

경복궁 경회루 연못 출토 용조각물의 과학적 분석 (景福宮 慶會樓 연못 出土 龍彫刻物의 科學的 分析)

- * 강형태(姜炯台)
- * 문선영(文善英)
- * 황진주(黃振周)

목 차

- | | |
|---------------|--------------|
| I. 머리말 | III. 결과 및 고찰 |
| II. 시료 및 분석방법 | IV. 맺음말 |

I. 머리말

1997년 11월 문화재관리국에서 경복궁 경회루 연못준설을 위한 도수로 작업을 하던 중에 북측 하향정 앞 연못 바닥에서 파손된 청동 용조각물 1구를 발견하였다. 발굴당시 용은 몸통과 머리가 분리되어 큰 돌(180cm×68cm×60cm)에 눌린 채 직사각형 석판 위에 놓여 있었는데, 완형으로 발견된 우측 발을 보면 발톱이 다섯 개인 오조룡(五爪龍, 임금 상징)으로 왕실에서 제작한 조각물로 추정하고 있다.

경회루는 임진왜란때 불타 소실된 것을 고종 2년(1895)에 증건한 궁궐의 대표적인 누(樓)로서 회연(會宴), 기불독경(祈佛讀經), 기우제(祈雨祭)를 지내던 곳이다. 경회루 증건기록인 「경회루전도(慶會樓全圖)」에 따르면, 경회루의 물로 불기운을 막기 위해 구리용 두마리를 연못에 넣는다는 기록이 있다. 이로 미루어 볼 때, 대원군이 증건 당시 경복궁의 화재를 막는다는 목적으로 용을 연못 속에 넣은 것으로 보인다. 하지만 발굴 당시 임금을 상징하는 용의 머리가 잘려 있었고 여의주를 물로 있지 않은 점, 몸체에 비해 머리가 지나치게 커 왕실용품으로 보기에는 적당치 않은 점, 그리고 화재 예방이 목적이었다면 풍수지리학적으로 용의 머리는 화기(火氣)가 센 정남쪽인 관악산을 향해 있어야 할텐데 북쪽인 북악산을 향해 있었던 점 등 여러 관점에서 용조각물에 대한 의견이 제시 되었다.

본 연구는 청동 용조각물을 과학적인 관점에서 검토한 결과이다. 즉, 용조각물을 주조하기 위해서 어떠한 원료들을 어떻게 배합하였으며, 어느 지역의 원료를 가져다 썼는지 그 산지를 추정코자 하였다. 이러한 과학적 분석 결과를 잘 활용하면 차후 용조각물을 해석 하는데 다소나마 도움이 되리라 기대해 본다.

청동기는 기본적으로 구리-주석의 합금인데 필요에 따라 납을 첨가하여 주조한 것이다. 청동기의 주성분 배합비를 기초로 금속조직을 관찰하면 주조시의 상(相)변화와 냉각 속도등을 판단해 그 주조방법을 알아낼 수 있다. 또한 미량성분의 분석을 통해서 원료의 정련 정도를 파악할 수 있는데, 만일 의도적으로 미량성분을 첨가했을 때에는 그 첨가 목적이 무엇인지에 대해서도 고찰할 수 있다. 그리고 청동기의 성분중에서 납의 역할은 중요하다. 즉, 청동기 주조시 사용한 납은 그 산지(產地)에 따라 동위원소비(同位元素比)가 고유한 값을 나타내므로 청동기의 납 동위원소비를 특정하면 어느 지역의 납 광석을 썼는지를 밝혀낼 수 있다.

위의 목적을 위하여 청동 용조각물에서 부위별로 시료를 채취하였다. 원자흡수분광분석법(AAS) 및 유도결합플라스마방출분광분석법(ICP)으로 주요성분과 미량성분을 분석하였고, 금속현미경으로 미세조직을 관찰하였다. 또 원료의 산지를 추정하기 위해서 열이온화질량분석법(TIMS) 납동위원소비(Pb / Pb , Pb / Pb , Pb / Pb , Pb / Pb , Pb / Pb) 를 측정하였다. 납동위원소비 데이터의 해석을 위한 통계처리법으로는 주성분 분석법(PCA)과 선형판별식분석법(SLDA)을 사용하였다.

