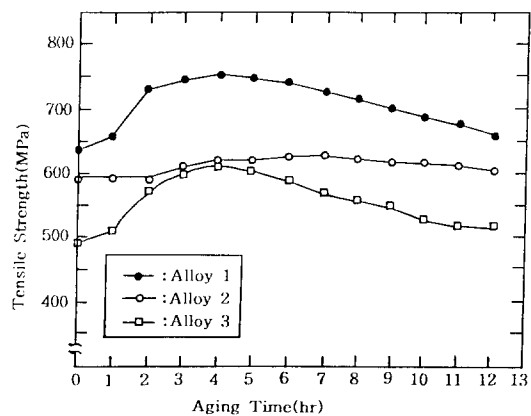


Fig. 6. Change in tensile strength of specimens during annealing at 450°C

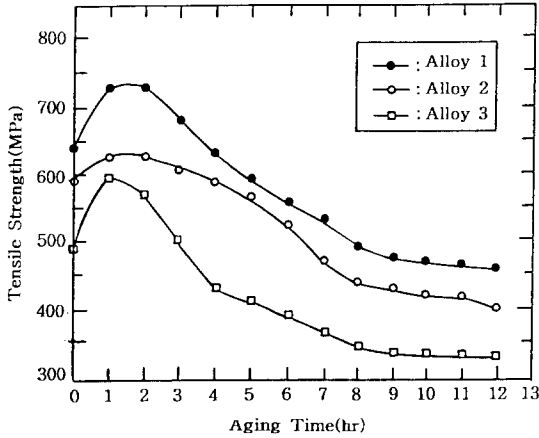


Fig. 7. Change in tensile strength of specimens during annealing at 500°C

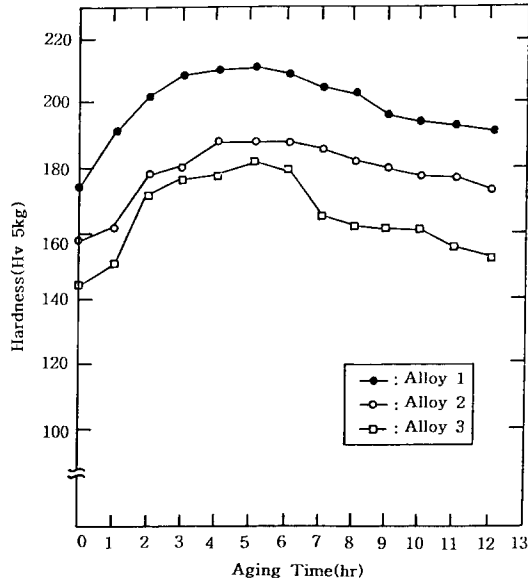


Fig. 9. Change in hardness of specimens during annealing at 450°C

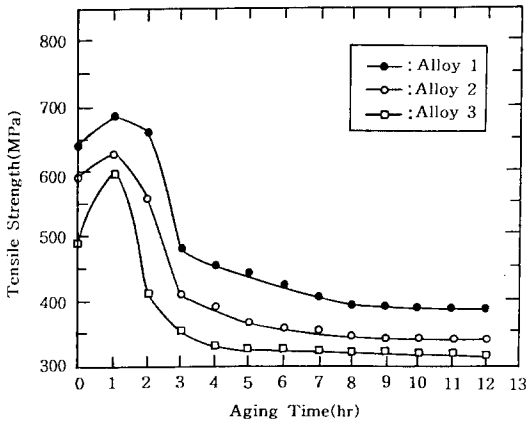


Fig. 8. Change in tensile strength of specimens during annealing at 550°C

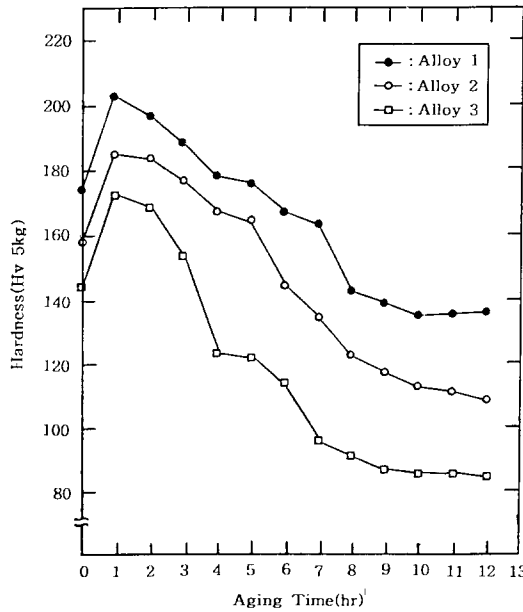


Fig. 10. Change in hardness of specimens during annealing at 500°C

시효온도가 높을 수록 확산속도가 커져 석출이 촉진되는 것으로 사료된다. Aging peak에 도달한 후에는 인장강도와 경도가 다시 감소되는데, 이는 과시효로 인해 석출물이 조대성장되어 모상과 부정합상태가 된 것으로 보여진다. 