

청평사 강선루 출토 조선시대 철제유물의 금속조직에 대하여

김수기 | 이창희*

용인대학교 문화재보존학과

* 한양대학교 재료공학부

Metallic Structure of Iron Relics of Chosun Dynasty Excavated from Gangsun Tower, Chengpyeong Temple

S.K.Kim | C.H.Lee*

Dept. of Conservation of Cultural Properties, Yong-in University, Yongin-si 449-714, Korea

* Division of Materials Science and Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

초록 청평사 강선루 회전문 부근에서 출토된 조선시대 16~17세기 철물과 철촉에 대한 금속조직학적으로 조사하기 위하여 유물에서 부식되지 않은 시편을 채취하여 마운트와 연마 및 부식을 시켜 금속조직을 관찰하고 비금속개재물부분은 SEM으로 관찰한 뒤 EDS로 분석하였다.

금속학적 조직조사와 SEM-EDS분석을 통하여 철물과 철촉은 고체저온환원법에 의한 순철에 가까운 괴련철 혹은 해면철을 이용하여 철을 생산하고, 단야로 같은 곳에서 침탄을 하여 탄소량을 높인 것으로 밝혀졌다. 또한 철물은 탄소량을 어느 정도 높인 다음 담금질과 열처리과정을 반복하여 철기의 강도를 인위적으로 많이 높이는 작업을 한 것으로 밝혀졌다. 이번 조사연구를 통하여 조선시대에도 괴련철을 소재로 하여 철을 생산하였다는 것을 알 수 있어 의미 있는 결과를 얻었다

ABSTRACT In the course of examining the micro structure of Iron chisel and Iron arrowhead, a relics of the 16th or 17th of Chosun Dynasty unearthed at near Gangsun-tower, Chengpyeong temple. Collected un-eroded samples from the relics were looked into the metallic structure through optical metallography. Non-metallic inclusions were analysed by SEM and EDS.

The micro structure examination and SEM-SDS analysis revealed that Iron chisel and Iron arrowhead had been produced from the sponge iron close to pure iron made by low temperature reducing in a solid and then the surface carbon content was increased by carburizing treatment. It was also found that Iron chisel had been hardened through the repetitive processes of quench hardening and heat treatment, after increasing carbon content to a certain level.

Up to now, there have been a number of studies in the domestic academia which were studied mainly on the structure of metallic relics in the period of the Three Kingdoms or before. Although this research was limited in type and number of the relics, it turned out to be interesting in that it revealed the 16th or 17th century way of processing iron, even in fragments. It is thought to be fruitful that iron had been made even in the Chosun Dynasty from the sponge iron.

I. 머릿말

청평사 강선루 회전문 부근의 유구 발굴 확인조사를 통해 출토된 철제 및 청동 유물을 강원문화재 연구소의 요청으로 용인대학교 박물관 문화재보존실에서 보존처리를 하였다. 의뢰된 유물은 철제 8점, 동전 3점 등 총 11점이며, 2002년 7월부터 2003년 3월까지 7개월에 걸쳐 보존처리하였다.

본고에서 다루고자하는 것은 청평사 강선루 회전문 부근에서 출토된 철제유물 2점에 대하여 금속유물이 가지는 가장 기초적인 미세조직조사와 분석을 통하여 철기 제작 기술을 밝히고자하는 것이다. 철제유물 2점으로 모든 철기 제작기술을 논하기는 어려우나 단편적이기는 하지만 16~17세기로 추정되는 청평사 강선루 회전문 부근에서 출토된 철기 2점에 사용된 철의 소재와 제강법, 열처리 등 철기 제작당시의 기술을 알 수 있을 것으로 사료된다.

