

창녕 화왕산성 출토 비격진천뢰(飛擊震天雷)의 보존

郭弘仁[†] · 黃貞順 · 俞惠仙* · 鄭光龍**

국립진주박물관 · *국립중앙박물관 보존과학팀 · **한국전통문화학교 보존과학과

Conservation of the Metal ball fired by a cannon

Hongin Gwak[†], Jungsoon Hwang, Heisun Yu* and Kwangyong Chung**

The Jinju National Museum

*Conservation science Team, The National Museum of Korea

**The Korean National University of Cultural Heritage

요약 경남 창녕군 화왕산성에서 발굴된 비격진천뢰의 보존처리를 실시하였다. 비격진천뢰는 일부 결실된 상태였다. 단, 결실된 부분은 내부를 관찰할 수 있도록 복원처리를 실시하지 않았다.

X-선 투과검사 및 C.T(Computed Tomography)촬영 결과 주조과정에서 주형선 주위에 기공이 많이 발생한 것을 확인할 수 있었고, 표면에는 주조시 내범을 유지하기 위한 형지공이 확인되었으며, 이 부분에 다시 철판을 덧대어 보강한 흔적도 확인할 수 있었다. 표면에 존재하는 청색 부식물의 주성분은 SEM/EDS 분석결과 산소(O), 철(Fe), 인(P), 규소(Si), 알루미늄(Al)이라는 것을 확인하였으며, XRD 분석결과 청색 부식물은 비비아나이트(vivianite, $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$)로 확인되었다. 그리고 미세조직 분석결과 전형적인 회주철조직으로 판명되었다.

Abstract We performed the conservation treatment for Bigyeokchinjeonnoe (A kind of time bomb in the Joseon Dynasty) excavated from Hwawangsanseong Fortress in Changnyeong-gun, Gyeongsangnam-do Province. Part of the Bigyeokchinjeonnoe has been lost; we did not restore the lost part so that one can observe the inside through it. The results of X-ray investigation and C. T (Computed Tomography) scan proved the generation of many blowholes around the molding line during the casting process; a hole in the casting mold to maintain inner mold during casting was identified on the surface and traces of fortifying this part with iron plate were also identified. The main ingredients of the blue corrosion on the surface were identified as O, Fe, P, Si and Al by SEM/EDS analysis. The result of XRD analysis identified the blue corrosion as vivianite [$\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$]. The metal structure clarified its material was gray cast iron.

[†] Corresponding author : The Jinju National Museum

Tel : 055)740-0665 | Fax : 055)748-6177 | E-mail : hongin@museum.go.kr

I. 머리말

국립진주박물관 보존과학실에서는 (재)경남문화재연구원 이 경남 창원군 화왕산성에서 발굴조사한(photo 1) 비격진천뢰 전뢰에 대하여 보존처리를 의뢰받아 2004년 7월~2005년 7월까지 보존처리를 실시하였다.



Photo 1. Bigyeokchinjeonnoe excavation.

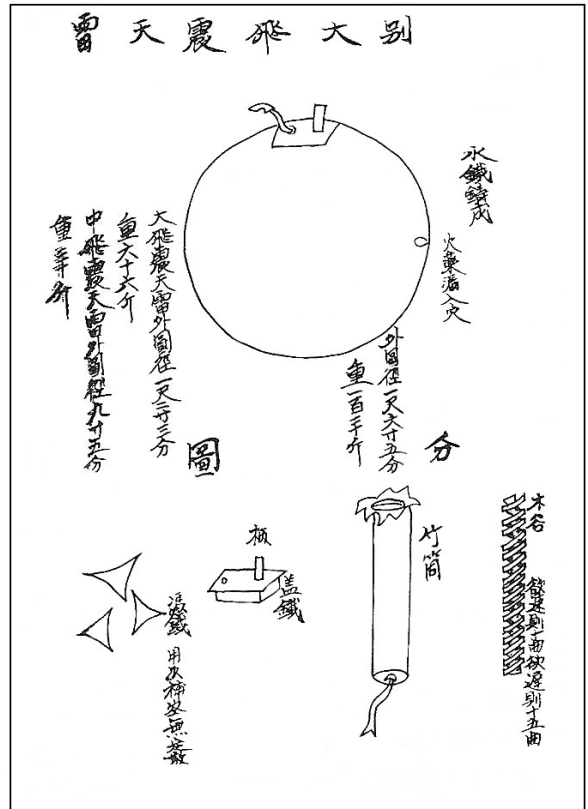


Fig. 1. Byeoldaebijincheonnoe (A kind of Korean time bomb) in the 「Yongwonpilbi (A book on weaponry from the Joseon Dynasty)」.

