

文學碩士 學位論文

함안과 김해지역 출토 철기유물의
제작기술에 관한 연구
- 가야의 고분 출토유물을 중심으로 -

慶州大學校 大學院

文 化 財 學 科

林 周 憲

2007年 12月

함안과 김해지역 출토 철기유물의
제작기술에 관한 연구
- 가야의 고분 출토유물을 중심으로 -

指導教授 安 秉 燦

이 論文을 碩士學位 論文으로 提出함

2007年 12月

慶州大學校 大學院

文 化 財 學 科

林 周 憲

林周憲의 碩士學位論文을 認准함

審査委員長

印

審 查 委 員

印

審 查 委 員

印

慶州大學校 大學院

2007年 12月

목 차

I . 서론	1
1. 연구배경	1
2. 연구목적	2
II . 이론적 배경	3
1. 금속학적 배경	3
2. 유적의 고고학적 배경	8
III . 연구범위와 방법	15
1. 연구범위	15
2. 연구방법	15
IV . 연구결과 및 고찰	17
1. 함안 오폭리유적	17
2. 김해 안양리고분군	37
3. 김해 대성동고분군	57
4. 유물별 제작기술 고찰	66
5. 유적별 제작기술 고찰	75
V . 결론	79

<참고문헌>

<Abstract>

I. 서론

1. 연구배경

한반도에 철기문화는 기원전 3세기경 중국 연나라로부터 유입되고 남부 지역에서는 기원전 1세기경부터 철기가 본격적으로 보급되어 이러한 철기문화의 전개과정이 무덤유적을 중심으로 확인되고 있다.¹⁾ 철기의 생산과 도구화가 사회변화에 결정적인 영향을 미친 것은 아니지만 농기구와 무기가 철기로 만들어지면서 농업생산력과 군사력이 크게 증대되었고 철기의 생산과 유통에 대한 통제력이 지배 권력의 기반을 구축하는데 결정적인 요인이 되었다. 철의 제작과 활용은 사회변화에 큰 영향을 미치면서 철기 제작기술 또한 시대적, 지역별로 제작방법과 기술력에 차이를 보이면서 발전되어 왔다. 이러한 철기에 대한 연구는 유물의 외형을 기초로 형식 분류와 형태상의 연구는 활발히 진행되어 왔고 금속학적 분석을 통한 제작기술에 관한 연구는 여러 가지 여건상 제한적으로 이루어져 왔으나 근래에 자연과학 분야에서 개발된 다양한 이론과 분석방법이 도입되어 객관적 검증이 가능한 다양한 정보의 축적이 이루어지고 있다.

최근 들어 철기제작의 기술에 대한 중요성이 부각되면서 이에 대한 많은 분석이 진행되어 개개 유물에서 확인되는 단편적인 기술에서 벗어나 일부 지역 또는 문화권에서 수행된 철기제작 기술체계를 파악하는데 중점이 두어졌으며, 고대 사회에서 철기산업이 차지하고 있던 비중과 철 소재의 생산 및 철제품의 제작을 가능하게 한 당대 사회의 기술적 경제적 제반 사회 여건 및 기술상황을 이해할 필요가 있다.

한반도에 철기가 유입되는 시기를 전후하여 출현하고 있는 여러 정치집단 중 낙동강 유역에 세력을 형성한 가야제국은 풍부한 철산지를 보유하고 있었고 지금까지의 고고학적 연구 성과와 철제유물의 출토상황으로 보아 가

1) 국사편찬위원회, 『한국사 -청동기문화와 철기문화-』, 1997, pp. 529~531.

야지역은 초기철기시대부터 그 어느 지역보다 제철이 성행하였으며 다종다량의 철기들이 제작되었음은 풍부한 고분 출토 철기들로 알 수 있다. 또한 갑주류나 마구류등 철기 형태면에서도 다양한 모습을 나타내고 있어 철기 제작기술이 발전되었음을 반영한다.

철기제작 기술체계상에서 신라와 백제는 상당한 차이점이 있으며 이는 강 소재를 생산하는 상이함에서 기인한다. 황남대총에서 출토된 철기유물에 나타난 신라의 대표적인 철기제작 기술은 순철 소재를 단조하여 형태가공을 마친 후 필요한 부위에 탄소를 침투시켜 강도를 보강하는 형태가공-제강공정의 순서로 철기를 제작하였다면 천안 용원리, 천안 신평리, 대전 구성동, 대전 월평산성, 순천 검단산성 등에서 출토된 철기유물에서 백제기술의 특징은 탄소함량이 높은 강 소재를 먼저 준비한 후 이를 단조하여 제품을 생산하는 제강공정-형태가공의 순서로 철기를 제작하였다. 이들 두 고대국가 간에 발견되는 이러한 철기기술 체계상의 차이는 자연히 가야 연맹내의 소 국가들에서 시대적 지역적으로 통용되었던 철 기술체계상의 보편성과 특수성을 밝히는 의미 있는 중요한 연구 테마가 될 수 있을 것으로 판단된다.²⁾

2. 연구목적

본 연구에서는 이와 같은 점에 근거하여 철제유물이 가지는 가장 기초적인 자료인 미세조직을 분석하여 철 소재, 제강법, 열처리 등 철기제작에 사용된 제조과정과 방법을 통하여 당시의 제작기술 체계를 밝히고자 한다.

유물에 대한 미세조직 분석 내용을 설명하고 이를 근거로 유물종류와 제작기술과의 관계, 철기제작 공정상의 사용 소재, 제강법, 열처리 등을 항목

2) 박장식·이영식·신경철·김재우, 「가야 철기유물의 과학적 분석을 통한 가야 철기문화 복원에 관한 연구」, 『김해발전연구』 제4권 제1호 통권 제5호, 인제대학교 김해발전전략연구원, 2001, pp. 7~9.

별로 세분하여 설명하였다. 여기서 얻은 분석 결과를 통하여 당시의 철기 제작기술 체계를 해석해보고자 하였으며 각 유물별로 파악된 제작방법을 항목별로 해석하고, 나타난 모든 결과를 유적의 시대와 비교하여 당 시대의 제작기술 체계를 파악하였다.

가야제국 중 초기가야연맹체의 문화 중심지인 함안과 김해지역은 가야연맹체에서도 중요한 위치를 차지한 곳이다. 5~6세기에 걸쳐 가야세력을 주도하고 백제의 영향권에 있었던 함안지역과 문화적으로 5세기 중반 이후로 신라의 영향을 받았던 김해지역의 고분에서 출토된 철기유물을 선정하여 미세조직을 분석하고 이들의 제작에 사용된 제철, 제강 및 열처리방법 등에서 가야 지역의 제작 기술체계를 검토하여 주변 지역과의 제작상의 차이점을 알아보려고 한다.

II. 이론적 배경

1. 금속학적 배경

고대 철기유물 제작에 관련된 기술체계를 분석하기 위하여서는 철광석에서 철 소재를 얻는 제련과정, 철 소재의 탄소함량을 조절하는 제강과정, 제품의 형태를 만드는 성형과정 및 마무리 단계에서 행하는 열처리 공정에 이르기까지 일련의 공정에 대한 이해와 철기기술 전반에 관한 연구가 필요하다. 이를 위해 고대의 철기유물로부터 미세조직에 남겨진 흔적을 분석함으로써 당대의 철기기술이 어느 정도이며 어떠한 방법으로 제작하였는지를 알아보려고 한다.

철 소재는 탄소함량에 따라 순철과 강철 그리고 주철의 세 종류로 구분되고 탄소량과 열처리 조건에 따라 기계적 성질은 크게 변한다.³⁾ 대부분의

철은 보통탄소강의 형태로 사용되며 이것은 철과 탄소 그리고 약간의 다른 원소가 함유된 합금이다. 고대의 철기제작에 사용된 소재는 대부분 철과 탄소가 이루어진 탄소강이며 여타의 원소들은 철광석에 포함되어 있던 것으로 현대와 같이 여러 가지 원소를 의도적으로 첨가하는 합금강의 개념과는 다르다. 일반적으로 탄소함량이 0.025% 이하이면 순철, 0.025~2.0%이면 강, 2.0% 이상이면 주철로 분류한다. 강은 다시 탄소함량 0.8%를 기준으로 세 종류로 분류하며 0.8%를 공석강이라 하고, 0.8%이하의 탄소량을 가지면 아공석강, 0.8% 이상을 포함하면 과공석강이라 한다. 주철도 탄소함량 4.3%를 기준으로 세 종류로 분류하며 탄소함량 4.3%를 공정주철, 그 이하인 아공정주철, 그 이상은 과공정주철로 분류한다. 단조로 제작한 고대의 철기는 대부분 탄소함량 0.1~1.2%를 포함하는 탄소강으로 제작하였고 탄소함량, 가열조건, 열처리, 냉각과정에 따라 다양한 형태의 미세조직을 나타낸다.

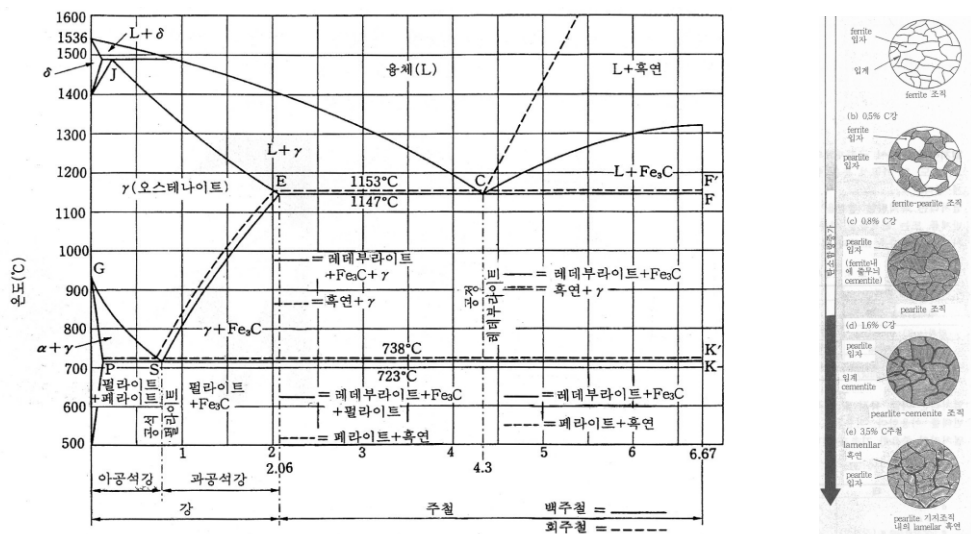


그림 1. 철-탄소 평형상태도와 탄소함량에 따른 철강재료의 조직.

3) 철과 관련된 금속학적 내용은 다음 자료를 참조.

William F. Smith 著, 한봉희 譯, 『금속재료 -조직과 성질을 주로한-』 인터뷰전, 2003.

김정근·김기영·박해웅 共著, 『금속현미경 조직학』, 도서출판골드, 1999.

김정근·김상호·김영철 共著, 『최신재료학』, 도서출판골드, 2001.