II. 금속조직 조사와 분석

2.1 시편채취와 준비

청평사 강선루 회전문부근에서 출토된 철물(석물을 다듬는 철정)과 철촉 2점에서 시편을 채취한 후에도 외관상 유물이 손상되지 않게 금속심이 가운데에 있고 양쪽으로 Magnetite층이 박락된 곳을 찾아 시편을 채취하였다. 시편은 유물의 단면과 횡면을 검사하기 위해 같은 부분을 두 부분으로 나누어 채취하였다.

금속의 조직을 관찰하기 위해서는 우선 시료를 고정시키기 위하여 mounting 하여 시편을 연마하고 관찰을 하게 된다. Mounting은 성형틀 속에 시료를 클립에 고정하여 넣고 경화시간이 4시간인 Epoxy수지와 경화제를 섞은 후 시료가 들어있는 틀에 부어 진공함침기로 수지속의 기포를 제거하고 경화시켰다. Mounting이 완료된 시편은 정밀연마와 광택 연마를 실시하였다. 정밀연마는 연마지 #400부터 #800, #1200 순으로 실시하여 다음 연마지로 넘어갈 때마다 현미경으로 표면을 확인하였다. 광택연마는 정밀연마에서 남은 10~20 μ m 입도의 연마 시 생긴 연마흔적을 제거하여 경면상태로 만드는

작업으로 연마제로는 diamond 6 μ m과 1 μ m를 사용하였다. 6 μ m의 비교적 거친 연마제를 사용하여 예비연마를 실시 한 후 1 μ m의 가는 연마제를 사용하여 현미경으로 표면을 확인하며 마무리 연마를 하였다.

광택연마가 끝나면 광학 현미경으로 관찰 할 수 있는 단계에 오게 되는데, 부식하지 않은 연마 면에서는 모상(matrix)과 색이 다른 상이라든지 또는 비금속개재물이 혼입되어 있는 경우 이외에는 아무런 조직도 볼 수 없다. 따라서 조직 내 결정의 미세한 차이에 의한 반사의 차이는 사람의 시각 분해능 이하이므로 이를 보기 위해서는 조직에 콘트라스트를 주지 않으면 안 된다. 이 콘트라스트를 주는 것을 금속조직학에서는 Etching(부식)이라고 하며, 유물에 따른 적당한 정도의 부식처리를 하면 결정립계, 상의 입계, 상의 종류, 결정방향 등 부식정도에 따라 다르게 나타나므로 쉽게 조직을 관찰할 수 있다. 부식액으로는 Nital 3%(Ethyl alcohol에 NO₃ 3%)를 제조하여 10초씩 침적하고 세척하는 과정을 2~3회 실시하였다.

2.2 조직조사 및 분석방법

금속현미경 조직관찰을 위하여 시편을 Nital 3%로 Etching하여 시편 준비를 마치고 광학현미경을 이용하여 처음에는 50~100배 정도의 저배율로 조사하여 500배 까지 배율을 높여 가며 관찰하고 조직을 촬영하였다.

금속현미경으로 조직을 관찰한 후 비금속개재물 주변은 주사전자현미경(이하 SEM : Scanning Electron Microscopy)으로 부분적으로 확대하여 관찰하고 비금속개재물 의 내부는 SEM에 부착된 에너지분산스펙트로메타(이하 EDS : Energy Dispersive Spectrometer)로 분석하였다. 분석 후 금속조직의 경도를 5~10지점을 Micro Vickers 경도계의 중량을 50g으로 하여 5초간 측정하였으며, 이러한 결과를 토대로 강선루에서 출토된 조선시대 철물과 철촉에 사용된 제강법과 제작기술에 관하여 조사 연구하였다.

