

한반도 출토 도금 자료의 분석

韓半島 出土 鍍金 資料의 分析

姜大一

목차

- | | |
|-------------------------------------|---------------------|
| 1. 서언(序言) | 5. 실험(實驗) |
| 2. 도금(鍍金)이란 | 6. 결과 및 고찰(結果 및 考察) |
| 3. 도금 자료에 대한 연구 역사(鍍金 資料에 대한 研究 歷史) | 7. 결론(結言) |
| 4. 자료(資料) | 인용문헌(引用文獻) |
| | 사진(寫眞), 도(圖) |

1. 서언(序言)

고고학 자료(考古學 資料)에 대(對)한 최초(最初)의 화학 분석(化學 分析)은 1795년(年) 독일(獨逸)의 화학자(化學者) 클라프로드(M. H. Klaproth, 1743~1817)가 그리스 로마 시대(時代)의 금속 화폐(金屬 貨幣)를 분석(分析)한 것이 효시(嚆矢)이다(1). 또한 클라프로드는 중국(中國)의 화폐(貨幣)나 각(各) 지역(地域)에서 출토(出土)된 금속 자료(金屬 資料), 로마 유리 등의 분석(分析)도 실시(實施)하여 고대(古代)의 임질(林質)을 통한 화학적 검토(化學的 檢討)도 하였다.

우리나라에서는 이숙연(2), 조종수(3), 김원룡(4), 김유선(5)(6)(7), 등이 각각(各各) 단청(丹青), 청동(靑銅), 철(鐵), 고분출토 유물(古墳出土 遺物) 등에 대하여 최초(最初)로 재질(材質)의 화학 성분(化學 成分)을 분석(分析)하였으나 시료자체(試料自體)의 입수곤란(入手困難)과 분석 방법(分析 方法)의 결여로 인하여 그 범위(範圍)와 해석(解釈)은 미흡하였다.

고고학 자료(考古學 資料)는 주지(周知)하다시피 도(陶)·토기(土器), 자기(磁器), 유리, 금속류(金屬類)(금(金), 은(銀), 동(銅), 청동(靑銅), 철(鐵), 금동(金銅) 등), 석기(石器), 목재(木材), 점유, 골각기(骨角器), 안료(顔料) 등 다양다질(多樣多質)로써 그 수는 헤아릴 수 없는 만큼 상당한 양이다. 또한 이러한 고고학 자료(考古學 資料)에 대한 자연과학적 분석(自然科學的 分析)은 재질(材質)이 불균질(不均質)하고, 표면(表面)은 주위 환경과 시간의 경과에 따라 변질(變質)되어 있어, 자연과학(自然科學)의 분석 방법(分析 方法)을 그대로 적용(適用)하기에는 아직도 해결해야 될 문제가 많이 남아 있다. 또한 고고학 자료(考古學 資料)는 두 번 다시 만들어 낼 수 없는 희귀성과 귀중성으로 인하여 원칙적으로 비파괴적방법(非破壞的方法)에 의한 분석(分析)만이 허용되고 있는 실정이다.

그러나 비파괴적 분석법(非破壞的 分析法)은 아직 분석과학적(分析科學的)으로도 충분히 개발(開發)된 방법(方法)이 아니고 또한 시료(試料)를 손상(損傷)치 않을 정도의 미량(微量)이면 샘플링이 허용(許容)되는 경우가 있어, 미량 시료량 분석(微量 試料量 分析)도 현시점(現時點)에서는 넓은 의미로 비파괴분석(非破壞分析)으로 취급된다.

따라서 이러한 문화재(文化財)에 대한 비파괴적 분석법(非破壞的 分析法)의 이해와 적용(適用)은 금속 유물(金屬 遺物)의 물성(物性), 연대(年代), 산지(產地), 제작 기법(製作 技法) 등, 금속(金屬)의 역사(歷史)에 대한 실마리를 푸는데 유효(有效)하리라 생각되어진다.

2.도금(鍍金)이란

도금(鍍金)이란 넓은 의미로 금속 제품(金屬 製品)(동(銅), 청동(靑銅), 황동(黃銅), 은(銀), 철(鐵), 등)의 표면에 금(金), 은(銀), 니켈, 크롬, 아연, 주석, 납 등의 다른 금속(金屬)을 얇게 피막(被膜)을 입혀 미관(美觀), 내구성(耐久性), 내마모성(耐磨耗性) 등을 향상(向上)시키는 표면처리(表面處理)를 말한다. 좁은 의미로는 금(金)만을 지칭한다.

옛부터 중국(中國)에서는 도금(鍍金)을 옥(鎊), 착(錯), 도(鍍), 류(鑿) 자(字) 등으로 표현(表現)하였으며, 일본(日本)에서는 滅金(めつきん), 맥키(めっき), 銷金, 金銷, 金銅, 金錯 등 다양(多樣)한 용어(用語)를 사용하였다. 즉 금(金)의 색(色)이 일시에 잃어 버려 도금(鍍金)된다는 것으로 말하자면 금(金)을 수은(水銀)에 용융(熔融)시켜 금(金)아말감을 만든 뒤 기물(器物)에 도금(鍍金)시키는 것이다.

현재(現在) 도금(鍍金)에는 전기도금(電氣鍍金), 화학도금(化學鍍金), 용융도금(熔融鍍金), 메탈 스프레이(Metal spraying), 진공도금(眞空鍍金) 등이 있다.

가장 일반적인 도금법(鍍金法)은 전기도금(電氣鍍金)이다. 동도금(銅鍍金)을 예(例)를 들어 전기도금(電氣鍍金)을 간단히 설명하면, 도금액(鍍金液)(황산동(黃酸銅)과 황산(黃酸)의 수용액(水溶液)) 중에서 동판(銅板)과 대상 금속(對象 金屬)에 각각(各各) 양극(陽極), 음극(陰極)으로 전류를 통하면 동(銅)은 양(陽)이온이 되어 대상 금속(對象 金屬)의 표면에 고착(固着)시키는 방법(方法)이다.

화학도금(化學鍍金)은 전기를 사용하지 않고 화학 반응에 의해 도금(鍍金)하는 방법이다.

용융도금(熔融鍍金)은 용해 금속 도금법(融解 金屬 鍍金法)이라고도 하여 아연(亞鉛), 주석(朱錫), 연(鉛) 등 저융점 금속(低融點 金屬)을 가열 용해(融解)한 속에 대상 금속(對象 金屬)을 담가 도금(鍍金)하는 방법(方法)이다.

메탈스프레이는 스위스의 M. U .Schoop가 발명(發明)한 것으로 금속용사피막법(金屬 熔射被膜法)이라고도 불리우며 용융(熔融)한 금속(金屬)을 무상(霧狀)으로 대상금속(對象 金屬)에 취부(吹付)하는 방법(方法)이다.

진공도금법(眞空鍍金法)은 진공증착법(眞空蒸着法)과 스퍼터링(Sputtering)법(法) 등이 있으며 진공 중(眞空中)에서 가열 증발(蒸發)시키거나 스퍼터링시켜서 금속(金屬)을 대상 금속(對象 金屬)의 표면에 고착(固着)시키는 방법(方法)이다.

금(金)의 전기도금법(電氣鍍金法)은 1938年年 영국의 엘킨톤(Elkington)형제에 의해 발명(發明)된 고온(高溫) 시안알카리 용액의 사용이 시작이다. 금도금(金鍍金)은 대단히 내식성(耐蝕性)이 강하고 전기저항(電氣抵抗)이 적어 열전도성(熱傳導性)이 양호(良好)하며 또한 고온(高溫)에서도 사용 가능한 점에서 현재에는 반도체(半導體), 프린트기판(基盤), 접점(接點) 등의 제조에 널리 사용되고 있다.

고대(古代)의 도금(鍍金)의 방법(方法)은 수은(水銀)을 금은(金銀) 또는 각종(各種)의 동합금(銅合金) 또는 동(銅)을 상온(常溫)에서 화합(化合)하여 아말감을 생성(生成)시켜

이용(利用)하는 것으로 공정(工程)에는 약간의 차이가 있다고 한다.

소림행웅(小林行雄)은 기본적(基本的)인 도금 방법(鍍金 方法)으로 수은(水銀)과 금 박판(金 薄板)을 소편(小片)으로 한 것을 화합(化合)시켜 금(金)아말감을 만든 뒤, 미리 연마(研磨)하여 매산(梅酸)(매실산(梅實酸))등의 산(酸)으로 깨끗이 해 둔 동판(銅版)의 표면(表面)에 도시(塗市)하여 350. C 정도(程度)로 가열(加熱)하여 수은(水銀)을 증발(蒸發)시킨 후 포(布) 등으로 닦아서 마무리를 짓는다고 하였다. 금(金)아말감을 도시(塗市)한 단계에는 기물(器物)의 면(面)은 백색(白色)을 띠지만 가열 연마(加熱 研磨)에 따라 황금색(黃金色)으로 변한다. 다만 1회의 조작으로 도금 발색(鍍金 發色)이 충분(充分)치 않기 때문에 보통은 2~3회 반복한다. 또한 금·은(金·銀) 아말감은 도시(塗市)할려는 제품이 동(銅)인 경우에는 쉽게 부착 결합하지만 철(鐵)에 대해서는 반응(反應)치 않는다. 따라서 철제품(鐵製品)에 도금(鍍金)은 불가능(不可能)하여 고대(古代)에 있어서는 철제품(鐵製品)의 표면(表面)을 동판(銅版)으로 썩은 다음 도금(鍍金)을 하는 이른바 철지금동판장(鐵地金銅板張)이란 방법(方法)이 사용되었다고 한다. 여기서 금동(金銅)이란 동(銅)에 도금(鍍金)을 한 것을 말하며, 금은(金銀)이라면 은(銀)에 도금(鍍金)된 것이라 하였다(8). 현재(現在) 이러한 금(金) 아말감 도금(鍍金)은 금공 분야(金工 分野)에서는 뒤에 언급할 박도금(箔鍍金)과 구별하기 위하여 소도금(銷鍍金)이라 불리우기도 한다.

박도금(箔鍍金)은 지분(砥粉)과 수은(水銀)을 혼합(混合)한 것을 기물(器物)에 도시(塗市)한 다음 금박(金箔)을 붙이는 방법(方法)이다. 박도금(箔鍍金)은 수은(水銀)에 금(金)을 용융(熔融)시키는 것이 아니지만 열(熱)을 가해 수은(水銀)을 증발(蒸發)시켜 금박(金箔)을 기물(器物)에 정착(定着)시켜 브러쉬 등으로 마무리를 하는 것으로 원리적으로는 금(金)아말감 도금법(鍍金法)에 속한다고 할 수 있다.

이외에 칠박도금(漆箔鍍金)이 있는데 이는 접착제로써 칠(漆)을 사용하여 금박(金箔)을 붙이는 기법이다. 즉 일반의 아말감 도금(鍍金)은 철제품(鐵製品)에 대해 사용하지만 칠박도금(漆箔鍍金)은 도금(鍍金) 불가능(不可可能)한 철제품(鐵製品)에 사용된다. 칠박기법(漆箔技法)에 의하면 금(金)의 피막(被膜)이 얇고, 색(色)이 변하지 않는 금색(金色)을 나타내는 것이 특징이다.

본고에서는 고대(古代)의 금공품(金工品)의 제작 기법(製作技法)을 최신(最新)의 장치를 사용하여 도금층(鍍金層)의 두께, 균일성(均一性), 치밀성(緻密性), 화학조성(化學組成) 등을 살펴, 우리 선조(先祖)의 우수한 금속(金屬) 가공 기술을 이해하는데 목적을 두었다.

이러한 자연과학 연구로부터 얻어진 유물(遺物) 고유의 정보(情報)는 금동 유물(金銅遺物)의 보존(保存) 수복·처리(修復·處理)는 물론, 고대 과학 기술사 연구(古代 科學技術史 研究)에 기초 자료로 유효하게 사용되리라 생각한다.

3. 도금 자료(鍍金 資料)에 대한 연구 역사(研究 歷史)

3-1. 도금 기술(鍍金 技術)의 역사(歷史)

자연계에 있어 금(金)은 천연에 유리(遊離)의 상태(狀態)로 석영맥중(石英脈中)에 존재(存在)하며, 뛰어난 황금(黃金)광택과 희귀성으로 인류(人類)의 역사(歷史)와 함께 공존(共存)해 왔다. 금(金)은 금속 중(金屬 中) 가장 연전성(延展性)이 뛰어나서 0.1 μ m의 두께까지 얇게 할 수가 있고, 1g의 금(金)은 3km까지 늘일 수 있다고 한다.

B.C 5000년경(年頃), 이집트의 바다리안(Badarian)문화 시대(文化 時代)에는 이미 황금(黃金)의 제품(製品)이 등장(登場)하고 있다(9).

또한 B.C 2000년경(年頃)의 시리아의 하마(Hama)유적에서는 청동(靑銅)에 금박(金箔)을 입힌 신상(神像)이 발굴됨으로써 이미 이 시대에 도금 작업(鍍金 作業)이 이루어졌음을 알 수 있다(10).

중국(中國)에 있어서는 B.C 1000년(年) 이상(以上) 전(前) 상대(商代)에 금(金), 은(銀)의 장식품(裝飾品)이 제작(製作)되었다고 한다. 하남성 안양시 은허(河南省 安陽市 殷墟)에서는 금박편(金箔片), 금엽(金葉), 금박(金箔) 등이 발견되었는데 금박(金箔)의 두께는 10 μ m 정도로, 그 당시 이미 금(金)에 대한 연신성(延伸性)을 숙지한 것으로 생각된다(11).

한반도(韓半島)에 있어 도금 기술(鍍金 技術)의 시작은 명확(明確)치 않지만 아마 B.C 1 세기경(世紀頃), 서(西)아시아, 서역, 중국을 거쳐 유입(流入)되었다고 생각된다.

현재(現在)까지 낙랑(樂浪)의 것으로 보이는 석암리9호 금제교구(石巖里9號 金製鉸具)를 제외(除外)하고 한반도(韓半島) 출토(出土) 최고(最古)의 도금제 유물(鍍金製 遺物)은 A.D 3C경(頃) 원삼국시대(原三國時代)의 청당동 목관묘(淸堂銅 木棺墓)에서 출토(出土)된 2점의 금박(金箔)유리구슬이다. 이 구슬은 표면에 얇은 금박(金箔)을 한 다음 유리 피막으로 피복한 것이다. 유리 구슬은 구멍이 뚫려 있고 원래는 연주상(連珠狀)의 것이 아닌가 생각되고 있다(12)(13).

현재 고구려(高句麗), 백제(百濟), 신라(新羅) 및 가야(伽倻)의 고분(古墳) 등에서는 마구(馬具), 식이(飾履), 관장식(冠裝飾), 관식(冠飾), 불상(佛像) 등에 도금(鍍金)을 비롯한 주금(鑄金), 조금(彫金), 단금기법(鍛金技法)을 사용(使用)한 금속 유물(金屬 遺物)이 많이 출토(出土)되고 있다.

고대 한반도(古代 韓半島)의 도금 기술(鍍金 技術)은 고문서(古文書)의 기록으로 어느 정도 추측 가능하다.