페라이트는 탄소를 거의 고용하지 않는 순철의 조직으로 광학현미경상에서 밝게 나타나며 다각형의 결정립을 가지는데 고대의 유물에서는 대부분 불순 개재물을 포함하고 있다. 퍼얼라이트는 페라이트와 시멘타이트가 층상을 이루며 석출되는 혼합층상 조직으로 현미경상으로 페라이트는 희게, 시멘타이트는 검게 보인다. 조직 내에 퍼얼라이트가 차지하는 비율로 탄소함량을 판단할 수 있으며 탄소함량이 0.8%인 경우 723℃에서 공석반응이 일어나 퍼얼라이트로만 이루어진 공석강으로 변태하고, 탄소량이 0.8% 이하인 아공석강은 페라이트와 시멘타이트가 공존하며, 0.8% 이상인 과공석강은 퍼얼라이트와 시멘타이트가 공존하는 변태가 일어난다. 시멘타이트는 백색의 탄화철로서 매우 단단하고 취성이 강하며 고온으로 가열시 탄화층이 분해되어 구상의 입자 형태를 취한다. 마르텐사이트는 고온으로 가열된 금속을 물이나 기름에 급냉시킬 때 퍼얼라이트로 변태하지 못한 탄소가 과포화된 체심정방격자를 가지며 탄소함량에 따라 차이는 있지만 매우 단단한 조직을 만들어준다. 조직의 성질이 충격에 약한 취성을 가지므로 고대 철기제작에서는 일부 부위에만 담금질처리를 실시하여 충격에 대한 파손을 방지하고 있다. 조직별 경도값은 페라이트 Hv=95, 퍼얼라이트 Hv=238, 마르텐사이트 Hv=800이며 시멘타이트는 HB=820의 경도를 가진다. 비드만스토틀 조직은 고대 철기의 미세조직에 흔히 볼 수 있는 것으로 소재를 1000℃ 이상의 온도로 가열하면 오스테나이트의 결정립계에 페라이트가 침상 또는 판상으로 석출되는 과열조직으로 공기 중에 빠른 속도로 냉각될 때 생성된다.

철광석을 환원시켜 철 소재를 얻는 제련과정은 대체로 500~600℃에서 산화철이 환원되기 시작하고 철의 용융점이 1539℃에서 탄소함량이 높을수록 내려가 주철의 경우 4.3%에서 1150℃로 가장 낮은 온도에서 녹는다.⁴⁾ 고

4) 제련, 제강법에 대해서는 다음 자료를 참조.

楊寬 著, 盧泰天·金瑛洙 共著, 『中國古代冶鐵技術發展史』 한국학술진흥재단 번역총서, 대한교과서주식회사, 1992.

崔鍾澤·張恩晶·朴長植, 『三國時代鐵器研究』, 서울大學校博物館學術叢書10, 서울대학교박물관 2001.

대의 제련과정에서는 로의 온도를 충분히 올리지 못하여 저온의 고체 상태에서 철의 환원에 의해 괴련철을 생산하였으며 여기에는 다량의 비금속개재물을 포함하는데 온도를 가열하면서 계속 두드려야 개재물이 제거되고 비교적 순수한 철을 얻을 수 있었다. 괴련철의 비금속개재물의 성분분석 결과 대부분이 Si, Ca, Al, K, Fe, O를 포함하고 있어 제련과정에서 제거하지 못한 슬래그임이 밝혀졌고 이는 저온고체환원법으로 생산된 괴련철임을 나타낸다. 그러나 제철로가 높고 크게 제작되고 구조도 개선되면서 고로의 송풍설비도 개선되어 로의 온도를 높이게 되었고, 급속한 환원에 의해 탄소를 흡수하여 용융온도를 낮추면서 슬래그가 제거된 주철이 제작되었다. 고대의 주철은 일반적으로 규소의 함량이 낮아 응고 과정에서 특별히 냉각속도를 낮추지 않는 한 백주철이 된다. 고대의 주철은 일반적으로 깨지기 쉬운 백주철을 고온에서 지속적으로 가열하여 부드럽고 질긴 가단주철을 생산하였다. 고로에 사용된 광석 원료는 파쇄와 체로 거르는 가공법을 사용하여 입자를 고르게 함으로써 가스 상승의 감소와 연료절약을 가져오고, 목탄을 연료로 사용하여 고로에서 생산되는 순철의 질량을 높였다. 탄소함량 면에서 중간에 있는 강 소재는 기술적인 문제로 인하여 철광석의 제련과정에서 직접 얻기 어려우므로 이미 생산된 순철이나 주철의 탄소함량을 조절함으로써 생산되는 것이 보통이었다.

순철은 가공하기는 쉬우나 연한 성질로 인해 실생활에서 사용하기 불편하며 주철은 강도는 강하나 취성이 강하여 깨지는 단점이 있다. 강은 이러한 연성과 취성을 동시에 해결하고 단조가공과 열처리로 그 성질을 자유롭게 조절할 수 있어 다양한 용도로 사용하였고 강을 제작하기 위해서는 순철을 소재로 침탄하는 방법과 주철을 소재로 탈탄시키는 방법이 있다. 침탄처리 는 괴련철이나 저탄소강에 목탄을 첨가하여 800~1200℃로 장시간 가열하면 소재 표면에 CO 분위기가 형성되어 침탄이 일어난다. 그러나 이 침탄은 표면의 몇 mm에 국한되므로 침탄처리 후 두드리고 접는 과정을 반복하여 전체적으로 함탄량을 증가시키고 균질한 강이 되도록 제작한다. 주철을 소재로 강을 제작하는 방법으로는 주철탈탄법과 초강법, 관광법이 있다.

주철탈탄법은 주철을 900~950℃의 고체 상태에서 밀폐 가열하여 3~5일간 유지시키면서 탈탄시켜 제조하는 방법으로 생산능률이 낮고 품질이 균일하지 못하였다.⁵⁾ 탄소함량에 따른 용점의 차이를 이용하는 것으로 관강법은 주철을 저탄소강과 같이 밀봉 가열하여 용융점이 낮은 주철의 탄소 성분이 숙철로 확산되어 빠르고 고르게 침투시키는 방법이며⁶⁾ 초강법은 용융상태의 주철에 저탄소강을 첨가하게 되면 주철과 숙철 속의 슬래그가 산화작용을 일으키고 흡열과 발열반응이 일어나 슬래그를 제거하고 고른 강재를 얻을 수 있다.

제련 혹은 제강과정을 거친 소재를 이용하여 철기를 만드는 과정은 열을 가하여 형태를 만드는 성형과정을 거치는데 이 과정에서 단조가공에 의한 가공경화와 탈탄이 발생하며 성형 후 침탄처리를 하거나 또는 필요한 부위에 강도를 높이기 위한 담금질 처리가 실시된다. 고대의 열처리는 강도를 보강하기 위해 오스테나이트 영역에서 Quenching하여 마르텐사이트 조직을 생성시키거나 냉각 후 단단해진 조직을 부드럽게 하여 인성을 부여하는 Tempering처리를 주로 사용하고 있다.⁷⁾ 주조품은 백주철이 가지는 취성을 제거하기 위해 형태 제작이 끝난 후 비교적 높은 온도에서 장시간 열처리로 탈탄시킨 경우가 있으나 기계적 특성을 변화시킬 정도는 아니었다.

5) 주철탈탄법에 의해 제작된 것으로 보고된 사례는 서울대학교박물관 소장 고구려 철촉 1점이 있다.

崔鍾澤·張恩晶·朴長植, 『三國時代鐵器研究』, 서울大學校博物館學術叢書10, 서울대학교박물관, 2001, pp. 279~281.

6) 국내에서 관강법으로 제작된 것으로 보고된 사례는 김단산성의 불명철기가 최초로 확인되었다.

정광용, 『三國時代의 鐵器製作技術 研究 -微細組織分析을 通하여-』, 홍익대학교 박사학위논문, 2001. pp. 107~136.

7) 강의 열처리와 조직에 대한 내용은 다음을 참조.

朴俊奎 著, 『鐵鋼熱處理』, 世進社, 2000.

이승평, 『그림으로 설명하는 금속재료』, 도서출판청호, 1998.

2. 유적의 고고학적 배경

2.1. 지리적 배경

가야제국은 〈가락국기〉에 기록된 六가야 시조탄생설화와 《삼국사기》 지리지의 기록을 통하여 그 성립시기를 대략 기원 1세기경으로 추정할 수 있으며 《삼국지》東夷傳 韓條를 통해서도 가야국의 성립여건이 신라나 백제에 비하여 뒤떨어지지 않음을 알 수 있다. 일반적으로 알려졌던 가야국의 수는 6개국이 아니고 시대에 따라 수를 달리하는 많은 나라가 있었으며, 이들이 연맹체를 형성하였다고 하는 6개국은 가야의 여러 독립국 중 강성한 세력집단을 언급한 것이다. 한편 《魏志》弁辰傳에 변진에 철이 생산되어 漢, 濊, 倭에서 모두 사갔고 이는 중국의 用錢과 같았으며 樂浪, 帶方, 二郡에도 역수출 되었다고 한다. 狗邪國은 중국 각지의 문화를 수용하여 문화적 선진지역으로 발전하고, 또 철을 생산하고 철기를 사용하여 철기문화의 중심지역으로 발달하였으며 철기의 사용을 계기로 생산능력의 향상과 전작농과 같이 稻作農의 盛勢를 이루어 풍부한 경제지역으로 성장하였다.⁸⁾

철기문화의 단계적 수용은 철기제작 기술상으로는 鑄造에서 鍛造에로의 발전과정과 맥락을 같이하는 것이기도 하는데 각 분묘의 철기유물 출토양상도 사회 내부적인 변화를 수반하는 것으로서 질과 양적인 면에서 다양성을 보이고 있음이 주목되며 철기 출현의 의의는 다른 요소와의 결합에 의해 복합적인 사회현상을 산출하고 있기 때문에 가야지역에서의 철기유물의 출토와 그 변화양상에 따른 사회성격의 구분도 가능하다.⁹⁾

목곽묘가 출현하는 2세기부터 가야제국은 다량의 철 생산을 배경으로 주

8) 윤석효, 「伽倻諸國의 形成에 대한 考察」, 『論文集』, Vol.11 No.1, 한성대학교, 1987, pp. 60~63.

9) 백승충, 「弁韓의 成立과 發展」, 『韓國古代史研究』, Vol.10, No.-, 1995, pp. 208~209.

