

〈研究報告〉

古代新羅의 金屬技術 研究

姜 聖 君*

趙 鍾 瑒**

A Study of Metal Technology in Ancient Silla Dynasity

Sung G. Kang and Jong S. Cho

초 록

古代신라시대의 고본에서 출토된 금동, 은 및 철제품의 유물의 부식 피막 제거를 위한 전해조가 고안되었다. 주로 피막이 제거된 금속 표면의 문양에 의해 제조의 가공방법이 조사되었으며 금속내부 및 피복 피막 계면의 금속현미경 조직에 의해 뒷받침 되었다. 철의 제품은 대부분 열간단조에 의해 만들어졌으며 금과 은의 주요 가공방법은 냉간 압출이었다.

복잡한 구조의 청동제품이 蜜獾 모형에 의한 開口式 방법으로 쉽게 주조되었으며 청동 표면상의 금도금은 주로 아말감법에 의해 만들어 진 것 같다. 또 고대신라의 유리표면에 금피막을 입힌 기술은 유리 위에 먼저 구리합금을 고착시키고 그위에 아말감법으로 금피막을 올린것 같다.

Abstract

The corrosion film of gilt bronz, silver and iron objects, which were excavated from Ancient Tomb of Silla Dynasty, was removed by the electrolytic reduction process. These metallic objects were mainly investigated for microstructure, designs and gilding film etc. Most iron objects might be made by hot forging process. The cold extrusion technique might be used for gold and silver objects, in addition to an amalgam method might be applied for the gilding of Au film on Cu-alloy surface. For the gilding on glass surface, first, a Cu alloy was cladded on glass, next, Au-film was obtained on the Cu-alloy by the amalgum method.

I. 서 론

우리나라의 科學과 技術의 歷史는 우리 文化史와 그 起源을 같이 하는 比較的 오랜 傳統을 갖고 있다. 紀元前 10世紀 頃에 이 땅에 살고 있었던 靑銅器人들은 農機具, 裝身具 및 武器類에서 벌써 높은 수준의 靑銅金屬鑄造 및 合金技術에 到達하고 있음을 알 수 있다.

古代 靑銅器 遺物 가운데 화학분석 결과 아연의 함량이 많이 나타난 것은 주목할 만한 점인데, 아연은 그 낮은 용융점으로 인하여 鑄造과정에서 많이 증발하

로 合金을 만들기가 매우 어려워서 중국대륙에서도 8세기 경에야 비로서 만들어 졌다고 한다⁽¹⁾. 이 밖에도 유물 가운데 불상, 석기등 금동제품이 많이 있는데 이것은 청동 제품 표면에 금을 피복하는 기술을 벌써 알고 있었음을 뜻하는 것이다. 또한 청동기와 거의 때를 같이하여 들어온 鐵器文化는 한층 고대 금속과학 기술을 발전시켜서, 삼국시대에 이르러서 우리 선조들은 철의 제련 및 주조기술에서도 커다란 技術의 進步를 이루고 있었다. 즉 炭素의 분량에 따라서 철의 강도가 달라지는 것을 발견하여 용도에 따라서 탄소함량을 적당히 조절하여서 제품을 만들 수 있는 정도의 수준까지 기술이 발달하였다고 한다⁽²⁾. 이러한 금속과학기술의 발달은 기원전 108년에 漢에 의하여 한반도 북방에

*漢陽大學校 大學院生

**漢陽大學校 教授

樂浪郡이 설치되면서 도입된 중국으로부터의 금속기술에 현입은 바가 크지만 원태부터 우리나라에 존재하고 있었던 고유의 과학기술과 상승하므로 어느면에 있어서는 더욱 높은 수준으로까지도 발전할 수 있었던 것이다. 그러나 이러한 금속기술의 흡수 발전과정에서도 新羅는 한반도 동남단에 치우쳐 있어서 북방문화의 영향을 뒤 늦게야 받아들일게 되어 후진성을 면하지 못하였다. 그러던 중 삼국통일을 전후하여, 백제및 중국 대륙과의 교류로 급격히 발전하였다.