진흥왕(眞興王) 34년(年)(573년(年)) 삼국유사 황룡사장육조(三國遺事 黃龍寺丈六條)의 기록에는 다음과 같은 기술이 보인다.

「至十七年方畢 未幾 海南有一去舫來泊於河曲縣之絲浦(今蔚州谷浦也)檢看有牒文云西竺阿育王 聚黃鐵五萬七千斤 黃金三萬分(別傳云 鐵四十萬七千斤 金一千兩 恐誤或云 三萬七千斤) 將鑄釋迦三尊像 未就 載缸泛海而祝曰 願到有錄國土 成丈六尊并載模樣一佛二菩薩像 縣吏具狀上聞 勅使卜其縣之城東爽塏之地 創東竺寺 邀安其三尊 輸其金鐵於京師 以大建六年甲年三月(寺中記云 癸巳十月十七日)鑄成丈六尊像 一鼓而就 重三萬五千七斤 八黃金一萬一百九十八分 二菩薩入鐵一萬二千斤 黃金一萬一百三十六分 安於皇龍寺」

이 기록 외에 삼국사기(三國史記) 신라본기(新羅本紀) 진흥왕조(眞興王條)에도 「春三月鑄城 黃龍寺丈六像 銅重三萬五千七斤 鍍金重一萬一百九十八分.....」로 기록되어 있다.

즉 황룡사(黃龍寺)의 장육상(丈六像)의 철조(鐵造) 시(時) 금(金) 10,198분(分), 이보살(二菩薩)에는 10,136분(分)이 도금용(鍍金用)으로 사용(使用)되었음을 알 수 있다.

또한 고대 일본(古代 日本)의 기록(記錄) 중 하나인 760년(年)의 「造金堂所解」에는 도금(鍍金)에 소요(所要)되는 금(金), 수은(水銀)의 양(量)이 명기(明記)되어 있다.

즉, 「請水銀 合壹仟壹佰貳拾陸兩 九百八十二分減練金百九十六兩二分料, 以金一兩充水銀五兩八十五兩二分雜銅物金塗酸苗着料, 五十八兩散用料. 練金百九十六兩二分減料水銀九百八十二兩二分. 合得減金千百七十九兩, 四拾九兩三銖鉸定損愆. 定減金千百二拾九兩三分三銖, 水銀百三拾四兩二分三銖. 용진산·묘착료(用盡酸·苗着料)로 연금(練金) 196兩 2分과 水銀 982兩 2分을 혼합(混合)하여 멸금(滅金) 1,179양(兩)을 만들어 유리(遊離)한 수은(水銀) 49량(兩) 3수(銖)가 된다고 소림행웅(小林行雄)은 해석하고 있다(14).

이러한 금(金)과 수은(水銀)의 비율(比率) 약(約) 1:5는 현재(現在) 금공(金工) 작가(作家)의 도금(鍍金) 비율(比率) 1:3~5와 거의 일치한다(15).

3-2 도금 분석(鍍金 分析)의 역사(歷史)

고대(古代)의 금공품(金工品)의 다양(多樣)한 표면가공기술중(表面加工技術中) 도금 기술(鍍金 技術)은 상당한 비중(比重)을 차지하고 있다. 이러한 도금 기술(鍍金 技術)에 관한 인문(人文), 과학적 접근(科學的 接近)은 몇몇 금공작가(金工作家)나 고고학자(考古學者)등에 의해 보고되었지만, 현재까지 자연과학적 조사(自然科學的 調査)는 별로 이루어지지 못한 것이 현실이다.

왜냐하면 도금(鍍金)된 유물(遺物)은 자료 자체(資料 自體)가 대부분 귀중(貴重)한 유물이기 때문에 도금(鍍金)의 구조(構造)나 제작기법(製作技法)을 조사(調査)하는데 있어 비파괴적(非破壞的)인 방법(方法)을 적용(適用)해야만 하는 자료 취급상의 한계로 극히 한정적인 연구만이 가능하였다(16)(17)(18)(19).

고대(古代) 도금법(鍍金法)을 연구하는데에 문제점을 정리하면 다음과 같은 사항일 것이다.

- 한반도(韓半島)에 있어 도금(鍍金)의 시작
- 도금 자료(鍍金 資料)에 사용(使用)된 금(金), 수은(水銀)의 산지(產地) 및 채광 시기(採鑛 時期)
- 도금 방법(鍍金 方法)의 시대적(時代的), 지역적 변천(地域的 變遷)
- 수은(水銀)을 사용한 금(金)아말감 기술(技術)이 한반도(韓半島)에 정착(定着)한 시기(時期)
- 도금층(鍍金層)의 두께와 도금(鍍金)의 횡수
- 용도별 유물(用度別 遺物)의 도금 기법(鍍金 技法)의 차이(差異)
- 도금(鍍金)하는 경우 도금(鍍金)이 용이한 금속(金屬)이 있는지 금도금(金鍍金)과 다른 금속 도금(金屬 鍍金)과의 관계
- 도금(鍍金)의 색조(色調)와 도금(鍍金)의 화학조성(化學組成)과의 관계
- 아말감도금(鍍金) 이외의 칠(漆)이나 아교 등을 사용하여 금박(金箔)을 붙인 기술(技術)이 시작된 시기

이러한 문제를 한꺼번에 해결하는 것은 불가능하지만 최근 전자현미경(電子顯微鏡)을 비롯한 마이크로 표면분석장치(表面分析裝置)의 발달(發達)과 진보(進歩)로 도금 유물(鍍金 遺物)의 미세 구조(微細 構造)나 원소분포 상태(元素分布 狀態) 등의 자연과학적 조사(自然科學的 調査)가 활발하게 이루어지게 되었다.

예를 들면 일본의 경우 1991년(年) 국립역사민속박물관(國立歷史民俗博物館)의 齊藤 努는 미국 스미스소니안 연구기구 프리아 미술관 소유의 6C~8C의 중국(中國)을 비롯한 조선(朝鮮)의 금동불(金銅佛)에 대(對)하여 주사형전자현미경-화상해석법(走査型電子顯微鏡-畫像解析法)으로 청동 부분(靑銅 部分) 및 도금 부분(鍍金 部分)의 원소(元素)를 mapping 분석(分析)하여 도금 제작 기술(鍍金 製作 技術)에 대한 흥미있는 보고를 하였다(20)(21).

필자(筆者)와 林善基 등도 한반도 출토 도금 자료(韓半島 出土 鍍金 資料)에 대(對)하여 상기(上記)의 최신 분석 장치(最新 分析 裝置)를 이용, 분석(分析)하여 matrix, 도금층(鍍金層) 등 금속 전반 내(金屬 全般 內)의 원소(元素)의 분포(分布), 미세 구조(微細 構造), 제작 기법(製作 技法) 등을 해명(解明)하였다(22)(23).

4.자료(資料)(24)(25)(26)(27)(28)(29)

본(本) 연구(研究)에 사용(使用)된 자료(資料)는 경주 황남대총 출토 금동관(慶州 皇南大塚 出土 金銅冠)을 비롯10점(點)이다.

자료(資料)의 설명(說明)은 다음과 같다.

4-1.금동관(金銅冠)(사진(寫眞) 1) 황남대총(皇南大塚), 남분 출토(南墳 出土)

유대식(紐帶式)으로 정면(正面)과 좌우(左右)에 3본(本)의 대생수지상입대(對生樹枝狀立帶)를 지니고 있다. 상연(上緣)과 하연(下緣)에는 좁은 평행선(平行線)과 그 안에는 파상문(波狀紋)이 축조(蹴彫)되어 있다. 입식(立飾)은 1본(本)의 간(幹)의 양측(兩側)에 3대(對)의 지(枝)가 나와있다. 지(枝)는 수평(水平)으로 뻗은 다음 직각(直角)으로 세워져 있으며, 간(幹)과 지(枝)의 선단(先端)에는 원형 보요(圓形步搖)가 부착(附着)되어 있다. 관대(冠帶)와의 접합(接合)은 입식(立飾)을 관대(冠帶)의 내측(內側)으로 못을 사용하여 고정(固定)시켰으며, 입식(立飾)의 하단(下端)은 관대(冠帶)의 하연(下緣)까지이다.

분석(分析)은 입식 부분(立飾部分)의 박리편(剝離片) 2점(點)을 사용(使用)하였다.

4-2 금동투조안금구(金銅透彫鞍金具)(사진(寫眞) 2) 황남대총(皇南大塚), 남분 출토(南墳 出土)

전륜(前輪), 후륜(後輪) 모두 전체(全體)가 파손(破損)되어 원형 수복(原型修復)은 불가능(不可能)한 상태(狀態)이다.

전륜(前輪)의 형태(形態)는 초(鋏)의 선단부 형(先端部形)으로 되어 있고, 목심(木心) 전면(全面)은 도금판(鍍金板)으로 덮혀 있으며 그 위에 전체의 형태는 분명치 않으나 당초문(唐草紋)이 투조(透彫)된 것으로 생각된다. 목심(木心) 후면(後面)에는 피(皮), 그 위에 면(綿)으로 생각되는 물질(物質)이, 또 다시 피(皮)로 덮혀 있다. 최후(最後)에 흑칠(黑漆)이 되어 있다.

대상 금구(帶狀金具)에는 금동제(金銅製)의 원두형(圓頭形) 못이 장식되어 있다.

분석(分析)에는 복륜 부분(覆輪部分)의 파편(破片) 1점(點)을 사용(使用)하였다.

4-3. 금동경갑(金銅脛甲)(사진(寫眞) 3) 황남대총(皇南大塚), 남분 출토(南墳 出土)

얇은 금동판(金銅板)으로 제작(製作)되어 있다.

1쌍(雙)이 출토(出土)되었는데 파손(破損)이 심한 상태(狀態)이다. 상단(上端)은 화변형(花卉形)을 띠며, 하반부(下半部)는 장방형(長方形)으로 폭(幅)이 좁다. 또한 하단 좌우(下端 左右)에 문비(門扉)와 같은 소형 금동제 판(小形 金銅製 板) 2매(枚)가 각각(各各) 2개(個)씩 접번(蝶番)으로 연결(連結)되어 개폐(開閉)가 가능(可能)토록 되어 있다.

금동판(金銅板)의 주연부(周緣部)는 선단부(先端部)를 둥글게 말아 윤곽(輪郭)을 만들어 장식(裝飾)하였다.

또한 중앙선(中央線)을 따라 돌기선(突起線)을 만들었으며 상부(上部)는 파손(破損)되어 있다.

분석(分析)에는 주연부(周緣部)라고 생각되는 박판(薄板)을 사용(使用)하였다.

4-4.금동투조식복(金銅透彫飾覆)(사진(寫眞) 4) 황남대총(皇南大塚), 북분 출토(北

墳 出土)

식리 표면(食履 表面)은 전단(前端)을 제거(除去)하여 전면(全面)에 연속(連續)되어 “T”문자(文字)가 투조(透彫)되어 있다. 표면(表面)에는 영락(瓔珞)이 장식(裝飾)되어 있다. 저부(底部)에는 금동판(金銅板)을 놓고 내측(內側)에는 섬잡질(纖雜質) 등(等) 유기물(有機物)이 부착(附着)되어 있고, 사각형(四角形)의 스파이크가 박아져 있다. 측면 간(側面 間)에는 원형영(圓形瓔)이 붙어 있다.

출토 당시(出土 當時) 섬잡질(纖雜質)로 고착(固着)된 스파이크는 섬잡질(纖雜質)이 부식(腐蝕)하여 못 만이 분리(分離)되어 잔존(殘存)하고 있다.

분석(分析)에는 이(履)의 저부 파편(底部 破片)으로 생각되는 부분(部分)을 사용(使用)하였다.

4-5. 금동편원어미행엽(金銅扁圓魚尾杏葉)(사진(寫眞) 5) 황남대총(皇南大塚), 남분 출토(南墳 出土)

얇은 금동판제(金銅板製)로 타원형(楕圓形)의 하부(下部)에 어미형(魚尾形)을 부착(附着)한 것 같은 형태(形態)이다.

주연(周緣)에는 원형(圓型)의 열점문(列点紋)이 있다.

분석(分析)에는 주연부(周緣部)의 박리편(剝離片)으로 생각되는 1점(點)을 사용(使用)하였다.

4-6. 금동소탑(金銅小塔)(사진(寫眞) 6) 미륵사지 출토(彌勒寺址 出土)

사역 북측(寺域 北側)의 높은 장소(場所)에서 출토(出土)되었다. 출토 당시(出土 當時)는 형태(形態)를 구분할 수 없을 정도로 파손(破損)이 심한데 보존 수복시(保存 修復時) 녹층(層)에서 금박(金箔)이 발견(發見)되어, 청동판(靑銅板) 위에 금박(金箔)을 입힌 금동제(金銅製)인 것이 판명(判明)되었다. 청동판(靑銅板)의 두께는 0.2cm 내외이다. 방형탑(方形塔)의 기단부(基壇部)와 초층(初層) 탑신(塔身)의 일부로 추정(推定)된다.

잔존(殘存)하는 탑(塔)의 높이는 7.8cm, 기단(基壇)의 갑석(甲石) 한변의 길이는 9cm 정도이다.

분석(分析)에는 파편(破片) 1점(點)을 사용(使用)하였다.

4-7. 금동관(金銅冠)(사진(寫眞) 7) 옥전고분(玉田古墳), 23호분 출토(號墳 出土)

추정(推定) 높이는 약(約) 23cm, 경(徑) 약(約) 16cm이다. 상부(上部)에는 금동(金銅)의 봉(棒)이 있고, 외연(外緣)은 복륜(覆輪)이 둘러있다. 하단부(下端部)에는 문양(紋樣)이 없는 태륜(台輪)이 있다.

이상(以上)은 내관(內冠)이지만 동시(同時)에 외관(外冠)으로 보이는 보주형 투조 보관(寶珠形 透彫 寶冠)의 파편(破片)도 출토(出土)되었다.

분석(分析)에는 외관 부분(外冠 部分)으로 생각되는 박리편(剝離片) 1점(點)을 사용(使用)하였다.

4-8. 금동주(金銅冑)(사진(寫眞) 8) 옥전고분(玉田古墳), 23호분 출토(號墳 出土)

파손(破損)이 심하여 원형 수복(原形 修復)은 어려운 상태(狀態)이다

금동제 발편(金銅製 鉢片)과 부속구(附屬具)로 생각되는 부분(部分)이 다른 금동 보관편(金銅 寶冠片)과 함께 섞여서 출토(出土)되었다.

주체부(冑體部)의 전체 형태(全體 形態)는 복발형(伏鉢形)으로 보이는데 녹으로 인해 대부분(大部分)은 흠손(欠損)되어 있다.

철판(鐵板)과 철판(鐵板)을 연결(連結)하기 위해서 금동제(金銅製)의 원두정(圓頭釘)을 사용(使用)하였다.