변 제국의 선진 문화를 수용하여 내적 체제정비를 갖추는 시기로 가야 성립기에 해당하며 3세기 후엽에서 4세기는 해상 교역로를 이용하여 주변 제국과 활발한 교역 활동에 의해 문화의 발전이 급진전하게 되는 가야문화 발전기에 해당한다. 이 시기의 가야문화 발전을 주도한 곳은 해안에서 가까운 김해와 함안지역이다. 이후 가야 각지에 고총 고분이 많이 축조되고 내부 매장시설로 수혈식석곽묘가 보편적인 묘제로 자리 잡게 되면서 가야 문화의 중심이 내륙지역으로 옮겨가게 되고 창녕, 함안, 함천, 고령 등의 지역에서 가야의 발전은 전성기를 맞이하게 된다.¹⁰⁾

변한의 대국인 안야국과 구야국의 영역범위로서 안야국의 경우 포괄하는 지역의 파악이 용이하지 않은데, 인근 지역과의 역사적 전개과정을 감안해 볼 때 동쪽으로는 창원·마산, 서쪽으로는 진주, 북쪽으로는 의령을 각각 경계지역으로 하여 바다와 통하고 있었을 것이다. 구야국은 『세종실록』 지리지의 인구수를 감안하여 김해와 가까운 낙동강 하류지역을 중심으로 김해·영산~밀양·창원·진해·부산이 대략 김해 가락국 즉 구야국의 통할 지역이 된다.¹¹⁾

3세기 후반 가야의 중심국은 대외교역에 유리한 낙동강 하류 및 경남해안 지역에 분포하고 있는 김해와 함안이다. 4세기 중반은 낙동강 중, 하류에 분포하고 있고 중심국으로는 김해와 함안 외에 탁순 지역이 등장하고, 4세기 후반~5세기 초반의 경우 함안과 고령지역, 5세기 중·후반은 고령이 가야의 주도 세력으로 등장한다. 그러나 6세기에 접어들면 이 지역에 백제가 진출하고, 낙동강 하류 지역에 대한 신라의 본격적인 공세가 시작됨에 따라 가야세력권은 급격히 축소되어 고령, 함안 등 중심국을 제외하고는 거의 모든 지역이 백제, 신라에 의해 양분되는 양상으로 바뀐다.¹²⁾

10) 박광춘, 「가야 묘제의 연구」, 『嶺南考古學』, Vol.- No.26, 영남고고학회, 2000, p. 76.

11) 백승충, 「弁韓의 成立과 發展」, 『韓國古代史研究』, Vol.10, No.-, 1995, p. 190.

12) 백승충, 「가야의 용례 및 시기별 분포상황」, 『釜山史學』, Vol.22 No.1, 1992, p. 45.

2.2. 유적 개관

1) 함안 오곡리유적¹³⁾¹⁴⁾

경상남도 함안군 오곡리 칠원면 산 96-8번지 일대에 위치한 오곡리 유적은 신축 학교부지로서 2005년 4월부터 10월까지 6개월간 발굴조사가 진행되었다. 과수원으로 이용되었던 구릉을 A구간(중학교부지), 구릉과 구릉사이에 논과 가축사육장으로 이용되었던 곡부지역을 B구간(초등학교부지)으로 나누어 발굴조사가 실시되었고 A구간에서 확인된 유구는 가야시대의 수혈식석곽묘 100기, 소형 석개 토광묘 1기 및 나말여초로 추정되는 와요지 2동 등 모두 103기가 확인되었다. 그리고 B구간(초등학교부지)에서 확인되는 유구는 통일신라시대 건물지 2동과 여말선초 건물지 1동, 조선시대의 건물지 1동 등이다.

출토된 유물은 대략 1200여점에 달하며 그 종류는 토기류·철기류·장신구류 등이다. 토기류로는 다양한 토기가 출토되었는데 대부분이 경질이고, 와질 또는 연질의 토기는 극히 일부에 불과하다. 기종은 유개고배, 고배, 蓋, 대부장경호, 연질소호, 과수부배, 발형기대, 통형기대, 고배형기대, 단경호, 장경호, 대호 등이 주종이고, 출토된 기종 중 유개고배와 호가 높은 비중을 차지한다. 그리고 다양한 종류의 철기가 출토되는데, 크게 분류하면 농공구류, 무기류, 의기류로 구분되며, 환두대도, 검, 소도자, 철검, 철부, 철촉, 유자이기, 철정 등 총 204점이며 장신구로는 현재까지 4기의 유구에서 출토된 금제세환이식과 36호분에서 출토된 곡옥 1점 및 여러 기수에서 방추차가 출토되었다.

오곡리 수혈식석곽묘는 유구의 규모와 유물의 부장양상에서 계층적 차이를 보이고 있으며 또한 어느 정도 계층성을 반영하며, 일반 다른 유구와는 구별되는 유구들도 있지만 나머지 대부분은 그저 평범한 성격의 유구로 구성되어 있다. 즉, 대다수의 유구가 사회적, 경제적, 정치적으로 절대적 우위

13) 경남문화재연구원, 『咸安 梧谷里 遺蹟Ⅰ』, 2007, pp. 62~64.

14) 경남문화재연구원, 『咸安 梧谷里 遺蹟Ⅱ』, 2007, pp. 120~157.

를 차지하는 최상위계층과는 거리가 먼 형태이며 주변의 다른 여러 집단을 자신들의 영향권에 두고 이들 집단을 통제하거나 집단 간의 이해관계를 조절하는 성격의 집단은 아니었던 것으로 추정되며 하위계층이 중심이 되는 농민집단 보다는 상위계층에 속하는 군사적인 목적 하에 형성된 집단으로 추정된다.

조사대상지역 주변에는 안기고분군, 천계고분군, 유원유적 등 가야시대 유적이 널리 분포하고 가야지역에서 비교적 많은 수혈식석곽묘가 조사된 유적을 중심으로 무기류 출토양상을 살펴보면 군사집단이라고 비정하였던 김해 안양리 고분군에서 환두대도와 철검, 그리고 수십 점의 철촉이 확인되었고 의령 천곡리 고분군도 확인된 유구 수에 비해 많은 양의 대도와 철모 같은 무기류가 부장된 것으로 보아 군사적인 성격을 띤 집단이었을 것으로 판단된다. 옅골리 유적 주변지역의 자연 지리적 환경의 핵심은 광려천을 끼고 형성된 주변 들판과 소 구릉 일대에 최소한 청동기시대부터 인간 거주가 본격화 되었고 동일 시기에도 공존하는 몇 개의 소그룹이 나누어져 있었음을 알 수 있다. 또한 이들은 낙동강과 남해안의 사이에 입지한 관계로 마산·창원권, 함안 중심권, 낙동강 건너 창녕권과도 문화적 교류가 활발하였던 것으로 추정된다.

2) 김해 안양리고분군 유적¹⁵⁾

경상남도 김해시 생림면 안양리 산 60번지 일대에 해당하는 안양리 유적은 대구-부산간 고속도로 건설공사가 착공됨에 따라 2002년 1월부터 6월까지 5개월간 발굴조사가 진행되었다. 이번에 발굴조사가 진행된 곳은 김해시 문화유적 분포지도에서 안양리 고분군②로 소개된 곳이다. 안양 소류지 북서쪽에 위치한 남북으로 길게 뻗은 구릉으로 북서쪽 사면을 A지구, 남동쪽 사면을 B지구로 나누어 실시한 발굴조사에서 5세기 후반대의 것으로 추정되는 수혈식석곽묘가 주종을 이루며 조선시대의 민묘도 포함되어

15) 경남문화재연구원·대구-부산간고속도로(주), 『김해 안양리 고분군』, 2004, pp. 325~339.

있다. 유구로는 조선시대 민묘 2기와 수혈식장방형석곽묘 72기를 합쳐 총 74기 이다.

출토유물은 장경호, 단경호, 개, 평저호, 유대장경호 등을 비롯한 토기류와 철도, 철부, 철촉, 철검, 철정 등 총 205점의 철기류가 출토되었고, 지표에서 민묘 부장유물로 보이는 청자편, 청동순가락과 젓가락, 청동합, 백자편 등이 파손이 심한 상태로 출토되었다.

조사 결과 수혈식석곽묘는 1종류만이 확인되었다. 즉 독립된 부곽이 없거나, 부곽이 동일석곽내로 흡수되어 외형상 단일 석곽인 형식이며 수혈식석곽묘의 유형 중에 다른 한 유형은 독립된 부곽을 가진 형식으로 주·부곽이 일직선상의 일열식 배치를 특징으로 한다. 많은 고분에서 유물이 출토되지 않았고 절대연대를 밝힐 수 있는 유물 또한 출토되지 않았으며 그나마 유물이 출토된 대부분의 고분에서 조차 출토된 유물로 볼 때 시기차이가 그리 크지 않다. 또한 고분의 축조수법이 매우 비슷하여 고분 간의 선후 관계를 정확히 밝히기 어렵고 시기차가 존재하는 유물들이 서로 공반되어 출토되고 있어 고분간의 편년은 어렵지만 상한은 4세기 후기 후반, 늦어도 5세기 전기 전반으로 판단되며 하한은 6세기 전기 전반을 넘지 않는다. 안양리 고분군은 모두 봉분이 남아 있지 않았으나 석곽묘 내부의 토층함몰 상태나 유구의 중복이 없는 것으로 보아 당시대에 인지될 수 있었던 외형적인 분구의 존재를 상정할 수 있다. 그리고 5세기 중반을 지나 후반으로 접어들면서 출토 유물상에 있어서 독특한 형태의 이 지역의 토기문화가 김해(가야)양식 토기문화라는 지역적인 물질문화에 국한되지 않고 주변 지역의 정치적·사회적인 세력권의 추이와 부합되고 있다. 고배류와 개의 형태변화에서 확연히 확인되는 토기의 변화는 5세기 중반경에 시작된 것으로 생각되는 가야식에서 신라식으로의 토기의 형식 변화로 볼 때 이 지역은 5세기 후반경에는 완전히 신라의 세력에 복속되어 신라화된 것으로 보인다. 따라서 안양리 고분을 반드시 가야고분으로 단정지을 필요는 없는 것으로 생각된다.

3) 김해 대성동고분군 유적¹⁶⁾

김해시에서 추진중인 “가야문화환경 정비사업”의 일환으로 김해 대성동고분군에 전시관이 건립됨에 따라서 전시관 건립예정부지에 대해 제4차 발굴조사가 2001년에 이루어져 고분전시관부지와 노출전시관부지를 합해서 목관묘 22기, 목곽묘 17기, 옹관묘 4기, 수혈식석곽묘 4기, 횡혈식석실묘 1기, 토광묘 1기, 성격불명의 분묘 1기가 조사되었다. 출토유물은 제3차 발굴조사인 47호 부곽과 52호분의 출토유물을 포함하여 모두 396점 중 철기류는 총 115점이 출토되었다.

목관은 구릉 주위의 평지 일대와 능선부의 동쪽과 서쪽의 경사면에 위치하고 목관묘간의 간격은 대체로 5m내외로 일정하게 조성되어 있다. 요강이 있는 분묘는 확인되지 않았지만 묘광과 목관 사이에 할석을 넣어 보강한 예가 있다. 조사된 22기의 분묘 가운데 15기에는 철기의 부장이 전혀 없다. 목곽묘는 구릉을 중심으로 하여 주변의 평지 일대와 경사면에 조성되어 있고 평지에는 길이 3m내외, 깊이 20cm내외의 소형분이 거의 전부를 차지하며 능사면의 중심에 가까운 곳은 중형분이, 경사면에는 소형분이 조성되어 있다. 옹관묘는 모두 합구식으로 장축방향은 동서향이다. 묘광 길이 162cm의 대형옹관에서는 철촉·철창·철부·철검 각 1점이 출토되었다.

대성동유적에서 다수 목관묘들의 존재는 중요한 의미를 지닌다. 김해 양동리유적에서만 목관묘가 존재하여 변진시기의 구사국의 중심부는 양동리였고 금관가야가 되면 그 중심부를 대성동고분으로 옮겼다는 근거가 설득력이 없는 것으로 되었다.