그러면 이와같은 기술이 언제 어떻게 발달하였을까? 즉 金銀제품의 섬세한 陽刻과 絶斷을 하기 위한 압출장치는 어떠하였으며, 여러개의 太刀先端에 나타난 金銅製의 三環頭式裝飾과 鳳凰模樣은 어떠한 方法으로鑄造하였을까? 또한 많은 부분의 청동류의 표면에 석워져 있는 금 피막의 피복방법은 어떤 것이며 그 시대의 금, 은, 동, 철등을 얻기위한 야금법은 과연 어떤 것이 있었을까? 等等 수 많은 신비스러운 秘法이 간직되어 있다. 그러나 이제까지 이러한 금속제조 및 가공에 대해 科學的 側面에서 다루어진 경우는 거의 없고 古考문화적인 면에서만 취급되었을 뿐이다. 따라서 고대의 금속제조가공기술을 체계적으로 연구 확립하여 그것이 가능하였던 要因을 분석하고 이것이 우리나라의 근대 금속과학기술에 이어져서 발전하지 못한 이유를 밝혀야 할 것이다. 이러한 과학기술의 연구는 과학의 과거를 올바르게 파악하여 이것을 새롭게 이해하고 정당하게 평가하므로써 새로운 미래의 금속과학기술의 발전을 도모할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 연구의 첫 단계로 고대 신라의 고분인 155호 고분에서 나온 금속 유물의 일부를 科學的 보존 및 환원처리 중 나타난 유물의 형태 및 시편의 채취가 가능한 부분에 대한 금속 현미경조직 조사와 문헌에 의해 금속 기술 발달과정을 조사하였다.

II. 연구 방법

본 조사 연구에 사용된 시편은 A. D. 300~600년 경으로 추정되는 慶州 155호 古墳 및 其他 고분에서 출토된 신라시대 금속유물의 일부분인 鐵, 銀, 靑銅製品과 이미 출토된 신라시대 유물인 금 피복된 유리제품 등을 사용하였으며 백제시대의 고분인 武寧王陵에서 출토된 유물도 비교 대상으로 하였다. 고분에서 출토된 유물의 표면은 오랜 기간 동안 두터운 피막으로 덮여 있어서 물체의 형상이나 그 표면에 새겨진 문양은 식별할 수가 없다. 따라서 화학적 및 전해환원처리로 표면피막을 除去하여 文樣과 加工原형을 노출시켜서 제조방법

이나 세공기술을 조사하였다. 이들 유물 중 소용이 없게된 鐵, 銀, 金銅製品의 극히 작은 파편을 시편으로 하여 금속현미경에 의한 금속 내부 및 피복된 界面의 조직을 조사하였다. 이와 함께 문헌에 의해 기술 발달 과정을 고찰하였다. 이 조사연구 중 피막제거를 위한 다음과 같은 電解還元처리 및 화학적 처리를 하였다.

1. 전해환원처리

a. 장 치

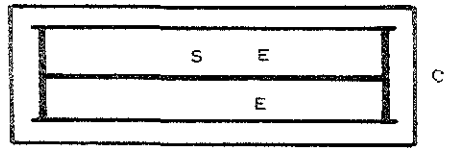
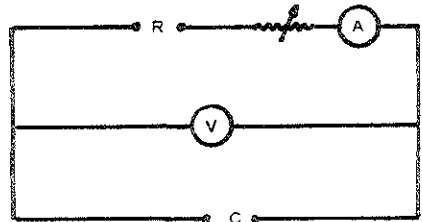
철 및 은제품은 Fig. 1에 보이는 아크릴로 제조된 전해환원 장치로 처리하였다. 시편은 유리봉의 시편대에 놓아 음극에 연결하고 시편 위와 아래에 두개의 양극을 설치하여 시편의 표면이 균일하게 환원처리되게 하였다. 양극은 은제품인 경우에는 은판을 금피막제품 일때에는 Pt를 철제품인 경우에는 스텐레스강을 각각 사용하였으며 전원은 D. C 整流器에서 얻었다.

C: Electrolytic Cell

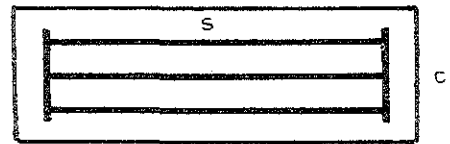
E: Anode

R: Rectifier

S: Specimen Holder



a: front view



b: plane view

Fig. 1 전해환원처리 장치

b. 처리방법

처음에 표면에 달라 붙어 있는 수용성 부식 생성물을 증류수로 씻어 용해시킨 후 10% 가성소다 용액이 담긴 전해조 試片臺 위에 놓고 1~3A/dm²의 전류밀도에서 전해처리하였다. 전해후 10% 황산용액으로 전해 처리에서 아직 떨어지지 않은 표면피막을 제거하고 증류수에 넣어 약품을 완전히 씻어내서 90°C의 건조로속에서 건조하여 수분을 제거했다.

