

현대금속공예용 동합금판의 재료분석과
형질변환 실험 및 응용에 관한 연구

A Study of material analysis and its experimentation of metamorphosis
and its utilities in Copper Alloy plates for contemporary metal craft

주저자 : 임옥수 (Lim, Ock-Soo)

전주대학교 예체능대학 교수

1. 서 론

1-1 실험용 동합금 판의 특징 및 용도

2. 기법실험 1단계

2-1 일반접합실험분석

2-2 TIG 접합실험분석

3. 기법실험 2단계

3-1 망상조지기법의 실험분석

3-2 전해주조기법의 실험분석

4. 실험의 응용

4-1 연구작품 <진화의 꽃> 시리즈의 제작사례

5. 결 론

참고문헌

(要 約)

이 논문은 현재에 통용되고 있는 동합금판 C2200, C5210, C7701, C8113 등의 특징 및 용도와 소재의 재질적 특성을 data화하였고, 그 표현의 가능성을 조사하여 수치화 하였고, 그 기법실험의 1단계로서 일반접합과 TIG 접합에 대하여, 2단계 실험으로서 망상조지기법과 전해주조기법에 대하여 논하였으며, 이 기법을 응용한, 연구작품의 3가지 사례를 다루었다.

이 때 사용한 동합금은 (주)풍산금속 소재기술연구소 이 동우 박사가 지원한 4가지 동합금, 즉 단동, 스프링용 인칭동, 스프링용 양백, 백동을 사용하여, 적층기법, 망상조지기법, 용합기법, 전해주조기법을 작품에 따라서 통합 또는 부분적으로 적용시켰다.

C2200 의 경우, 황동은 2mm이하의 박판(薄板)에서는 교류 TIG 용접법이 좋으며 그 이상에서는 직류 정극성 TIG 용접법으로, 용접에 의한 잔류 응력부식을 열처리를 250~300도에서 행한다.

C5210 의 경우는 고온의 환원성기(還元性氣)중에서도 수소(水素) 취성이 없고 고온에서 O를 흡수하지 않으며, 경화(輕化) 온도도 약간 높아, 용접용으로 매우 적합하다. 일반적으로 Sn을 2-9% P를 0.03-0.4%정도 포함하고 있는데, Sn의 함유량이 증가함에 따라 응고 온도 범위가 광범위해졌으며 용접후의 냉각 시, 열분열 방지에는 TIG용접의 용접속도를 빠르게, 용융지(溶融池)를 작게, 예열 온도는 200도로 하는 것이 좋다.

C7701의 경우는 조성범위가 10-20% Ni, 15-30% Zn의 것이 많이 사용된다. 약 30% Zn 이상이 되면(a+β) 조직이 되어 접성이 낮아지고 냉간 가공성은 저하나 열간 가공성은 좋다. 양백은 또한 전기저항이 높고 내열, 내식성이

좋다.

C8113 의 경우는 내해수성, 내마모성이 우수하며 고온 강도가 높고 백동은 10-30% 니켈을 포함하며 완전히 고용(固溶)해서 단상(單相)이 된다. 이 때문에 결정입(結晶粒)도 크게 되기 쉬우며, 구속이 강한 경우 미량의 Pb, P, S라는 분열 감수성이 높아진다.

(Abstract)

In this research, the copper alloy plates C2200, C5210, C7701, C8113 were selected to make datum and to identify further usage of metal craft experimentation. For its experimentation, the general welding and TIG welding methods were researched; for 2nd experimentation, the Reticulation and Electroforming skill's differences in color and temperature were researched. With these methods 3 different kinds of works are introduced for sample studies. For this research, Dr. Lee, Dong-Woo who works in Poongsan Metal Co, supported 4 kinds of copper alloy metals. Which are Commercial bronze (Cu-Zn), Deoxidized Copper (Cu-Sn-P), Nickel Silver (Cu-Ni-Zn), and White Bronze (Cu-Ni); they were applied partly and wholly by the method of Lamination, Reticulation, Fusing, and Electroforming skills.

In case of C2200, the brass, the A. C. TIG welding method is better under 2mm slight plate; the D.C. TIG welding is better upper 2mm plate; and 250~300°C is recommended for remain heat treatment.

In case of C5210, not having Hydrogen in high temperature return period, doesn't need Oxygen in high temperature and hardening in comparative high temperature neither, it is good for welding. It contains Sn 2-9% and P 0.03-0.4% generally; and in accordance with the growth rate of Sn contain amount, the harden temperature boundary become broad. In case of cold moment after welding, they are recommended that higher speed TIG welding, smaller melting site and less than 200°C for pre-heating temperature.

In case of C7701, the 10-20% Ni, 15-30% Zn are widely used.. If it is upper 30% Zn, it become (α+β) system and adhesive power rate become lower, and the productivity become lower in low temperature but the productivity become higher in high temperature. Nickel Silver's resistance of electricity is well; and the heatproof and incorrodibility is good, too.

Lastly, in case of C8113, good at persistence in salty and grind; high in strength of high temperature. In case of white brass, contain 10-30% Nickel and hardened in high temperature and become single phrase. For these reason, the crystallization particles easily become large, if the resistance become higher small amount of Pb, P, S separation rate become higher.

(Keyword)

C2200, C5210, C7701, C8113, General Welding, TIG Welding, Reticulation, Electroforming,

1. 서론

이 논문의 목적은 21세기에 들어와서 연구자가 이전에 행한 금속공예의 방식을 개선하여, 그동안 행했던 몇 가지의 실험에 대한 내용을 요약하여 학술적인 토대를 세우는데 있다.

이 논문은 지면관계상 여러 가지의 연구가운데에서 동합금을 활용한 금속공예의 방식을 다루고 있으며, 그 가운데에서도 현재에 통용되고 있는 동합금의 소재의 재질적 특성을 data화하고, 그 표현의 가능성을 조사하여 수치화 하는데 있다. 그리고 그 재료를 활용하여 응용하는 몇 가지의 사례를 참고적으로 제시하여 이해를 돕고자 한다.

논문의 서두에서는 연구자가 연구해온 동합금의 재료와 표현기법의 실험에 관하여 다루고자 한다. 또한 본문에서는 구체적인 방법으로 연구자가 선별한 실험용 동합금의 특성과 용접성에 관하여 다루고, 그것을 이용한 몇 가지의 작품제작을 통해서 드러난 사례에 대하여 논하고자 한다.