그림 12~그림 14에서는 도전율과 시효 시간사이의 관계를 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이, 도전율은 시효시간의 경과에 따라 계속 증가하다가 안정화되며, 또한 합금들의 시효전 초기 도전율은 30%IACS 전 후로 거의 차이가 없으나 시효시간의 경과에 따른 변화는 합금들 사이에 큰변화를 보여 Ni₂Si의 조성비(Ni₂Si의 원자량비=4.18)를 따르는 Alloy 1과 Alloy 3의 경우 시효진행에 따라 도전율의 현저한 증가를 보이지만, Ni₂Si 조성

비보다 Ni을 과잉으로 함유한 Alloy 2의 경우는 비교적 낮은 수준에 머무르는 것으로 나타났다. 이는 Alloy 1과 Alloy 3에서는 함유된 Ni와 Si의 전량이 석출물을 형성하지만 Alloy 2에서는 석출물을 형성하고 잔존하는 Ni가 모상에 고용되어 도전율을 저하시키는 것으로

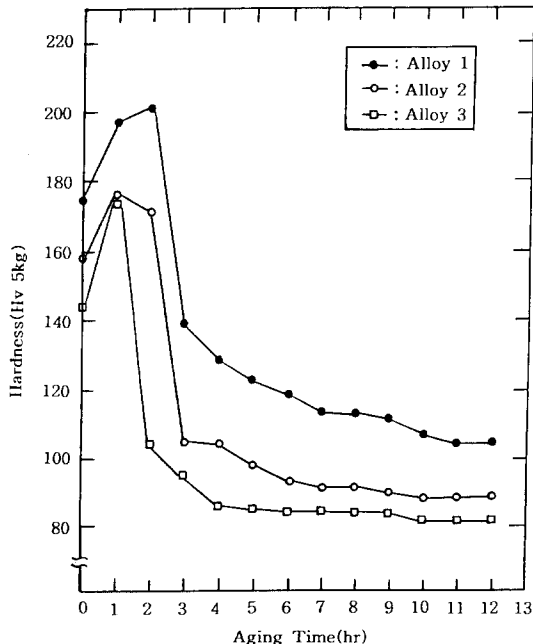


Fig. 11. Change in hardness of specimens during annealing at 550°C

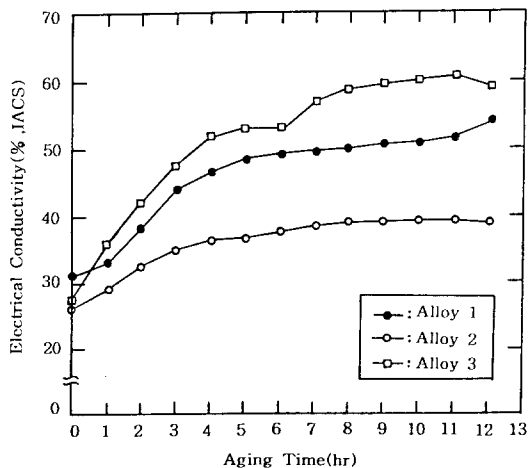


Fig. 12. Change in electrical conductivity of specimens during annealing at 450°C