2. 화학적 처리

금동제품 및 표면에 두터운 산화물이 덮인 청동제품은 전해처리로서는 금동제품은 금피막이 剝離되고, 경동표면에 견고하게 달라붙은 피막도 잘 떨어지지 않는다. 따라서 이러한 종류의 제품은 전해처리를 피하고 화학처리를 하여야 한다. 이 처리방법은 먼저 표면의 수용성 물질을 증류수로 세척하고 5% 가성소다에 15% 롯셀염을 섞어 만든 알카리 롯셀염으로 표면의 부식성 청동산화물을 녹여버렸다. 이 후에도 잘 녹지 않는 산화피막은 10% 황산으로 녹여내거나 꿀 등에 의해 기계적으로 제거한 다음 전해처리와 같은 후처리를 했다.

III. 연구결과 및 고찰

1. 금피막 형성기술

1) 靑銅表面上의 Gilding

신라시대의 유물중 불상, 裝身具와 식기 등에 금동제품이 많이 출토되고 있는데 秀麗한 표면 상태로 볼 때 그 당시의 도금기술이 상당한 수준에 이르렀음을 알 수 있다. 금동이란 청동표면에 금을 피복한 것으로 피복방법에 따라 cladding法과 amalgam法으로 나뉘어진다.

cladding法은 금을 피복하는 경우 얇은 금박을 청동제품 위에 입힌 후에 열을 가하여 압착시켜서 청동과 금을 접착시키는 방법으로 비교적 표면상태가 단조롭고 작은 제품에 사용된다. 이에 대해 amalgam法이란 금이 수은에 용해하여서 수은과 같이 액체상으로 되어 청동표면에 잘 달라 붙는 성질을 이용한 것으로 수은의 비등점 357°C 가까이서 가열하면 수은은 증발되고 금피막이 입혀진다. 이렇게 만들어진 피막은 한 번만으로는 완전하지 않으며 두 세번 칠해서야 비로서 완성되는 것이다. 이 방법은 크고 복잡한 제품에도 사용되기 용이하므로 고대의 주요한 피복방법으로 이용되어 왔는데, 복잡한 구조인 금동제 불상 및 장신구는 모두 이러한 방법으로 피복하였음이 틀림없다. Fig. 2

는 155호 고분 출토품 중의 하나인 금동제 鏡이고 Fig. 3은 금피막과 소지금속과의 계면조직으로 금 피막 바로 밑의 소지금속인 청동은 이질금속에 의한 電池形成으로 거의 부식되어 多孔質의 산화물 층을 이루고 있으며 내부의 청동조직도 입체가 부식되어 있다. 또한 금 피막의 두께는 균일치 못하며, Fig. 4와 같이 표면에 나타난 일 방향성인 붓자국으로 보아서나, 그릇 및 두경의 형태에서 볼때 피복은 아탈감법에 의한 것 같다. 이 외에도 Fig. 5의 금동제칼집을 보면 이것은 요철 부분이 많고 구조가 복잡하여 cladding法으로는 피복할 수 없는 형태이다. 이와같이 그 당시의 금 피복의 대부분은 amalgam법이 쓰여진 것임을 알 수 있다.

2) 유리 표면상의 Gilding

廣州市 古墳附近에서出土된 遺物중에 유리 위에 금을 피복한 것이 있는데 이러한 피복은 근태에도 상당히 어려운 기술이다. 이 유물의 형태는 표면에 조그만 구슬형상의 돌기부분이 많이 있는 복잡한 무늬를 갖고 있어서 cladding法으로는 금피막을 입힐 수 없었을 것이며 amalgam법으로 피복하였음에 틀림없다. Fig. 6은 유리 와 금피막의 계면조직으로 계면사이에는 동의 산화물이 나타나 보이는데 이것은 유리상에 금이 직접 접합이 잘 되지 않으므로 매개체로 동합금을 사용하였을 것이다. 그러면 동을 유리상에 어떻게 접합시켰을까? 아마 그 당시에도 어떤 종류의 천연적 접착제가 사용되었으리라 추측할 수 있다. 이러한 點으로 볼때 신라시대의 금속피복 기술은 상당히 높은 수준에 이르렀으리라 추측할 수 있다.