금관가야토기편년 I 단계¹⁷⁾의 가장 표지적인 무덤이자 가야성립의 해명에 가장 중요한 관건을 지고 있는 대성동 29호분 주위에 同段階의 목곽묘들이 다수 조성되어 있고, 이들 I 단계의 목곽묘들이 입지하고 있는 곳은 구릉의 선단부이자 가장 낮은 곳이다. 이와 같이 I 단계의 목곽묘들이 구릉의

16) 경성대학교박물관, 『김해대성동고분군Ⅲ』, 2003, pp. 182~195.

17) 申敬撤, 「金官加耶土器의 編年」, 『伽耶考古學論叢』 3, 2000.

이하의 편년-단계는 이 글에 의한다.

선단부에만 축조되어 있다는 것은 이 구릉상의 목곽묘들이 구릉의 낮은 쪽에서 능사부를 따라 영조한다는 원칙이 확립되어 있음을 시사해준다. 이러한 주묘와 부묘의 유형은 금관가야토기편년 Ⅲ단계인 13호 목곽묘에서도 나타나고, 이러한 패턴의 주·부묘가 대성동유적에서 3세기 말에서 일러도 4세기 중엽까지 존재하였을 가능성을 보여준다.

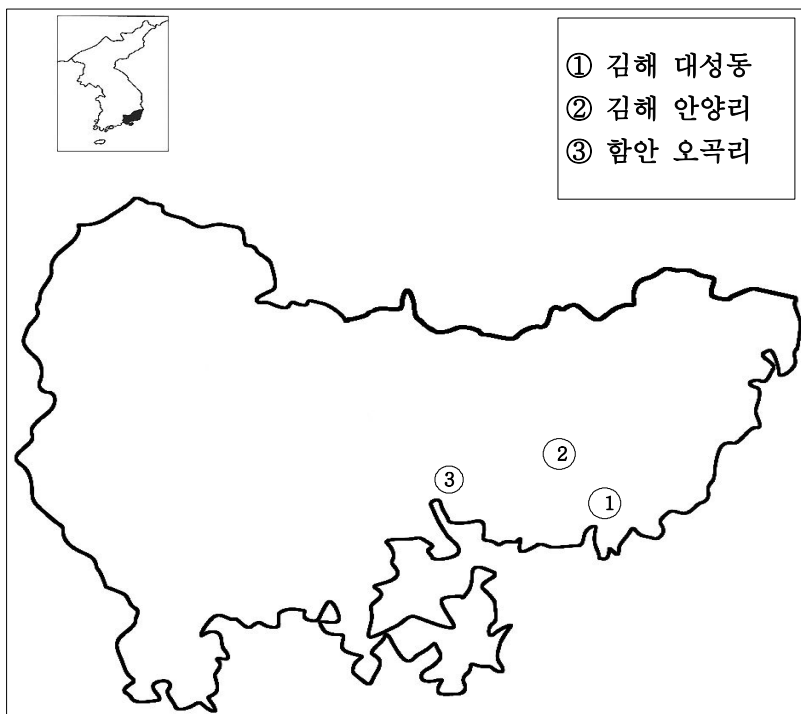


그림 2. 연구대상 철기유물의 유적 위치.

Ⅲ. 연구범위와 방법

1. 연구범위

본 연구의 지역적인 범위는 가야제국 중 함안과 김해지역에 기반을 둔 아라가야와 금관가야에 한정하고 철기유물은 5세기 중반의 함안오곡리유적, 5세기대의 김해안양리고분군, 2세기 전반의 김해대성동고분군에서 출토된 고분유물이 분석 대상이다.

표1. 분석대상 철기유물

지역	유적	유물명	출토 유구	시기편년	제작방법	비고
김해	대성동고분군	철부	60호 목관묘	2세기 전반	단조	선행연구 2점
		철모	60호 목관묘	2세기 전반	단조	
김해	안양리고분군	철부	66호 석곽묘	5세기	단조	직접연구 7점
		철부	44호 석곽묘	5세기	주조	
		철모	61호 석곽묘	5세기	단조	
		철정	26호 석곽묘	5세기 전반	단조	
함안	오곡리유적	대도	17호 석곽묘	5세기 중반	단조	
		철부	63호 목관묘	2세기 중반	단조	
		철모	58호 목관묘	2세기 중반	단조	

2. 연구방법

연구방법은 시편을 직접 채취하여 조사하는 직접적인 방법과 선행된 연구

결과를 비교하는 간접적인 방법으로 나누었다. 유물에서 시편을 채취하는 것은 분석 대상이 유물이라는 점에서 유물 일부분의 손상이 발생하고 철기 유물의 대부분이 내부까지 심하게 부식되어 대상 유물을 선정하는데 현실적으로 어려움에 직면하는 경우가 많다. 따라서 철기유물 중 미세 조직을 분석할 수 있도록 금속심이 남아 있으며, 고고학적 성격을 이해하고, 철기의 제작기술을 이해하는데 도움이 될 만한 유물을 선정하였다. 직접적인 방법은 함안오곡리유적에서 3점 김해안양리고분군에서 4점 등 총 7점을 선정하였으며¹⁸⁾, 그 내용은 표 1과 같다. 분석 대상 유물에 대한 시기 편년은 발굴조사보고서의 내용을 따랐다.

철기 유물의 대부분이 내부까지 심하게 부식되어 있었고, 그 중 금속심이 남아있는 일부 유물에서 시편을 채취하여 금속조직에 대한 분석을 실시하였다. 시편채취는 micro-tool에 diamond wheel을 부착하여 시편 크기를 2~5mm 정도가 되도록 채취하였으며, 열처리 내지는 가공이 많이 되었을 것으로 추정되는 날 부위와 특별히 열처리나 경도를 요구하지 않는 등 부위, 신부, 공부 등에서 채취하였다. 시편은 그 크기가 매우 작기 때문에 에폭시수지로 마운팅을 제작하고, 샌드페이퍼 #400번부터 #2000번까지 기계적 연마 후 3 μ m와 1 μ m의 diamond suspension으로 미세연마를 실시하였다. 에칭은 3% Nital용액에 수 초간 침적시킨 후 물과 알코올로 세척하고 드라이기로 건조시켰다. 에칭 후 반사식 금속현미경(Nikon Epipot)으로 조직의 상태를 확인하면서 연마와 에칭을 반복적으로 실시하여 전처리 과정을 마쳤다.

광학현미경으로 시편을 50배로 확대하여 전체적인 미세 조직의 양상을 파악하고 철기 제작 과정이 가장 잘 나타나 있는 부분을 100~1000배로 확대하여 조사하였다. 조직의 상과 결정립의 입도에 따른 경도치의 차이를 확인하기 위해 미세경도시험기(Mitutoyo, AT-400)로 비커스 경도를 측정하였다. 측정 횟수는 평균 3~5회로 하고 측정하중은 소재에 따라 100gf,

18) 이들 철제유물들은 2006년과 2007년에 경남문화재연구원 보존과학실에서 보존처리를 실시하였다.

50gf로 5초간 실시하여 평균값을 계산하였다. SEM과 EDS를 이용하여 특정 부분의 미세조직 구조와 비금속개재물에 대한 성분도 분석하였다.

간접적인 방법은 직접 시편을 채취하여 분석하는 방법과는 달리 김해대성동고분군에서 출토된 철기유물에 대해 선행된 연구결과를¹⁹⁾ 참조하는 것으로 제작 시기에서 약 3세기의 편년과 출토 고분의 형식이 석곽묘와 목관묘의 차이점이 있으나 이러한 시기와 출토지의 차이점을 고려하여 제작 양상을 비교하고자 하였다.

IV. 연구결과 및 고찰

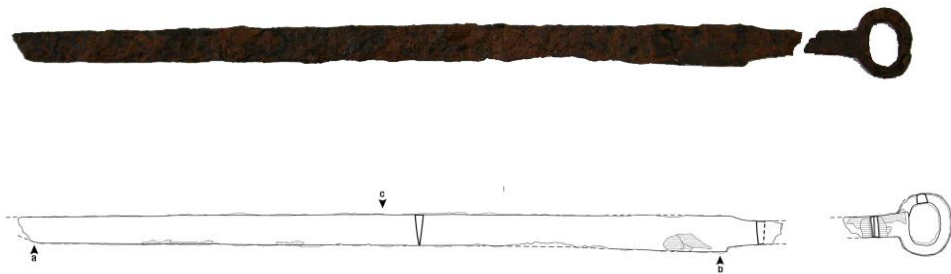
1. 함안 오곡리유적

1.1. 대도

사진 1은 17호 석곽묘에서 출토된 철검으로 도신의 선단부가 결실되어 환두부와 이분된 것을 도상 복원하였다. 수화로 인한 녹흔과 균열이 관찰되며 도신부 단면은 이등변삼각형, 병부 단면은 제형이다. 환두부는 둥글게 말아 단접하여 병부와 연결하였으며 도신부와 병부에 목질흔이 남아 있다. 도신부 잔존길이 54.9cm, 환두부 잔존길이 7.8cm, 도신부폭 2.85cm, 환두부폭 5.0cm이다.²⁰⁾ 상단의 것은 사진이며 하단은 실측도이다. 대도의 날 부위는 다른 곳보다 특별히 강도를 요구하고 등 부위는 인성을 부여하여 날에 가해지는 충격을 완화시키는 역할이 필요하다. 시편은 각 부위의 기능을 고려하여 소재의 선택과 제조방법에 많은 차이가 있을 것으로 판단되는 날과 등 부위에서 채취하였으며 실측도의 화살표 a, b, c에 해당한다.

19) 주 16의 pp. 323~371.

20) 주 15의 p. 155.



〈사진 1〉 오곡리 고분군 17호 석곽묘 출토 대도.