II. 시료 및 분석방법

1. 시 료

용 몸체의 세부분(꼬리, 발, 목)과 수염에서 시료를 채취하기 위하여 금속소지가 잘 남아있는 부분을 시료로 선정하였다. 시료채취는 다이아몬드 휠을 장착한 핸드드릴을 사용하여 각 부위에서 금속 알갱이(3mm×3mm×3mm)를 도려 내었고, 다이아몬드 팁을 이용하여 알갱이를 도려낸 부위에서 약 30mg 정도 씩 분말시료를 채취하였다. 시료를 채취한 위치는 용의 모습을 담은 사진으로 그림 1에 화살표로 표시하였다.

각 시료의 표면에 붙어있는 불순물과 유기물을 제거하기 위해서 시료를 아세톤용액 약 10ml에 담가 초음파세척기로 약 1시간 정도 세척한 후 실온에서 건조시켰다. 이들 4점의 시료를 폴리에틸렌 바이알에 넣고 데시케이터에서 보관하였다. 금속알갱이는 미세구조를 보기 위해서, 분말시료는 성분원소 분석 및 납동위원소비 분석을 위해 사용하였다.

2. 원자흡수광 및 ICP분석

분말시료 약 20mg을 정확히(± 0.01 mg) 칭량하여 25ml 삼각 플라스크에 옮겨 왕수 1ml를 첨가하고 60°C의 가열판 위에서 용해하였다. 이를 실온에서 냉각시킨 후 녹지 않은 부분이 있는 경우에는 다시 왕수 1ml를 첨가해 같은 방법으로 완전히 용해하였다. 이 시료용액을 100ml 부피 플라스크에 옮겨 3차 증류수로 표선까지 묽혔다. 또한 각 분석성분에 대한 원자흡수용 표준용액(1,000ppm, BDH Spectroso l.)을 묽혀 각각의 표준용액을 제조하였는데, 이때 시료용액의 매트릭스와 조성을 맞추기 위해 구리 표준용액(1,000ppm)을 5.0ml씩 첨가하였다.

이와같이 제조한 각 농도의 표준용액을 이용해 각 성분의 검량곡선을 작성한 다음 시

료의 흡광도를 측정하였다. 원자흡수광분석기(Perkin-Elmer 3030, USA) 및 유도결합 플라즈마 방출분광분석기(Seico, Japan)를 사용해 9종(Cu, Sn, Pb, Zn, Ag, Ni, Co, Fe, As)의 성분원소를 분석하였다.

3. 금속현미경 관찰

시료는 에폭시수지(YD-114E:CD-230=10:3)를 사용해 조형하여 연마지(#1,000~4,000)로 연마한 후, 연마천에 1 μ m 연마액을 뿌리면서 연마기(Struers Rotopol-11, Denmark)로 정밀하게 연마하였다. 연마가 끝난 시료는 염화제2철용액(C₂H₅OH 60ml +HCL 15ml+FeCl₃ 5g)에 약 10초정도 부식시켜 금속현미경(Nikon, Japan)으로 미세금속조직을 관찰하고, 주사형전자현미경(Hitachi S-3500, Japan)으로 미소부위를 분석을 하였다.

4. 납동위원소비 분석

용의 몸체중 목부분과 수염부분 2점의 분말시료를 수 mg 취해서 테프론 바이알에 넣고 왕수 2~3ml를 가한다음 뚜껑을 닫고 150℃의 가열판에서 약 12시간 정도 가열하였다. 바이알의 뚜껑을 열고 가열해 건조시키고, 6N-HCL1ml를 첨가하고 다시 건조시킨 후 1N-HBr 1ml에 녹여 원심분리하였다. 원심분리한 시료용액을 음이온교환수지(AGI-X18, Chloride form, #100~200)와 1N-HBr을 사용해 납을 분리하였다. 분리한 납을 Re single filament에 얹어 열이온화질량분석기(VG Sector 54-30)를 사용해 동위원소비를 측정하였다. 분석결과는 표준 물질(NBS, SRM 981)의 측정치를 사용해 보정하였다. 본 납동위원소분석비는 대덕연구단지의 기초과학연구소에 의뢰하여 얻었다.