2. 주조기술

1) 청동기

고대의 주조방법은 어떠한가? 모형이나 주형은 어떤 것을 사용하였을까? 출토된 유물 및 유적이 별로 없고, 있어도 시편수집이 어려워 외국의 주물 발달사를 참조하고 그 당시 우리나라의 전반적인 기술발달로 미루어 볼 수 밖에 없다. 인류가 점토를 구어서 유용하고 아름다운 것을 만든 것은 가장 일찍이 발전한 기술의 하나로 최초로 금속주물에 사용된 모형재료는 점토이다.

또한 소수의 목형이 사용된 것도 판명되었으며 砂石 및 滑石도 모형으로 사용되었다. 주형은 최초로 開口式이 사용되었음은 의심할 여지가 없으며 이러한 주형의 재료로는 주로 점토가 이용되고 돌도 일부 사용되었다. 틀은 모형이 필요없이 보다 단단한 물질로 깎아내서 주형으로 만들므로서 점토보다 만들기는 어렵지

만 한번 만들어 놓으면 여러번 再 이용할 수 있는 장점을 가지고 있다⁽²⁾. 그러나 이 것으로는 간단한 물품만을 만들수 있지 복잡한 것은 제조할 수 없어서 閉口式 주형이 사용되었다. 이것은 발판에서 나오는 밀과 松脂를 녹여 섞은 것으로 원형을 관통해서 여기에 주입구나 밀의 유출구를 덧붙인다. 여기에 주형트를 고운 가루로 만들어서 점토와 섞어 칠한 후 햇볕에 말려서 불에 구으면 밀이 녹아나와서 孔이 뚫린 주형이 만들어진다. 이 주형에 녹은 청동을 주입하여 필요한 물품을 주조해 내는데 응응 청동을 만들기 위해서는 나무나 목탄에서 열을 얻었다⁽³⁾. 주조시 청동을 녹여 두는 용기는 돌이나 점토를 사용하였을 것이다.

2) 철 기

철은 청동보다 훨씬 응응점이 높아서 자연통풍으로서는 주조할 수 있는 응응상태로 만들만큼 높은 열을 얻을 수 없다. 따라서 처음에는 순도가 높은 철광석을 목탄과 함께 가열하여 반응용 상탕로 녹인후 대장간에서 만드는 방법과 같이 단련해서 분순물이나 slag를 추출해 낸후 원하는 형태의 제품을 만들었다. 이후 풀부 등 인공송풍 기술이 발달함에 따라 어느정도 높은 열을 얻어서 철을 보다 더 응응시킬 수 있게 되어 몇번 再응용 加炭을 시켰다. 再炭질 철은 응응점이 낮아져서 주조할 정도로 응응시킬 수 있는 것이다. 따라서 이러한 어떠한 주조방법으로 고대의 철주조품의 생산은 아주 적었으며 14세기에 이르러 송풍에 수력을 이용하면서 다량 생산되었다⁽⁴⁾. 삼국시대의 유물 중에는 철주조품이 극히 적은데 신라 155호 고분에서 출토된 가마솥이나 백제 무령왕릉에서 나온 중국 양나라 오수전은 이런 방법으로 만들어졌을 것이다. 철의 주조방법에 있어서는 청동의 경우나 거의 같으나 철의 높은 응응점으로 보다 耐火性인 鑄型이 요구되었다. 이러한 목적으로 사용된 내화물에는 도석과 粘結劑인 약간의 粘土를 섞어서 사용하였을 것이다.

3. 금속세공기술

1) 철단조기술

고대의 철은 목탄과 환원하기 쉬운 철광석을 火床에 함께 넣어 재련하였고 송풍 시설의 미비로 자연통풍이어서 거의 환원반응만 일어나고 加炭반응은 거의 없어서 만들어진 철도 연철이었다. 연철은 응응점이 높아서 반응용 상탕에서 여러번 단련하여 slag나 아직 응응되지 않은 광물등의 분순물을 추출하여 단물어졌다. 고대의 무기나 농기구 등 여러가지 생활용품은 이러한 연철이 좋은 연철을 두드려서 원하는 모양으로 만들어

졌다. 이러한 鍛鍊 방법은 우리 인류가 발견해낸 최초의 가공 기술이었던 것이다. 우리나라의 신라시대의 유물중에도 이러한 단련제품이 많이 나타나고 있다. Fig. 7은 鐵錠으로 형태에 있어서 주조할 필요가 없는 것으로 제조상 단련에 의해 만드는 것이 편리한 모양으로 Fig. 8에 나타난 조적을 보아도 전형적인 鍊鐵의 조적을 나타내고 있다. 이 조적층에 나타나있는 검은 반점들은 아직 덜 추출된 slag로 단련으로 약간 늘어나 있다⁽⁵⁾.