구체적인 절차로서, 먼저 이 실험용 동합금판 C2200 (황동: 단동), C5210 (적동: 스프링용 인칭동), C7701(양백: 스프링용 양백), C8113(백동) 등의 특징 및 용도에 대하여 다루고, 2 장에서는 기법실험 1 단계로서, 동합금의 용접성을 일반접합과 TIG 접합으로 구분하여 논하고자 한다. 3장에서는 기법실험 2단계로서 망상조직기법과 전해주조기법의 실험분석에 대하여 논하고자 한다. 4장에서는 실험의 응용으로서, 연구 작품의 사례 몇 가지를 다루고자하며, 전술한 C2200·C5210·C7701·C8113 등을 이용한 사례에 대하여 분석하여 논하고자 한다.

이를 통해 작품의 제작과정이나 제조상의 문제점에만 국한하지 연구하였던 것을 벗어나 여러 기법들을 정확한 수치와 데이터로 비교분석함으로써 각 종류별 동합금판의 개별적인 특성을 충분히 이해하고 또한 이를 연구 작품으로 분석하는 과정을 통하여, 후발연구자들 및 공예가들의 재료적인 이해를 돕고자한다

1-1 실험용 동합금판의 특징 및 용도

연구자가 P사 소재기술연구소에서 개발은 되었지만 아직 국내에 시판되고 있지 않은 동합금판 중에서 우수하다고 보여지는 동합금판 4종류를 선정<표 1>하여 금속공예에 관한 형질변환기법재료로서 적합한 재료인지를 시중에서 시판되는 타 회사 <표 2>재료와 비교하여 실험하고 분석하였다.

특히 본 논문에서 연구하고자하는 동합금의 재료적 특성과 형질변환에 따른 기법실험을 중심으로 연구하였다. 1)

<표 1> P사 개발 동합금판 실험용 4종류 - 1999. 4월 현재

순번	합금계	합금종류	주요성분(%)	용융점(℃)
1	황동 Cu-Zn계	C2200	Cu-10Zn	1100-1150
2	스프링용인칭동 Cu-Sn-P계	C5210	Cu-8Sn-0.2P	1100-1150
3	스프링용 양백 Cu-Ni-Zn계	C7701	Cu-18Ni-26Zn	1150-1250
4	백동 Cu-Ni계	C8113	Cu-25Ni	1350-1450

1) 또한 2001년 3월에 경인미술관에서 전시한 박사학위 청구전 10여 점도 P사에서 개발한 4종류 동합금만을 사용하여 작품 제작을 하였다.

<표 2> 국내시판용 동합금판 실험용 4종류

순번	합금계	합금종류	주요성분(%)	용융점(℃)
1	황동 Cu-Zn계	C2680	Cu-35Zn	950-1000
2	적동 Cu계	C1220	Cu	1050-1100
3	양백 Cu-Ni-Zn계	C7451	Cu-10Ni-25Zn	1100-1150
4	백동 Cu-Ni계	C7060	Cu-10Ni-1.5Fe-0.5Mn	1300-1450

이 실험용 동합금판의 일반적 특징 및 용도는 다음과 같다.

- C7701의 경우는 스프링성이 우수하며 전자계측기용 스위치, 컨넥터 릴레이, 수정진동자용, 공예품용으로 적합한 것으로 알려져 있다.<표 3>
- C2200의 경우는 황동으로서 색상이 미려하여 건축용, 외관 장식용, 장신구, 화장품케이스, 가구, 드로잉가공용으로 적합한 것으로 알려져 있다.<표 4>
- C8113의 경우는 내해수성, 내마모성이 우수하며 고온강도가 높고 열교환기 및 복수기관용 부품, 소전용으로 매우 우수한 것으로 알려져 있다.<표 5>
- C5210의 경우는 적동으로서 스프링성이 우수하며 전자·전기계측기용 스위치, 컨넥터 릴레이 제작용, 공예품 및 주물용으로 적합한 것으로 알려져 있다.<표 6>

2. 기법실험 1단계

이 단락에서는 우선 동합금의 용접²⁾에 필요한 방법을 논하고 크게 일반접합과 TIG접합에 관한 원리를 분석하였다. 이러한 용접의 원리를 발전시켜서 특수한 재질적 특성을 드러내어 금속의 물상을 전이시키는 상징적 형질변환에 관한 실험 기법 중에 크게 두 가지 즉, 국내시판 동합금과 연구자가 사용한 P사에서 개발된 동합금을 병행하여 기법을 비교하는데 있어서 금속공예의 상징적 형질변환기법의 실험분석이 과학적으로 비교적 확실하다고 본 망상조직기법과 전해주조기법에 관한 차이점을 실험분석 하였다.

망상조직기법은 모재의 재료에 따라 토치의 온도를 용접에 적절하게 맞추어 정교하게 사용한다면 어느 정도 같은 결과물을 얻어낼 수 있다. 또한 전해주조기법 역시 전해주조에 흘려보내는 암페어(A)와 시간만 일정하다면 비교적 일정한 결과물을 얻어 낼 수 있기 때문에 기법실험으로 적당하다고 볼 수 있다.

2-1 일반접합실험분석

동 및 동합금의 접합방법은 다른 금속과 같이 여러 가지 방법이 사용되고 있지만 본 항에서는 먼저 응용용접인 가스용접에 관하여 논한다.

접합방법³⁾의 선택, 특히 용접, 압접의 경우에는 접합되

2) 박종우, 용접공학, 일진사, 1987, pp.336-346.
최선철, 용접해설, 성안당, 1978, pp.270-291.
한국산업인력관리공단, 용접일반이론, 1993, pp.183-187.
한국산업인력관리공단, TIG용접실기, 1993, pp.1-60.
홍승남, 용접과 절단, 예경, 1997, pp.76-93.
3) 村上陽太郎, 銅および銅合金の基礎と工業技術, 日本伸銅協會, 1988, pp. 257-382.

는 재료의 물리적 성질을 충분히 파악해 두는 것이 중요하다. 순동은 열전도성이 좋기 때문에 용접이 용이하다.