사료된다. Aging peak와 10시간 시효된 상태에서 각 합금물의 물성을 표3에 별도로 정리하였다. Aging peak에서 Alloy 1의 인장강도는 740~675MPa, Vickers경도는 211~201에 달해 Alloy 2와 Alloy 3(PMC102)에 비해 월등히 높게 나타났으나, 도전율은 48.4~47.1% IACS로 Alloy 3의 56.0~51.2% IACS에 비

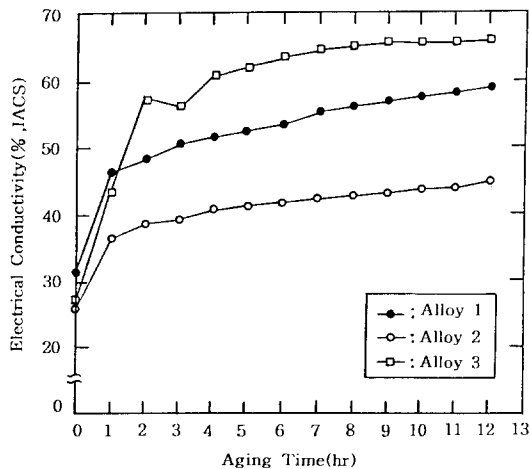


Fig. 13. Change in electrical conductivity of specimens during annealing at 500°C

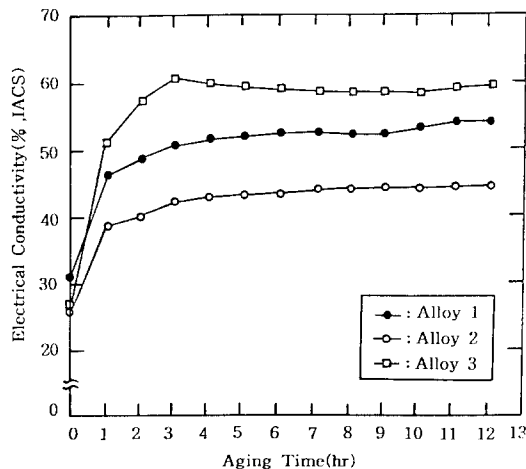


Fig. 14. Change in electrical conductivity of specimens during annealing at 550°C

해 떨어졌으며, 목표치인 55% IACS에 미달되었다. 또한, 450°C와 500°C로 10시간 시효된 상태에서 Alloy 1의 인장강도는 680 및 465MPa, Vicker경도는 188 및 134로 Alloy 2와 Alloy 3에 비해 상당히 높게 나타났으며, 도전율은 51.1~57.0% IACS로 Alloy 3의 59.4~65.4% IACS에는 못미치나 목표치인 55% IACS에 근접한 결과를 나타내었다. 550°C로 10시간 시효된 상태에서는 모든 합금의 인장강도와 경도는 크게 떨어지며, 도전율 역시 만족할만한 수준에 이르지못해 너무이른 시기에 과시효가 일어나는 것으로 나타났다. 이상

Table 3. Tensile strength, hardness and electrical conductivity of specimens in aging peak and 10hour-aged states at 450°C, 500°C and 550°C

Aging Temp.	Alloy	Tensile Strength (MPa)		Vickers Hardness (Gv 5kg)		Electrical Conductivity (%IACS)	
		Aging peak	10hour-aged	Aging peak	10hour-aged	Aging peak	10hour-aged
		Properties State					
450°C	Alloy 1	740	680	211	188	48.4	51.1
	Alloy 2	615	605	188	178	36.4	38.9
	Alloy 3	608	515	182	162	52.2	59.4
500°C	Alloy 1	710	465	203	134	48.2	57.0
	Alloy 2	620	410	185	111	38.5	43.5
	Alloy 3	590	328	172	85	56.0	65.4
550°C	Alloy 1	675	380	201	107	47.1	52.3
	Alloy 2	615	340	177	90	38.5	44.0
	Alloy 3	580	310	175	84	51.2	58.7

의 검토결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, Alloy 1과 Alloy 3(PMC102)의 비교로부터 Cu-Ni-Si-P합금에서 Ni₂Si의 조성비를 따르면서 Ni와 Si의 함량을 증가시킴에 따라, 도전율은 약간 감소되나 강도의 현저한 증가가 이루어지는 것으로 나타났다. 또한, Alloy 2와 Alloy 3의 비교로부터 Si와 P의 함량을 일정하게하고 Ni함량만 증가시키는 경우 초과 Ni가 모상중으로 고용됨에 따라 도전율이 현저히 감소되나 강도의 증가는 미미한 수준인 것으로 나타났다.