비격진천뢰 구조

비격진천뢰는 무쇠로 주조해 만들며, 형태는 둥근 공 모양으로 속이 비어있다. 개철구(蓋鐵口)를 통해 화약과 철판을 채워 넣고 한 가운데에 발화장치인 죽통(竹筒)을 넣는다. 이 발화장치는 타 화기에서 볼 수 없는 비격진천뢰만의 특징이다.

죽통 안에는 목곡(木谷)이라는 것이 있어 여기에 화약선을 감는데 감는 횟수에 따라 폭발 시간을 조절할 수 있다¹⁾(Fig.1).

현재 남아있는 비격진천뢰는 총 5점으로 지름이 19~23cm이고, 무게가 5.9~23kg이다.

몸통부분에는 주형선이 있고 주형선 위에서 원형 구멍(화약구)이 관찰되었다.

표면에는 주조시 내뱉을 유지하기 위한 형지공부분이 확인되며, 이 부위를 다시 철판을 덧대어 보강한 흔적도 확

II. 보존처리 전 상태

비격진천뢰는 인수 당시 2개의 편으로 분리되어 있었으며, 내부에는 흙과 이물질이 가득 찬 상태였다(Photo 2).



Photo 2. Before treatment.



Photo 3. Traces of the hole in the casting mold.

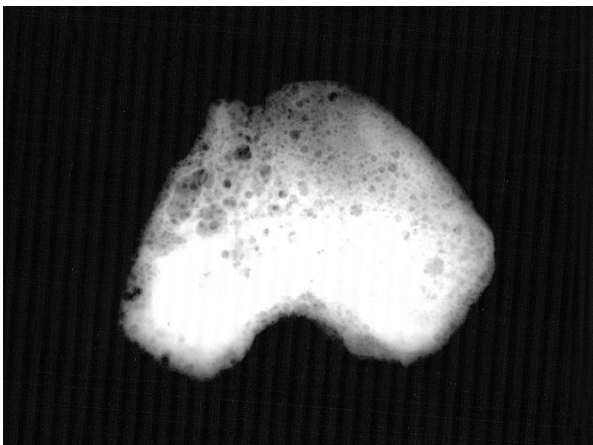
인할 수 있었다(Photo 3).

표면은 적갈색이며, 청색 계통의 부식물이 부분적으로 관찰되었다.

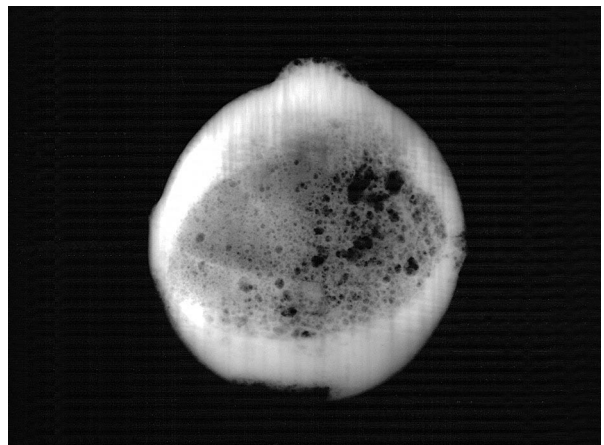
III. 상태조사

1. X-선 투과 촬영

X-선 투과 촬영결과(photo 4) 전체적으로 상당히 많은 주물 기공이 분포하고 있는 것이 관찰된다.



(a)



(b)

Photo 4. Radiography: (a) Fragment parts (b) Whole artifact.