2.3 금속조직 및 분석결과

1) 철물

청평사 강선루에서 출토된 16~17세기 조선시대 석

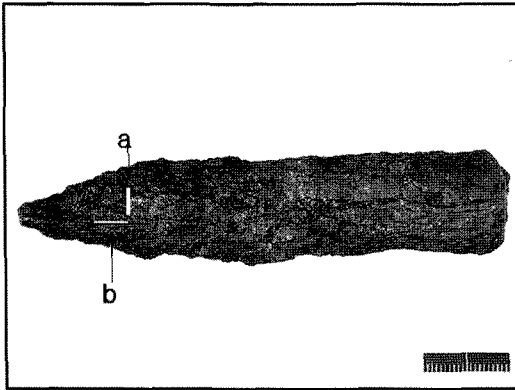


Fig. 1. Iron chisel.

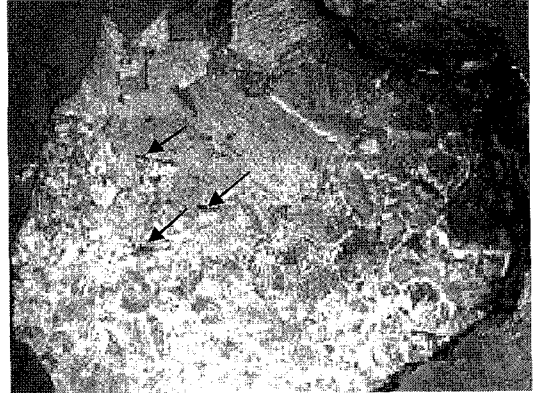


Fig. 2. Microstructure of 'a' (cross section) of Iron chisel($\times 50$).

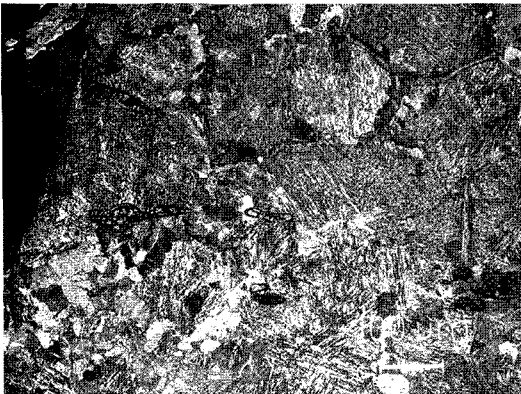


Fig. 3. Microstructure of cross section of Iron chisel($\times 100$).



Fig. 4. Microstructure of cross section of Iron chisel($\times 200$).

공들이 돌을 다듬을 때 사용하던 철정로 유물이 공기 중에 노출되며 부식으로 인해 금속 심을 중심으로 검은 magnetite층이 박락되고 있었다. 유물을 보존처리하는 과정에서 접합복원 전에 fig. 1에서와 같이 철물의 선단 부분 쪽 가운데의 부식되지 않은 철심에서 2개의 시편(크기 3~4mm)을 채취하여 단면과 횡면으로 금속학적인 미세조직 관찰에 사용하였다. 시편채취 후 박락된 마그네타이트층을 접합 복원하여 외관상 시편 채취부위가 표시나지 않게 하였다.

Fig. 2 같이 단면의 조직은 상부는 조직이 조대하고 하부는 비교적 조밀한 기지조직에 전체적으로 담금질하여 급냉시킨 마르텐사이트(martensite)조직이 분포하는 것을 볼 수 있다. 조직이 조밀한 부분에서 페라이트(ferrite)조직(사진에서 밝은 빛으로 반사된 부분)과 오스테나이트(austenite) 입계면의 시멘타이트 석출물이 나타난다. 이러한 전체적인 조직들로 보아 이 시편의 단

소량은 비교적 높으며(0.6%정도), 마르텐사이트 조직의 경도는 조대한 부분은 500Hv, 조밀한 부분은 549Hv정도로 비교적 높고 균일하게 측정되는 것으로 보아 담금질에 의한 재질경화가 이루어졌음을 알 수 있다. 또한 fig. 2의 화살표로 표시한 좌측중간 부분에 비금속 개재물이 좌우로 길게 늘여져 있는 것으로 보아 반복 단타 되었음을 알 수 있다.