III. 결과 및 고찰

1. 성분조성

용몸체(꼬리, 발, 목)와 수염에 대한 성분분석 결과를 <표 1>에 나타내었다.

용몸체의 주요 성분을 살펴 보면 Cu:Sn:Pb:Zn의 비가 대략 75:3:20:2인 청동계 주물로 밝혀졌다. 또한 Pb의 함량비율이 약 20% 정도로 상당히 높는데 이는 합금의 용점을 낮게하고, 주물의 유동성을 좋게하기 위해 다량 첨가한 것이라 할 수 있다. 물론 청동의 주요 성분인 Sn보다 얻기 쉬었던 점도 간과할 수는 없을 것이다. As는 약 2.4%로서 주원료에 포함된 불순물로 섞여 들어간 것으로 보기는 어렵다. 이는 연한 구리를 단단하게 하기 위해서 의도적인 첨가한 것으로 볼 수 있다.

수염은 몸체와는 달리 주성분원소가 Cu:Zn으로 그 비가 약 7:3인 황동이였다. 7 — 3 황동은 연하고 전성이 풍부하기 때문에 상온가공이 가능하다. 가공후 소둔(燒鈍, annealing)하면신율이 10~20%정도 증가하므로 예로부터 관, 봉, 판재 등의 용도로 널

리 사용되었고 황금색을 띠게 하기 위해 합금되기도 하였다. 따라서, 수염은 구조성을 좋게 하고 황금색을 내기 위해 별도로 제작한 다음 용몸체에 부착한 것으로 판단된다.

〈표 1〉 용조각물의 몸체 및 수염의 성분분석 결과

번호	분석 부위	성분원소 함량 비율(%)									
		구리 (Cu)	주석 (Sn)	납 (Pb)	아연 (Zn)	코발트 (Co)	니켈 (Ni)	은 (Ag)	철 (Fe)	비소 (As)	Total
1	꼬리	76.0	2.23	17.1	1.82	0.005	0.033	0.015	0.48	2.31	100.0
2	발	72.4	3.23	19.8	3.57	0.010	0.038	0.019	0.87	2.19	102.1
3	목	74.7	2.73	18.8	1.67	0.005	0.032	0.010	0.59	2.72	101.2
4	수염	67.1	0.25	1.19	28.7	0.029	0.068	0.005	0.28	-	97.6

2. 미세구조

용몸체 및 수염의 주요 성분함량 데이터를 나타낸 표 1을 참고하여 금속조직을 살펴 보았다. 먼저 용몸체(꼬리, 발, 목)의 금속현미경 사진인 그림 2~4를 보면, Sn의 함량이 2~3%로 적어 전체적으로 Sn이 Cu사이에 고용된 α 상으로 이루어졌다. Pb는 Cu에 거의 고용되지 않으므로 석출되어 산재해 있는데 함량비율이 17~20%로 높아 크게 뭉쳐진 것을 볼 수 있다. 특히, 꼬리부분에서 거대한 기공들을 곳곳에서 관찰할 수 있는데 몸통에 비해 상대적으로 두께가 얇아 빠르게 냉각되면서 내부에 존재하던 공기가 빠져나가지 못하였거나 압탕구가 설치된 곳이라 공기가 빠져나가던중에 냉각되었을 것으로 추정된다. 이렇게 불규칙한 Pb의 분포와 크기, 큰 기공의 산재 등으로 미루어 주조기술이 우수하다고 볼 수는 없다.

수염의 금속현미경 사진인 그림5를 보면, 7:3황동에서 일반적으로 나타나는 조직으로 냉각하는 과정에서 서서히 냉각되어(풀림, annealing) 쌍정(twin)이 나타나있다. 또한 쌍정은가공등 내부에 응력(stress)을 가했을 때 많이 나타나는 것으로 이는 수염을 제작하는 과정에서 길게 수염의 형태를 만든후 열을 가해서 풀림하였을 것으로 판단된다. 사진에 보이는 검은 점은 Pb로서 Cu나 Zn에 고용되지 않고 석출되어 구형으로 존재하고 있다. 즉 전체적으로 Zn이 Cu에 고용된 α 상과 석출된 Pb로 이루어져 있다.