Fig. 9는 신라시대 도끼의 모양인데 표면에 나타난 陽刻의 線은 보통 주조에 의해서 만들어 지는 線이다. 그러나 도끼는 사용 용도가 나무를 자르는 것이므로 주조품으로는 脆化해서 사용할 수 없었을 것이다. 또한 도끼날단을 단련 할수도 없고, 지금의 도끼 제조 방법이 대장간에서 단련해서 만드는 것임을 볼때 이것 역시 단조품으로 보이며 여기 나타난 선은 도끼를 단조할때 다이에 새겨진 홈으로 인해 나타난 것으로 생각된다. 이러한 다이의 재질은 역시 철로 만들어졌을 것이며, 탄소 함량이 좀더 많은 것이 사용됐을 것이라 추측된다. 이밖에도 Fig. 10의 칼, 창, 등 많은 철기 제품도 이러한 방법으로 만들어졌을 것이다.

2) 銀세공기술

古代의 은은 사용하여 제품을 만드는에는 주로 이것을 두드려 주어진 형태를 만들거나 판재로 해서 이 판재를 주어진 형태로 壓出해서 만들거나 주조해서 만들어졌을 것이다. Fig. 11은 銀製大刀인데 칼집은 철제이나 칼집은 은으로 만들어진 것으로 은을 두드려 얇게 판재로 만든후 이것을 칼에 맞추어 자른후 은못으로 접합부분을 이어서 만든것이 형태상 나타난다. 이大刀의 末端을 Fig. 12, 13에서 볼 수 있다. 銀製盒으로 이것은 銀板材를 壓出해서 만든 형태이다. 즉 뚜껑 위에 있는 꼭지부분이나 그릇 밑 바닥 부분은 따로 만들어 붙였는데 주물로 부어 만들었다면 이러한 부분이 함께 붙었어야 할 것이다. 이밖에 압출기술의 발달은 은제 腰佩인 Fig. 14, 15에서 나타난 龍의 陽刻 및 Fig. 16, 17의 각 마디의 문양이나 銀製鈎帶裝飾인 Fig. 18에서 나타났다. 제품의 크기 및 문양의 동일성은 壓出이 아니고서는 만들수 없는 것이며 여러 제품을 만들기에에도 이러한 방법이 용이 하였을 것이다.

이러한 압출에는 압출대가 필요했을 것인데, 이 목적을 위해 사용된다. 이의 강도는 청동제품으로 충분했을 것으로 생각된다. 이러한 은의 가공 기술은 백제 武寧왕능의 腰佩 팔찌등의 陽刻 및 銀 cladding 된 철관 곳곳에서도 그 당시의 면모를 엿볼수 있다.

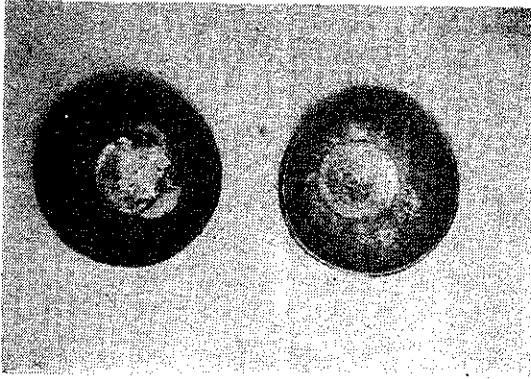


Fig. 2 금동계 鏡



Fig. 3 금동계 鏡의 청동과 금피막 계면(×100)

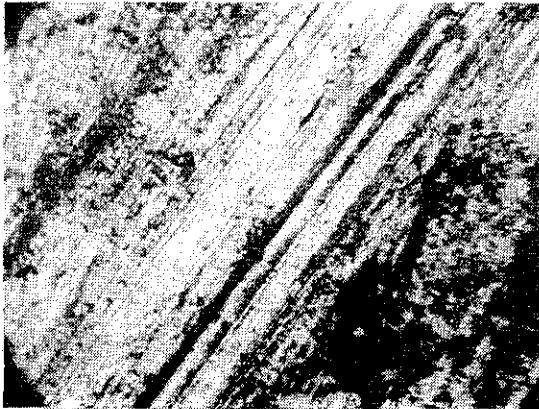


Fig. 4 금동계 鏡의 표면(×100)