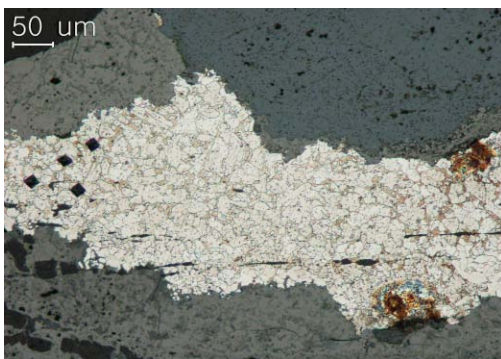
1) 대도 a 부위 횡단면

사진 2는 사진 1의 날에 해당하는 a 부위에서 채취한 시편 전체를 보여주는 광학현미경 조직사진으로 좌측이 날 선단을 향하고 우측이 내부를 향하고 있다. 상·하단과 우측은 철 산화물로 부식되었고 내부 중앙의 일부만 철 조직이 잔존한다. 밝게 보이는 페라이트를 바탕으로 어둡게 보이는 조직이 균일하게 분포하며 비금속개재물이 좌·우 가공 방향으로 길게 연신되어 있다. 사진 3, 4는 사진 2의 좌측과 우측을 확대한 사진으로 페라이트 조직을 기지로 입계를 따라 마르텐사이트가 생성되어 있으며 이와 같은 조직은 강을 소재로 오스테나이트 영역에서 물이나 기름으로 급냉시 생성되는 담금질 조직이다. 날의 선단부와 내부에 탄소함량이 일정하게 분포하는 것으로 보아 날 부위에 사용된 소재는 이미 제강과정을 거쳐 탄소함량이 조절된 강으로 판단된다. 탄소함량 0.2% 정도의 탄소강을 사용하여 오스테나이트 영역에서 단조 가공이 수행되었으며 날 선단은 내부보다 가공응력을 많이 받아 결정립이 미세하다. 사진 5, 6은 사진 3, 4의 확대 사진으로 조직 내에 상당히 많은 기공과 개재물이 산재한다. 사진 6에 보이는 비커스 경도 자국 중 좌측은 주로 마르텐사이트 구역에 위치하고 우측은 페라이트 구역에 위치하고 있다. 이들의 경도치는 각각 286Hv와 217Hv이며 이는 탄소함량의 차이에서 기인한다. 이와 같이 마르텐사이트 조직의 흔적이 명확하지 않고 경도치가 낮게 나오는 것으로 보아 담금질 후 뜨임처리가 수행되었을 가능성이 높다. 사진 7은 사진 6의 비금속개재물 부위를 확대

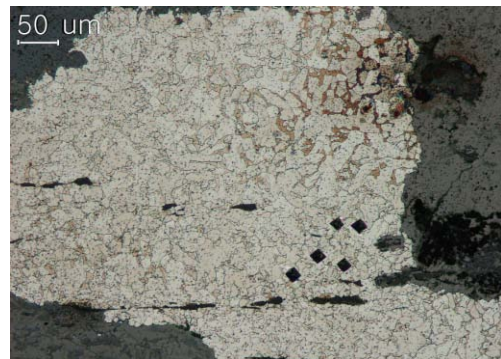
한 사진이다. 그림 2는 사진 7의 1지점에 대한 EDS 분석 결과로 철 산화물과 더불어 Si, Ca, K, Al, Mg 등의 원소가 포함되어 있다. 이 개재물은 Si, Ca를 주성분으로 한 산화물이며 이와 같은 비금속개재물은 제련과정에서 발생하는 슬래그로서 저온환원법으로 생산된 괴련철임을 보여준다.



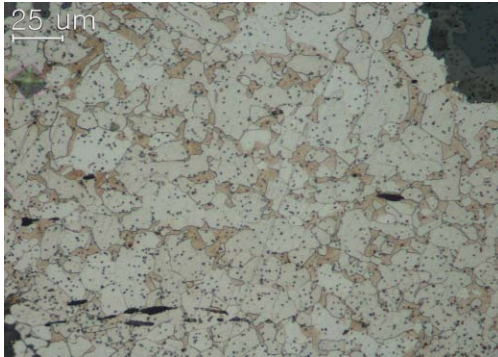
〈사진 2〉 대도 a 부위 횡단면 조직.



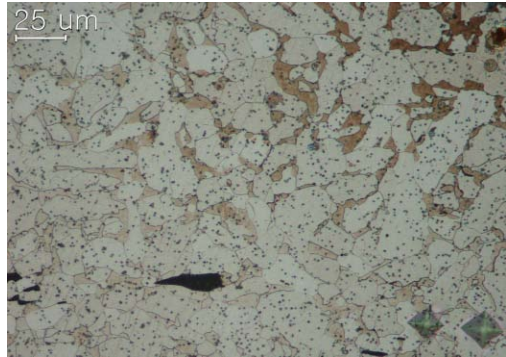
〈사진 3〉 사진 2의 좌측.



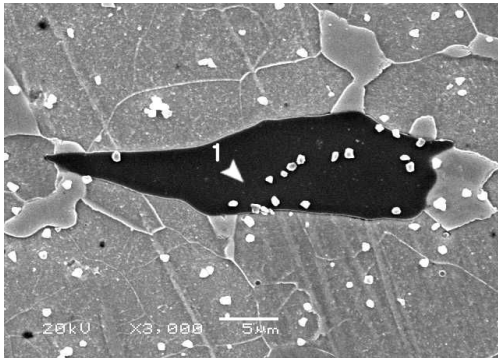
〈사진 4〉 사진 2의 우측.



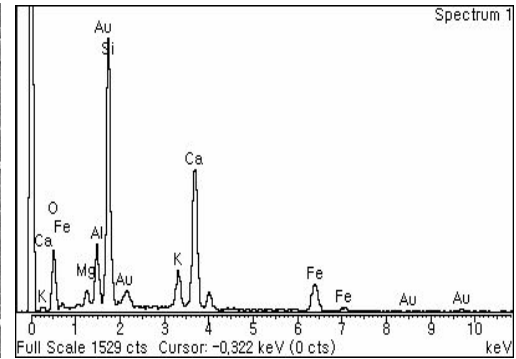
〈사진 5〉 사진 3의 일부.



〈사진 6〉 사진 4의 일부.



〈사진7〉 사진6의 비금속개재물 SEM사진.

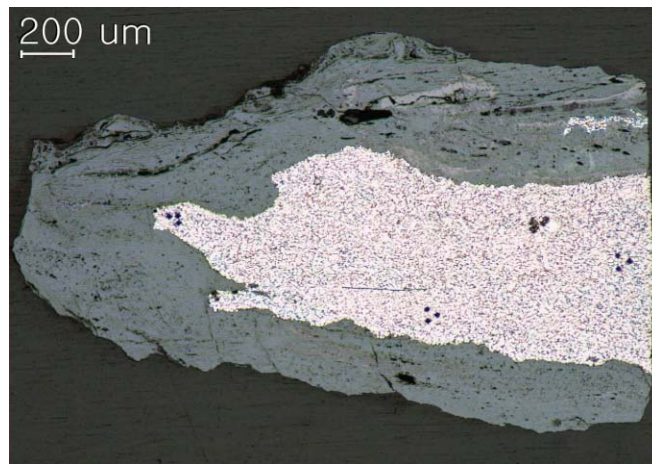


〈그림3〉 사진7의 1지점 EDS분석.

2) 대도 b 부위 횡단면

사진 8은 사진 1의 날에 해당하는 b 부위에서 채취한 시편 전체를 보여주는 광학현미경 조직사진으로 좌측이 날 선단을 향하고 우측이 내부를 향하고 있다. 상·하단과 좌측의 표면 부위는 철 산화물로 부식되어 있고 소재 내부에 비금속개재물은 거의 확인되지 않는다. 밝게 보이는 페라이트 조직을 기지로 어둡게 보이는 탄소를 포함하는 조직이 확인되며 시편 전체에 균일하게 존재한다. 사진 9, 10, 11은 사진 8의 좌측을 확대한 사진으로 단조 가공을 심하게 받아 결정립이 미세하며 조직의 전 부위에서 결정립의 크기가 비슷하다. 소재는 탄소함량이 0.2% 정도를 포함하고 균일한 조성을 가지고 있으며 성형에 앞서 제강과정을 거친 탄소강으로 판단된다. 이와

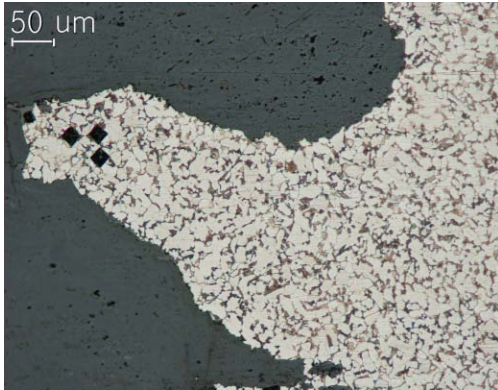
같이 탄소함량이 균일한 강을 소재로 제작함으로써 침탄과 더불어 접고 두 드리는 공정은 생략되고 형태 가공을 위한 작업만이 수행되어 표면과 내부의 탄소함량의 분포 및 결정립의 크기는 크게 차이가 나지 않는다. 페라이트 조직 입계를 따라 생성된 탄화물은 마르텐사이트와 퍼얼라이트 조직이며 두 조직이 동시에 생성되어 있다. 이와 같이 두 개의 조직이 동시에 출현하는 것은 오스테나이트 영역에서 성형 작업 후 담금질 처리를 하였으나 냉각속도가 마르텐사이트를 생성할 정도로 충분하지 못하여 분할변태²¹⁾가 일어났기 때문이다. 또한 퍼얼라이트의 내의 시멘타이트가 분해되어 일부 구상화되어 있고 마르텐사이트 조직의 흔적이 명확하지 않은 것으로 보아 담금질 후 고온에서 뜨임처리가 실행되었을 것으로 판단된다. 좌·우측의 경도치는 각각 146Hv와 143Hv이며 마르텐사이트 조직의 출현에도 경도치가 낮은 것은 저탄소강을 소재로 변태 과정 중 마르텐사이트와 퍼얼라이트의 분할변태가 발생하였고 담금질 후 뜨임처리에 따른 영향으로 보인다.



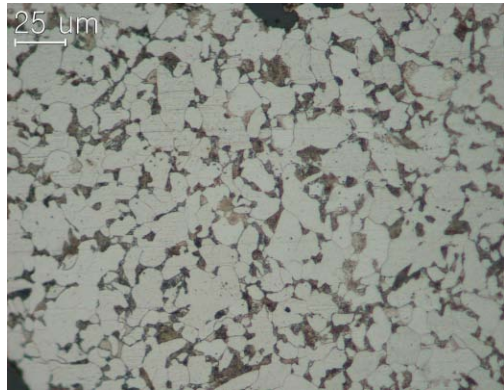
〈사진 8〉 대도 b 부위 횡단면 조직.

21) 오스테나이트-퍼얼라이트 변태가 완료할 만한 충분한 시간이 없으면 퍼얼라이트는 마르텐 사이트로 변태하기 시작한다. 퍼얼라이트를 생성하지 않도록 냉각할 수 있는 가장 느린 속도를 임계냉각속도라고 하며 임계냉각속도보다 느린 속도로 냉각하면 완전히 경화된(마르텐 사이트)강을 만들 수는 없다. 이 경우의 변태는 2단계로 일어나기 때문에 분할변태(分割變態, split transformation)라고도 한다.

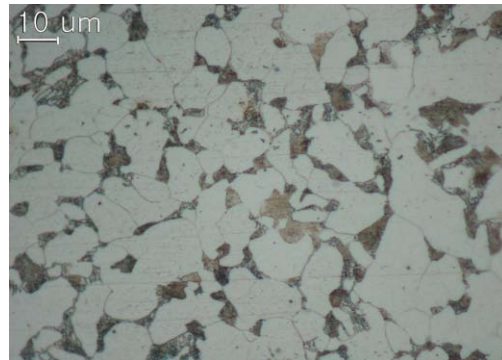
William F. Smith 著, 한봉희 譯, 『금속재료』, 인터비전, 2003. p. 53.



〈사진 9〉 사진 8의 좌측.



〈사진 10〉 사진 9의 일부.