둘째, Alloy 1의 최종 물성 조합을 나타내는 시효온도는 450~500°C인 것으로 확인되었다. 실제의 제조공정에서는 시효처리후에 냉간가공이 이루어지므로 일단 시효단계에서 55%IACS이상의 도전율이 얻어지면 강도의 부족은 가공경화에 의해 해소될 수 있어 궁극적인 목표로 인장강도는 640MPa이상, 도전율 55% IACS이상을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

3.2 Connector 재료로서의 특성

Alloy 1을 900°C에 용체화처리하고 450~500°C에서 적절한 시간 시효처리하면 인장강도 640MPa이상 도전율 55% IACS이상이 얻어짐을 실험에 의하여 확인하였다. 이상과 같은 최적 시효처리 조건으로 열처리한 Alloy 1의 기계적성질은 표4에 보인바와 같이, 인장강도 670MPa, spring limit 412MPa로서 인장

강도가 633MPa, spring limit가 446MPa인 인청동(C5210R-H)의 기계적성질과 유사하였으며 도전율은 58%IACS로서 인청동의 도전율 11%IACS보다 월등히 높았다. 또한 반도체부품용 lead frame소재로 개발된 Alloy 3(PMC102-EH)의 도전율(64% IACS)보다 Alloy 1의 도전율(58%IACS)이 약간 떨어지나 기계적성질은 Alloy 3보다 Alloy 1의 기계적성질이 현저하게 우수하였다.

그림 15에 Connector재료의 요구특성으로 특히 중요시되는 인장강도와 도전율의 관계를 다른 Connector재료와 비교하여 나타내었다. 이 그림에 의하면 Alloy 1은 C1270R-H 및 PMC102-EH와 함께 강도(670MPa)와 도전율

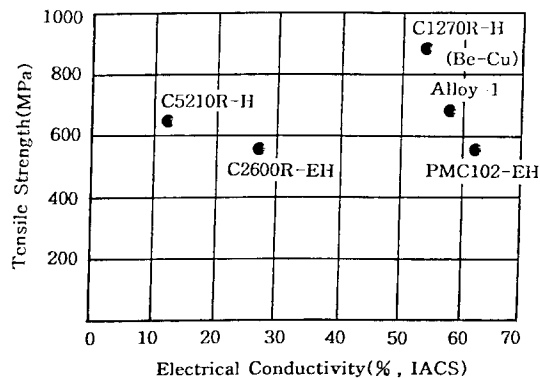


Fig. 15. Relationship between tensile strength and electrical conductivity of connector materials

Table 4. Mechanical properties and electrical conductivity of Alloy 1 and comparative alloys

Alloy	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)	Elongation (%)	Vickers Hardness (Hv 5kg)	Spring limit (MPa)	Electrical Cconductivity (%IACS)
Alloy 1	670	625	05.8	196	412	58.1
C2600R-EH	567	490	7.0	169	255	28.2
C5210R-H	633	569	28.2	204	446	11.0
PMC102-EH (Alloy 3)	565	525	5.6	159	297	64.0

(58% IACS)의 균형이 이루어진 우수한 Connector소재임이 확인된다.

각 시편에 대한 90° 반복 굽힘성은 파단까지의 반복 횟수로 표 5에 나타내었다. 표 5에서 보인 바와같이, Alloy 1의 반복 굽힘성은 C5210R-H에 비해서는 떨어지나 C2600R-EH나 PMC102-EH보다는 우수한 것으로 나타났다. 또한 모든 합금이 Connector재료에 일반적으로 요구되는 수준인 4회 이상은 충분히 만족시킴을 알 수 있었다.