Table 1. Working condition for Radiography

	Acceleration voltage	Current	Time
photo 4(a)	250kVp	5mA	1min
photo 4(b)	280kVp	5mA	2min

주*. 촬영은 국립경상대학교병원 방사선과 CT실(담당 강망유)에 의뢰하여 실시하였음.

이는 주물시 가스의 압력이 용탕의 압력보다 높은 경우 발생되는데, 가스의 압력이 높아지는 경우는 여러 가지 원인이 있다.

용탕의 주입 측면에서 보면 주입 온도가 낮거나 단속적인 주입, 혹은 주입 속도가 느린 것이 원인이다. 또한 압탕의 압력이 작은 경우도 기공이 발생하는 원인 중의 하나이다.

주물에 존재하는 기공은 충격에 약한 주물의 강도를 더욱더 떨어지게 만든다.²⁾

2. C.T(Computed Tomography)촬영

C.T촬영은 입체적인 유물이나 상감 등이 양쪽으로 새겨진 유물의 구조파악에 활용이 가능하다.

C.T촬영의 기본원리는 유물의 목적부위를 여러 방향에서 조사하여 투과한 X-선을 검출기로 수집하고, 그 부위에 대한 X-선의 흡수차이를 컴퓨터가 수학적 기법을 이용하여 재구성하는 촬영기법이다.