3. 납동위원소비 분석을 통한 산지추정

납동위원소비에 의한 원료의 산지추정은 기 발표된 한국, 일본, 중국 방연광의 납동위원소비 데이터를 기초로 하였다. 이들 전 데이터를 통계 전산프로그램을 사용하여 주성

분분석(PCA) 및 선형판별식분석(SLDA)과정을 거쳐 방연광의 판별함수를 구한 바 있다. 방연광 분포는 5개(한국남부, 한국북부, 중국남부, 중국북부 및 일본)의 군(群)으로 분류되며 미지 시료(용조각물)의 납동위원소비를 이 판별함수에 대입시키면 주조를 위해서 사용한 원료의 산지를 추정할 수 있다. 그 판별함수는 아래 식 (1),(2)와 같다.

$$DS_{1,j} = -0.571X_{A,j} + 1.916X_{B,j} - 0.091X_{C,j} + 8.292X_{D,j} + 14.24X_{E,j} - 53.13 \dots (1)$$

$$DS_{2,j} = 1.025X_{A,j} + 3.231X_{B,j} - 0.487X_{C,j} + 7.280X_{D,j} + 3.140X_{E,j} - 63.33 \dots (2)$$

여기서 $X_{A,j} = {}^{206}\text{Pb}/{}^{204}\text{Pb}$, $X_{B,j} = {}^{207}\text{Pb}/{}^{204}\text{Pb}$, $X_{C,j} = {}^{208}\text{Pb}/{}^{204}\text{Pb}$, $X_{D,j} = {}^{207}\text{Pb}/{}^{206}\text{Pb}$, $X_{E,j} = {}^{208}\text{Pb}/{}^{206}\text{Pb}$ 이다. 용조각물의 몸체(목) 및 수염에서 얻은 납동위원소비 및 이 동위원소비 값은 판별함수 (1)과 (2)에 대입하여 얻은 판별점수를 표 2에 나타내었다. 도 1은 선형판별식분석(SLDA)

에 의한 한국, 일본, 중국의 방연광 분포도인데, 여기에 시료의 판별점수(DS 값을 X축, DS 값을 Y축)를 삽입하여 ①, ②로 나타내었다.

〈표 2〉 용조각물의 납동위원소비 및 판별점수

번호	분석부위	납동위원소비					판별점수	
		206/204	207/204	208/204	207/206	208/206	DS	DS
1	몸체(목)	16.977	15.568	38.212	0.9170	2.2508	3.182	-0.494
2	수염	18.319	15.601	38.352	0.8601	2.1143	0.154	-0.108

그 결과를 살펴보면, 용몸체(①)를 주조하는데 사용한 Pb의 산지는 한국(북부)이며, 수염(②)은 일본으로 나타났다.

용몸체의 방연광 추정지는 한국(북부)이기는 하나 현재까지 분석된 방연광과 일치하는 광산이 없어 한국(북부)로만 추정하였다. 이는 추후 국내 방연광 시료를 좀더 추가하여 전체 분포도를 재작성할 때 다시 검토하도록 하겠다.

수염은 일본지역의 방연광과 관련이 있는 것으로 나타나 있으므로 일본 방연광의 동위원소비 데이터를 사용하여 주성분분석(PCA)으로 일본 방연광의 분포도를 작성한 것이 도 2이다. 도 2에 그 추정지를 표시(②)하였는데, 기부현(岐阜縣)의 회동광산(栢洞鑛山)으로 추정된다.

IV. 맺음말

조선시대 정궁이었던 경복궁 경희루 연못속에서 출토된 청동 용조각물로부터 시료를 입수하여 성분의 함량비율과 금속조직 분석을 통해 주조법을 살펴보았다. 그리고 몸체와 수염의 납동위원소비를 각각 분석하여 주조시 사용한 원료의 산지를 추정하였다.