Table 5. Cycles to failure of Alloy 1 and comparative alloys in multiple 90° bend test

Alloy	Perpendicular to Bend Axis rolling direction	Parallel to Bend Axis rolling direction
Alloy 1	12.8	11.1
C2600R-EH	11.3	7.3
C5210R-H	16.3	11.0
PMC102-EH	10.4	8.3

한편, Alloy 1과 비교합금에 대한 가열온도에 따른 경도변화를 그림 16에 나타내었다. 가열후의 경도가 초기 경도의 80%가 되는 온도를 내열온도로 정의하면 Alloy 1은 540°C, C5210R-H는 370°C, C2600R-EH는 320°C, 그리고 PMC102-EH는 480°C로 나타내었다. 따라서 Alloy 1은 C5210R-H에 비해 내열온도가 약 150°C이상 높아, 보다 우수한 내열성을 갖고 있음을 알 수 있었다. Photo. 1은 Alloy 1의 단면조직을 주사전자현미경으로 관찰한 것으로 사진에서 보이는 바와 같이 압연방향으로만 연신된 미세조직을 나타내고 있다. 이것은 Alloy 1을 냉간압연후 시효처리만 하였기 때문에 재결정이 되지 않아 연신된 미세조직이 나타난 것이며 시효처리로 인한 석

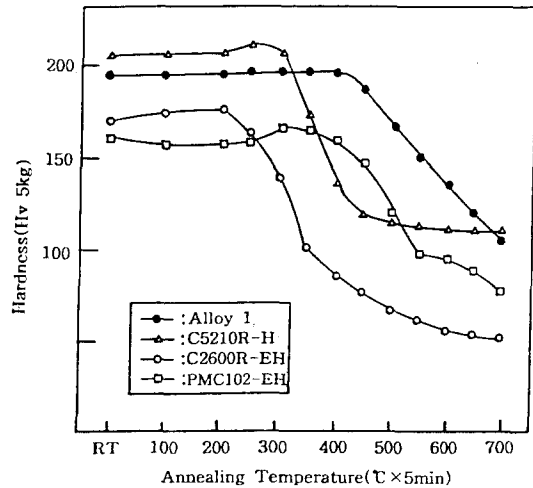


Fig. 16. Softening behaviors of Alloy 1 and comparative alloys

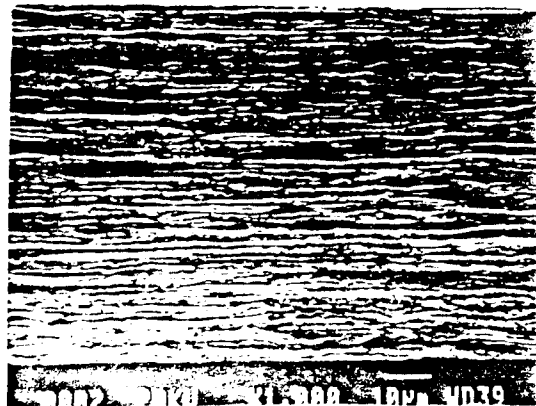


Photo. 1. Scanning electron microscope of cross-section for Alloy 1(×75)

출물은 주사전자 현미경으로 관찰되지 않았으며 투과전자현미경하에서도 잘 관찰되지 않았다. 압연방향으로 연신된 미세조직때문에 기계적성질에 이방성을 나타내지만 표5에 보인

반복굽힘시험 결과에 의하면 압연방향에 평행한 시험결과와 11.1 사이클과 압연방향에 수직인 시험결과와 12.8사이클 사이에는 이방성의 차이가 크지 않음을 알 수 있었다. 한편, 상기 Alloy 1의 사진에서 언급한 바와 같이 석출물의 관찰이 불가능하였으나 시효처리에 의한 물성변화를 미루어 볼때 합금에는 석출물이 형성되어 있는 것으로 간주되며 X선 회절분석 결과 그림 17에 보인 바와 같이 Alloy 1의 석출물의 peak가 확인되었다. 그림 17로부터 Alloy 1의 석출물은 Ni_2Si 이며, 이 석출물로 인해 Alloy 1은 도전율의 저하없이 고강도와 우수한 내열성을 갖는 것으로 사료된다. 아울러 향후 지속적인 실험을 통하여 석출물을 관찰할 수 있는 방안을 강구하고자 한다.