Fig. 3과 4는 fig. 2의 좌측 중간부분 일부를 현미경의 배율을 높여가며 촬영한 사진으로 대부분 담금질 조직인 마르텐사이트 조직으로 구성되어 있음을 알 수 있다. Fig. 4에서 화살표들은 입계에 시멘타이트가 석출된 것이며, 조직이 조대한 곳의 미세한 마르텐사이트 조직은 공석온도(727 $^{\circ}$ C)이하에서 급냉되었을 때 발생하는 조직이다. 또한 fig. 4에서 시멘타이트 입계주변에 보이는 비교적 큰 침상구조는 입계 내에 탄소가 다른 지점보다 많았던 부분으로 급냉되며 커다란 판상구조인 마르텐사이트



Fig. 5. SEM image of cross section($\times 500$).

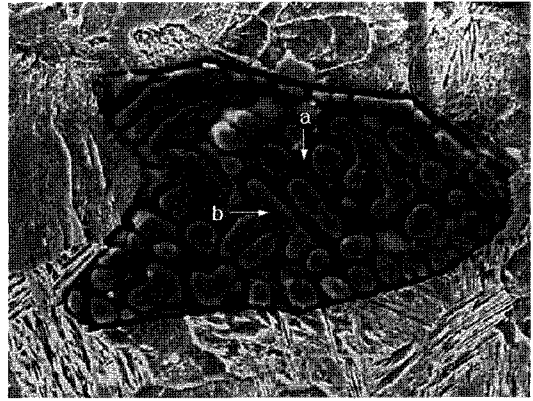


Fig. 6. SEM image of non-metallic inclusion of cross section($\times 1,000$).

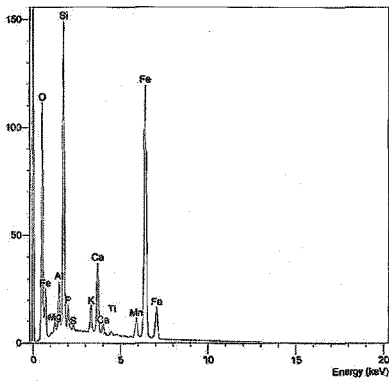


Fig. 7. EDS analysis of 'a' area of fig. 6.

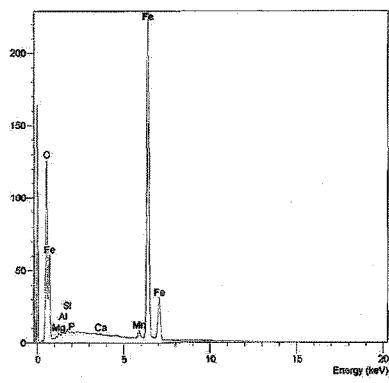


Fig. 8. EDS analysis of 'b' area of fig. 6.

트(plate martensite)가 만들어진 것으로 보인다. 이러한 조직은 철탄을 시킨 뒤 급냉될 때 생기는 조직으로 조직을 인위적으로 강하게 하기 위한 일련의 열처리 작업이

이루어 졌던 것으로 보인다.

Fig. 5는 fig. 2의 비금속개재물이 몰려 있는 부분을 SEM으로 확대 촬영한 사진으로 비금속 개재물 주변의

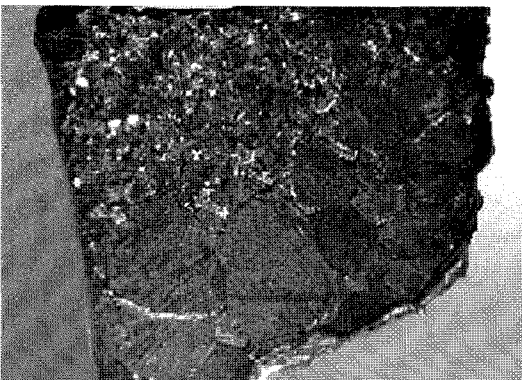


Fig. 9. Microstructure of 'b' (vertical section) of Iron chisel($\times 50$).