4-9. 금동 탑형 사리기(金銅 塔型 舍利器)(사진(寫眞) 9) 고려 시대(高麗 時代) 14C 초(初) 추정(推定)

금동제(金銅製)의 사리탑(舍利塔)은 태부(台付), 완(碗), 상륜(相輪) 등 3부분(部分)으로 구성(構成)되어 있으며, stupa 탑(塔)의 형식(形式)을 갖추고 있다. 태부(台付)와 완(碗)을 결합하면 고배(高杯)와 같이 보이며 내부(內部)는 비어 있다. 개(蓋)는 복발(伏鉢)의 위에 인도 탑 형식(塔 形式)에서 보이는 평두(平頭)와 같은 등근 노반(露磐)이 있으며 또 한층 위에 5층(層)의 보주형(寶珠形) 상륜부(相輪部)가 있다.

탑신부(塔身部)는 보개(寶蓋)와 보주(寶珠)가 차례로 놓여 있다.

분석(分析)에는 사리기편(舍利器片) 1점(點)을 사용(使用)하였다.

5. 실험(實驗)

5-1. 개요(概要)

시료 10점(試料 10點)의 관찰면(觀察面)을 밑으로 하여 내경(內徑) 1인치의 플라스틱 홀더(徑 25mm, 높이 19mm)를 설치한다. 다음 2액(液) 혼합(混合)의 Epoxy계(系) 수지(樹脂)(Epofix, 덴마크제)로 마운팅(mounting)한 후(後) 정지(靜置)시켜 고정(固定)한다. 자동회전연마기(自動回轉研磨器)로 경면(鏡面)까지 연마(研磨)한다.

진공증착장치(眞空蒸着裝置)에 넣어 탄소 증착(炭素 蒸着)시켜 전자현미경(電子顯微鏡) 자료(資料)로 하였다.

전자현미경(電子顯微鏡) 관찰(觀察)과 분석(分析)에는 주사형 전자현미경(走査型 電子顯微鏡)과 에너지 분산형(分散型) X선분석장치(線分析裝置)를 사용(使用)하였다.

이 장치(裝置)로는 도금(鍍金)된 자료(資料)의 단면(斷面)을 확대(擴大)하여 미소 부분(微小 部分)의 조성도(組成圖), 즉 어떤 원소(元素)가 어떻게 분포(分布)되어 있는지 가능(可能)하기 때문에 금(金)의 피막(皮膜)과 동 소재(銅 素材)를 분리(分離)하여 각각(各各)의 성분 조성(成分 組成)을 알 수 있다. 따라서 도금 기법 연구(鍍金 技法 研究)에 효과(效果)가 기대(期待)된다. 또한 본체(本體)의 원소(元素) mapping 분석(分析)에는 Philips사(社) 제(製) 형광 X선(螢光 X線) 분석장치(分析裝置) PV 9550 DATA 해석장치(解析 裝置)에 mapping 분석(分析) software를 사용(使用)하였다.

또한 도금 층(鍍金 層)의 수은(水銀)의 분포 상태(分布 狀態)는 파장 분산형 X선 검출기부 X선 분석장치(波長 分散型 X線 檢出器付 X線 分析裝置)를 사용(使用)하였다.

5-2. 시료(試料)의 전처리(前處理)

시료(試料)의 관찰면(觀察面)을 밑으로 하여 내경(內徑) 1인치의 플라스틱 홀더를 설치한다. 다음 2액(液) 혼합(混合)의 Epoxy계(系) 수지(樹脂)로 마운팅(mounting)한 후(後) 정치(靜置)시켜 고정(固定)한다. 자동 회전 연마기(自動 回轉 研磨器 (Ap 300 LECO 사제(社製)))로 경면(鏡面)까지 연마(研磨)한다.

에틸 알콜을 넣은 초음파 세정기(超音波 洗淨器)로 15분간(分間) 세정(洗淨)한 후(後) 아세톤으로 건조(乾燥)한 다음 진공 증착 장치(眞空 蒸着 裝置)에 넣어 탄소 증착(炭素 蒸着)을 5분간(分間) 하였다.

5-3. X선(線) 마이크로 분석 장치 부착주사형 전자현미경 분석(分析 裝置 附着 走査型 電子顯微鏡 分析)(30)

5-3-1. 원리(原理)

에너지 분산형(分散型) X선(線) 마이크로 분석 장치 부착 주사형 전자현미경(分析 裝置 附着 走査型 電子顯微鏡)(Scanning Electron Micro-scope with Energy Dispersive X-ray Spectrometer, 이하(以下) SEM-EDS로 약기(略記))은 진공중(眞空中)에서 시료(試料) 면(面)에 전자선(電子線)을 조사(照射)하여 발생(發生)하는 특성(特性) X선(線)을 측정(測定)하여 표준 시료(標準 試料)와 X선(線) 강도(強度)의 대비(對比)로 원소(元素)의 정량치(定量值)를 구한 다음 시료 상면(試料 上面)의 다수점(多數點)(10이상(以上))에 대해 순차적으로 반복케 하여 전산기로 화상(畫像)을 해석(解析)한 다음에 시료 중(試料 中)의 원소(元素)와 화합물(化合物)의 정량적 분포 상태(定量的 分佈 狀態)를 color display 표시(表示)하는 장치(裝置)이다.

종래(從來)의 EPMA가 미소 면적(微小 面積)(최대(最大) 0.25×0.25mm)의 정성 분석(定性 分析)에 불과한 것에 비한다면 본(本) SEM-EDS는 이러한 미소 면적(微小 面積)(최대(最大) 0.25×0.25mm)에서부터 100×100mm 까지의 시료 표면(試料 表面)의 원소(元素)와 화합물(化合物)의 존재 상태(存在 狀態)에 대해 원소(元素) mapping이 가능(可能)하다.

5-3-2 장치(裝置)

SEM-EDS의 장치 외관(裝置 外觀)을 사진(寫眞). 10에 , 상세(詳細)한 설명(說明)은 도(圖). 1에 나타내었다.

SEM-EDS는 DATA 채취부(採取部)와 DATA 해석부(解析部) 2부분(部分)으로 나누어져 있다. DATA 채취부(採取部)는 전자 조사 기구(電子 照射 機構), 특성(特性) X선(線) 분광 측정 기구(分光 測定 機構), 시료 구동 기구(試料 驅動 機構), 진공 기구(眞空 機構) 및 전산기(電算機)로 분류(分類)된다. DATA 해석부(解析部)는 전산기(電算機), color display 및 color plotter로 분류(分類)된다.

5-3-3. 방법(方法)

SEM-EDS의 DATA 채취(採取)를 도(圖) 2에 나타내었다.

SEM-EDS에 있어 분석(分析) spot(화소(畫素), 최소 분석 단위(最小 分析 單位))는 원칙적(原則的)으로는 사각(四角)으로서 도(圖) 2-a와 같이 시료면(試料面)을 순차적(順次的)으로 메꾸어 주는 것으로서 mapping을 하는 것이다.

작은 폭(幅)의 전자선(電子線)을 도(圖) 2-b와 같이 흔들어서 진동 폭(振動 幅)을 목적(目的)하는 분석(分析) Spot폭(幅)으로 하며 진행 거리(進行 距離)를 그 폭(幅)에 맞추어 따라 사각(四角)의 분석(分析) Spot를 만들게 된다(예(例):100×100 μ m의 분석(分析) Spot의 경우는 4 μ m의 폭(幅)을 가진 전자선(電子線)을 이용하여, 100 μ m 폭(幅)으로 25회(回) 왕복(往復)시켜 100 μ m 진행(進行)시킨다). 이 동안 얻은 특성(特性) X선(線) 강도(強度)의 적산치(積算值)가 분석(分析) Spot의 X선(線) 강도치(強度值)가 된다.

또한 이 경우 전자선(電子線)은 일정(一定) 위치(位置)에서 주사(走査)되며 시료(試料)가 구동(驅動)된다.

특성(特性) X선(線)의 count는 실제적(實際的)으로는 정시간법(定時間法)에 따른다.

data채취(採取)에 필요(必要)한 시간은 조건(條件)에 따라 다르지만 512×400의 분석(分析) Spot를 1분석(分析) Spot 당(當) 40m sec로 분석(分析)하는 경우(8channel, 8원소(元素))에 약(約) 160분(分) 소요(所要)된다.

5-3-4. 측정(測定)

30~1000배(倍)의 반사 전자상(反射 電子像)의 촬영(撮影) 및 금(金), 동(銅), 주석(朱錫), 안티몬, 은(銀)의 원소(元素) mapping 분석(分析)은 SEM-EDS(日本電子製, JSM-820)을 사용(使用)하였다.

또한 도금층(鍍金層)의 반사 전자상(反射 電子像)의 촬영(撮影) 및 금(金), 은(銀), 수은(水銀), 동(銅)의 원소(元素) mapping은 SEM-EDS(島津社製 EMX-SM7)을 사용(使用)하였다.

왜냐하면 EDS는 수은(水銀)의 특성(特性) X선(線)이 금(金)의 방해(妨害) X선(線)의 peak와 근접되어 도금층(鍍金層)의 정확(正確)한 금(金)과 수은(水銀)의 분포 상태(分布 狀態)를 알기 위해서 에너지분해능(分解能)이 좋은 WDS 방법(方法)을 사용(使用)해야 하기 때문이다.

SEM-EDS에 의한 mapping 분석(分析)의 결과(結果)는 동(銅)을 갈색(紺色), 주석(朱錫)을 녹색(綠色), 연(鉛)을 적색(赤色), 금(金)을 황색(黃色), 안티몬을 청색(靑色), 은(銀)을 백색

(白色)으로 표시(表示)하였다.

SEM-EDS와 SEM-WDS의 측정 조건(測定 條件)은 각각(各各) 표(表) 1, 표(表) 2이다.

표(表) 1. SEM-EDS의 측정 조건(測定 條件)

주사형 전자현미경(走査型電子顯微鏡)	EDS mapping
가속전압(加速電圧):20kv	측정 원소(測定元素):금(金),은(銀),동(銅),연(鉛),주석(朱錫),안티몬
Beam경(徑)1 μ m	Pixels:512×400 spot
전X선강도(全X線強度):3000cps	측정시간(測定時間):40msec/spot

표(表)2SEM-WDS의 측정조건(測定條件)

SEM				
장치(裝置):島津社製 EMX-SM7				
가속전압(加速電壓):20kv				
시료전류(試料電流): 1×10^{-8} A				
최영배율(擡影倍率): $\times 1,000$				
측정원소(測定元素):금(金),은(銀),수은(水銀),동(銅)				
	Scan speed	Scan line		sec
금(金)	160	×	512	82
은(銀)	160	×	512	82
수은(水銀)	160	×	512	82
동(銅)	80	×	512	41
反射電子像	40	×	1024	41

6.결과(結果) 및 고찰(考察)

도금 시료(鍍金 試料) 10점(點)의 분석 결과(分析 結果)를 표(表) 3에 나타내었다. 각(各) 시료(試料)에 대(對)한 상세한 설명(說明)은 다음과 같다.

6-1.금동관(金銅冠)(No.1)

신라(新羅) 금동관(金銅冠)(No.1)에 대한 SEM-EDS 관찰 결과(觀察結果)를 사진(寫眞) 11에 나타내었다. mapping 분석 결과(分析結果)는 사진(寫眞) 12에 나타내었다.

동재 부분(銅材 部分)에 다수(多數) 존재(存在)하는 입상(粒狀)의 백색 부분(白色 部分)(사진(寫眞))의 EDS 분석 결과(分析結果)를 도(圖) 3에, 동재(銅材)의 중앙 부분(中央 部分)의 회색(灰色)의 열은 금속 부분(金屬 部分)의 EDS 분석 결과(分析結果)를 도(圖) 4에, 도금층 단면(鍍金層 斷面)의 EDS 분석 결과(分析結果)를 도(圖) 5에 나타내었다.

이 자료(資料)의 단면(斷面)은 폭(幅) 0.4cm, 길이 6cm로 양면(兩面)에 도금(鍍金)이 되어 있다.

사진(寫眞) 11 및 사진(寫眞) 12에서 알 수 있듯이 동재(銅材) 중(中)에 분석(分析)한 입상(粒狀)의 점(點), 동(同) 중앙 부분(中央 部分), 양면(兩面)의 도금층(鍍金層) 등이 특징적으로 판별(判別)된다.

표(表) 3. 도금자료(鍍金資料)의 분석결과(分析結果)

資料 番號	資料名	時代	出土地	鍍金方法 및 鍍金面	鍍金層의 金銀比率	鍍金層 의 두께	母材의 主成分	檢出元素 少量成分 微量成分	備考
1	金銅冠	三國 新羅 5~6C	皇南大冢 南墳	水銀아말감 兩面	金 銀 96% 4%	5~10 μ m 不均一	銅	鉛, 안티몬 銀, 朱錫	
2	金銅冠	三國 新羅 5~6C	皇南大冢 南墳	水銀아말감 兩面	金 銀 99% 0.5%	5~10 μ m 均一	銅	鉛, 안티몬 銀, 朱錫	
3	金銅透彫 鞍金具	三國 新羅 5~6C	皇南大冢 南墳	片面	金 銀 98% 1.5%	3~7 μ m 不均一	銅	銀, 안티몬 鉛	
4	金銅脛甲	三國 新羅 5~6C	皇南大冢 南墳	片面	金 銀 97.1% 2.9%	4~5 μ m 均一	銅	鉛, 銀, 朱錫	
5	金銅透彫 飾履	三國 新羅 5~6C	皇南大冢 南墳	片面	金 銀 99% 7.1%	2~10 μ m 不均一	銅	안티몬 銀, 鉛	
6	金銅扁門 魚尾杏葉	三國 新羅 5~6C	皇南大冢 南墳	兩面	金 銀 90.4% 9.6%	6~7 μ m 均一	銅	鉛 안티몬, 鉛	
7	金銅小塔	三國 百濟 6~7C	彌勒寺址	片面	金 銀 8% 13%	? 不均一	朱錫-	鉛, 銅	
8	金銅冠	三國 伽倻 5~6C	玉田古墳 23號墳	水銀아말감 片面	金 銀 9% 9%	10~12 μ m 不均一	銅	鉛, 안티몬 銀	
9	金銅冑	三國 伽倻 5~6C	玉田古墳 23號墳	片面	金 銀 86% 14%	10~12 μ m 均一	銅	銀, 안티몬	
10	金銅塔形 舍利器	高麗 14C		片面	金 銀 91.9% 8.1%	3~4 μ m 均一	銅1	銀	

또한 동재(銅材)에는 부식(腐蝕)에 따른 흠나 부분(欠落 部分)이 검은 구멍으로 다수 관찰(多數 觀察)된다.

사진(寫眞) 11에 존재(存在)하는 입상(粒狀)의 백점(白点)(경(徑) 3~5 μ m)은 사진 12의 적색 점(赤色 点)에 상당(相當)하며, 도(圖) 3의 입상(粒狀)의 백색 부분(白色 部分)은 거의 연(鉛)과 소량(少量)의 안티몬으로, 정량(定量) 분석 결과(分析 結果) 연(鉛) 79%, 안티몬 8%, 동(銅) 13%였다. 연(鉛)과 안티몬은 고온(高溫)에서도 동(銅)이나 청동(靑銅)에는 전부(全部)가 용해(溶解)가 안되어 응고(凝固) 시(時)에는 입상(粒狀)이 되므로 본(本) 분석결과(分析 結果)와도 일치(一致)된다.