Fig. 6 금피복된 유리의 계면(×100)
A : 금피막 부분
B : 구리합금의 산화물 부분



Fig. 5 금동계 鏡

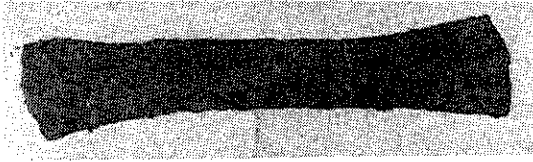


Fig. 7 철경

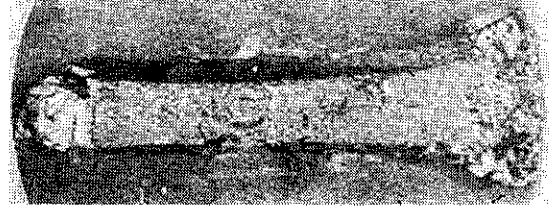


Fig. 9 도끼

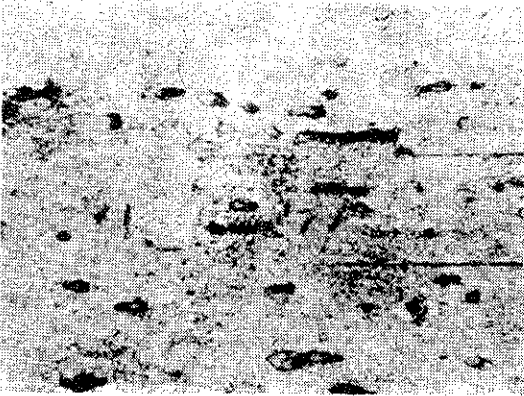


Fig. 8 철경의 조직(×100)