한편 황동, 청동, 백동 등의 합금은 그 성질이 동과 크게 다르며 이러한 합금 중에서도 그 성질이 다른 접합성에 크게 영향을 주기 때문에 각종 동합금의 용접을 능숙하게 행하기 위해서는 그 재료에 관한 지식을 충분히 파악할 필요가 있다.

동합금은 열전도율이 다른 금속에 비해서 높고 연성이 좋은 연철(軟鐵: mild steel)의 약 7배, 알루미늄의 약 2배이다. 용접은 열을 주어서 모재(母材)의 용접이 불충해지기 쉬우며 용합불량이나 잘 어울리지 않은 불량이 발생하기 쉽다. 이 외에 동 및 동합금의 용접에서는 블로우(Blow Holl), 깨짐 등의 결함이 발생할 경우가 있으므로 많은 경험이 요구된다. 이러한 결함은 용접조건 이외에도 합금의 종류, 용접방법에 의해서 크게 영향을 받기 때문에 결함방지를 위하여 용접 이전에 이러한 것의 검토를 충분히 실험을 할 필요가 있다.

2-2 TIG 접합실험 분석

다음으로 연구자가 실험한 합금의 용접성을 가장 광범위하게 사용한 TIG 용접을 중심으로 서술한다.

순동의 용접은 열전도성이 좋기 때문에 충분한 용융지금(鎔融池金)을 형성시키기 위해서는 부판을 빼고 예열이 필요하다.

산소량이 0.008% 이하일 때 비교적 적은 탈산동과 무산소동은 용가재(溶加材)를 함유한 것을 사용함에 따라 양호한 접합을 할 수가 있다. 그러나 산소를 0.01에서 0.07%를 함유하는 정련동은 용접중에 내부에 존재하는 Cu_2O 가 수소와 반응해서 물을 생성한다.

이 물은 고상(固相)의 동에 대해서 전혀 용해하지 않기 때문에 블로우 발생 없이 매우 양호한 용접부를 얻는 것은 어렵다. 순동은 동합금에 비해서 잘 깨지지 않지만, Pb, Bi, P, As 등이 합금되면 고온에서 깨지는 감수성이 높았다. Pb, Bi를 0.05% 이상을 포함한 합금은 깨짐이 발생한다.

동합금의 용접에 대하여 논하고자 한다. 황동의 경우 용접상의 문제는 용접열에 따라서 아연이 발열하고 용접 상황을 충분히 관찰할 수 없게 되며 산화 한 아연이 용접부 앞쪽에 부착해서 용접 작업성의 저하나 용접결함을 발생시키는 것이다. 용접결함으로서 블로우를 만들기 쉽다.

황동은 황동 2mm이하의 박판(薄板)에서는 교류 TIG 용접법이 좋으며 그 이상에서는 직류정극성 TIG 용접법으로 용접하였다. 용접에 의한 잔류 응력이 응력 부식을 깨짐을 옮길 수 있는 경우에는 응력 제거 열처리를 250~300도에서 행한다.

인청동은 일반적으로 Sn을 2~9%, P를 0.03~0.4%정도 포함하고 있다. 이러한 인청동은 Sn의 함유량이 증가함에 따라 응고 온도 범위가 광범위해졌으며 용접후 냉각시에 분열이 생기기 쉬워진다. 인청동의 열분열 방지에는 TIG 용접의 용접속도를 빠르게 해서 용융지(溶融池)를 작게 한다. 예열 온도는 200도로 하는 것이 좋다.

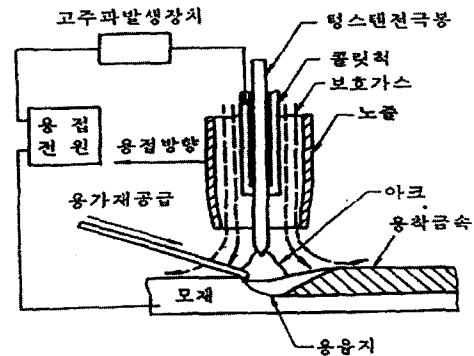
백동의 경우 동-니켈의 합금은 10~30%의 니켈을 포

합하며 완전히 고용(固溶)해서 단상(單相)이 된다. 이 때문에 결정립(結晶粒)도 크게 되기 쉬우며 구속이 강한 경우 미량의 Pb, P, S 라도 분열 감수성이 높아진다. 열 사이의 분열을 방지하기 위해서는 0.01%Pb, 0.02%P, 0.01%S 까지 가 한계이다. 백동은 블로우 홀의 원인이 되는 산소, 수소를 흡수하기 쉽지만, 블로우 홀을 방지하기 위해서는 탈산제를 포함한 용가재의 사용이 유효하다. 이와 같은 점에 주의하면 백동은 땀에 있어서 물 흐름이 좋고, 동합금 중에서는 가장 용접하기 양호한 합금 중의 하나이다.

양백의 경우 니켈을 첨가한 황동으로 볼 수 있으며, 그 용접성도 황동과 아주 비슷하다. 아연의 증기가 문제가 되는 경우 용가재에 알루미늄 합금용 청동을 사용하여 용접한다. 또한 Pb, Bi, S 등의 불순물이 포함되어 있다면 열사이의 분열이 일어나기 쉽다.

TIG(Tungsten Inert Gas Arc)용접의 원리는 <그림 1>과 같이 모재와 텅스텐 전극사이에 용접 전원과 아크(Arc)를 쉽게 발생시키기 위한 고주파 발생장치가 접속되어 있으며 모재 표면과 텅스텐 전극 선단과의 사이에서 아크가 발생한다. 텅스텐 전극 주변에는 Gas Nozzle를 통하여 불활성 가스가 분출되어 텅스텐 전극과 아크 및 용융지 등을 완전히 대기로부터 보호한다.

용가재의 공급은 아크측면에서 수동 혹은 자동으로 일정한 속도를 유지하면서 첨가하여 용접한다. 그러나 박판의 용접에는 용가재를 첨가하지 않고 아크 열로 모재 자체를 녹여서 용접한다. 전극으로 사용하는 텅스텐 봉은 용



<그림 1> TIG 용접원리

용접이 약 3400℃로 고 온도에 견디는 성질을 가지고 있으며 TIG 용접에서는 이 성질을 이용하여 텅스텐 봉으로 아크를 발생시키기 위해 전극으로 사용하고 있다. 또한 TIG 용접에 사용하는 불활성가스는 아르곤(Argon), 헬륨(Helium) 등을 말하며 다른 어떤 물질과도 반응하지 않는 성질을 가지고 있다. 이 성질을 이용하여 용접중의 용융 금속이 주변의 공기와 반응하지 않도록 아크의 용융 금속을 불활성가스로 완전히 차단하여 용접하는 방식이다.