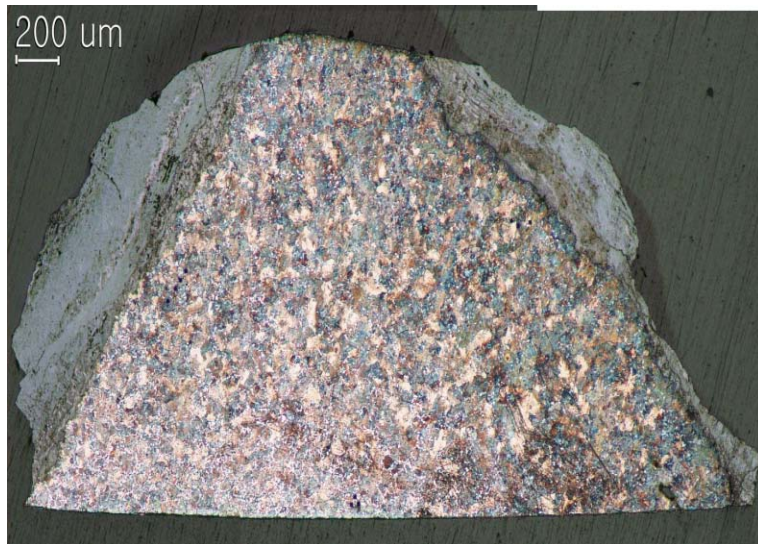
〈사진 11〉 사진 10의 일부.

3) 대도 c 부위 횡단면

사진 12는 사진 1의 등에 해당하는 c 부위에서 채취한 시편 전체를 보여주는 광학현미경 조직사진으로 등 부위의 한쪽 모서리에서 시편을 채취하였으며 좌측 표면이 등의 측면에 해당하고 우측 표면이 등의 윗면에 해당한다. 등의 표면 부위는 철 산화물로 부식되어 있으며 소재 내부의 밝게 보이는 부분이 페라이트이고 어두운 부분이 퍼일라이트로서 시편의 대부분을 퍼일라이트가 차지한다. 사진 13, 14는 사진 12의 좌측 중앙과 하단 중앙을 확대한 사진으로 단조 가공을 많이 받은 하단 중앙에서 탈탄이 많이 발생하여 퍼일라이트가 감소하고 페라이트가 증가하고 있다. 가공을 거의

받지 않은 우측은 대부분 퍼얼라이트 조직이 확인되고 있어 탄소함량 0.8%의 공석강이 소재로 사용된 것으로 판단된다. 이와 같이 탄소함량이 극히 높은 탄소강은 단타침탄방법으로는 도달하기 힘든 함탄 범위로서 초강법에 의해 제조되었을 가능성이 크다. 단순한 침탄반복단타로는 높은 함탄량을 가지는 탄소강을 제작하기 힘들며 결정립이 조대한 것으로 보아 주철로부터 탈탄시켜 제작한 것으로 보인다.

성형 작업은 공석강을 소재로 공석온도 이하의 비교적 높은 온도에서 실시하였고 좌측에서 확인되는 일부 페라이트 조직은 가공으로 인한 탈탄의 영향으로 보인다. 사진 15는 사진 13의 확대사진으로 결정 입계의 구분은 명확하지 않지만 미세한 층상의 Lamella구조를 이루고 있으며 퍼얼라이트를 생성할 때 변태온도가 낮았음을 알 수 있다. 사진 16은 사진 14의 확대사진으로 가공 응력을 많이 받아 탄화층이 분해되면서 입자 형태의 시멘타이트가 발생하고 페라이트가 증가하고 있다. 이 부위의 퍼얼라이트 경도값은 각각 226HV와 206HV이며 이러한 차이는 가공에 의한 탈탄의 영향으로 보인다.



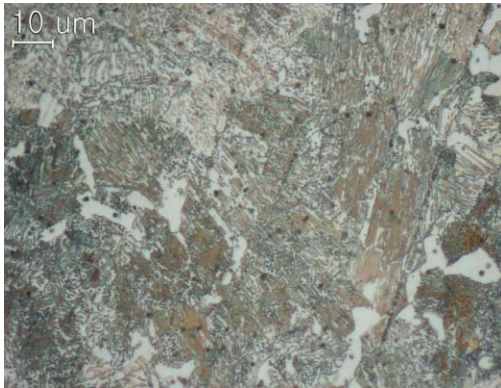
〈사진 12〉 대도 c 부위 횡단면 조직.



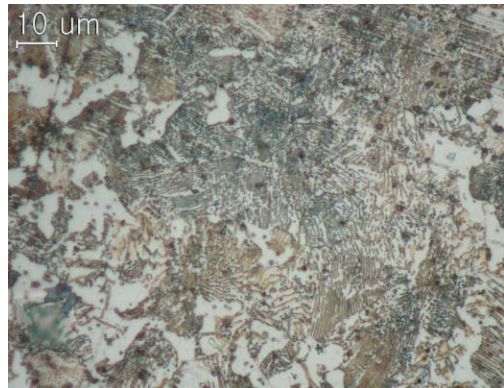
〈사진 13〉 사진 12의 좌측 중앙.



〈사진 14〉 사진 12의 하단 중앙.



〈사진 15〉 사진 13의 일부.



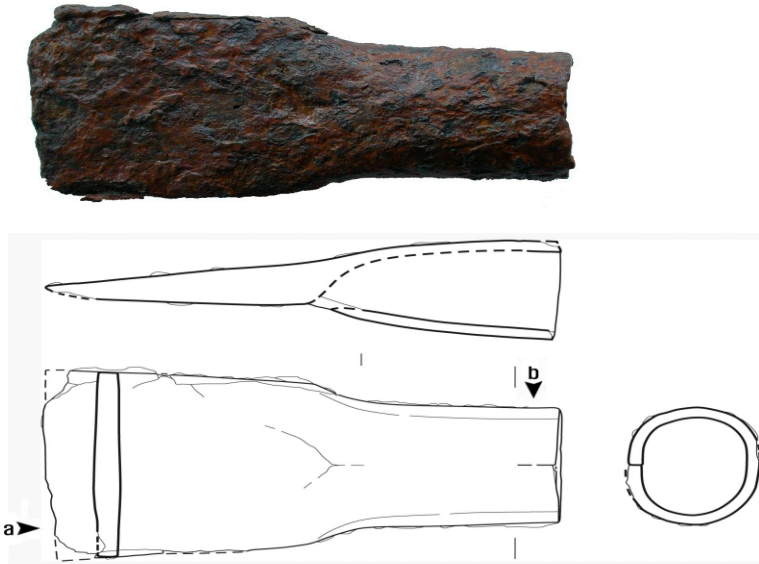
〈사진 16〉 사진 14의 일부.

1.2. 철부

사진 17은 63호 석곽묘에서 출토된 단조철부로서 인부와 신부 일부가 결실되었고 수화로 인한 녹흔과 균열이 관찰된다. 신부 평면은 제형이고 인부는 직인으로 추정된다. 신부 단면은 장방형, 공부 단면은 원형이고 공부 내 목질흔이 관찰된다. 길이 16.8cm, 신부길이 8.4cm, 신부폭 6.8cm, 공부 외경 5.0x 4.3cm이다.²²⁾ 상단의 것은 사진이며 하단은 실측도이다. 특별히

22) 주 15의 p. 346.

강도가 요구되는 날 부위와 공부 한 곳에서 시편을 채취하였다.



〈사진 17〉 오평리 고분군 63호 석곽묘 출토 철부.

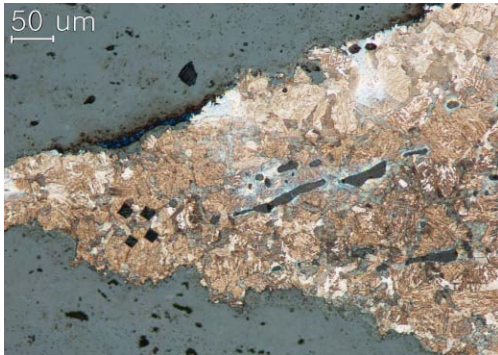
1) 철부 a 부위 횡단면

사진 18은 사진 17의 날에 해당하는 a 부위에서 채취한 시편의 전체 조직 사진으로 좌측이 날 선단을 향하고 우측이 내부를 향하고 있다. 하단과 좌측 날 선단부는 산화되어 부식이 심하며 우측 상단부에 철 조직이 잔존한다. 날 선단부에 담금질 조직이 관찰되고 내부로 갈수록 페라이트 조직이 증가하며 비금속개재물이 좌·우 가공 방향으로 길게 연신되어 있다. 사진 19, 21은 사진 17의 좌측을 확대한 사진으로 페라이트를 기지로 아공석강을 소재로 담금질할 때 출현하는 마르텐사이트 조직이 위치하고 페라이트와 퍼얼라이트 조직도 일부 확인되고 있다. 사진 20, 22는 사진 17의 우측을 확대한 사진으로 마르텐사이트가 감소하고 퍼얼라이트와 페라이트가 증가하고 있다. 이와 같이 마르텐사이트가 형성된 부위에 밝게 나타나는 조직이 분포하는 것은 페라이트 생성 후에 담금질을 실시한 것을 보여주며 성형 작업 후 담금질 처리를 하였지만 내부로 갈수록 냉각속도가 마르텐사이트

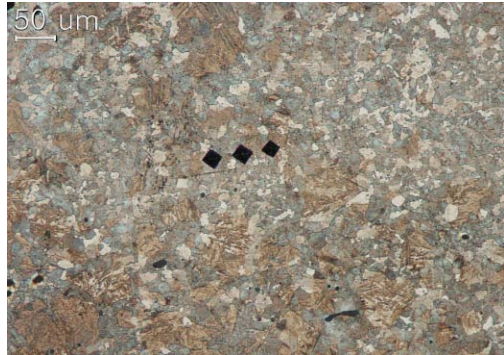
를 생성할 만큼 충분하지 못하여 분할변태가 일어났기 때문이다. 마르텐사이트가 주로 위치하는 좌측의 경도값은 440Hv이며 우측은 259Hv를 나타낸다. 이러한 차이는 탈탄과 분할변태에 의한 페라이트와 퍼얼라이트 조직의 증가에 기인한다. 또한 퍼얼라이트의 내의 탄화층이 분해되어 시멘타이트가 입자 형태로 일부 구상화되고 마르텐사이트 경도치가 낮은 것으로 보아 담금질 후 고온에서 뜨임처리가 수행되었을 것으로 판단된다. 소재는 0.3~0.4%정도의 탄소강을 사용한 것으로 보인다. 사진 23은 사진 22의 비금속개재물 부위를 확대한 사진이다. 그림 3은 사진 23의 1지점에 대한 EDS 분석 결과로 Si와 Ca를 포함하고 있다. 이와 같은 비금속개재물은 제련과정에서 발생하는 슬래그로서 저온환원법으로 생산된 괴련철임을 보여준다.



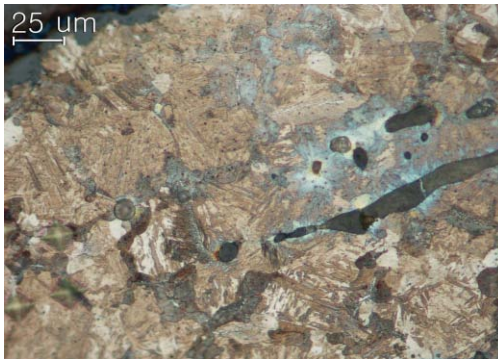
〈사진 18〉 철부 a 부위 횡단면 조직.