C.T[CT-Light speed QX/I plus(GE)]촬영결과³⁾(photo

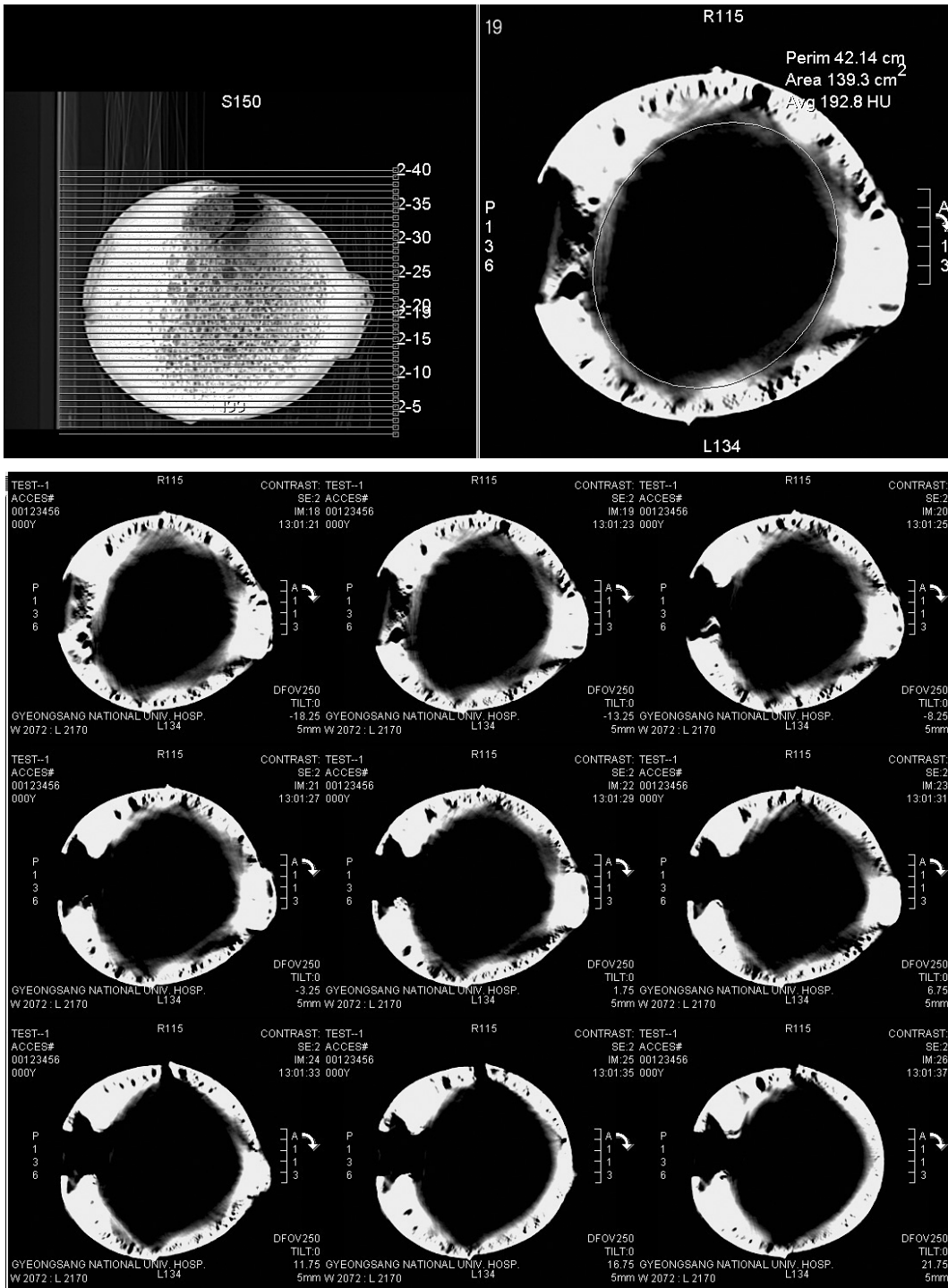


Photo 5. C. T (Computed Tomography) scan (18-26).

Table 2. Working condition for C.T

Acceleration voltage	Current	Time	Thick speed	DFOV	Recom type
120kV	30mA	1.3sec	5.0mm 4i	25.0	std

5) 비격진천뢰의 내부는 둘레 42.14cm, 면적 139.3cm²이며, 개철부보다는 주형선 주위부분에서 기공의 분포가 많은 것을 확인할 수 있었다.

따라서 비격진천뢰는 완구에 담아 발사하면 적진에 떨어진 후에 폭발하는데, 많은 기공은 폭발이 용이하도록 하기 위해 착안된 것으로 판단된다.

3. 성분분석

비격진천뢰의 표면부식물의 성분은 SEM/EDS(Hitachi S-350N, Japan)로, 구조분석은 X-선회절분석기

(GADDS, Bruker, Germany)를 사용하여 조사하였다 (Photo 6).



Photo 6. Analysis location of the blue corrosion.

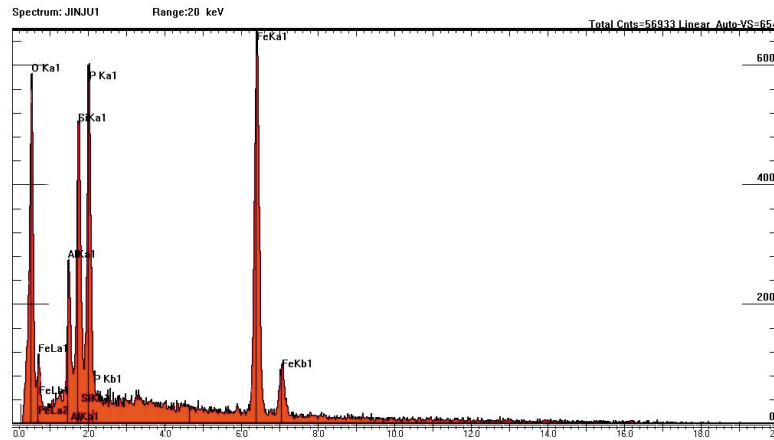


Fig. 2. SEM/EDS analysis result of the corrosion on the surface (blue).