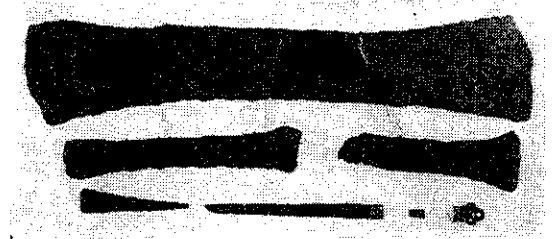


Fig. 10 칼, 창, 철경

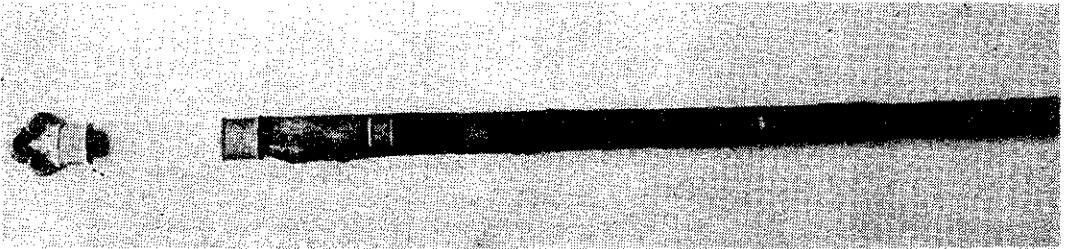


Fig. 11 은제 太刀

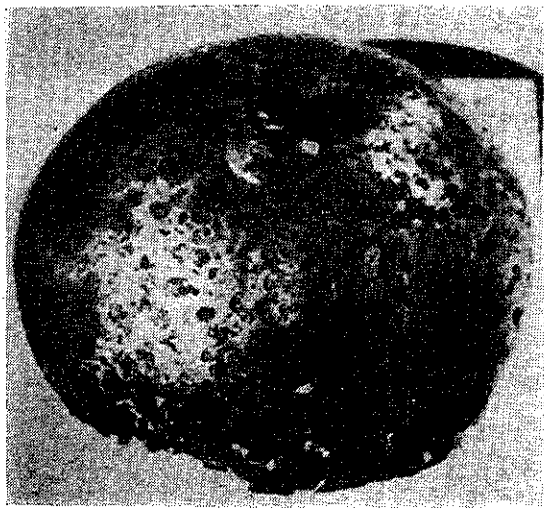


Fig. 12 은제 盆뚜껑

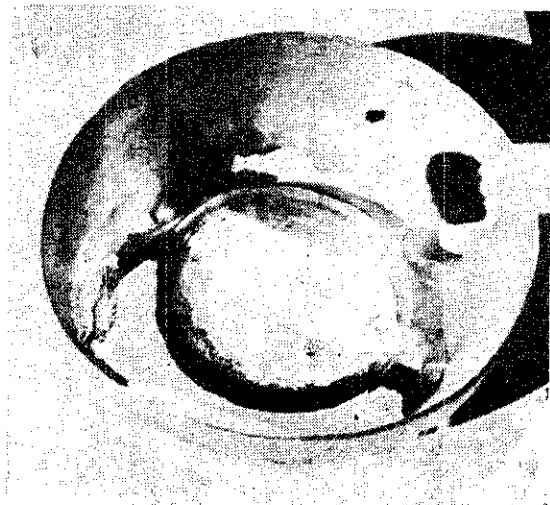


Fig. 13 은제 盆

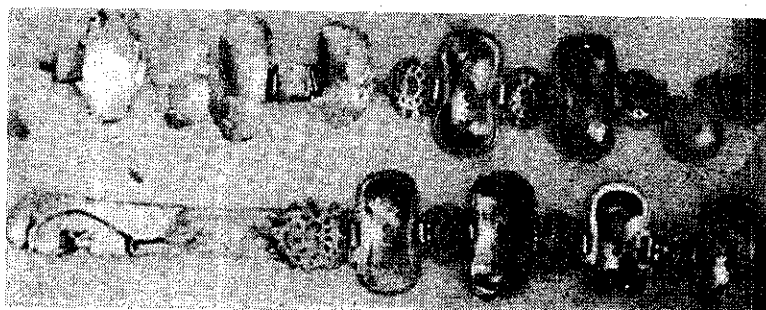


Fig. 14 은제 腰佩



Fig. 15 은제 腰佩의 龍 양각

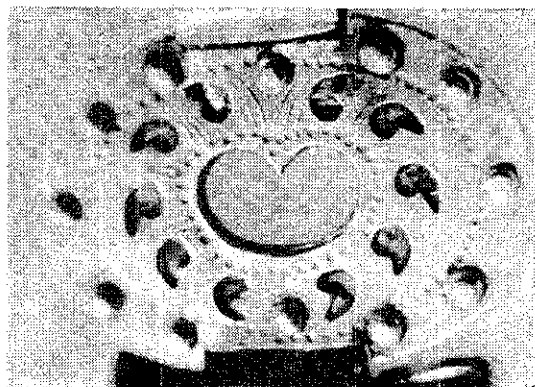


Fig. 16 은제 腰佩의 이음쇠



Fig. 17 은제 腰佩陽刻의 일부

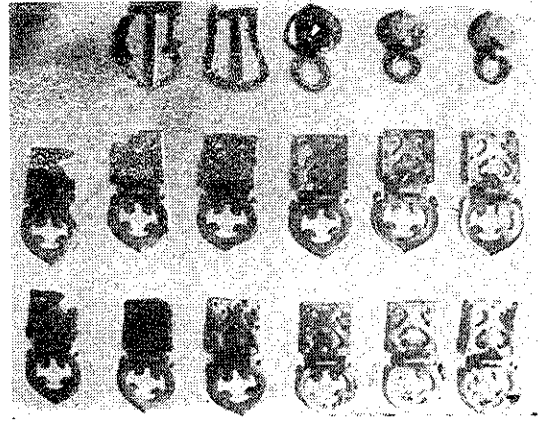


Fig. 18 은제 鈔帶장식

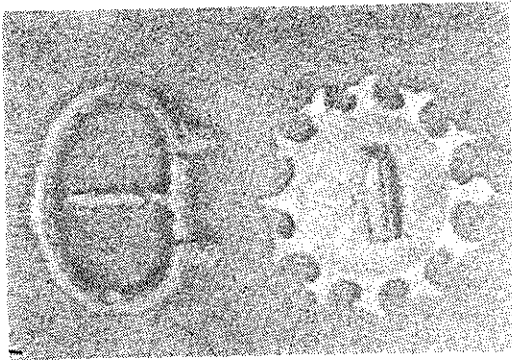


Fig. 19 금 장식

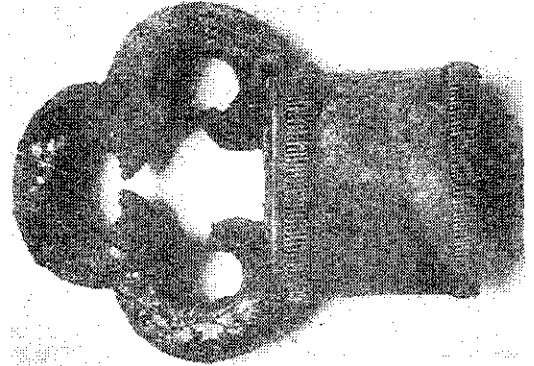


Fig. 20 銀製太刀의 손잡이

3) 금세공기술

전기화학적으로 가장 noble 한 금은 자연에서 금속상태로 존재해서 인류에게 가장 일찌기 알려진 금속이다. 또한 금은 연성이 좋아 햄머에 의한 냉간가공으로도 쉽게 어떤 모양을 만들 수 있는데 금의 냉간가공은 B.C. 2700 년경부터 시작되었다고 한다⁽⁶⁾. 금은 어떤 상태에서도 거의 광택을 잃지 않아서 고대로부터 장신구로 많이 애용되었는데 Fig. 19 는 古代신라시대의 유물로 냉간 압출했는데 그 모양이 秀麗하다. 또한 Fig. 20 銀大刀의 손잡이 끝부분의 금장식으로 표면에 나타난 뭉치형 양각의 압인자극도 압축기술로 만들어졌음에 틀림 없다.

155호 고분에서 출토된 金冠과 금제腰佩 및 鈔帶장식도 이러한 방법으로 만든 것으로 압출 방법은 은과 같았을 것이다. 특히 금제과대장식은 은의 경우처럼 모두가 크거나 모양이 일정하고 끝 부분에 압출 자국이 있어서 이를 뒷받침하여 주고 있다.