사진(寫眞) 11의 백색 점(白色 点)(사진(寫眞) 12의 적색 점(赤色 点)은 도금층(鍍金層)과 수평 방향(水平 方向)으로 연결되어 있다. 이것은 동재(銅材)가 단조 가공(鍛造 加工)된 것을 의미한다. 또한 입자(粒子) 자체가 편평(扁平)한 것도 단조 가공(鍛造 加工)의 한 증거이다.

사진(寫眞) 11의 중앙 부분(中央 部分)의 조금 색(色)이 옅은 부분(部分)((사진(寫眞) 12의 중앙 부분(中央 部分)에서 감색(紺色)이 짙은 부분(部分))은 도금 부분(鍍金 部分)을 나타내며, 주위의 녹 부분(部分)(사진(寫眞) 11에서 회색(灰色)이 짙은 부분(部分), (사진(寫眞) 12에서 감색(紺色)이 옅은 부분(部分))과는 다르다.

도(圖) 4에서 순수(純粹) 동(銅)에 가까운 동(銅) 98%, 연(鉛) 2%로 청동(靑銅)의 주

성분(主成分)인 주석(朱錫)은 거의 검출(檢出)되지 않았다.

도금층(鍍金層)은 사진(寫眞) 11과 사진(寫眞) 12에서 얇은 부분(部分)(5~6 μ m)과 비교적(比較的) 두꺼운 부분(部分)이 관찰(觀察)되며 양면(兩面)으로 존재(存在)하고 있다. 도(圖) 5에서 상당히 순도(純度)가 높은 금층(金層)으로 금(金) 96%, 은(銀) 4%였다.

도금층(鍍金層)의 3개소(個所)에 대(對)해서 WDS에 의한 금(金), 은(銀), 수은(水銀), 동(銅) 원소(元素)의 면분석(面分析) 및 반사 전자상(反射 電子像)의 최영(推影)을 실시(實施)하였다(사진(寫眞) 13-a, b). 그 결과(結果) 금(金), 은(銀), 수은(水銀)은 같은 장소에 분포(分布)함으로써 도금(鍍金)은 아말감수은법(水銀法)을 사용(使用)한 것으로 추정(推定)된다.

또한 도금층(鍍金層)과 그 윗 면(面)에는 동(銅)이 부분적(部分的)으로 응축(凝縮)되어 있는 곳이 관찰(觀察)된다. 이것은 동재(銅材) 중(中)의 동(銅)이 부식(腐蝕)에 따라 확산 이행(擴散 移行)된 것으로 추측(推測)된다.

도금층(鍍金層)의 두께는 전술(前述)한 것처럼 장소에 따라 다르다.

동재(銅材) 중(中)의 은(銀)은 입상(粒狀)으로 정출(晶出)되어 있다. 은(銀)은 금(金)과 달라서 동(銅)에 대한 용해도(溶解度)가 작아서 과잉의 은(銀)의 혼입 시(混入 時)에는 응고 정출(凝固 晶出)된다. 이 점(點)은 동재(銅材) 중(中)의 연(鉛), 안티몬 등이 입상(粒狀)으로 정출(晶出)되는 것과 같은 현상이다.

이러한 동재(銅材) 중(中)의 은(銀)의 입상 존재(粒狀 存在)는 인위적(人爲的)인 첨가(添加)인지 아니면 원료(原料) 동(銅) 자체(自體)가 은(銀)을 함유(含有)한 것인지 분명치 않으나, 은(銀) 존재(存在)는 주조성(鑄造性)이나 가공성(加工性)의 향상(向上)을 도모하는 것으로 생각되어 진다.

6-2. 금동관(金銅冠)(No.2)

금동관(金銅冠)(No.2)에 대한 SEM 사진(寫眞)을 14에 나타내었다.

mapping 분석 결과(分析 結果)는 사진(寫眞) 15이다. 단면(斷面)은 폭(幅) 약(約) 0.4cm, 길이 5.4cm이며 No.1의 금동관(金銅冠)과 같이 양면(兩面)에 도금(鍍金)되어 있다.

사진(寫眞) 14와 사진(寫眞) 15에서 알 수 있듯이 중앙 부분(中央部分)에는 녹이 진행(進行)되어 커다란 공극(空隙)을 형성하였고, 동재(銅材) 중(中)의 입상(粒狀)의 점(點), 동(同) 양면(兩面)의 도금층(鍍金層) 등이 특징적(特徵的)으로 관찰(觀察)된다.

또한 동재(銅材)에는 No.1과 마찬가지로 흑색(黑色)의 구멍이 다수 관찰(多數 觀察)되며, 거의 도금 부분(鍍金 部分)은 확인(確認)할 수 없었다.

동재(銅材) 중(中) 존재(存在)하는 입상(粒狀) 점(點)의 크기는 3~5 μ m으로, 연(鉛)과 안티몬의 검출(檢出), 도금층(鍍金層)과 수평(水平)의 연결(連結) 방향(方向) 등 No.1의 금동관(金銅冠)과 거의 유사한 양상을 띄고 있다.

사진(寫眞) 14·15에서 도금층(鍍金層)은 5~6 μ m로, 금(金) 99.9%, 은(銀) 0.1%, 또한 도금층(鍍金層)의 3개소(個所)에 대해 WDS에 의한 금(金), 은(銀), 수은(水銀), 동(銅) 원소(元素)의 면(面) 분석(分析) 및 반사 전자상 최영(反射 電子像 最影)을 실시(實施)하였다(사진(寫眞) 16-a, b).

그 결과(結果) 금(金), 은(銀), 수은(水銀)은 같은 장소에 분포(分布)되어 있어 도금(鍍金)은 아말감 수은법(水銀法)이 사용(使用)된 것으로 추정(推定)된다.

No.1과 마찬가지로 도금층(鍍金層)과 그 뒷 면은 동(銅)이 부분적(部分的)으로 농축(濃縮)된 것이 관찰(觀察)된다.

이상(以上) 신라(新羅)의 금동관(金銅冠) 2종(種)(No. 1,2)은 부식(腐蝕)의 정도(程度)나 두께를 제외하곤 형상(形狀), 재질(材質), 화학 성분(化學成分) 등이 상호 유사하여 별 차이(差異)를 발견할 수 없었다.

6-3. 금동 투조 안금구(金銅透彫鞍金具)(No.3)

mapping 분석 결과(分析結果)를 사진(寫眞) 17에 나타내었다.

동재 부분(銅材部分)의 백색 부분(白色部分)은 은(銀)으로 동(銅)에 고용(固溶)되지 않은 상태(狀態)로 커다란 입자상태(粒子狀態)로 편석(偏析)되어 있다.

은(銀)의 동(銅)에 대(對)한 용해도(溶解度)는 전술(前述)한 것처럼 작기 때문이다.

도(圖) 6에 나타난 은(銀) 일동(一銅)의 평형 상태도(平衡狀態圖)에서 이해(理解)할 수 있듯이 은(銀)은 779. C에서 8.8%의 동(銅)을 고용(固溶)하지만, 온도(溫度)의 강하(降下)와 함께 동(銅)이 응고(凝固)를 시작하여 용해도선(溶解度線)을 따라서 고용도(固溶度)는 감소(減少)하여 β 상(相)이 석출(析出)한다. 따라서 온도 저하(溫度低下)가 급격히 이루어지면 은(銀)은 용해 중(溶解中) 동(銅)의 β 상(相)의 조직(組織) 사이 틈에 분산(分散)되어 간혀 버려 상온(常溫)에서는 $\alpha+\beta$ 상(相)의 조직(組織)에 분산(分散)되지만, 온도 저하(溫度低下)가 늦은 경우에는 은(銀)은 분산(分散)되지 않고 집합(集合)하여 커다란 괴(塊)로 되어 편석(偏析)한다(31).

이러한 동재(銅材) 중(中) 은(銀)이 입상(粒狀)으로 존재(存在)하는 특징(特徵)은 이미 葉賀七三男 氏が 지적(指摘)하고 있다. 葉賀 氏は SEM-WDS를 사용(使用)하여 日本新井原 제1호(第1號) 고분(古墳)에서 출토(出土)된 경판(鏡板)과 암입(岩立) C고분(古墳) 출토(出土) 마구(馬具)의 동재(銅材)에 은(銀)이 입자 상태(粒子狀態)로 존재(存在)하고 있는 것을 확인(確認)하였다(32),(33),(34).

또한 田口 勇, 齊藤 努, 杉山晋作 등도 千葉縣 山武郡 松尾町 蕪木 5호분(號墳)에서 출토(出土)된 금동제(金銅製) 건착형(巾着形) 용기(容器)와 금동작 소도(金銅製 小刀)에 대해 X선(線) CT(X-ray computed Tomographic Scanner)와 SEM-EDS를 사용(使用)하여 동재(銅材) 중(中)의 은입자(銀粒子)의 분포 상태(分布 狀態)를 관찰(觀察)하였다. 아울러 이들은 은(銀) 함유(含有) 동재(銅材)의 시편(試片)을 제작(製作)하여 동재(銅材) 중(中)의 은(銀)의 분포 상태(分布 狀態)를 분석(分析)하여 야금학적(冶金學的) 정보(情報)를 얻고 있다(35).

본(本) 안금구(鞍金具)는 은-동(銀-銅)의 상태도(狀態圖)에서 이해(理解)된 은(銀)의 편석 조건(偏析 条件)과 mapping 분석 결과(分析結果, 제작 시 냉각(製作時 冷却)은 서서히 이루어지지 않았나 추측(推測)된다. 이러한 추측(推測)은 연(鉛) 및 안티몬의 편석(偏析)과도 무관치 않다.

동재(銅材) 중(中)의 부식(腐蝕)에 의한 흠락(欠落)은 사진(寫眞) 17에 다수(多數) 관찰(觀察)되는 흑색 부분(黑色部分)이다.

도금층(鍍金層)은 사진(寫眞) 17에서 관찰(觀察)되듯이 얇은 부분(部分)(3~4 μ m)과 조금 두꺼운 부분(部分)(6~7 μ m)로 불균일(不均一)하다.

도금층(鍍金層)의 정량 분석 결과(定量 分析 結果), 금(金) 98.5%, 은(銀) 1.5%로 금

(金)의 순도(純度)가 높다.

6-4. 금동경갑(金銅脛甲)(No.4)

mapping 분석 결과(分析 結果)를 사진(寫眞) 18에 나타내었다.

동재(銅材) 중(中)에 백색(白色)으로 표시(表示)한 원소(元素)는 은(銀)으로써, 동(銅)에 고용(固溶)하지 않은 상태(狀態)로 소입상(小粒狀)으로 편석(偏析)되어 있다.

적색(赤色)으로 표시(表示)한 원소(元素)는 연(鉛)으로써 도금층(鍍金層)과 수평 방향(水平 方向)으로 배열(配列)되어 편석(偏析)되어 있다.

안티몬은 검출(檢出)되지 않고 주석(朱錫)이 소량(少量) 함유(含有)되어 있다.

도금층(鍍金層)은 비교적(比較的) 얇고 균일(均一)하다(4~5 μ m).

도금층(鍍金層)의 정량 분석 결과(定量 分析 結果) 금(金) 97.1%, 은(銀) 2.9%로 금(金)의 순도(純度)가 높다.

6-5. 금동투조식리(金銅透彫飾履)(No.5)

EDS에 의한 mapping 분석 결과(分析 結果)를 사진(寫眞) 19에 나타내었다.

동재(銅材) 중(中)의 연(鉛)과 안티몬은 모두 편석(偏析)되어 있다. 특히 안티몬의 함유량(含有量)은 비교적(比較的) 많다.

도금층(鍍金層)의 두께는 장소(場所)에 따라 다르다. 얇은 부분(部分)은 2~3 μ m, 두꺼운 부분(部分)은 10 μ m이며, 불균일(不均一)하다.

도금층(鍍金層)은 정량 분석 결과(定量 分析 結果) 금(金) 92.9%, 은(銀) 7.1%로 순도(純度)가 높은 편이다.

6-6. 금동편원어미행엽(金銅扁圓魚尾杏葉)(No.6)

EDS에 의한 mapping 분석 결과(分析 結果)를 사진(寫眞) 20에 나타내었다.

동재(銅材)는 감색(紺色)으로 표시(表示)된 부분(部分)으로 거의 부식(腐蝕)되어 있지 않다.

연(鉛)과 안티몬은 미량(微量)만이 함유(含有)되어 있다.

은(銀)과 주석(朱錫)이 소량 함유(少量 含有)되어 있으며 편석(偏析)되어 있다.

도금층(鍍金層)은 비교적(比較的) 균일(均一)한 것으로 관찰(觀察)되며, 양면(兩面)에 도금층(鍍金層)이 있고 6~7 μ m의 두께이다.

도금층(鍍金層)은 정량 분석 결과(定量 分析 結果) 금(金) 90.4%, 은(銀) 9.6%로 금(金)의 순도(純度)는 조금 낮다.

6-7. 금동소탑(金銅小塔)(No.7)

mapping 분석 결과(分析 結果)를 사진(寫眞) 21에 나타내었다. 시료(試料)의 단면(斷面)을 보면 모재(母材)로부터 주석일연(朱錫一鉛)의 합금(合金), 그 위에 연(鉛), 다음에

도금층(鍍金層), 다시 연(鉛)으로 되어 있고 도금(鍍金)은 연(鉛)의 위에 행해져 있다.

도금층(鍍金層) 위의 연(鉛)은 부식(腐蝕)에 따른 확산이행(擴散移行)의 영향으로 추정(推定)된다.

주석일연(朱錫一鉛)의 합금(合金)은 현재(現在) soft-solder로 널리 사용되고 있다.

금회(今回) 분석(分析)에 사용한 시료(試料)는 다른 파편(破片) 등으로부터 금동제탑(金銅製塔)으로 추정 확인(推定 確認)된 것으로 모재(母材)의 성분(成分)은 주석일연(朱錫一鉛)으로 동(銅)이 주성분(主成分)인 다른 시료(試料)들과 큰 차이(差異)를 보이고 있다.

금속 가공 기술 지식(金屬 加工 技術 知識)으로 생각해볼 때 연(鉛)이나 주석(朱錫) 위에 도금(鍍金)은 거의 어렵다고 한다(36). 또한 이러한 도금 기술(鍍金 技術)의 예(例)도 보고된 바 없는게 현실정(現實情)이다. 따라서 본(本) 시료(試料)가 갖는 고고·기술사적(考古·技術史的) 의미는 상당히 크며, 금후(今後) 고고(考古), 미술사가(美術史家)들에 의한 본(本) 출토품(出土品)의 세밀한 토의(討議)가 요청(要請)되며 그러한 토의(討議) 후(後) 금회 분석 시료(今回 分析 試料)의 기술적 해석(技術的 解釋)을 해야 할 것으로 생각된다.

또한 주석일연(朱錫一鉛)의 모재(母材)에는 부식(腐蝕)에 의한 흑색(黑色)으로 표시(表示)된 구멍이 관찰(觀察)된다.