TIG 용접의 특징은 다음과 같다.

- ① 알루미늄, 마그네슘, 스테인리스, 연강, 탄소강은 합금, 규소, 청동, 동, 니켈 등을 포함한 거의 모든 비철금속을 용접할 수 있으며 용접결과도 우수하다.
- ② 용접시에는 용접상태를 명확히 볼 수 있다.
- ③ 아아크의 흐름을 타고 이동하는 용융 금속이 없으므로

용접 스패터(Spatter)가 전혀 없다.

- ④ 모재의 두께에 구애없이 극히 얇은 박판부터 후판에 이르기까지 용접할 수 있다.
- ⑤ 뿔봉은 모재를 절단하여 사용하므로 뿔부분의 색상이 모재와 동일하며 표면 처리 시 뿔 부분의 상태를 전혀 식별할 수 없어 표면이 미려하다.

TIG 용접의 방법은 다음과 같다. 동의 용접성을 볼 때 순동의 열 전도율은 강의 8배 이상, 알루미늄의 2배 정도로 용접열을 급속히 모재가 흡수하므로 쉽게 용융이 되지 않기 때문에 용융부족 현상이 생기기 쉽다. 그러므로 동의 용접에는 고온의 예열온도가 필요하다.

그러나 동합금은 그 열전도율이 합금성분에 따라 달라지므로 예열 온도도 이를 감안하여 조절해야 한다.

동 및 동합금의 용융온도는 약 900~1100℃이지만 열전도도가 높아 다른 금속에 비해 가열시간이 오래 걸린다. 또한 용융금속이 응고될 때는 수소, 산소, 아황산가스(SO₂) 등이 발생되어 가공이 쉽게 용접속속 내에 나타난다. 특히 인(P)이나 규소(Si), 알루미늄(Al) 등의 탈산제가 함유된 동합금 용접에는 더욱 심하므로 용접시 주의를 요한다. 동 및 동합금 용접에서는 재료의 종류에 따라 사용하는 전류, 전극봉, 보호가스와 용접방법이 다르므로 <표 7>을 참고하여 적당한 용접조건을 선택하여 용접한다.

<표 7> 동 및 동합금 용접조건

모 재	(AWS등급) 용가재	전 류	전 극 봉	보호가스	비 고
순 동 (Cu)	RCu	직류정극성 (DCSP)	토륨 2% 텅스텐 전극	아르곤 또는 아르곤+헬륨	후판일 때는 높은 예열온도가 필요
황 동 (Cu-Zn)	RCu Zn-B RCu Zn-C RCu Zn-D	직류정극성 (DCSP)	토륨 1% 텅스텐 전극	아르곤 또는 아르곤+헬륨	예열필요 납이 섞인 것은 불필요
인청동 (Cu-Sn)	RCu Sn-A RCu Sn-C RCu Sn-D	직류정극성 (DCSP) 교류교주파 (ACHF)	토륨 2% 텅스텐 전극	아르곤 또는 아르곤+헬륨	용접속도를 빠르게 해야 한다. 예열 불필요
알루미늄 청동 (Cu-Al)	RCu Al-A ₂ RCu Al-B	교류교주파 (ACHF)	토륨 1% 텅스텐 전극	아르곤, 헬륨 또는 아르곤+헬륨	비교적 용접이 쉽다.
규소청동 (Cu-Si)	RCu Si-A	직류정극성 (DCSP)	토륨 1% 텅스텐 전극	아르곤	-
쿠프로니켈 (Cu-Ni)	RCu Ni	직류정극성 (DCSP)	토륨 1% 텅스텐 전극	아르곤	-

동 및 동합금의 경우, 동은 TIG 용접으로 가장 우수한 용접속도를 얻을 수 있다. 열전도율이 높아 예열을 하거나 박판일 경우에는 아르 열로 시작점에서 가열한 후 용융지가 형성될 때 용접해 나간다.

보호가스는 주로 아르곤 가스를 사용하지만 아르곤 25%-헬륨 75%로 혼합하여 사용하는 경우도 있다. 용가재는 동일한 재료의 YCu를 사용한다. 동의 TIG 용접 조건을 <그림 2>에 나타내었다.

황동 TIG 용접은 선박 기계류의 보수용접에 많이 이

두께(mm)	기선형상	층 수	용접순서	전극(mm)	전류(Amp)	전압 (V)	가스유량 (ℓ/min)
0.8-2.4		2		3.2	180-220	22-24	10
3.2-5.6		2		4.8	240-280	22-24	10
6.4-9.6		2		4.8	360-440	24-26	12
12.7		3		4.8	480-520	24-26	12
16.0-19.1		5		4.8	480-520	24-26	12
22.2-31.8		6-8		4.8	480-520	24-26	12

<그림 2> 동의 TIG 용접조건

용된다. 용가재는 아연성분이 적은 황동의 용접에는 YCuSn-A와 YCuSi를 사용하고 아연 성분이 많은 황동 용접에는 YCuAl이 사용된다. 예열 온도는 200℃ 정도로 한다. 납이 0.5% 이상 함유된 황동용접은 유해한 가스가 발생되어 기공의 원인이 되므로 주의한다.

규소 청동의 경우 용가재는 YCuSi-A 또는 YCuSi-B를 사용하고 예열은 필요하지 않으며 전류는 교류 또는 직류 정극성을 사용한다.

인청동 TIG 용접은 주로 주물의 보수용접에 많이 이용된다. 용접전 200℃로 예열한 후 신속하게 용접해야 한다. 용접 후 열간 피닝을 해주면 용접속속이 치밀해지고 잔류응력이 감소된다. 용가재는 YCuSn A와 YCuSn B를 사용하고 보호가스는 아르곤 또는 아르곤 25%-헬륨 75%를 혼합하여 사용한다.