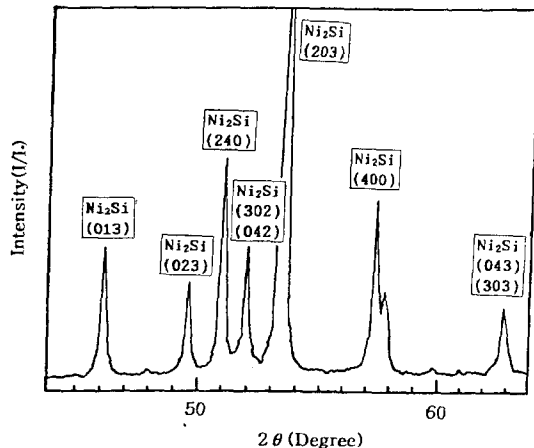


Fig. 17. X-ray diffraction pattern precipitates for Alloy 1

4. 결 론

Ni과 Si의 조성을 달리한 3종류의 Cu-Ni-Si-P합금에 대한 시효처리의 물성변화를 조사하여 강도와 도전율의 Balance가 좋은 Cu-2.74Ni-0.53Si-0.029P합금을 개발하고, 이 합금을 Connector재료로 가공한 후 특성평가를 실시하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1) Cu-2.74%Ni-0.53%Si-0.029%P합금과 Cu-1.46%Ni-0.26%Si-0.27%P합금(PMC102)의 비교로부터, Ni_2Si 의 조성비(Ni/Si=4.18)를 따르면서 Ni과 Si의 함량을 증가 시킴에 따라 도전율은 약간 감소되나 강도가 현저히 증가되어 강도와 도전율의

양호한 Balance가 얻어졌다.

2) Cu-2.90%Ni-0.24%Si-0.029%P합금과 Cu-1.46%Ni-0.26%Si-0.027%P합금의 비교로부터, Si과 P의 함량을 일정하게 하고 Ni함량만을 증가시키는 경우, 초과 Ni의 모상중 고용으로 인해 도전율이 현저히 감소되나 강도의 증가는 미미한 수준으로 나타났다.

3) Alloy 1은 Connector용 재료로서의 요구 특성을 충분히 만족시키며 특히, 도전율과 내열성은 기존의 인청동이나 황동에 비해 뛰어난 것으로 평가되었으며 그 특징은 다음과 같다.

- (1) 인장강도 666MPa과 도전율 58%IACS으로서 고강도와 고전도율을 겸비하고 있다.
- (2) 내열온도가 약 540°C로, 인청동에 비해 150°C 이상 높아 우수한 내열성을 갖고 있다.
- (3) Spring성과 굽힘 가공성이 양호하다.

5. 인용문헌

- (1) M.G. Corson : Proc. Inst. Metals Division, AIME, 435 (1927)
- (2) 北風敬三 : 伸銅技術研究會誌 29, 208 (1990)
- (3) K. Dies : Metall 8(1954), P. 842
- (4) W.D. Rovertson : Trans.AIME, 221, 503 (1961)
- (5) M.D. Teplitsky : Fiz.Met.Metalloved 40 (6), 1240 (1975)
- (6) Y.G. Kim, D.K. Park : US Patent 4466939 (1984)
- (7) Y.G. Kim, T.Y. Seong and J.H. Han : J. of Matrial Science 21, 1357 (1986)
- (8) J.H. Han. : M.S. Thesis, KAIST (1984)
- (9) 山根壽己 : 伸銅技術研究會誌 29 (1990)
- (10) 이동녕 : 금속강도학 (1983)
- (11) 日本伸同協會編 : 同及ひ 銅合金基礎と 工業技術 (1988)
- (12) H. Gleiter : Mater. Sci. Eng. 2, 285 (1967)
- (13) E. Orowan : Proc. Inst. Mech. Eng., 140 (1943)
- (14) E.O. Hall : Proc. Phys. Soc. 243, 747 (1951)

(15) N.J. Petch : Iron steel Inst. 173, 25 (1953)

(17) AMAX Copper Inc. : OFHC brand Copper,

(16) H.Hansen : Act. Met., 24, 863 (1977)

68 (1974)