모재(母材)의 동(銅)의 함유량(含有量)은 소량(少量)으로써 은(銀), 안티몬은 검출(檢出)되지 않았다.

도금층(鍍金層)의 정량 분석 결과(定量 分析 結果) 금(金) 87%, 은(銀) 13%로 금(金)의 순도(純度)는 조금 낮은 편이다.

6-8. 금동관(金銅冠)(No.8)

가야 금동관(伽倻 金銅冠)에 대한 SEM 사진(寫眞)은 22이다.

mapping 분석 결과(分析 結果)는 사진(寫眞) 23에 나타내었다. 동재 부분(銅材 部分)에 다 수(多數) 존재(存在)하는 입상(粒狀)의 점(點)의 EDS 분석 결과(分析 結果)를 도(圖) 7에 나타내었다. 도금층(鍍金層)의 단면(斷面)의 EDS 분석 결과(分析 結果)를 도(圖) 9에 나타내었다.

이 시료(試料)의 단면(斷面)은 폭(幅) 약(約) 0.4cm, 길이 2.3cm로 편면(片面)만이 도금(鍍金)되어 있다.

동재(銅材)의 입상점(粒狀點), 중앙부(中央部)의 공극(空隙), 얇은 도금층(鍍金層) 등이 특징(特徵)이다. 동재(銅材)의 흑색(黑色) 혈(穴)이 많이 관찰(觀察)되며 이것은 부식(腐蝕)에 의한 결과(結果)로 추정(推定)된다.

동재(銅材) 중(中)의 입상(粒狀)의 점(點)은 신라(新羅) No.1이나 No.2의 경우보다도 약간 크며, 약(約) 3~10 μ m의 크기로 도금층(鍍金層)과 수평방향(水平方向)으로 배열 연결(配列 連結)되어 있어 이 역시 신라(新羅) 금동관(金銅冠)과 같은 단조 가공품(鍛造 加工品)으로 추정(推定)된다.

입상 점(粒狀 點)에 대한 EDS 분석 결과(分析 結果)를 도(圖) 7에 나타내었다. 이 도(圖)에서 연(鉛)과 안티몬이 함유(含有)된 것을 확인할 수 있었고 연(鉛) 46%, 안티몬 37%, 동(銅) 17%의 정량치(定量值)를 얻었다.

사진(寫眞) 22의 중앙부(中央部)의 약간 위의 색(色)이 얼은 부분(部分)(사진(寫眞) 23의 중앙부(中央部)의 약간 위의 감색(紺色)이 짙은 부분(部分)은 도금 부분(鍍金 部分)을 의미하며, 그 주변(측 부분(部分))과 다르다는 것을 알 수 있다.

일부(一部)를 EDS로 분석(分析)한 결과(結果)를 도(圖) 8에 나타내었다. 도(圖) 8에서 동재(銅材)는 순수(純粹)에 가까우며 주석(朱錫)은 검출(檢出)되지 않았다. 정량 분석 결과(定量 分析 結果) 동(銅)98%, 연(鉛) 2% 였다.

도금층(鍍金層)은 사진(寫眞) 22와 사진(寫眞) 23에서 얇은 편면(片面)만이 존재(存在)하며 두께는 10~12 μ m이다. 정량 분석 결과(定量 分析 結果) 금(金) 91%, 은(銀) 9%였다.(도(圖) 9).

또한 도금층(鍍金層)의 3개소(個所)에 대해 WDS에 의한 금(金), 은(銀), 수은(水銀), 동(銅)의 면(面) 분석(分析) 및 반사 전자상(反射 電子像)의 촬영(撮影)을 하였다(사진(寫眞) 24-a, b). 그 결과(結果) 금(金), 은(銀), 수은(水銀)은 같은 장소(場所)에 분포(分布)됨으로 미루어 도금(鍍金)은 아말감 수은법(水銀法)이 사용(使用)된 것으로 추정(推定)된다.

6-9. 금동주(金銅冑)(No.9)

EDS에 의한 mapping 분석 결과(分析 結果)를 사진(寫眞) 25에 나타내었다.

동재(銅材)는 거의 부식(腐蝕)이 없는 감색(紺色)으로 표시(表示)된다.

동재(銅材) 중(中)의 다른 원소(元素)(은(銀), 주석(朱錫), 연(鉛), 안티몬)의 함유량(含有量)은 미량(微量)으로 순수동(純粹銅)에 가깝다.

도금층(鍍金層)은 두껍고(10~12 μ m), 균일(均一)하다.

도금층(鍍金層)의 정량 분석 결과(定量 分析 結果) 금(金) 86%, 은(銀) 14%로 금(金)의 순도(純度)가 낮다.

6-10. 금동탑형 사리기(金銅塔形 舍利器)(No.10)

mapping 분석 결과(分析 結果)를 사진(寫眞) 26에 나타내었다.

이 시료(試料)는 동(銅)의 모재(母材)에 은(銀)이 소량 함유(少量 含有)되어 있다. 은(銀)은 모재(母材) 중(中) 소괴(小塊)와 같은 형태(形態)로 편석(偏析)되어 있다. 전술(前述)한 것처럼 은(銀)은 동(銅)에 고용(固溶)되지 않은 상태(狀態)로 응고(凝固)된 결과(結果)이다.

그러나 주석(朱錫), 연(鉛), 안티몬 등의 원소(元素)는 검출(檢出)되지 않았다. 동(銅)의 고도 정련 기술 결과(高度 精練 技術 結果)로 불순물(不純物)이 제대로 제거(除去)된 것으로 추정(推定)되며, 은(銀)은 인위적(人爲的)인 가공(加工) 또는 기술적(技術的)인 대책으로 첨가(添加)된 것으로 생각된다.

도금층(鍍金層)은 부분적(部分的)으로 결손(缺損)되어 있는 곳이 보이는데 두께는 3~4 μ m이다.

도금층(鍍金層)의 정량 분석 결과(定量 分析 結果) 금(金) 91.9%, 은(銀) 8.1%이다.

7.결언(結言)

고대(古代)의 금공품(金工品)의 다양각색(各樣各色)의 표면 처리 기술(表面 處理 技術) 중(中) 도금 기술(鍍金 技術)은 커다란 위치(位置)를 점하고 있다.

그러나 이러한 도금 기술(鍍金 技術)은 자연과학적(自然科學的)으로 연구(研究)하는데 있어 현재(現在)까지는 비파괴적(非破壞的) 분석(分析)만을 사용(使用)하여 도금(鍍金)의 구조(構造)나 제작 기법(製作 技法)을 구명(究明)하기에는 미흡하였다.

본(本) 연구(研究)는 출토 유물(出土遺物)의 보존(保存) 수복 시(修復 時) 복원(復元) 불능(不能)의 도금 파편(鍍金 破片)을 시료(試料)로 하여 최신(最新)의 화학 분석 기술(化學 分析 技術) 및 화상 처리 기술(畫像 處理 技術)을 구사(驅使)하여 고고학(考古學), 미술사 분야(美術史 分野)에 이러한 자연과학 분석(自然科學 分析)의 유용성(有用性)을 제공(提供)함과 함께 우리 민족(民族)의 우수한 금속 가공 기술(金屬 加工 技術)을 구명(究明)하는데 목적(目的)을 두었다.

시료(試料)는 한반도 출토(韓半島 出土)의 신라(新羅), 백제(百濟), 가야(伽倻), 고려(高麗) 시대(時代)의 금동편(金銅片) 10점(點)을 사용(使用)하였다.

SEM-EDS 및 SEM-WDS로 분석(分析)한 결과(結果), 이러한 시료(試料)는 동(銅)에 아말감수은법(水銀法)을 사용(使用)하였으며(가야(伽倻)의 금동소탑(金銅小塔) 제외(除外)), 불순물(不純物)로써 은(銀), 연(鉛), 주석(朱錫), 안티몬 등이 입상(粒狀)으로 동재(銅材) 중(中)에 편석(偏析)되어 있다.

이러한 불순물(不純物)이 함유 원인(含有 原因)이 동(銅)의 정련 기술(精練 技術)의 차이(差異)인지 혹은 원료(原料) 동(銅) 광석(鑛石)의 특성(特性)인지 명확(明確)히 결론(結論)짓는 것은 무리(無理)였다. 다만 고려(高麗)의 사리기(舍利器)처럼 모재(母材)의 동(銅) 이외에 은(銀)만이 검출(檢出)된 것은 의도적(意圖的)인 은(銀)의 첨가(添加)로 생각할 수 있다.

도금층(鍍金層)의 금(金), 은(銀) 비율(比率)은 금(金)이 86~99.9%, 은(銀)이 0.1~14% 함유(含有)되어 있으며 은(銀)이 10% 이상(以上)의 시료(試料)는 2개(個)로 금(金)의 순도(純度)가 높은 편이다.

도금층(鍍金層)의 두께는 3~4 μ m에서 10~12 μ m로 일정(一定)치 않으며, 도금층(鍍金層)의 금(金),은(銀)의 비율(比率) 또한 편차(偏差)가 크다. 이것은 시료(試料)의 연대(年代)가 5~6C로부터 14C까지 광범위(廣範圍)에 걸쳐 있고, 시료(試料)의 종류(種類)도 관(冠), 무구(武具), 장신구(裝身具), 불구(佛具) 등 다양한 용도(用途)로 사용(使用)된 것에 기인한다고 할 수 있으며 금후(今後) 분석 자료(分析 資料)의 확대(擴大)에 따라 도금(鍍金)의 변천(變遷) 등을 살펴 볼 수 있고 나아가 도금 기법(鍍金 技法)의 해석(解析), 도금 기법(鍍金 技法)의 해석(解析), 도금 기법(鍍金 技法)과 제작지(製作地)와의 관계(關係)를 알 수 있는 가능성(可能性)이 있다.

또한 도금층(鍍金層)이 밀(密)하고 다공성(多孔性)이 아닌 것이 특징(特徵)이다. 아말감 도금법(鍍金法)의 경우 금층(金層)이 다공성(多孔性)으로 관찰(觀察)되는데 금회(今回)의 시료(試料)는 특수(特殊)한 방법(方法)이 사용(使用)되지 않았나 생각되어진다. 아말감 도금법(鍍金法)이라도 박판(薄板)에 수은(水銀)을 페이스트 상태(狀態)로 발라 붙이는 방법(方法)이 아닌가 생각된다. 5~6C의 중국(中國)의 도금 시료(鍍金 試料)에 있어서는 금(金) 아말감을 만든 후 발라서 가열하여 수은(水銀)을 제거한 결과(結果), 다

공성(多孔性)의 층(層)이 관찰(觀察)되는 자료(資料)가 있다. (37)(38)

개개(個個)의 시료(試料) 중(中) 특히 금박소탑(金箔小塔)(No.7)은 모재(母材)에 주석(朱錫) 합금(合金)을 사용(使用)하여 그 위에 연(鉛), 다시 도금(鍍金)된 특징(特徵)을 갖고 있다. 이러한 금속 조성(金屬組成)을 가진 도금 자료(鍍金資料)는 현재(現在)까지 보고(報告)된 바 없어 금회(今回)의 커다란 자연과학 분석(自然科學分析)의 성과(成果)로 생각되지만, 금후(今後) 다시 고고(考古), 미술(美術), 금공(金工)의 입장(立場)에서 다시 검토(檢討)될 것으로 기대(期待)한다.

끝으로 원소(元素) mapping법(法)에 의해 도금층(鍍金層) 및 그 윗 면(面)에 분포(分布)가 확인(確認)된 동(銅)의 농축(濃縮)은 그 자체(自體) 그대로 유물(遺物)의 정보(情報)를 파악하는 데 별 도움이 안 되겠지만 동(銅) 농축(濃縮)의 과정(過程)이나 농축(濃縮)된 동(銅) 중(中)의 미량 성분(微量成分)을 함께 생각하면 유물본체(遺物本體)의 동(銅) 모재(母材)에 대해 유효(有效)한 정보(情報)를 얻을 가능성(可能性)이 있다고 생각되어진다.

본(本) 연구(研究)는 1992년도(年度) 일본(日本) 동경예술대학(東京藝術大學) 대학원(大學院)에 제출(提出)한 박사(博士) 학위(學位) 논문(論文) “한반도(韓半島) 출토(出土) 금속 자료(金屬資料)의 분석 연구(分析研究)”의 일부(一部)인 도금 자료(鍍金資料)의 분석 연구(分析研究)를 다시 보완, 가필한 것이다.

그 동안 본(本) 연구(研究)가 이루어질 수 있도록 지도, 배려, 협조하여 주신 문화재연구소(文化財研究所) 소장(所長)님 이하 여러 선생님, 동료 분들께 감사의 말씀을 드립니다.

인용문헌(引用文憲)

- 1.重松恒信:考古學と分析化學
- 2.李淑淵:古代丹青의 分析學的 研究(1), 淑明女子大學校 論文集, 第 3輯, 317-320 淑明女子大學校f(1963)
- 3.趙鍾琇, 姜聖君:古代新羅의 金屬技術 研究 金屬表面處理, VOL8, NO1,韓國金屬表面工學會(1975)
- 4.金元龍, 鄭永和:揚平大心里遺跡發掘報告, 八堂·昭陽땀水沒地區遺跡發掘綜合報告, 서울(1974)
- 5.金裕善, 梁慶麟: 試料 分析 및 炭素 年代測定, 天馬冢 發掘調查報告書, 文化財管理局, P260-263(1974)
- 6.Y.S.KIM:Excavated objects from Korean king's tombs, International Symposium on the Conservation and Restoration of Cultural property, Tokyo National Research Institute of Cultural properties, p.171~191(1978)
- 7.金裕善:黃龍寺遺跡より發掘された古文化財標本における主要化學成分の分析, 古文化財の化學, 24, 44-50(1979)
- 8.小林行雄:鍍金技法の傳來, 古代の技術, p.196~197, 塙選書 24, 塙書房(1962)
- 9.趙古山:中國における古代金銀器の考古學發見, 中國の金銀ガラス展 p.109~111, NHK大阪放送局(1992)
- 10.古代シリア展 圖錄, 東京新聞(1977)
- 11.9와 同一
- 12.徐五善, 權五榮:天安清堂洞遺跡發掘調查報告書/休岩里, 國立中央博物館古蹟調查報告,

第22冊, 國立中央博物館(1990)

13.徐五善, 權五榮, 咸舞燮:天安清堂洞 第2次發掘調查報告書/松菊里, 國立中央博物館古蹟調查報告, 第23冊, 國立中央博物館(1991)

14.8斗 同一

15.浜達也: 金銷の技法/彫金, 鍛金の技法, 日本金工作家協會(1968)

16.西山要一:平安時代平像嵌技法の研究, 文化財學報, 第7集, 奈良大學文學部 文化財學科刊, 17-42(1989)

17.酒井溫子, 渡邊智恵美:耳環の製作技法—兵庫縣入角群集墳出土の耳環について—, 元興寺文化財研究, 33, 3-12(1990)

18.平尾良光: 鍍金の分析調査について, 裝飾金工品の保存における問題について, 昭和 63年度 文化財保存修復研究協議會議録, 東京國立文化財研究所, p. 34-42(1989)