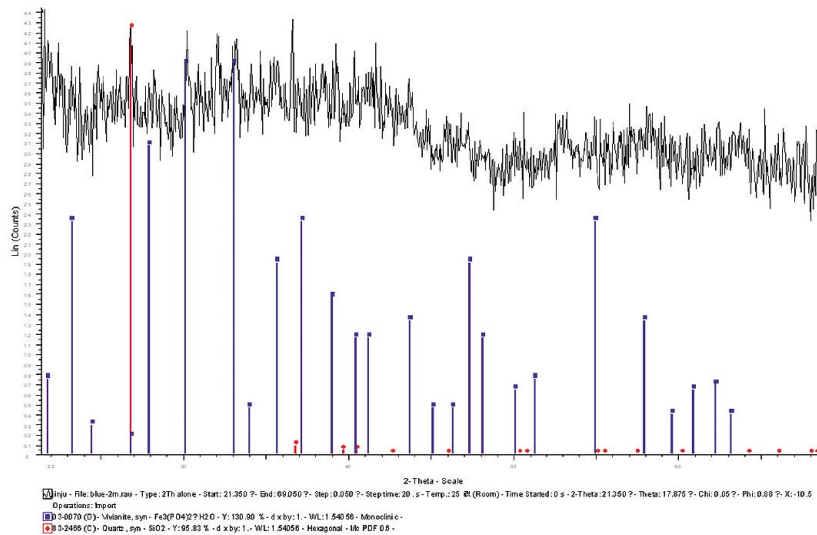


Fig. 3. XRD analysis result of the corrosion on the surface (blue).

청색부식물의 SEM/EDS 분석결과(Fig.2) 산소(O), 철(Fe), 인(P), 규소(Si), 알루미늄(Al)이라는 것을 확인하였으며, XRD 분석결과(Fig.3) 비비아나이트[vivianite], 즉 $[\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}]$ 로 확인되었다.

4. 미세조직 관찰

비격진천뢰의 미세조직 관찰을 위해 보존처리 과정 중 내부에서 떨어진 극미량의 철편을 이용하였다. 철편의 미세조직 분석은 금속유물의 제작과정에 사용되는 제철·제강기술, 가공방법 및 열처리기술 등을 파악할 수 있다.

시편은 극미량이어서 미세조직 관찰을 위한 폴리싱(polishing)에 어려움이 있으므로 마운팅(mounting)을 실시하였다. 마운팅된 시료는 샌드페이퍼(sand paper) 200mesh에서부터 2,000mesh까지 연마하였으며, 그 이후 0.3 μm 와 0.05 μm 의 Al_2O_3 분말을 사용하여 미세 연마하였다. 미세 연마된 시료의 부식(etching)은 나이탈을 이용하여 약 10초간 실시하였다⁶⁾.

시편의 미세조직 관찰은 광학현미경과 주사전자현미경(SEM, S-3000N)을 사용하였고, 비금속개재물 분석은 에너지분산형X선분석기(EDS)를 이용하였다. 주사전자현미경의 가속 전압은 20kV를 사용하였다.

(Photo 7)은 채취한 시료의 미세조직 사진으로서 어두운 바탕의 펄라이트(pearlite)와 밝은 바탕의 시멘타이트(cementite), 그리고 겹겹 보이는 줄무늬 조직은 탄소로 이루어진 흑연조직으로 회주철 소재에서만 볼 수 있다. 회주

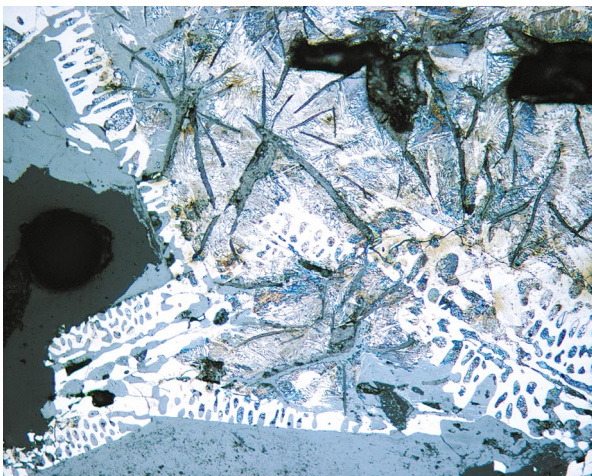


Photo 7. Microstructures of gray cast iron ($\times 200$).

철과 백주철은 본질상 동일하나 응고 당시의 조건에 따라 나뉘게 된다. 비격진천뢰는 시편의 부위와 관계없이 그 조직이 모두 회주철조직으로 강도와 내마모성은 높으나 취약한 성질을 갖는다.