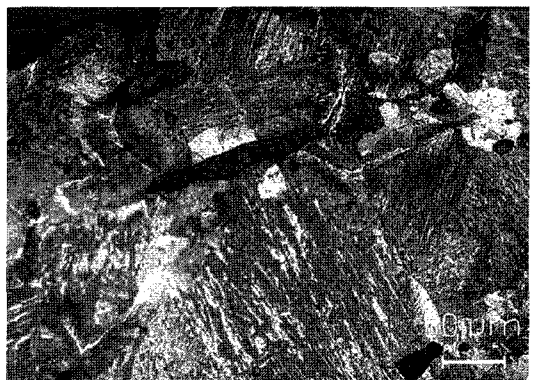


Fig. 10. Microstructure of vertical section of Iron chisel($\times 200$).

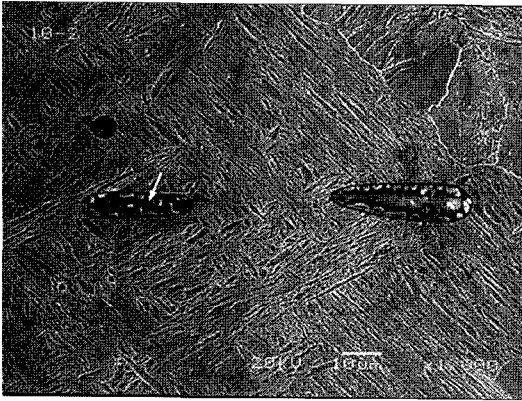


Fig.11. SEM image of non-metallic inclusion of vertical section

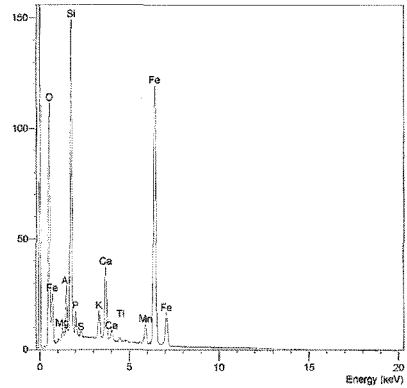


Fig.12. EDS analysis of non-metallic inclusion of fig. 11

담금질 조직인 침상 마르텐사이트가 잘 드러나 보인다. Fig. 6은 fig. 5의 비금속개재물을 확대 촬영한 SEM상이다. Fig. 7은 fig. 6에서 비금속개재물의 검은 부분이 화살표 a를 EDS로 분석한 그래프로 대부분의 원소들은 산화물 형태임을 알 수 있고, FeO 와 SiO₂가 많이 검출되는 것으로 보아 고체저온 환원법으로 철을 제련할 당시 환원이 덜된 파이알라이트(fayalite, Fe₂SiO₄)로 보이며, Fig. 8은 fig. 6에서 화살표 b부분의 EDS 분석 그래프로 비금속개재물속에 우스타이트(wustite, FeO)가 혼입되어 공정조직과 유사한 조직으로 남아있는 것을 알 수 있다.

Fig. 9는 철물의 횡면 시편의 전체 조직사진으로 fig. 2의 단면 시편과 유사한 것을 알 수 있다. Fig. 9의 상부는 조직이 비교적 조밀하고 하부는 조대한 기지조직에 담금질조직인 침상 마르텐사이트 조직이 고르게 분포하고 경도는 조대한 부분이 544Hv, 조밀한 부분이 677Hv정도로 단면의 경도 보다 조금 높게 나타났다.