19.澤田正昭:藤ノ木古墳金銅製馬具, 佛教美術, 195, 52-61(1991)

20.齊藤 努:田口 勇, Paul Jett:古代青銅鍍金資料のマッピング分析, 日本文化財科學 第8會大會研究發表要旨集, p.21(1990)

21.齊藤 努:走査型電子顯微鏡—畫面解析法による金銅資料の解析, 國立歷史民俗博物館研究報告, 第38集, 103-117(1992)

22.姜大一, 杉下龍一郎:古代韓半島における金銅資料の分析研究, 古文化財の科學, 36, 26-34(1991)

23.林善基:古代 金銅遺物の 金鍍金 被膜에 關한 研究, 한양대학교 대학원 공학석사 논문 (1992)

24.皇南大塚 北墳發掘調查報告書: 文化財管理局, (1985)

25.彌勒寺址:文化財管理局(1987)

26.趙榮濟:陝川玉田古墳群 I 次發掘調查概報, 慶尙大學校 博物館(1986)

27.趙榮濟:陝川玉田古墳群 I, 慶尙大學校博物館(1988)

28.趙榮濟:陝川玉田古墳群 II, 慶尙大學校博物館(1990)

29.湖巖美術館 名品圖錄:三星美術文化財團(1984)

30.田口 勇, 浜田應樹, 谷誠一郎:新X線マイクロアナライザー(CMA)の應用, 製鐵研究, 313號, 新日本製鐵株式會社, 93-100(1984)

31.鹿取一南:工藝家のための金屬ノート, p.77-78, 株式會社アグネ技術セクター.(1985)

32.葉賀七三南:古墳金屬技術一斑(上), 秋田大學 鑛山學部 鑛業博物館報告, 16, /(1983)

33.葉賀七三南:古墳金屬技術一斑(下), 秋田大學 鑛山學部 鑛業博物館報告, 17, /(1984)

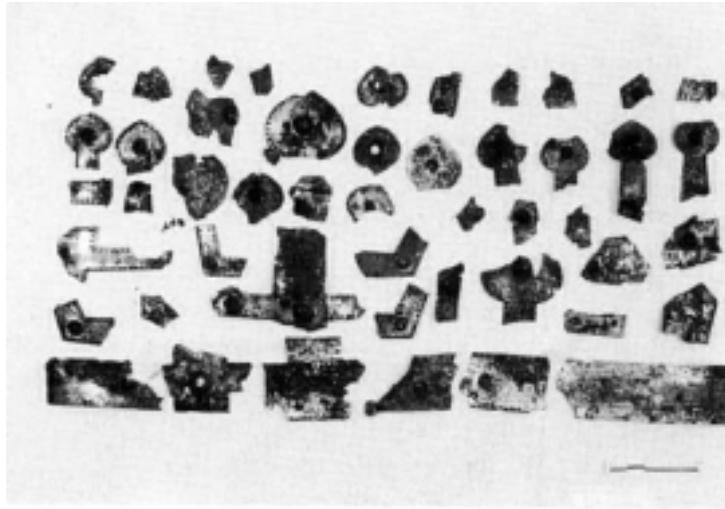
34.N.Haga, Y. Kuno.T.Uchida:Studies on Non-Ferrous Metals in Ancient Japan, Proceedings of Symposium on the Early Metallurgy in Japan and the Surrounding(October, 1986, Sendai)57

35.田口 勇, 杉山 晋作, 齊藤 努:蕪木5號墳出土金銅製遺物の自然科學的研究, 國立歷史民俗博物館研究報告, 第45集,(1992)

36.日本金屬學會:非鐵材料, 鑄物便覽, 丸善株式會社, p.956(1981)

37.20斗 同一

38.21斗 同一



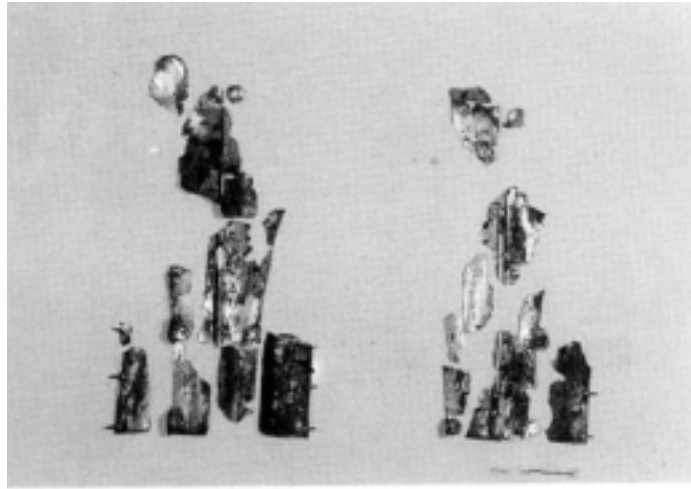
寫眞 1. 金銅冠(皇南大塚南墳)

사진(寫眞) 1. 금동관(金銅冠)(황남대총남분(皇南大塚南墳))



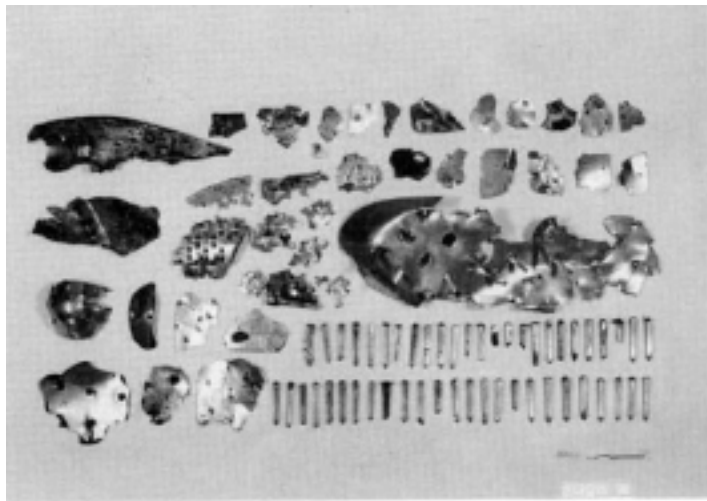
寫眞 2. 金銅透彫鞍金具(皇南大塚南墳)

사진(寫眞) 2. 금동투조안금구(金銅透彫鞍金具)(황남대총남분(皇南大塚南墳))



寫眞 3. 金銅胫甲(皇南大塚南墳)

사진(寫眞) 3. 금동경갑(金銅胫甲)(황남대총남분(皇南大塚南墳))



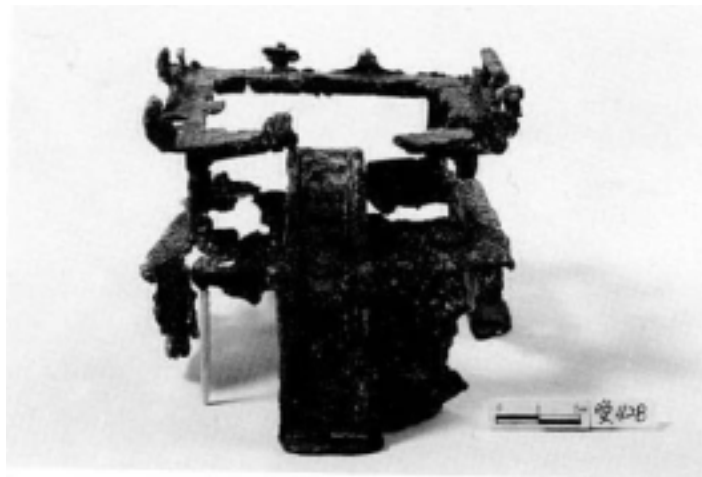
寫眞 4. 金銅透彫飾履(皇南大塚北墳)

사진(寫眞) 4. 금동투조식리(金銅透彫飾履)(황남대총북분(皇南大塚北墳))



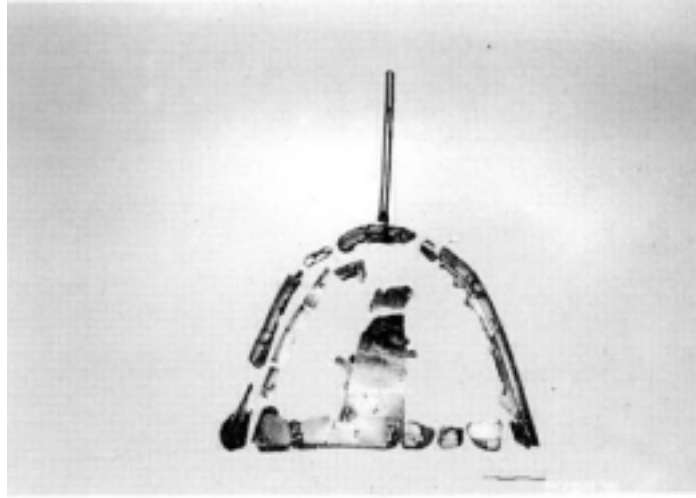
寫眞 5. 金銅扁円魚尾杏葉(皇南大塚南墳)

사진(寫眞) 5. 금동편원어미행엽(金銅扁円魚尾杏葉)(황남대총남분(皇南大塚南墳))



寫眞 6. 金銅小塔(彌勒寺址)

사진(寫眞) 6. 금동소탑(金銅小塔)(미륵사지(彌勒寺址))



寫眞 7. 金銅冠(玉田古墳23號墳)

사진(寫眞) 7. 금동관(金銅冠)(옥전고분23호분(玉田古墳23號墳))



寫眞 8. 金銅冑(玉田古墳23號墳)

사진(寫眞) 8. 금동주(金銅冑)(옥전고분23호분(玉田古墳23號墳))

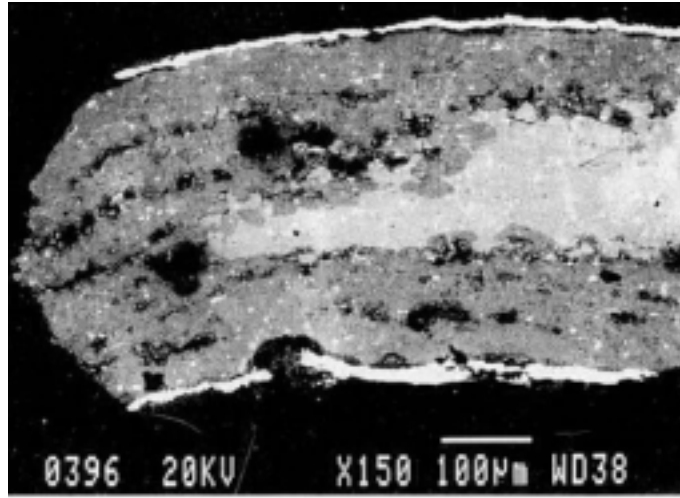


사진(寫眞) 9. 금동탑형사리기(金銅塔形舍利器)



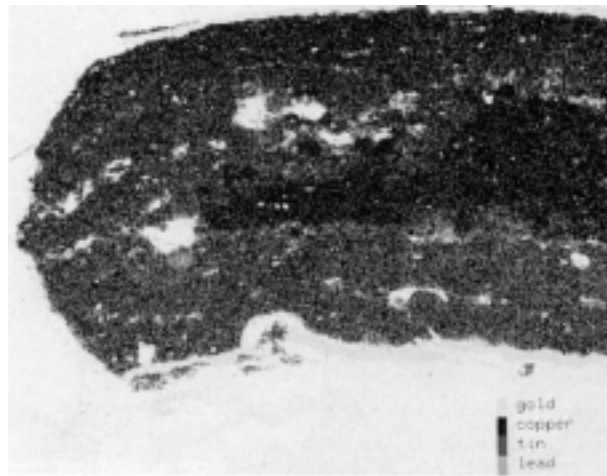
寫眞 10. SEM-EDS裝置外觀

사진(寫眞) 10. SEM-EDS장치외관(裝置外觀)



寫眞 11. 金銅冠(NO.1)의 反射電子像 × 150

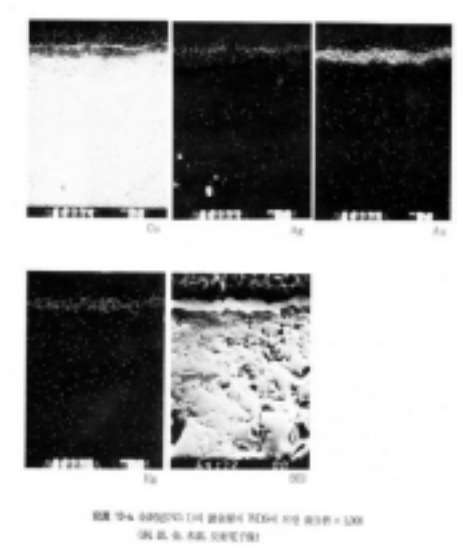
사진(寫眞) 11. 금동관(金銅冠)(NO.1)의 반사전자상(反射電子像)×150



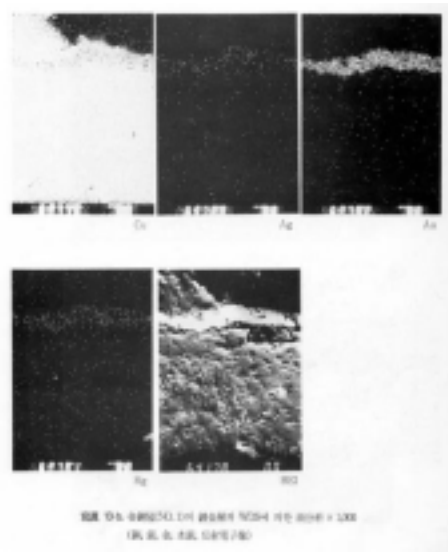
寫眞 12 金銅冠(NO.1)의 EDS에 의한 mapping × 150

(金:黃, 銅:紺, 錫:綠, 鉛:赤)

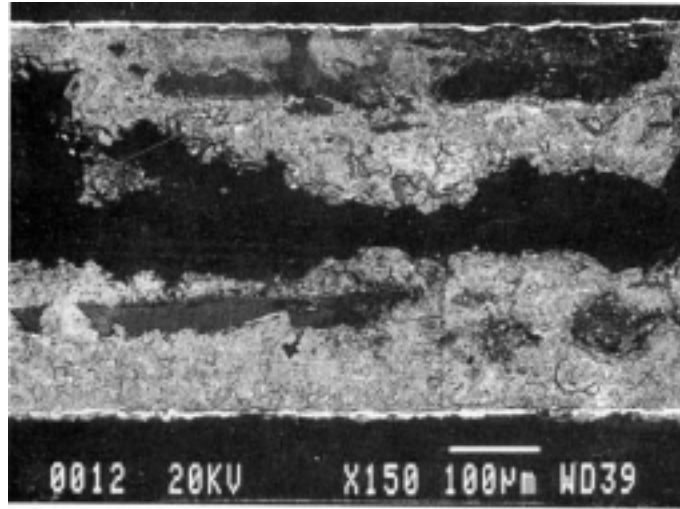
사진(寫眞) 12. 금동관(金銅冠)(NO.1)의 EDS에 의한 mapping×150
(금:황(金:黃), 동:紺(銅:紺), 주석:녹(朱錫:錄), 연:적(鉛:赤))