알루미늄 청동의 용접<표 8>은 비교적 기공이 적게 발생되며 완전한 용접부가 얻어지고 외관이 아름답다. 용가재는 YCuAl계를 사용하며 전류는 교류 고주파(ACHF)가 적합하다. 보호가스는 순수 아르곤 가스보다 아르곤 25%+헬륨 75%의 혼합가스가 좋다.

<표 8> 알루미늄 청동의 TIG 용접조건









판 두께 (mm)	이 음		가 스 유 량		층 수	전류 (ACHF)
	형식	형상	(m ³ /h)	(ℓ/min)		
6	맞대기	90°V형	0.48	8~10	2	200
10	맞대기	90°V형	0.48	8~10	3	250
12	맞대기	90°V형6	0.48	8~10	4	260

3. 기법실험 2단계

3-1 망상조직기법의 실험분석

연구작업 과정중에서 P사개발 동합금과 시중동합금에 관한 온도에 의한 색의 변화를 살펴본 결과는 다음과 같다. 본 연구과정은 속불꽃(약2,500~2,300℃)으로 모재의 상단부분을 순간적으로 지나가면서 불의 온도에 따라 변색되는 과정을 실험하는 연구로서 모재의 상단부분은 약 900℃ 정도와, 모재의 하단부분은 100℃ 정도의 온도를 느낄 수 있다.

모재의 종류는 연구동합금 4종류와 시중동합금 4종류를 <그림 3> 50mm×70mm로 절단하여 시편(試片)으로 사용하였다.

국내 시판용 동합금판		P사개발 동합금판	
C2680 황 동		C2200 단 동	
C1220 적 동		C5210 인칭 동	
C7451 양 백		C7701 양 백	
C7060 백 동		C8113 백 동	

<그림 3> 온도에 따른 조직변화와 색상 실험결과

① 국내 시판용 동합금 실험결과

㉠ 황동(C2680)

800℃-황동색 600℃-진밤색
400℃-보라빛 감청색 200℃-노랑색

㉡ 적동(C1220)

800℃-감청색 600℃-아이보리색
400℃-보라빛 빨강색 200℃-빨강색

㉢ 양백(C7451)

800℃-초록빛나는 감청색 600℃-감청색
400℃-청색 200℃-노랑색

㉣ 백동(C7060)

800℃-보라빛 검청색 600℃-감청색
400℃-보라색 200℃-노랑색

② P사개발 동합금 실험결과

㉠ 단동(C2200)

800℃-진한밤색 600℃-청색
400℃-보라색 200℃-노랑색

㉡ 인칭동(C5210)

800℃-진한밤색 600℃-청녹색
400℃-감청색 200℃-보라빛 빨강색









㉢ 양백(C7701)

800℃-청색에 가까운 흑색 600℃-감(노랑)색
400℃-청색 200℃-보라색

㉣ 백동(C8113)

800℃-청흑색 600℃-감청색
400℃-보라색 200℃-노랑색

위와 같은 다양한 색상을 발견할 수 있으나 대부분의 변화는 감청색에서 빨간빛 보라색으로 변환하여 200℃에는 노랑색으로 변화되는 것을 느낄 수 있다. 그리고 시편에서 본바와 같이 다양한 색의 변화를 볼 수 있으며 특히 연구 동합금은 시판 동합금보다 색상의 변화가 빠른 것으로 보아 대체적으로 열전도율이 높은 것을 알 수 있었다.

국내 시판용 동합금판		P사개발 동합금판	
C2680 황 동		C2200 단 동	
C1220 적 동		C5210 인칭동	
C7451 양 백		C7701 양 백	
C7060 백 동		C8113 백 동	

<그림 4> 망상조직기법실험에 따른 실험결과

다음 망상조직기법(網狀組織技法: Reticulation)은 금속의 표면을 용점에 가깝게 가열하였다가 냉각시키는 과정을 통해서 특이한 주름이 형성되도록 하는 방법으로 아름다운 조직을 만들기 위해서는 모재의 재료에 따라 토치의 온도를 용점에 적절하게 맞추어 사용해야 하며 매우 정교하게 이루어져야 하는 기법이다.

본 연구 과정은 연구 동합금 4종류와 시중 동합금 4종류를 <그림 4>와 같이 실험하는 과정으로 산소 토치를 고열(2,500℃~2,300℃)로 유지하면서 모재의 중앙 부분을 용점에 가깝게 조직이 형성되도록 토치가 지나갔을 때의 상태를 비교 분석하였다.

① 국내 시판용 동합금 실험결과

㉠ 황동(C2680): 망상조직의 범위가 넓고 고르지 못함을 알 수 있다.

㉡ 적동(C1220): 정교하게 망상조직이 보이지 않는다.

㉢ 양백(C7451): 망상조직의 면적이 넓지 않고 상당히 고르게 보여진다.

㉣ 백동(C7060): 비교적 균일하고 적당한 면적을 가진 망상조직의 모습이 보여진다.

② P사개발 동합금 실험결과

㉠ 단동(Cu-Zn계 C2200): 아연의 함금으로 인하여 망상조

직이 비교적 아름다운 선보다는 뭉치는 모습이다.

- ㉔ 인청동(Cu-Sn-P계 C5210): 인(磷) 성분이 녹아서 뭉치거나 타 버리는 경우로 미세한 구멍이 나는 경우가 많다.
- ㉕ 양백(Cu-Ni-Zn계 C7701): 화산이 폭발하여 용암이 되는 것처럼 기포를 많이 내고 뭉쳐 있다. 동성분과 아연이나 니켈이 온도에 적응하지 못하고 타버리는 현상을 볼 수 있다.

- ㉖ 백동(Cu-Ni C8113): 비교적 양호한 망상조직이 형성되나 백동의 단단한 특성때문에 갈라지는 현상을 볼 수 있다.

실험 결과를 보면 연구 동합금은 색의 변화에 따른 실험에서 열전도율이 빠른 결과를 볼 수 있는데 이는 전도율이 높을수록 일정한 색상을 시편에 전체적으로 유지하기 보다는 급격하게 변화하는 것으로서 알 수 있다. 또한 망상조직기법에서도 시중 동합금보다는 연구 동합금이 열을 빨리 받음으로 인해서 결정자체가 많이 뭉치거나 표면에 기포가 발생하기도 하며 혹은 갈라지는 형태로 나타나는 것을 알 수 있다.