주철은 그 용해온도가 낮아 철기시대 초기로부터 주조에 의한 제품생산에 주로 응용되었다. 주조란 용해된 철을 주형이라고 하는 미리 만들어진 틀에 부어 그 형태대로 응고 시킴으로써 제품을 생산하는 방법을 말한다.

주철은 응고과정에서 발생하는 잠열을 제하여 주는 냉각속도가 비교적 빠를 경우 오스테나이트(austenite)와 시멘타이트(cementite)의 혼합조직인 백주철을 초래하며 냉각속도가 느릴 경우 오스테나이트와 흑연의 혼합조직인 회주철을 낳게 된다. 응고 당시 특별한 처리를 가해주지 않는 한 주철의 응고과정에서는 백주철이 형성된다. 그러나 응고 후 높은 온도에서 장시간 유지하면 시멘타이트상이 흑연으로 분해되면서 가단주철로의 변화가 일어나 기계적인 성질이 개선되며 실생활에서의 응용 가능성이 높아지게 된다.

IV. 보존처리 내용

1. 녹제거

비격진천뢰 내부에 고착되어 있는 흙과 부식물을 치과용 소도구와 실체현미경을 이용하여 화약(유황성분), 도화선, 빙철(憑鐵) 등의 존재 여부를 확인하였다.

표면의 부식물과 주조 당시에 고착된 이물질들은 물리적인 방법을 사용하여 제거하였다.

2. 안정화처리

비격진천뢰는 주조품이므로 약품은 0.1% Sodium Sesquicarbonate($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 수용액을 이용하여 처리하였으며, 0.1% Borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) 수용액을 사용하여 상온에서 탈알카리처리하였다.

탈염처리 후 유물 내부의 잔류수분은 재부식의 원인으로 이를 효과적으로 제거하기 위하여 Ethyl Alcohol로 치환시킨 다음 자연건조(24h)와 진공건조기를 사용하여 $90 \pm 3^\circ\text{C}/96\text{h}$ 동안 처리하였다.



(a)



(b)

Photo 8. After the treatment: (a) Front (b) Top.

3. 강화처리

Acryl계 수지인 10wt% Paraloid NAD-10(in naphta) 용액에 진공함침처리하였다.

4. 접합 및 복원

이물질제거 과정에서 두 편이 서로 접합되는 것으로 조사되었다. 분리된 두 편 of 접합은 Epoxy계 수지인 Araldite rapid type에 무기안료와 Phenol계 Microballoon을 혼합하여 접합하였다. 복원은 비격진천뢰 내부를 관찰할 수 있도록 실시하지 않았다(Photo 8).

8H₂O의 인산염 광물로 확인되었다.

미세조직 분석결과 전형적인 회주철조직으로 판명되었으며, 이는 강도와 내마모성은 높으나 취약한 성질을 갖는다.

V. 맺음말

비격진천뢰의 보존처리 과정 중에서 몸통부에 주형선이 있으며, 주형선 위에 화약구멍이 있는 것을 확인할 수 있었다. 표면에는 주조시 내범을 유지하기 위한 형지공이 확인되며, 이 부분에 다시 철판을 덧대어 보강한 흔적도 확인할 수 있었다.

X-선 투과 및 C.T촬영으로 주조과정에서 주형선 주위 부분에 기공이 많이 발생한 것을 확인할 수 있었다.

비격진천뢰의 표면에 존재하는 청색 부식물은 XRD분석 결과 비비아나이트[vivianite], 수화인산철 [Fe₃(PO₄)₂·

참고문헌

1. 이강철, 『한국의 화포』, 동재(2004).
2. 박학수, 최희운, 김우현, 권혁남, 『철제용기의 보존처리』, 박물관보존과학, 5, pp.18-19(2004).
3. 譯田正昭 著, 김성범, 정광용 공역 『문화재보존과학개설』, 서경문화사(2000).
4. 鄭光龍, 2001, 「三國時代의 鐵器製作技術 研究」, 弘益大學校 大學院 博士學位 請求論文.
5. 전만진 외 3인, 『電算化 斷層 撮影學』, 대학서림(1990).
6. 김정근 · 김기영 · 박해웅 공저, 『금속현미경조직학』 도서출판골드, pp.145~166(1999).