사진(寫眞) 13.-a. 금동관(金銅冠)(NO.1)의 도금층(鍍金層)의 WDS에 의한 면분석(面分析)×1,000 (동(銅), 은(銀), 금(金), 반사전자상(反射電子像))

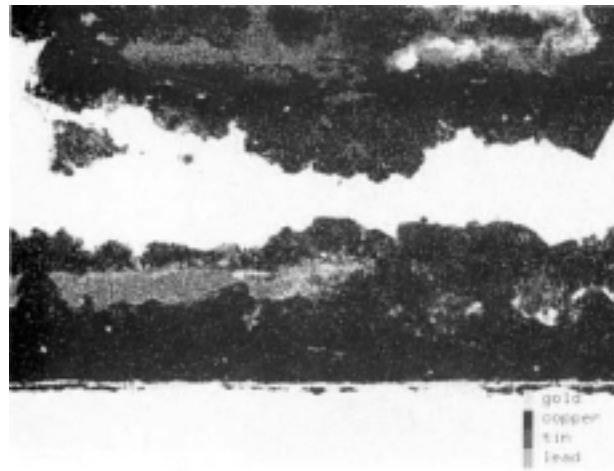


사진(寫眞) 13.-b. 금동관(金銅冠)(NO.1)의 도금층(鍍金層)의 WDS에 의한 면분석(面分析)×1,000 (동(銅), 은(銀), 금(金), 수은(水銀), 반사전자상(反射電子像))



寫眞 14. 金銅冠(NO.2)의 反射電子像 × 150

사진(寫眞) 14. 금동관(金銅冠)(NO.2)의 반사전자상(反射電子像)×150

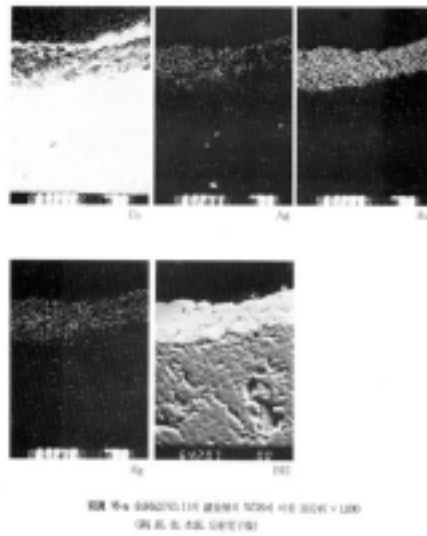


寫眞 15. 金銅冠(NO.2)WDS에 의한 mapping×150

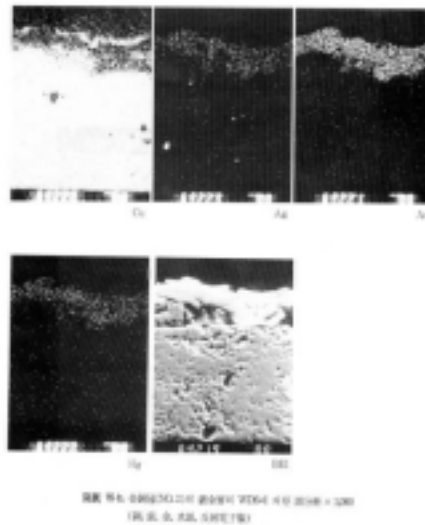
(金:黃, 銅:紺, 朱錫:綠, 鉛:赤)

사진(寫眞) 15. 금동관(金銅冠)(NO.2)WDS에 의한 mapping×150

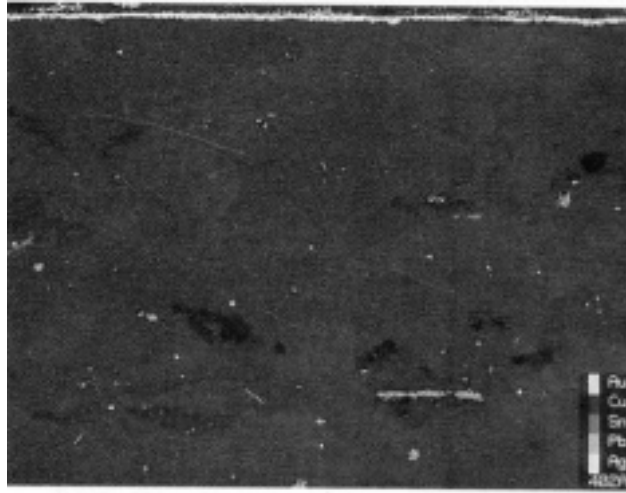
(금:황(金:黃), 동:紺(銅:紺), 주석:녹(朱錫:綠), 연:적(鉛:赤))



사진(寫眞) 16.-a. 금동관(金銅冠)(NO.1)의 도금층(鍍金層)의 WDS에 의한 면분석(面分析)×1,000 (동(銅), 은(銀), 금(金), 반사전자상(反射電子像))



사진(寫眞) 16.-b. 금동관(金銅冠)(NO.2)의 도금층(鍍金層)의 WDS에 의한 면분석(面分析)×1,000 (동(銅), 은(銀), 금(金), 반사전자상(反射電子像))



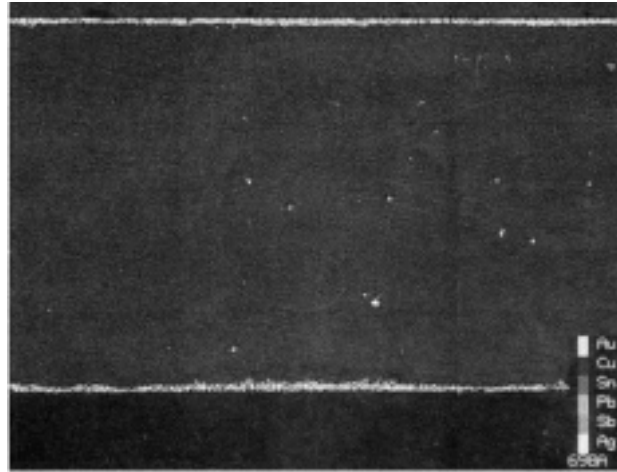
寫眞 18. 金銅脛甲(NO.4)의 EDS에 의한 mapping×500
 (金:黃, 銅:紺, 朱錫:綠, 鉛:赤, 銀:白)

사진(寫眞) 18. 금동경갑(金銅脛甲)(NO.4)의 EDS에 의한 mapping×500
 (금:황(金:黃), 동:紺(銅:紺), 주석:녹(朱錫:綠), 연:적(鉛:赤), 은:백(銀:白))



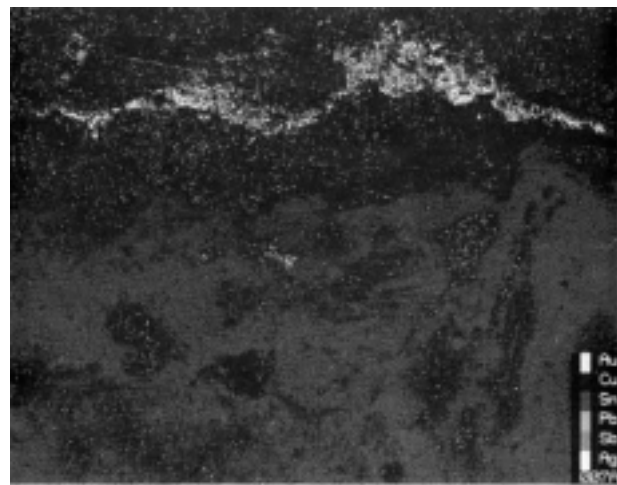
寫眞 19. 金銅透彫飾履(NO.5)의 EDS에 의한 mapping×500
 (金:黃, 銅:紺, 鉛:赤, 안티몬:靑, 銀:白)

사진(寫眞) 19. 금동투조식리(金銅透彫飾履)(NO.5)의 EDS에 의한 mapping×500
 (금:황(金:黃), 동:紺(銅:紺), 주석:녹(朱錫:綠), 연:적(鉛:赤), 안티몬:청(靑), 은:백(銀:白))



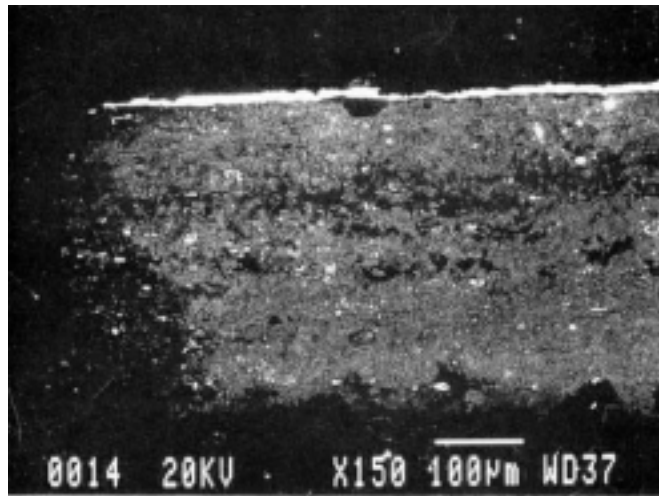
寫眞 20. 金銅扁圓魚尾杏葉(NO.6)의 EDS에 의한 mapping × 500
 (金:黃, 銅:紺, 朱錫:綠, 鉛:赤, 안티몬:靑, 銀:白)

사진(寫眞) 20. 금동편원어미행엽(金銅扁圓魚尾杏葉)(NO.6)의 EDS에 의한 mapping×500
 (금:황(金:黃), 동:紺(銅:紺), 주석:녹(朱錫:綠), 연:적(鉛:赤), 안티몬:청(靑), 은:백
 (銀:白))



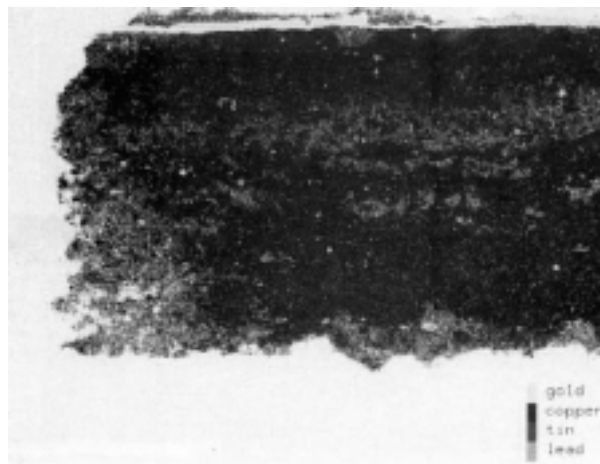
寫眞 21. 金銅小塔(NO.7)의 EDS에 의한 mapping × 500
 (金:黃, 銅:紺, 朱錫:綠, 鉛:赤, 안티몬:靑, 銀:白)

사진(寫眞) 21. 금동소탑(金銅小塔)(NO.7)의 EDS에 의한 mapping×500
 (금:황(金:黃), 동:紺(銅:紺), 주석:녹(朱錫:綠), 연:적(鉛:赤), 안티몬:청(靑), 은:백
 (銀:白))



寫眞 22. 金銅冠(NO.8)의 反射電子像 × 150

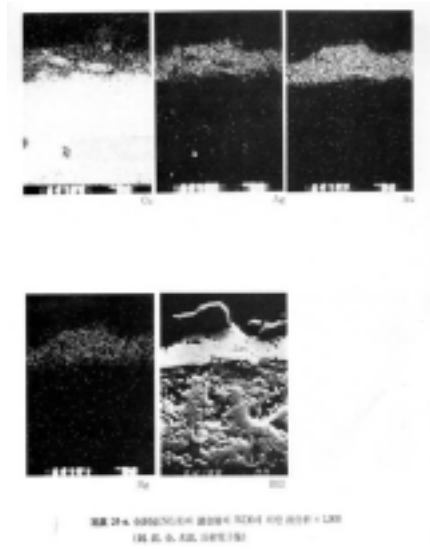
사진(寫眞) 22. 금동관(金銅冠)(NO.8)의 반사전자상(反射電子像)×150



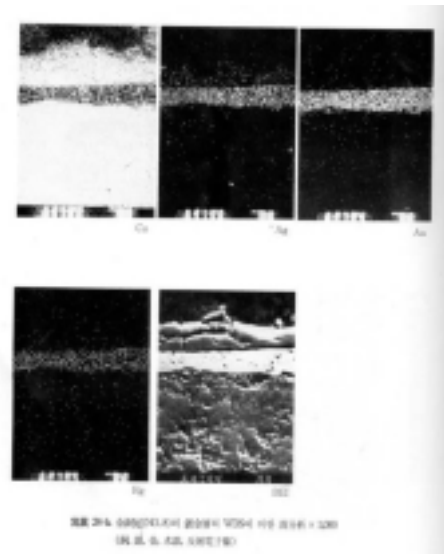
寫眞 23. 金銅冠(NO.8)의 EDS에 의한 mapping × 500

(金:黃, 銅:紺, 朱錫:綠, 鉛:赤)

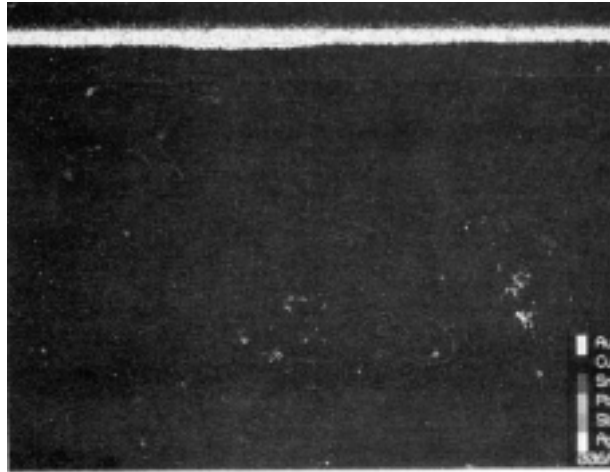
사진(寫眞) 23. 금동관(金銅冠)(NO.8)의 EDS에 의한 mapping×500
 (금:황(金:黃), 동:紺(銅:紺), 주석:녹(朱錫:錄), 연:적(鉛:赤))



사진(寫眞) 24.-a. 금동관(金銅冠)(NO.8)의 도금층(鍍金層)의 WDS에 의한 면분석(面分析)×1,000 (동(銅), 은(銀), 금(金), 수은(水銀), 반사전자상(反射電子像))

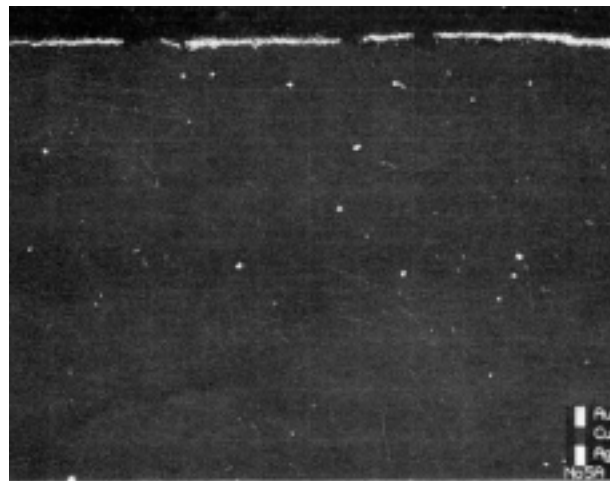


사진(寫眞) 24.-b. 금동관(金銅冠)(NO.8)의 도금층(鍍金層)의 WDS에 의한 면분석(面分析)×1,000 (동(銅), 은(銀), 금(金), 수은(水銀), 반사전자상(反射電子像))