시중 동합금에서는 대체적으로 균일하거나 아름다운 문양을 볼 수 있었으나 연구 동합금에서는 10%이상의 합금들로 구성이 되어 있어 망상조직이 흐트러져 녹아나는 것을 느낄 수 있다.

결과로 보아 연구 동합금으로 망상조직기법을 응용하고자 할 때는 많은 실험을 통하여 윤점을 적절하게 조절해야만 많은 효과를 기대할 수 있다.

3-2 전해주조기법의 실험분석

전해주조(電解鑄造: Electroforming) 시에 사용되어지는 암페아(A)와 시간을 살펴보면, 전기적으로 분해되어진 전기분해 생성물이 전해주조 하고자 하는 기물에 결합되어지는 데에는 전해주조액의 농도가 일정한 조건일 경우 암페아(A=전기량)와 시간에 따라 두께와 입자의 크기 등의 차이를 보이게 되므로, 이 두 가지가 대단히 중요한 역할을 하게 된다.

일반적으로 전해주조 작업시에 사용되어지는 암페아는 1.2A에서 2.0A까지를 주로 사용하는데 이 범위 안의 암페아에서 약 이틀정도 전해주조기간에 기물을 담귀 놓으면 알맞은 입자와 두께를 가진 결과물을 얻어낼 수 있다.

여기에서 암페아를 1.0A보다 낮게 조절하게 되면 전기분해 되어진 금속이온의 입자가 천천히 기물에 달라붙게 되어 고운 입자를 가진 결과물을 얻어낼 수 있게 되지만 그 두께가 매우 얇기 때문에 적당한 두께를 지니기까지 오랜 시간이(0.7A이하일 경우 약 3~5일정도) 걸린다는 단점이 있다. 이렇게 얇게 전해주조가 된 경우에는 오랜시간 두께를 올려 주어야하며 그렇지 못할 경우에는 마무리(Finishing)과정에서 기물에 달라붙은 전해주조 된 금속입자가 떨어져 나갈 수 있다.

마찬가지로 암페아를 높게 조절하면 시간이 단축(3.0A~4.0A사이에서는 약 하루정도)되기는 하지만 기물에 전해주조 된 금속입자가 너무 크고 거칠기 때문에 세밀한 작업을 요하는 경우에는 되도록 피하는 것이 좋다.







또한 한번에 너무 많은 기물을 전해주조기 안에 집어 넣는 것은 암페아와 관계없이 전해주조 속도를 저하시키는 원인이 된다.

① 연구 작업 과정은 다음과 같다.







- ㉑ 연구 동합금 4종류와 시중 동합금 4종류를 전해주조 작업용 시편으로 종류 당 각각 6개씩 총 48개를 같은 크기로 준비하였다.
- ㉒ 전해주조기의 음극에 연결되어질 동선을 시편에 땜해준다.(전해주조 되고자하는 기물(시편)은 전해주조기의 음극에 연결되어지며 양극 쪽에서 기물에 전해주조가 되어질 전기분해 생성물의 모체가 고정연결되어져 있게 된다.)
- ㉓ 시편을 전해주조 액에 침지(浸漬)했을 때 전해주조 액과 닿는 부분에만 전기가 통해 전해주조가 일어나므로 전해주조가 일어나지 않게 하고자 하는 부분은 부도체를 이용하여 칠해준다.(전기가 통하지 않게 칠해주는 부도체로는 락카나 메니큐어등이 적당하며 락카를 사용할 경우에는 금색이나 은색 등의 락카는 피한다. 금색이나 은색 락카는 전해주조 액 속에 장시간 침지 되었을 시 떨어져 나가는 경우가 종종 있다. 일반적으로 가장 많이 사용되어지는 락카는 노란색인데 전해주조작업이 끝나고 이를 제거할 때 다른 색 락카에 비해 수월하게 제거되어지는 경향이 있다.)
- ㉔ 시편이 준비되면 연구 동합금 한 종류와 시중 동합금 한 종류를 택해 각각 두 개씩 전해주조기의 음극에 연결하여 전해주조 액 속에 침지 시킨다.
- ㉕ 전해주조기의 암페아를 1.0A로 맞춘 뒤 12시간이 지난 후에 각각 하나씩을 꺼낸다. 그리고 같은 암페아(1.0A)에서 24시간이 지난후 나머지 하나씩을 꺼낸다.
- ㉖ 마찬가지로 방법으로 연구 동합금 4종류와 시중 동합금 4종류를 모두 1.0A와 4.0A에서 12시간, 24시간동안 침지한 뒤 꺼낸다.
- ㉗ 시편에 도장되어 있는 부도체(락카)를 제거한다.
- ㉘ 산세한 후 세척한다.

② 연구동합금과 시중동합금의 전해주조 결과는 다음과 같다.
<그림 5~12>







- ㉑ 높은 암페아(3.0A)에서 12시간동안 침지한 경우는 연구 동합금이나 시중 동합금 모두 전기분해생성물의 입자가 크고 거칠게 전해주조 되었음을 알 수 있었다. 또한 24시간 동안 침지한 경우에는 입자가 더욱 크고 거칠어진 것을 확인할 수 있었다.
- ㉒ 낮은 암페아(1.0A)에서 12시간동안 침지한 경우는 암페아에 비해 시간이 짧았기 때문에 연구 동합금이나 시중 동합금 모두 얇게 전해주조 되어 두 금속 모두 효과적이지 못함을 알 수 있었다.
- ㉓ 낮은 암페아(1.0A)에서 24시간 침지한 경우 연구 동합금과 시중 동합금이 약간 다른 차이를 보였는데, 연구 동합금은 전해주조 시에 시중 동합금에 전해주조 되어진 것보다 약간 고른 분포로서 전해주조 되어지는 것을 확인할 수 있었다. 이로 인해 세밀한 작업을 요할 때에는 암페아를 낮추어서 입자가 고르게 분포되어지는 연구 동합금을 사용하여 작업하는 것이 유리하였다.