Fig.10은 비금속개재물이 길게 늘어져 연신되어 있는 것을 볼 수 있고 fig.11은 Fig.9의 비금속개재물과 그 주변의 SEM 확대 상으로 침상의 담금질 조직인 저탄소 계 분포하는 것을 볼 수 있다. Fig.11의 비금속개재물을 살펴보면 비금속개재물 벽을 따라 둥근 입자상의 우스타이트(FeO)가 붙어있고, 비금속개재물의 가운데 화살표 부분을 SEM-EDS로 분석한 결과가 Fig.12로 FeO 와 SiO₂가 많이 검출되는 것으로 보아 고체저온 환원법으로 철을 제련할 당시 환원이 덜된 파이알라이트(Fe₂SiO₄)가 유리질 비금속개재물속에 우스타이트와 함께 혼입되어 남아있는 것을 알 수 있다.

2) 철촉

16~17세기대의 조선시대 철촉으로 추정되며 철촉의 가운데에 구멍이 8자형으로 뚫려있는 모양이 조금 특이한 철촉이다. 발굴 조사과정에서 유물이 공기 중에 노출되며 부식되지 않은 금속 심을 중심으로 Magnetite 층

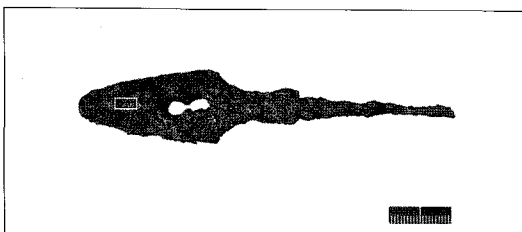


Fig.13. Iron arrowhead.

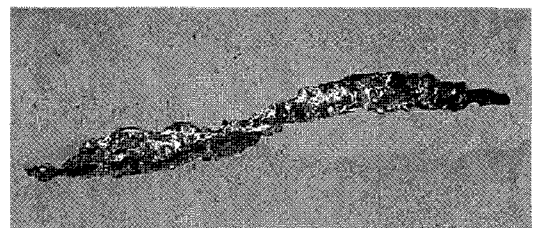


Fig.14. Microstructure of vertical section of Iron arrowhead(× 50)

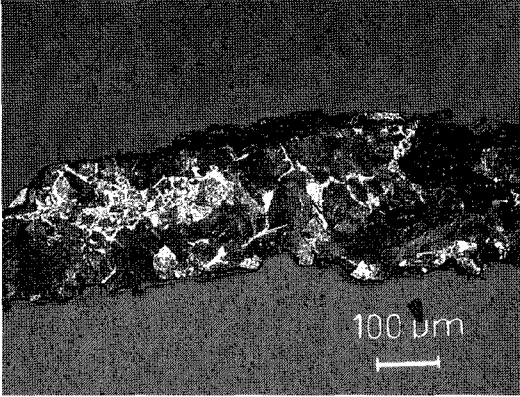


Fig.15. Microstructure of vertical section of Iron arrowhead (× 100).

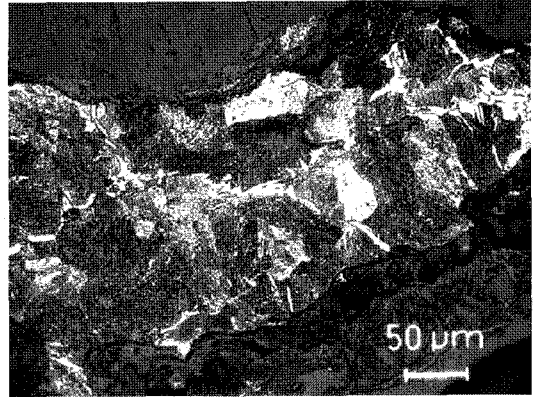


Fig.16. Microstructure of vertical section of Iron arrowhead (× 200).