寫眞 25. 金銅冑(NO.9)의 EDS에 의한 mapping×500
 (金:黃, 銅:紺, 朱錫:錄, 鉛:赤, 안티몬:靑, 은:백)

사진(寫眞) 25. 금동주(金銅冑)(NO.9)의 EDS에 의한 mapping×500
 (금:황(金:黃), 동:紺(銅:紺), 주석:녹(朱錫:錄), 연:적(鉛:赤), 안티몬:청(靑), 은:백(銀:白))



寫眞 26. 金銅塔形舍利器(NO.10)의 EDS에 의한 mapping×500
 (金:黃, 銅:紺, 은:백)

사진(寫眞) 26. 금동탑형舍利기(金銅塔形舍利器)(NO.10)의 EDS에 의한 mapping×500
 (금:황(金:黃), 동:紺(銅:紺), 은:백(銀:白))

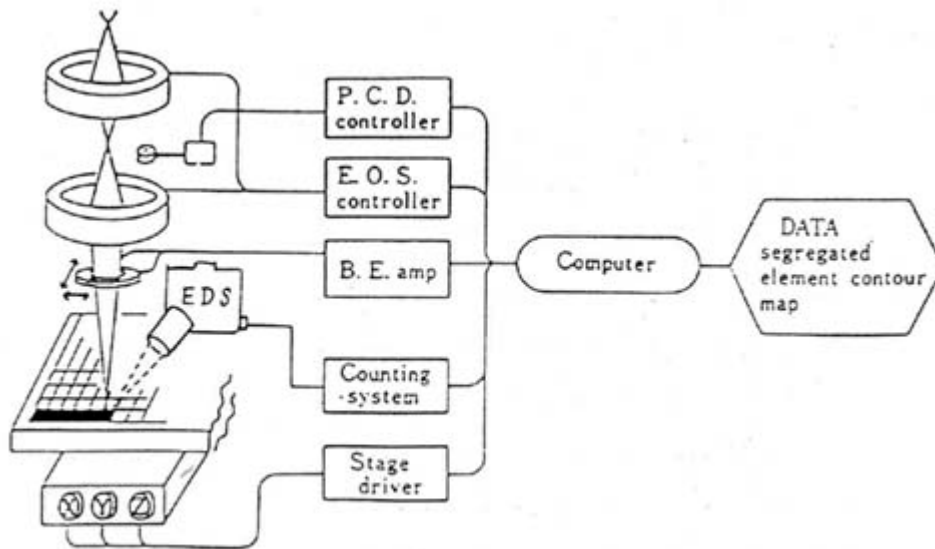


圖 1. SEM-EDS의 裝置概略圖

도(圖) 1. SEM-EDS의 장치개략도(裝置概略圖)

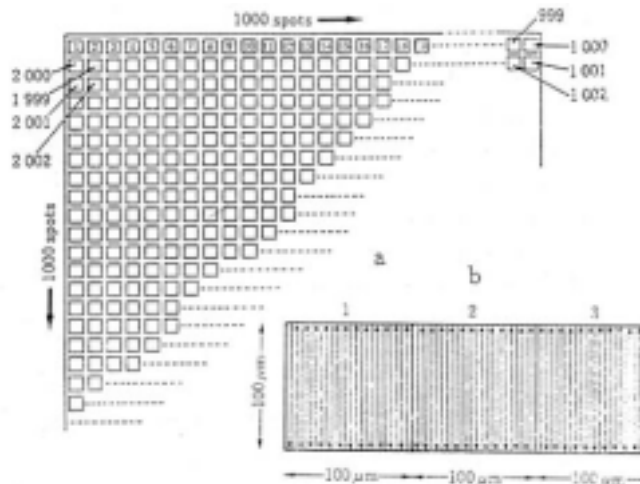


圖 2. SEM-EDS의 DATA採取法

a: 分析 spots順序, b: DATA 採取方法(100×100 μ m spots경우의 例示)

도(圖) 2. SEM-EDS의 DATA채취법(採取法)

a: 분석(分析) spots순서(順序), b: DATA채취방법(採取方法)(100×100 μ m spots경우의 예시(例示))

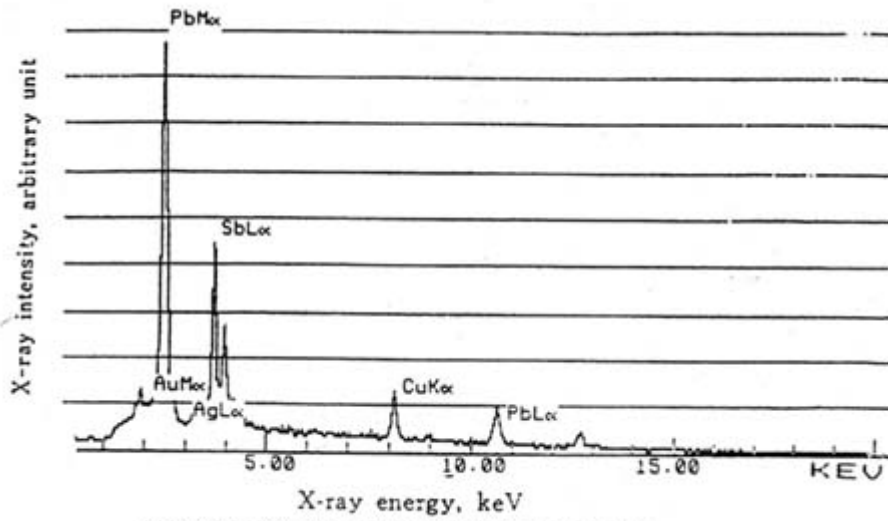


圖 3. 金銅冠(NO.1)의 銅材의 白色部分의 EDS分析結果

도(圖) 3. 금동관(金銅冠)(NO.1)의 동재(銅材)의 백색부분(白色部分)의 EDS분석결과(分析結果)

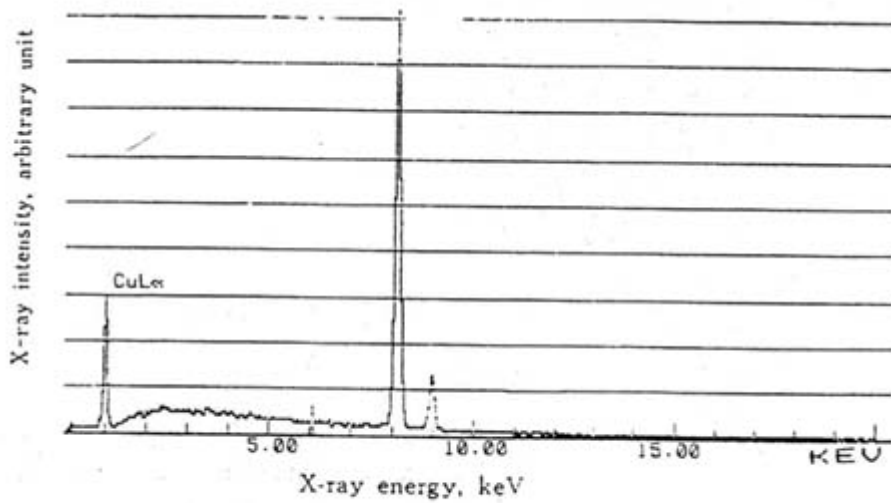


圖 4. 金銅冠(NO.1)의 銅材의 金屬部分의 EDS分析結果

도(圖) 4. 금동관(金銅冠)(NO.1)의 동재(銅材)의 금속부분(金屬部分)의 EDS분석결과(分析結果)

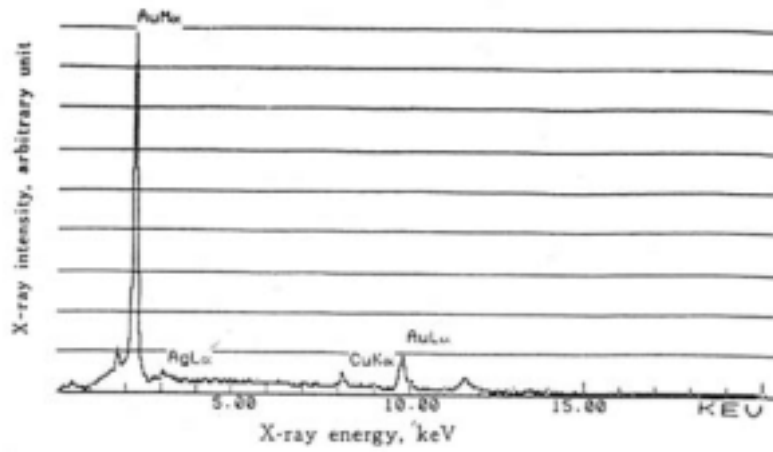


圖 5. 金銅冠(NO.1)의 鍍金層의 EDS分析結果

도(圖) 5. 금동관(金銅冠)(NO.1)의 도금층(鍍金屬)의 EDS분석결과(分析結果)

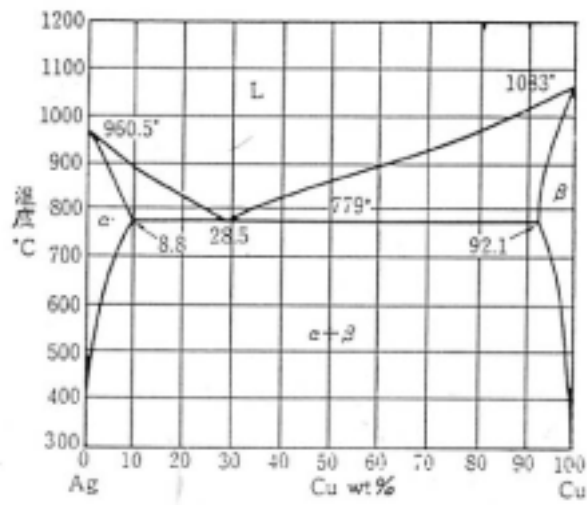


圖 6. 銀-銅의 平衡 狀態圖

도(圖) 6. 은-동(銀-銅)의 평형 상태도(平衡 狀態圖)

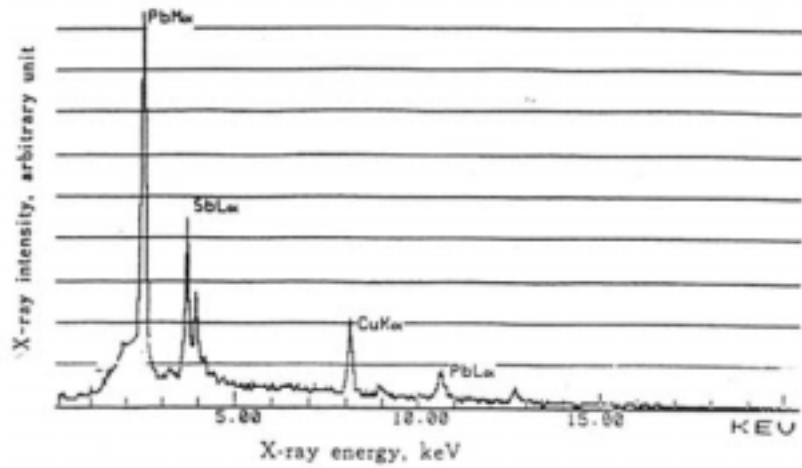


圖 7. 金銅冠(NO.8)의 銅材의 白色部分의 EDS分析結果

도(圖) 7. 금동관(金銅冠)(NO.8)의 동재(銅材)의 백색부분(白色部分)의 EDS분석결과(分析結果)

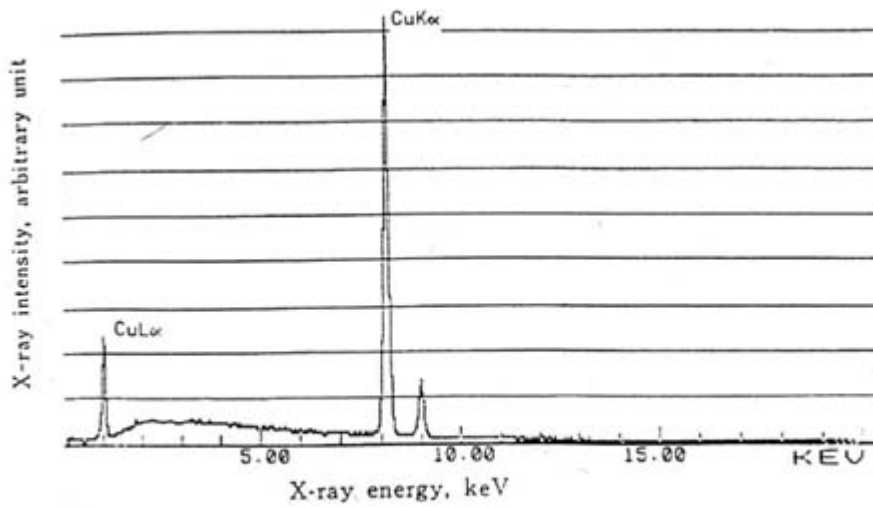


圖 8. 金銅冠(NO.8)의 銅材의 金屬部分의 EDS分析結果

도(圖) 8. 금동관(金銅冠)(NO.8)의 동재(銅材)의 금속부분(金屬部分)의 EDS분석결과(分析結果)

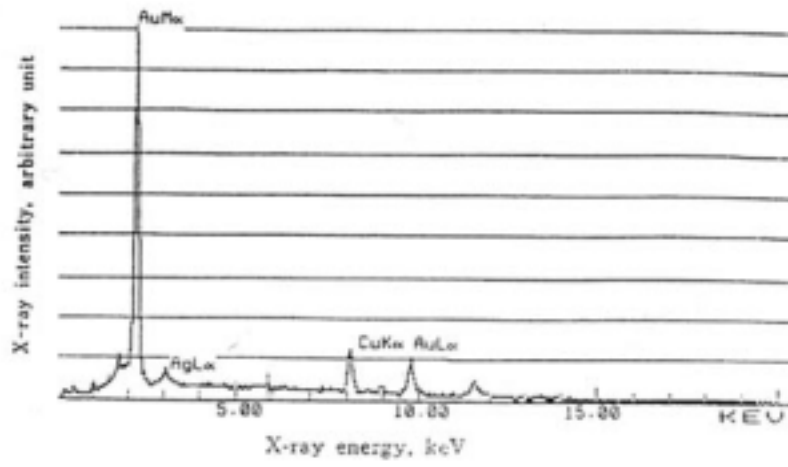


圖 9. 金銅冠(NO.8)의 鍍金屬의 EDS分析結果

도(圖) 9. 금동관(金銅冠)(NO.8)의 도금층(鍍金屬)의 EDS분석결과(分析結果)