암페어(A) 시간(h)	1.0 A	3.0A
12h		
24h		
36h		







<그림 5> 국내시판동합금판 C 1220 (적등)

암페어(A) 시간(h)	1.0 A	3.0A
12h		
24h		
36h		







<그림 8> 국내시판동합금판 C 7060 (백등)

암페어(A) 시간(h)	1.0 A	3.0A
12h		
24h		
36h		

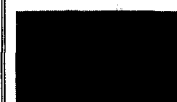





<그림 6> 국내시판동합금판 C 2680 (황등)

암 페 아 (A) 시간(h)	1.0 A	3.0A
12h		
24h		
36h		

<그림 9> P사개발 동합금판 C 2200 (단등)

암페어(A) 시간(h)	1.0 A	3.0A
12h		
24h		
36h		

<그림 7> 국내시판동합금판 C 7451 (양백)

암페어(A) 시간(h)	1.0 A	3.0A
12h		
24h		
36h		

<그림 10> P사개발 동합금판 C 5210 (인청등)

안페어(A) 시간(h)	1.0 A	3.0A
12h		
24h		
36h		

<그림 11> P사개발 동합금판 C 7701 (인청동)

안페어(A) 시간(h)	1.0 A	3.0A
12h		
24h		
36h		

<그림 12> P사개발 동합금판 C 8113 (인청동)

4. 실험의 응용

4-1 연구작품 <진화의 꽃> 시리즈의 제작사례

연구자는 『동합금의 재료적 특성과 그 조형적 해법에 관한 연구』라는 제목으로 서울 경인미술관에서 [진화의 꽃]이라는 제목으로 2001년 3월에 이 결과를 시각적으로 보여준 바 있다. 이 논문에서는 그 결과에 대하여 논하고자 한다.

[진화의 꽃 시리즈] <그림 13~15>에서 연구자가 주로 사용한 동합금은 (주)풍산금속 소재기술연구소 이동우 박사가 연구지원한 4가지 동합금, 즉 단동, 스프링용 인청동, 스프링용 양백, 백동을 연구자가 처음 사용하여 작품제작을 하였으며, 그 기법은 전 단락에서 제시한 망상조직기법, 전해 주조기법을 주로 사용하고 함께 적층기법 및 융합기법을 작

합금계	명칭	종류	주요성분	용융점(℃)
Cu-Zn계	단동(황동)	C2200	Cu-10Zn	1100-1150
Cu-Sn-P계	스프링용 인청동	C5210	Cu-8Sn-0.2P	1100-1150
Cu-Ni-Zn계	스프링용 양백	C7701	Cu-18Ni-26Zn	1150-1250
Cu-Ni계	백동	C8113	Cu-25Ni	1350-1450

<표 9> 연구자 작품사용 동합금재료 종류 및 주요성분

품에 따라서 통합 또는 부분적으로 적용시켜 완성하였다.

이 실험에서 사용한 동합금의 재료적 특성은 제시한 바와 같으며, 그 주요 성분은 다음과 같다. <표 9>



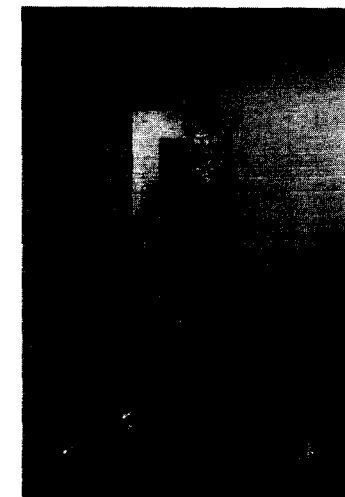
<그림 13>
진화의 꽃, 2001-15
인청동, 단동
380×270×390mm
망상조직기법,
융합기법

[진화의 꽃 시리즈, 2001-15] <그림 13>의 경우는 인청동과 단동을 활용하여 동합금을 시도하였으며, 망상조직기법과 융합기법을 사용하여 제작한 작품이다.



<그림 14>
진화의 꽃, 2001-20
인청동, 백동
440×400×470mm
전해주조기법,
융합기법

[진화의 꽃 시리즈, 2001-20] <그림14>의 경우는 인청동 및 백동을 주로 활용하였으며, 전해주조기법과 융합기법을 활용하여 제작하였다. [진화의 꽃 시리즈, 2001-25] <그림15>



<그림 15>
진화의 꽃, 2001-25
유리, 단동, 양백,
인청동, 백동, 금, 은
600×400×760mm
적층, 망상조직,
전해주조, 융합기법

의 경우는 여러 가지 혼합재료를 사용하였는데, 유리와 금, 은 및 단동, 양백, 인청동, 백동 등을 골고루 사용하여 제작하였다. 사용된 기법도 다양하여 적층기법, 망상조직기법, 전해주조기법, 융합기법 등을 거의 모두 이용하였다.

5. 결 론

이 논문은 21세기에 들어와서 연구자가 이전에 행한 금속공예의 방식을 개선하고자하여, 그동안 행했던 몇 가지의 동합금을 활용한 금속공예의 방식 가운데에서 현재에 통용되고 있는 동합금의 소재의 재질적 특성을 data화하였다. 그리고, 그 재료를 활용하여 응용하는 몇 가지의 사례를 참고적으로 제시하여 연구자가 연구해온 동합금의 재료와 표현기법의 실험에 관하여 다루었으며, 구체적인 방법으로 연구자의 동합금을 활용한 재료실험의 주된 기법이라 할 수 있는 형질변환기법용 동합금의 특성과 용접성에 관하여 다루었다.

그 결과 이 실험용 동합금판 C2200, C5210, C7701, C8113 등의 특징 및 용도에 대하여 연구하였고, 그 기법실험의 1단계로서 동합금의 용접성을 일반접합과 TIG 접합으로 구분하여 논하였으며, 2단계 실험으로서 망상조직기법과 전해주조기법에 대하여 논하였으며, 그 구체적인 응용으로서, 연구작품의 3가지 사례를 다루었는데, 연구자가 주로 사용한 동합금은 (주)풍산금속 소재기술연구소 이동우 박사가 연구 지원한 4가지 동합금, 즉 단동, 스프링용 인청동, 스프링용 양백, 백동을 연구자가 처음 사용하여 망상조직기법, 전해주조기법을 작품에 따라서 통합 또는 부분적으로 적용시켜 완성하였다.