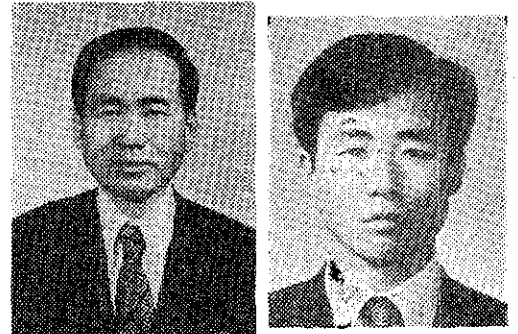
IV. 결 론

1. 철의 제품의 제조방법은 주로 열간단조에 의해 만들어졌으며 주조품은 극히 일부분에 지나지 않는다.
2. 청동 표면상의 금피막 형성은 복잡한 구조 형태인 경우 주로 amalgam 法으로 만들어진 것 같다.
3. 청동의 주조 방법은 閉口式까지도 사용했으며 분상 등 복잡한 구조도 주조할 수 있었을 것이다.
4. 금은의 주요 가공방법은 냉간압출로 압출대 위에서 시편을 햄머등으로 두드려 만든 것 같다.
5. 유리 표면위에 금피막을 입힌것은 銅합금을 먼저 유리표면에 固着시키고, 그 銅합금 표면 위에 amalgam 法에 의하여 금피막을 올린것 같다.

V. 참고문헌

1. 전상운, 한국의 고대과학, p. 15-21, 탐구당, 서울 (1972)
2. H. F. Taylor & M. C. Flemings, Foundry Engineering, p. 1-9, Wiley, New York (1959)
3. B. W. Smith, Sixty Centuries of Copper, p. 29-31, Japanese Translation AGNE, Tokyo (1966)
4. 윤동석, 양훈영, 철강재료공학, p. 1, 새한문화사, 서울 (1969)
5. R. S. Williams & V. O. Homberg Principles of Metallograph, p. 125-126, McGraw-Hill, New York (1948)
6. 桑原康長, 鐵鋼의冷間壓延, 誠文堂新光社, 東京 (1954)

—저자 소개—



저자 강성군씨(우)는 현재 한양대학교 대학원 박사과정에서 동교에 교수로 있는 본 공학회 회장 조중수(좌)박사의 지도를 받고 있으며 동교에서 재료공학으로 학사학위(1971)와 석사학위(1973)를 취득했으며 독일 정부장학금으로 곧 도독 연구 예정이다.