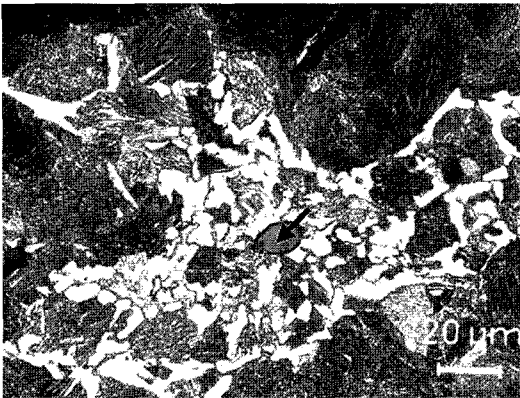


Fig.17. Microstructure of vertical section of Iron arrowhead (× 500).



Fig. 18. SEM image of pearlite structure of Iron arrowhead.

이 박락되었거나 박락이 진행 중이었다. 유물을 보존처리하는 과정에서 박락된 Magnetite 층을 접합복원하기 전에 fig.13의 철축 선단부분 가운데(네모난 부분)의 부식되지 않은 철심에서 길이 3~4mm, 두께 0.4mm 내외의 시편 2개를 채취하여 단면과 횡면으로 금속학적인 미세조직 관찰에 사용하였다. 시편 채취 후 박락된 Magnetite층을 접합하여 철물과 같이 외관상 시편 채취 부위가 표시나지 않게 하였다.

이 유물은 부식이 많이 진행되어 부식되지 않은 부분을 시편으로 채취한 결과 fig.14와 같이 부식되지 않은 금속심의 두께가 너무 얇고 작아 조직관찰이 용이하지 못하였으며 특히 단면조직은 관찰할 수 없었다.

Fig. 14는 철축선단 중앙부분 횡면 조직 전체 사진으

로 층상의 퍼얼라이트 조직에 고온에서 서서히 냉각되며 생성된 과열조직인 침상의 페라이트조직(widmanstätten structure)이 결정입계를 따라 생성되어 있고, 일부 잔류 오스테나이트(austenite)가 공존하고 있다. 전체적인 조직상으로 보아 탄소량은 약 0.6~0.8% 정도의 탄소강으로 되어있고, 퍼얼라이트 조직의 비커스경도는 308~423Hv로 비교적 높게 나타나는 것은 탄소가 침탄되며 층상의 퍼얼라이트 조직이 미세화되며 높게 나타나는 것으로 보인다.

Fig. 15는 fig. 14의 우측 중간부분을 확대한 사진으로 좌측으로 고온변태 조직인 침상의 페라이트조직이 물려있는 것을 볼 수 있다. Fig. 16은 fig. 14에서 층상의 퍼얼라이트조직 부분을 확대한 사진으로 침상의 페라

트조직과 잔류 오스테나이트가 공존하고 있는 것을 볼 수 있다. Fig. 17은 fig. 15의 침상페라이트가 몰려있는 부분을 확대한 사진으로 중간의 화살표부분은 작은 유리질 슬래그가 존재하고 있다. 이러한 유리질 슬래그는 주로 철광석을 고체저온환원법에 의해 제철하는 과정에서 발생하는 비금속재물로 제련 시 완전히 용융되면 이러한 유리질 슬래그는 용융된 철보다 가벼워 위로 뜨게 되나 고체저온환원법으로 제련을 하게 되면 괴련철 덩어리 표면에 붙어 있던 유리질 슬래그가 제거되지 않고 내부로 들어가 일부 남아있게 된다. Fig. 18은 fig. 16에서 페라이트조직을 확대한 SEM상으로 검은 부분은 페라이트, 흰 부분이 세멘타이트(cementite)로 층상의 페라이트 조직이 잘 발달되어 있는 것을 알 수 있다.

청평사 강선루 회전문부근에서 발굴된 조선시대에 제작된 것으로 보이는 철촉의 이상과 같은 조직들로 보아 철촉은 고체저온환원법에 의해 철을 생산하여 반복 가열하며 필요한 강도가 될 때까지 침탄시킨 후 서서히 냉각시켜 만들어진 철촉으로 보인다.