1. 성분분석 결과 용의 몸체는 Cu:Sn:Pb:Zn의 비율이 75:3:20:2인 청동으로, 큰 용몸체를 주조하기 위해서는 유동성이 좋은 납을 많이 첨가했고 용몸체 주조시에 연한 구리를 단단하게 할 목적으로 As를 약 2.4% 첨가한 것으로 판단된다. 수염은 Cu:Zn이 7:3인 황동으로 별도로 제작하여 용에 부착하였다.
2. 용몸체는 수지상으로 된 ㄱ상으로 이루어진 서서히 냉각시킨 주조품이다. 불규칙한 Pb편석과 기공이 곳곳에 산재한 것으로 보아 주조기술이 우수하지는 않다. 수염은 7:3황동으로 길게 제작한후 풀림을 한 것으로 보인다.
3. 용몸체를 주조하는데 사용한 Pb는 약 20%정도인데 한국(북부)에서 가져다 쓴 것으로 추정되며, 수염의 납은 일본의 기부현(岐阜縣)에 소재한 회동광산(栢洞鑛山)으로 추정되었다.

감사의 글

본 연구를 위해 전자현미경분석 및 금속조직해석에 도움을 주신 국립중앙박물관 보존과 학실 조경미님, 권혁남님께 사의를 표합니다.

참고문헌

1. 윤열수, 민화이야기, 디자인하우스, pp149~155(1996)
2. 박언곤, 한국의 누, 대원사, pp 28~39(1991)
3. 주간조선, 1489, pp70~71(1998)
4. D.A.Scott, Metallography and Microstructure of Ancient and Historic-Metals, GCI, Singapore (1991)
5. R.J.Gettens, The Freer Chinese Bronzes, Vol.II, Smithsonian Institution, U.S.A., pp33~54, pp121~139(1969)
6. 전상운(全相運), 한국과학기술사(韓國科學技術史), 정음사(正音社), pp257~283(1983)
7. Z.Goffer, Archaeological Chemistry, John Wiley & Sons, U.S.A., pp197~236(1980)
8. 마연구부(馬淵久夫) 외(外) 1인, 고고학잡지(考古學雜誌), 73, pp199~245(1987)
9. 강형태 외(外) 5인, 한국상고사학보(韓國上古史學報), pp33~48(1997)



그림 1. 용조각물(길이:146.5cm, 폭:14.2cm, 무게:66.5kg)과 시료채취부위

그림 1. 용조각물(길이:146.5cm, 폭:14.2cm, 무게:66.5kg)과 시료채취부위

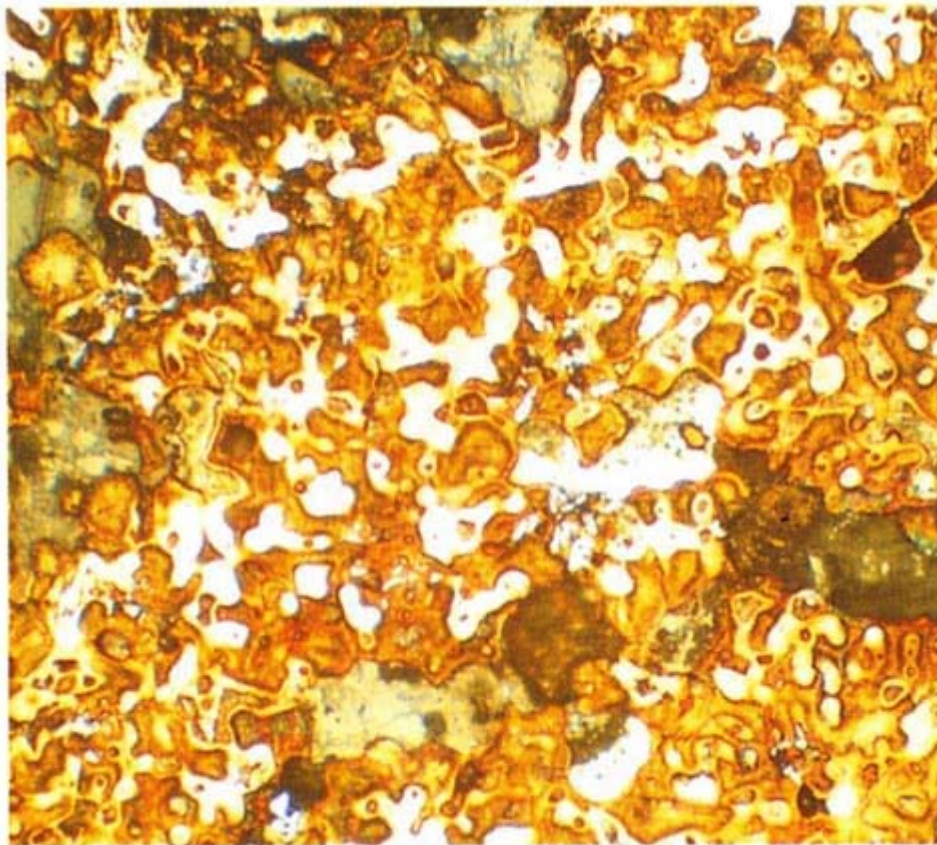


그림 2. 꼬리부분(×100)