C2200의 경우는 단동으로서 기존에 국내시판합금중 C2680황동과 비교할 수 있는데 deep drawing용 메달, 배지(badge)등에 사용된다. 단동은 2mm이하의 박판(薄板)에서는 교류 TIG 용접법이 좋으며 그 이상에서는 직류 정극성 TIG 용접법으로, 용접에 의한 잔류 응력부식을 위한 열처리를 250~300도에서 행한다. 망상조직기법에서는 C2680보다 색상의 변화가 빠르며 망상조직표면이 더 작고 고르게 나오는 것을 알 수 있었고 전해주조기법시 낮은 암페아에서 오랜 시간 침지함으로써 균일하고 정교한 높이의 결과물을 얻어낼 수 있었다.

C5210의 경우는 적동으로서 스프링성이 우수하며 전자·전기계측기용 스위치, 컨택터 릴레이 제작용, 공예품 및 주물용으로 적합한 것으로 알려져 있다. Cu-8Sn-0.2P 합금(Deoxidized Copper)으로서 용해시에 흡수한 O를 P로 탈산하여 O는 0.01%이하가 되고 잔류 P량이 0.02%정도의 것이다. 따라서 인청동은 고온의 환원성기(還元性氣)중에서도 수소(水素) 취성이 없고 고온에서 O를 흡수하지 않으며, 경화(輕化) 온도도 약간 높아, 용접용으로 매우 적합하다. 인청동은 일반적으로 Sn을 2-9% P를 0.03-0.4%정도 포함하고 있는데, Sn의 함유량이 증가함에 따라 용고 온도 범위가 광범위해졌으며 용접후의 냉각시, 열분열 방지에는 TIG용접의 용접속도를 빠르게, 용융지(熔融池)를 작게, 예열 온도는 200도로 하는 것이 좋다.

C7701의 경우는 스프링성이 우수하며 전자계측기용 스위치, 컨택터 릴레이, 수정진동자용, 공예품용으로 적합한 것으로 알려져 있다. Cu-18Ni-26Zn 합금(Nickel Silver)으로서 조성범위가 10-20% Ni, 15-30% Zn의 것이 많이 사용된다. 약 30% Zn 이상이 되면($\alpha+\beta$) 조직이 되어 점성이 낮아지고 냉간 가공성은 저하나 열간 가공성은 좋으므로

열간 가공재로 이용된다. 양백은 또한 전기저항이 높고 내열, 내식성이 좋으므로 일반 전기 저항체로서 이용된다. 양백은 니켈을 첨가한 황동으로 주로 가공재로 사용되나 주물로서는 벨브, 콕크, 장식품, 악기, 광택기계부품제작에 좋다. 아연의 증기가 문제가 되는 경우 용가재에 알루미늄 청동을 사용하여 용접한다. 또한 Pb, Bi, S 등의 불순물이 포함되어 있다면 열사이의 분열이 일어나기 쉽다.

C8113의 경우는 내해수성, 내마모성이 우수하며 고온 강도가 높고 열 교환기 및 복수기관용 부품, 소전용으로 매우 우수한 것으로 알려져 있다. Cu-25Ni 합금으로서 백동은 동, 니켈의 합금으로서 10-30% 니켈을 포함하며 완전히 고용(固溶)해서 단상(單相)이 된다. 이 때문에 결정립(結晶粒)도 크게 되기 쉬우며, 구속이 강한 경우 미량의 Pb, P, S 등의 분열 감수성이 높아진다. 열 사이의 분열을 방지하기 위해서는 0.01% Pb, 0.02% P, 0.01% S까지가 한계이다. 백동은 블로우홀의 원인이 되는 산소, 수소를 흡수하기 쉽지만, 블로우홀을 방지하기 위해서는 탈산제를 포함한 용가재의 사용이 유효하며, 백동은 물 흐름도 좋고 동합금 중에서는 가장 용접하기 쉬운 합금중의 하나이다.

참고문헌

- 전용일, 금속공예기법, 디자인 하우스, 2000.
- 한국동기술연구소, 제4회·6회 동기술연구세미나, 성균관대학의, 1999-2000.
- 한국동공업협동조합, 동기술연구회지, Vol. 14-18 2000-2003
- 양훈영, 신금속 재료학, 문운당, 2000.
- 이동우, 양백, 풍산금속소재기술연구소, 2000.
- 최선철, 용접해설, 성안당, 1978.
- 한국산업인력관리공단, 용접일반이론, 1993.
- 한국산업인력관리공단, TIG용접실기, 1993.
- 한국공예가회, 금속분과 '83 워크샵, 서울미대 금속 공예실, 1983.7.14-15
- 홍승남, 용접과 절단, 예경, 1997.
- 임옥수, 현대 금속공예에서의 형질변환에 관한 연구, 한국디자인학회, 2000.
- _____, 현대금속공예에 있어서 물질언어의 분석연구, 한국디자인학회, 2001.
- _____, 동합금의 재료적 특성과 그 조형적 해법에 관한연구, 박사학위 논문, 홍익대학교 대학원, 2002.
- 村上陽太郎, 銅および銅合金の基礎と工業技術, 日本伸銅協會, 1988.
- 中谷昭子, 黒色銅合金の色調について, 文化女子大學 論文 第20集.
- 新山榮郎, 彫金, 鍍金の技法, 日本金工作家會編, 1978.
- 宮下考雄編, 新版 デザインハンドブック, 朝倉書店, 1996.
- Scott, Peter, Metalworking, The Thames and Hudson Manuals, General Editor. W. S. Taylor, London, 1978.
- Tim McCreight, Jewelry, Fundamentals of Metalsmithing, Hand Books Press, 1997.
- Peter Dormer + Ralph Turner, The New Jewelry, Trends + Traditions, Thames and Hudson, 1994.
- Davira S. Taragin, Contemporary Crafts and the Saxe Collection, Hudson Hills, New York: The Toledo Museum of Art, 1993.
- Peter Scott, Manual of Metalworking, Thames and Hudson, 1984.
- Luisa Somani & Claudio Cerritelli, Jewelry by Artists in Italy 1945-1995, Electa/Gingko, 1995.
- Hermann Schadt, Gold smiths' Art, 5000 Years of Jewelry Hollowware, Arnoldsche, 1996.
- Sharr Choate, Creative Casting, Jewelry · Silverware · Sculpture, Crown Publishers, Inc., New York, 1986.
- Trevor Faulkner, Direct Metal Sculpture, Thames and Hudson, 1978.
- Frances Loyen, Silversmithing, Thames and Hudson, 1980.