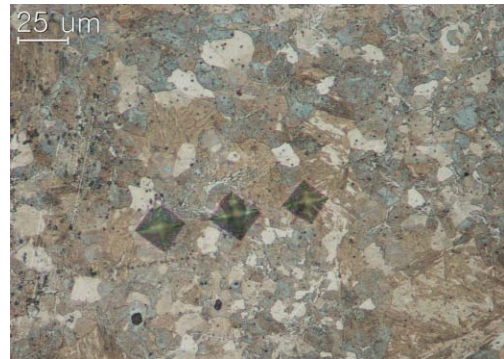
〈사진 19〉 사진 18의 좌측.



〈사진 20〉 사진 18의 우측.



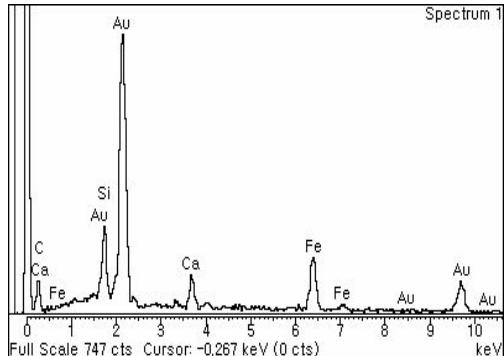
〈사진 21〉 사진 19의 일부.



〈사진 22〉 사진 20의 일부.



〈사진23〉 사진21의 비금속개재물.



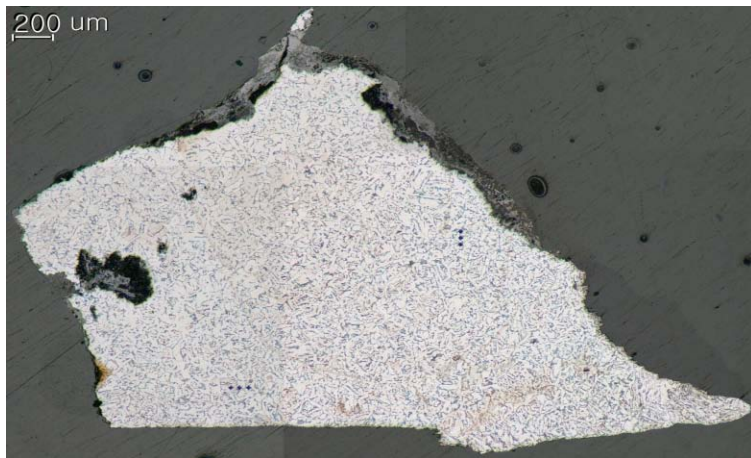
〈그림 4〉 사진 23의 1지점 EDS분석.

2) 철부 b 부위 횡단면

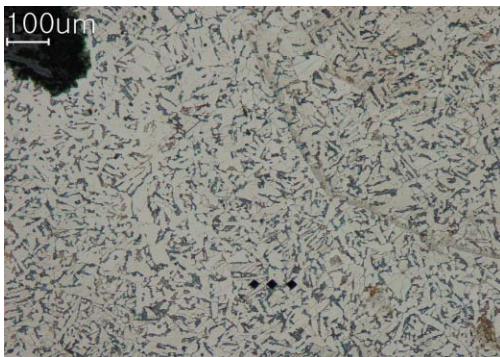
사진 24는 사진 17의 공부에 해당하는 b 부위에서 채취한 시편의 전체 조직사진으로 좌·우, 상단이 표면에 해당하고 하단이 내부를 향하고 있으며 밝게 보이는 페라이트와 어둡게 보이는 퍼얼라이트 조직이 균일하게 분포하고 있다. 사진 25, 26은 사진 24의 좌·우측을 확대한 사진으로 오스테나이트의 결정립계에 페라이트가 침상 또는 판상으로 석출되는 대표적인 과열조직인 비드만스토티텐²³⁾과 유사한 형태를 하고 있다. 이러한 조직은 탄소가 어느 정도 포함된 강에서 1000℃ 이상의 고온으로 가열할 때 과열에 의해 페라이트 결정립이 비정상적으로 성장한 조직이며 공기 중에 빠른 속도로 냉각될 때 생성된다. 소재는 탄소함량이 0.3~0.4% 정도를 포함하고 균일한 조성을 가지고 있으며 성형에 앞서 제강과정을 거친 탄소강으로 판단된다. 사진 27은 사진 25를 확대한 사진으로 일부 과열된 퍼얼라이트 조직은 폭이 넓고 길게 성장한 것이 보이지만 크게 성장하지는 못하고 있다. 이는 소재 내의 탄소함량, 가열온도, 가열시간, 냉각속도 등의 영향으로 비드만스토티텐 조직이 크게 성장하지 못한 것으로 보인다. 공부는 형상 가공을 위해 1000℃ 이상의 고온으로 가열하여 형태를 제작하고 끝단부를 말아서 연결시키는 단조가공이 수행되었다. 사진 28은 사진 25의 확대 사진으로 퍼얼라이트의 내의 시멘타이트가 분해되어 구상화되어 있다. 이는 공식 온도 이하에서 장시간의 뜨임처리가 수반되었음을 보여준다. 경도값은 좌·우측이 125Hv, 127Hv로서 탄소함량에 비해 경도치가 낮은 것은 시멘타이트의 구상화에 의한 것으로 판단된다.

23) Widmanstätten. 오스테나이트의 결정립계에 페라이트가 침상 또는 판상으로 석출되는 때 표적인 과열조직으로 주로 과열상태의 조직이 공기중에 빠른 속도로 냉각될 때 생성된다.

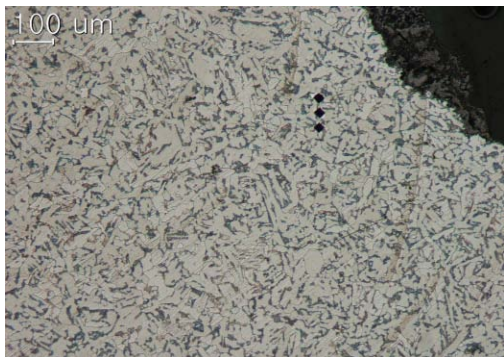
이승평, 『그림으로 설명하는 금속재료』, 도서출판 청호, 1998, p. 338.



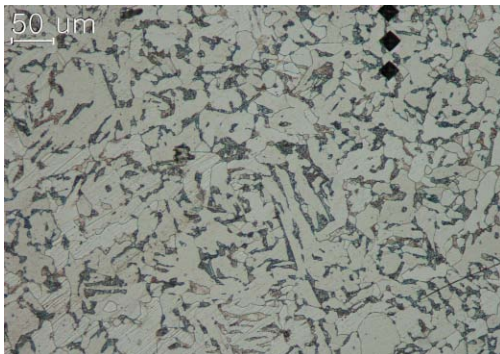
〈사진 24〉 철부 b 부위 횡단면 조직.



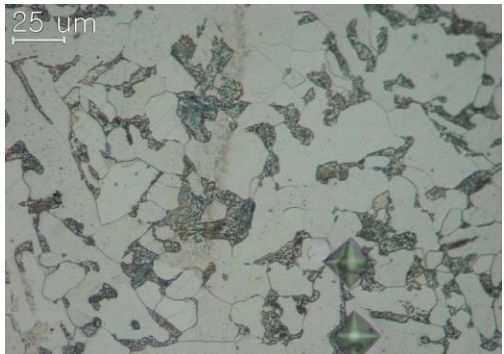
〈사진 25〉 사진 24의 좌측 하단.



〈사진 26〉 사진 24의 우측 중앙.



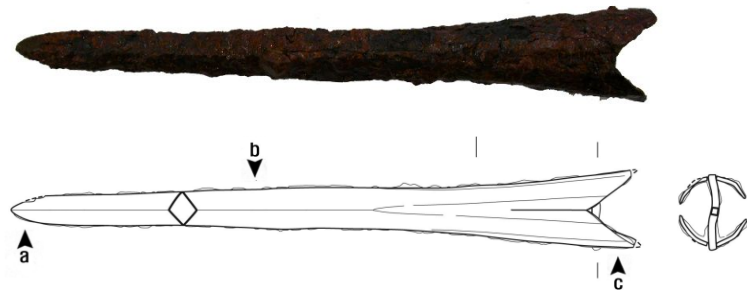
〈사진 27〉 사진 26의 일부.



〈사진 28〉 사진 25의 일부.

1.3. 철모

사진 29는 58호 석곽묘에서 출토된 단조철모로 수화에 의한 녹흔과 균열이 관찰된다. 봉부에서 공부로 매우 약한 관부를 가지고 이어지며 봉부 단면은 능형, 공부 단면은 십각형이다. 공부 말단부에는 직경 0.4cm의 못 구멍이 있고 그 내면에 단면 방형의 못이 관통하고 있다. 길이 22.6cm, 잔존 공부길이 9.4cm, 공부외경 2.8x2.6cm이다.²⁴⁾ 상단의 것은 사진이며 하단은 실측도이다. 특별히 강도가 요구되는 날 선단부와 날 후단부 및 공부 한 곳에서 시편을 채취하였다.



〈사진 29〉 오곡리 고분군 58호 석곽묘 출토 철모.

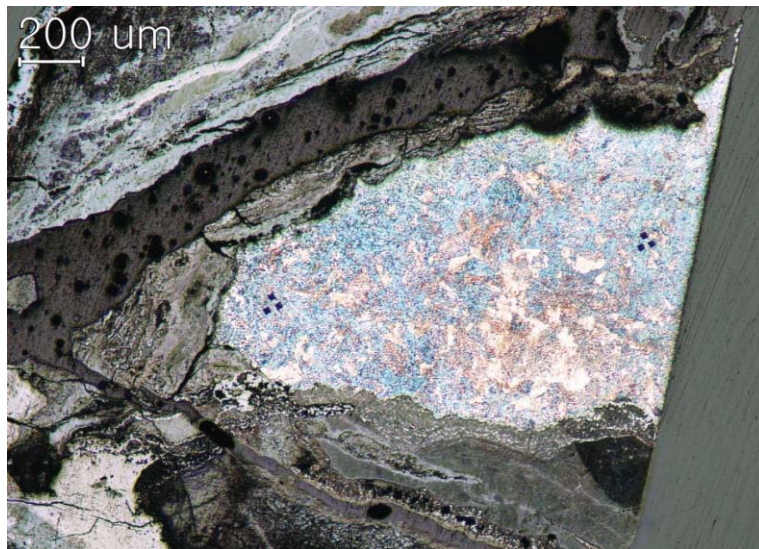
1) 철모 a 부위 종단면

사진 30은 사진 29의 날에 해당하는 a 부위에서 채취한 시편의 전체 조직 사진으로 좌측이 날 선단을 향하고 우측이 내부를 향하고 있다. 좌측과 상·하단 표면 부위는 부식되어 있고 시편 전체에서 탄화물이 균일하게 분포하고 있다. 사진 31, 32는 사진 30의 우측을 확대한 사진으로 퍼얼라이트 조직 내의 시멘타이트가 입자 형태로 구상화되어 있고 결정립의 입계가 분명하게 구별되지 않는다. 탄소함량 0.8%의 공석강을 소재로 공석온도 근처에서 장시간 가열과 동시에 단조 가공에 의해 탄화층이 분해되었음을 보여 준다. 단순한 침탄 반복단타로는 0.7% 이상의 높은 함탄량을 가지는 탄소

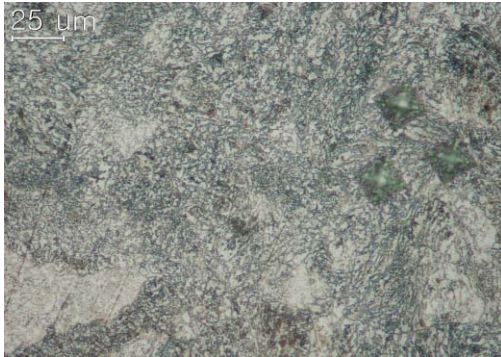
24) 주 15의 pp. 328.