그림 2. 꼬리부분(100)

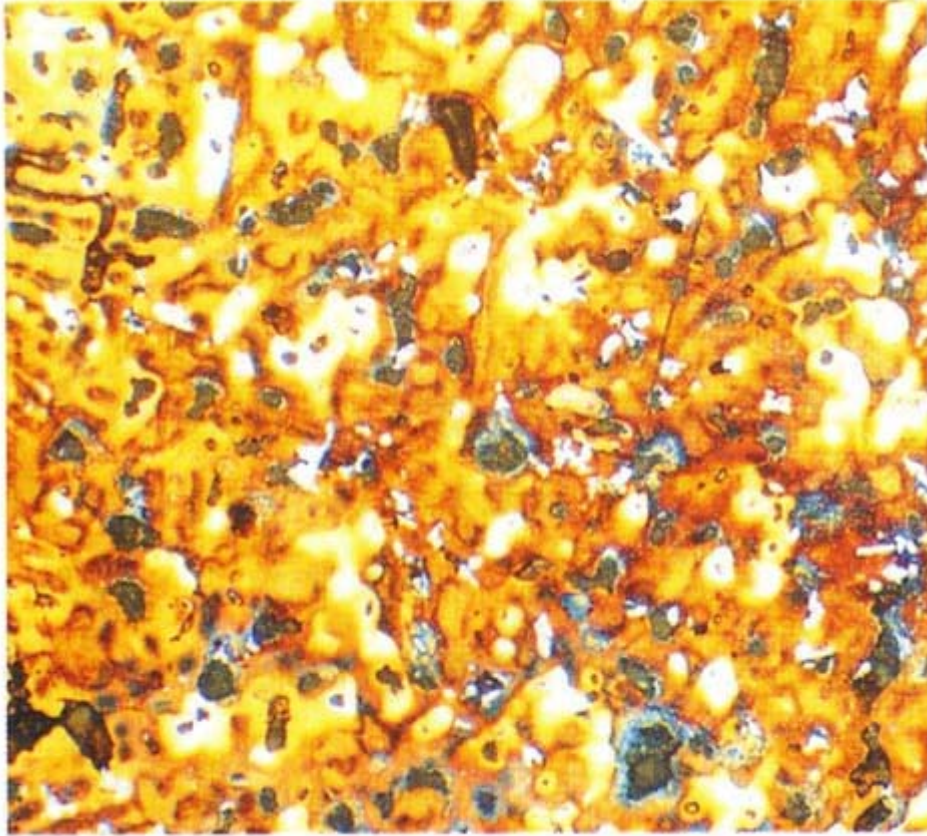


그림 3. 발부분($\times 100$)

그림 3. 발부분(100)