V. 결론 및 요지

청평사 강선루 회전문 부근에서 출토된 조선시대 16~17세기 철물과 철촉에 대한 금속조직학적으로 조사하기 위하여 유물에서 부식되지 않은 시편을 채취하여 마운트와 연마 및 부식을 시켜 금속조직을 관찰하고 비금속재물부분은 SEM으로 관찰한 뒤 EDS로 분석하였다.

금속학적 조직조사와 SEM-EDS분석을 통하여 철물과 철촉은 고체저온환원법에 의한 순철에 가까운 괴련철 혹은 해면철을 이용하여 철을 생산하고, 단야로 같은 곳에서 침탄을 하여 탄소량을 높인 것으로 밝혀졌다. 또한 철물은 탄소량을 어느 정도 높인 다음 담금질과 열처리 과정을 반복하여 철기의 강도를 인위적으로 많이 높이는 작업을 한 것으로 밝혀졌다.

지금까지 국내 학계에서 금속유물의 조직과 분석은 대부분 삼국시대 또는 그 이전 유물을 대상으로 많이 연구하여 졌다. 이번 조사연구가 유물의 종류나 수량적인 면과 출토지역의 다양성 등이 미흡하지만 16~17세기에 철을 다루는 기술을 단편적이거나 알아볼 수 있어

매우 흥미로웠다. 이번 조사연구를 통하여 조선시대에도 괴련철을 소재로 하여 철을 생산하였다는 것을 알 수 있어 의미 있는 결과를 얻었다고 생각한다. 또한 앞으로도 발굴되는 금속유물들 중에서 제작 시기가 떨어지는 고려시대나 조선시대 것도 금속 기술사적으로는 매우 중요하므로 지속적으로 이러한 금속학적인 조사가 필요할 것으로 사료 된다.

사의

끝으로 본 연구를 위해 시료 채취와 논문을 발표하고 학회지에 게재할 수 있게 허락하여 주신 강원문화재연구소 지헌병 실장님과 본 글을 쓰는데 도움을 주신 모든 분들께 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 남궁철 역, 철강의 현미경사진과 해설, 도서출판 세화, (1992).
2. 김수기, 중산리 출토 철부의 금속학적연구, 한양대학교 석사학위논문, (1993).
3. 김정근 외2인 공역, 금속현미경조직학, 도서출판 골드, (1999).
4. 김정근, 박해웅 공역, 강의 열처리, 도서출판 골드, (2000).
5. 박장식, 정광용, 황남대총 출토 철기 분석결과, 황남대총의 재조명 국립경주문화재연구소, (2000).
6. 박장식, 철기유물의 미세조직에 나타난 고 신라 철 기술체계에 관한연구, -황남대총출토 철봉의 금속조직학적 분석결과를 중심으로-, 경주문화연구 3, 경주대학교 경주문화연구소, (2000).
7. 정광용 외3인, 용인임진산성 출토 철제유물의 금속조직학적 관찰, 용인임진산성, 경기도박물관, (2000).
8. 최종택, 장은정, 박장식, 삼국시대철기연구, 서울대학교 박물관, (2001)
9. 김수기, 박장식, 함평 중랑유적 출토 철기유물의 금속학적 분석, 함평중랑유적 II -분묘-, 목포대학교

- 박물관, (2003).
10. Elzbieta M.Nosek, The Polish Smelting Experiments in Furnaces with Slag Pits, British Museum Occasional Paper No. 48, (1985)
 11. R.F.Tylecote, The Prehistory of Metallurgy in the British Isles, The Institute of Metals London, (1986).
 12. William Rostoker and Bennet Bronson, PRE-INDUSTRIAL IRON Its Technology and Ethnology, Archeomaterials Monograph No.1 Philadelphia, Pennsylvania, (1990).
 13. R.F.Tylecote, A History of Metallurgy, 2nd ed, Published by The Institute of Materials, (1992).