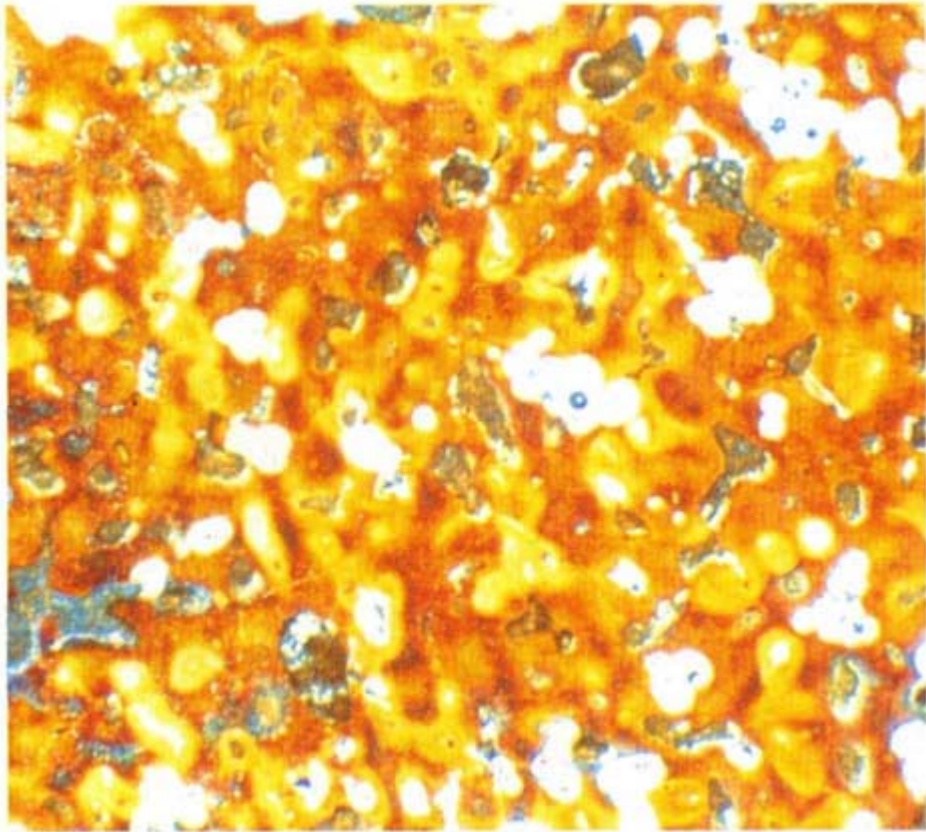


그림 4. 목부분($\times 100$)

그림 4. 목부분(100)

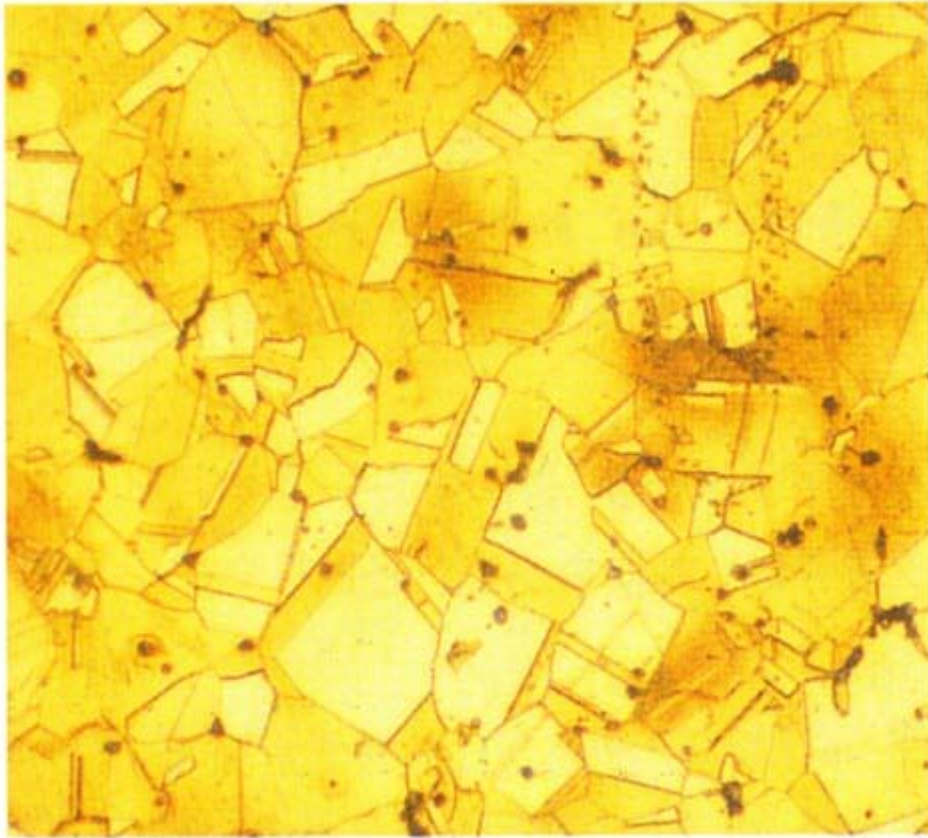
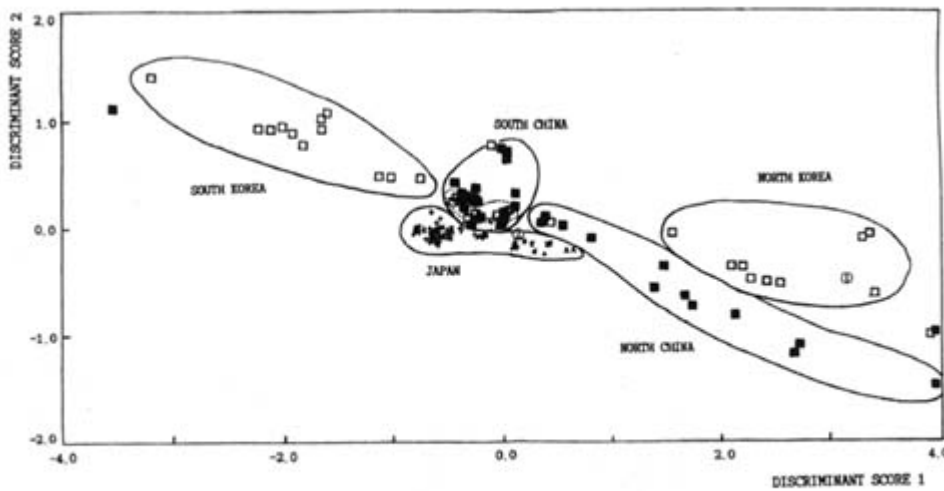


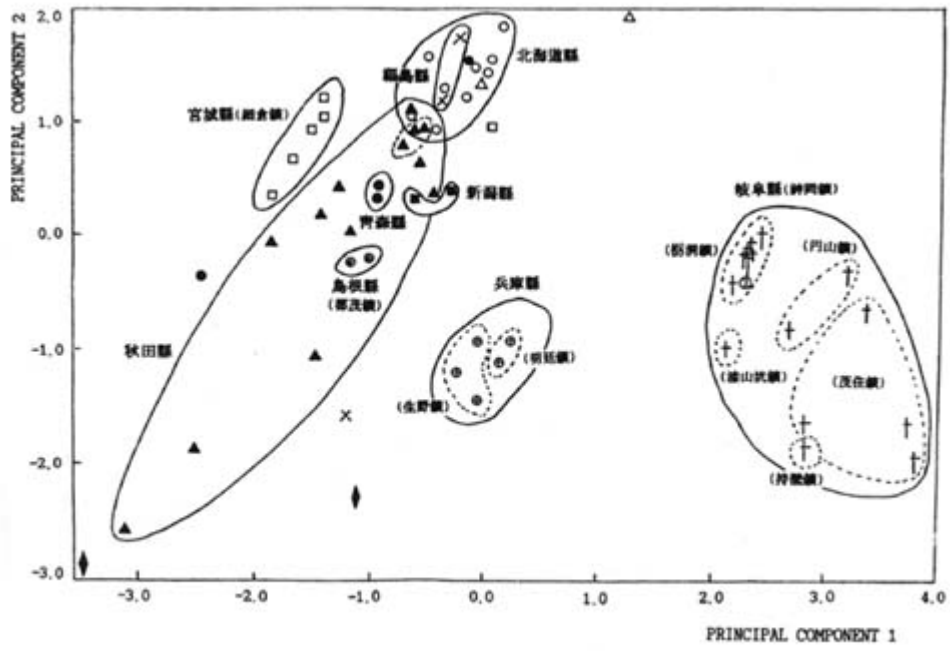
그림 5. 수염부분(×200)

그림 5. 수염부분(200)



도 1. 선형판별식분석(SLDA)에 의한 한국, 일본, 중국의 방연광분포 및 용의 목부분(①)과 수염(②)의 방연광 산지추정

도 1. 선형판별식분석(SLDA)에 의한 한국, 일본, 중국의 방연광분포 및 목부분(①)과 수염의 방연광(②) 산지 추정



도 2 주성분분석(PCA)에 의한 일본 방연광 분포 및 용수염(②)의 방연광 산지 추정

도 2. 주성분분석(PCA)에 의한 일본 방연광 분포 및 용수염(②)의 방연광 산지 추정