강을 제작하기 힘들며 결정립이 조대하고 비금속재재물을 포함하지 않는 것으로 보아 주철로부터 탈탄시켜 강을 제작한 것으로 보인다.

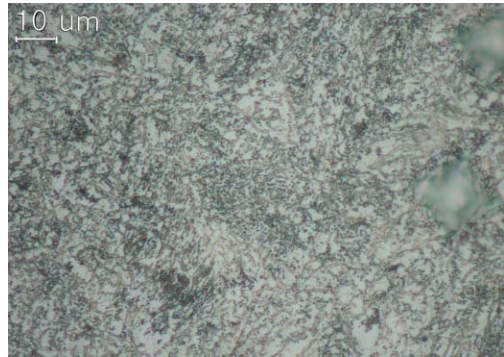
소재는 제강공정을 거친 고탄소강을 사용하여 공석온도 이하의 고온으로 장시간 가열 후 성형을 위한 단조 작업으로 인해 구상화된 시멘타이트 조직이 존재하며 날 선단부에 강도를 보강시키기 위한 담금질처리는 실행하지 않았다. 경도는 좌측의 날 선단부가 198Hv, 날의 내부에 해당하는 우측이 210Hv로서 큰 차이는 보이지 않지만 부식된 표면부로 갈수록 탈탄으로 경도치는 감소할 것으로 예상된다. 또한 시멘타이트의 구상화로 인해 경도값이 일반적인 공석 조직보다 낮아진 것으로 보인다.



〈사진 30〉 철모 a 부위 종단면 조직.



〈사진 31〉 사진 29의 우측.

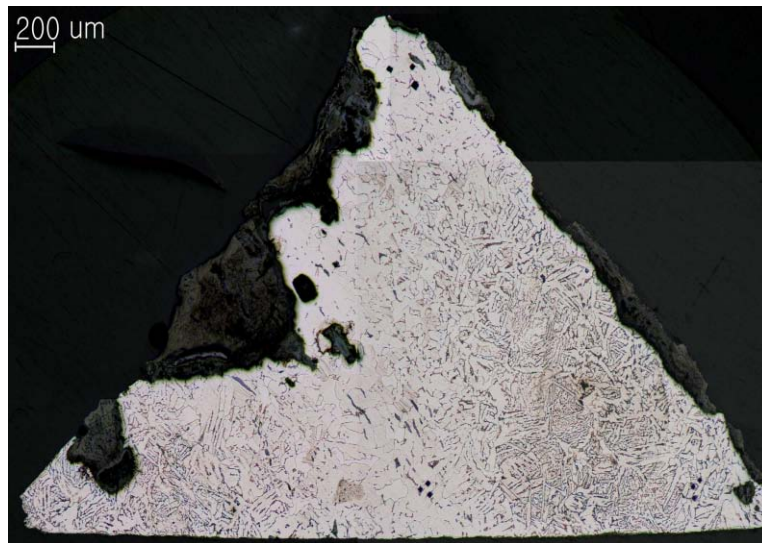


〈사진 32〉 사진 31의 일부.

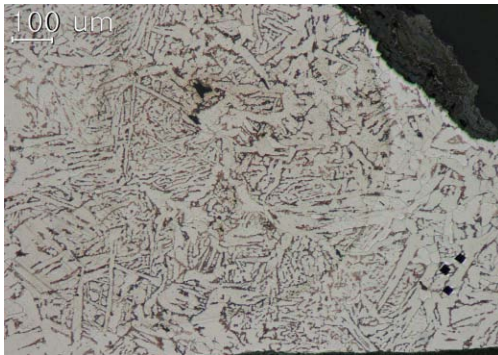
2) 첼모 b 부위 횡단면

사진 33은 사진 29의 날에 해당하는 b 부위에서 채취한 시편의 전체 조직 사진으로 하단이 내부를 향하고 있고 좌·우측 경사진 면이 표면을 향하고 있다. 좌·우측의 표면 부위에서 과열조직인 비드만스토펙 조직이 보이고 내부는 거의 순철에 가까운 페라이트가 위치하고 있다. 사진 33, 34는 사진 32의 우측 하단을 보여주는 확대사진으로 과열에 의해 비정상적으로 성장한 페라이트 결정립이 공기 중에 빠른 속도로 냉각될 때 생성되는 판상 혹은 침상 형태의 비드만스토펙 조직이 관찰된다. 표면에 위치한 페라이트 조직은 판상의 형태를 가지며 폭이 넓고 길게 성장한 반면, 내부로 갈수록 페라이트의 폭이 가늘며 작아지고 있다. 이는 표면에서 탈탄이 많이 발생하여 페라이트가 크게 성장한 것이고 내부로 갈수록 탄소함량이 감소하여 크게 성장하지 못하고 있다. 사진 35는 사진33의 하단 중앙을 보여주는 확대사진으로 페라이트 조직이 가운데 위치하고 좌·우로 비드만스토펙 조직이 위치하고 있다. 이러한 비드만스토펙 조직은 1000℃이상의 온도로 가열하여도 탄소를 포함하지 않으면 발생하지 않는다. 시편 가운데 부위에 과열되지 않은 페라이트 조직이 확인되고 표면 부위에서 과열 조직이 발생한다는 것은 고온의 성형 과정에서 탄소를 많이 포함하는 표면이 내부의 순철보다 더욱 과열되고 페라이트 조직이 판상으로 길게 성장하여 공기 중에 빠르게 냉각되었기 때문이다.

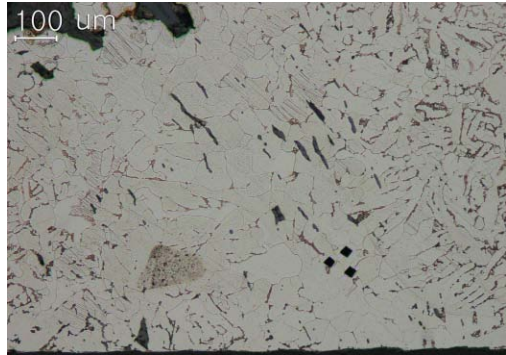
하단 중앙의 페라이트 경도값이 94Hv이고, 하단 우측이 109Hv로 표면에서 경도값이 높은 것은 조직의 가공경화와 비드만스텝튼 조직의 출현에 의한 것으로 판단된다. 사진 37은 사진 35의 비금속개재물 부위를 확대한 전자현미경 사진이다. 그림 4는 사진37의 1지점에 대한 EDS 분석결과로 주로 철 성분이 발견되고 2지점에 대한 EDS 분석 결과인 그림 5에서는 Si, Ca, Al, K를 포함하고 있다. 여기에서 사진 37의 1지점은 철광석 입자이며 2지점은 유리질임을 알 수 있다. 이와 같은 비금속 개재물은 철 성분이 제련과정에서 발생하는 슬래그에 혼입된 것으로 저온환원법에 의해 생산된 괴련철임을 알 수 있다.



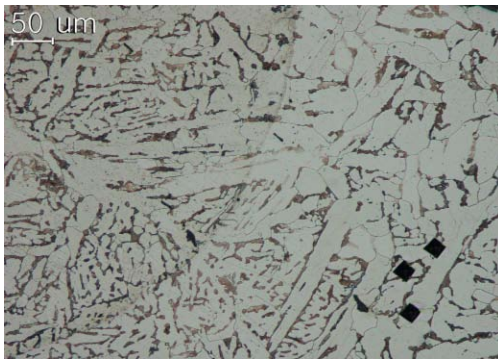
〈사진 33〉 철모 b 부위 횡단면 조직.



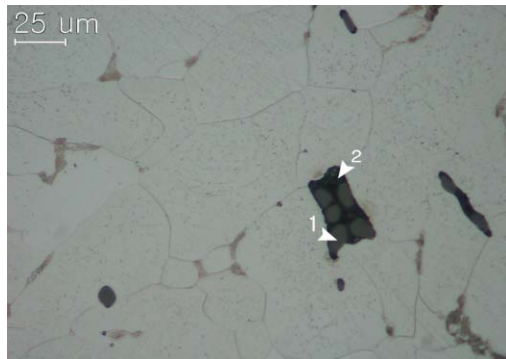
〈사진 34〉 사진 33의 하단 우측.



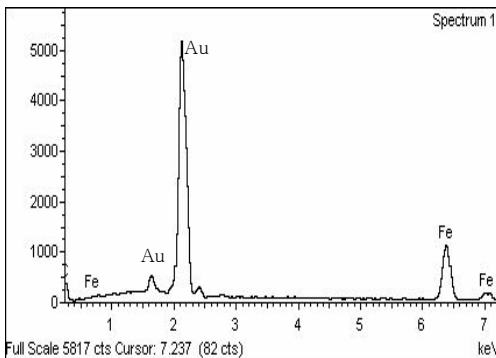
〈사진 35〉 사진 33의 하단 중앙.



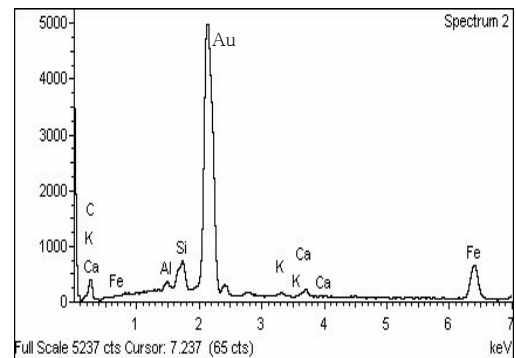
〈사진 36〉 사진 34의 일부.



〈사진37〉 사진35의 비금속개재물.



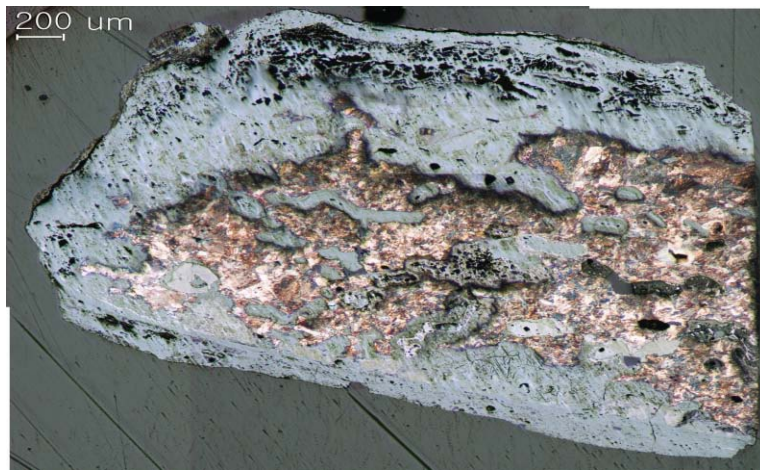
〈그림 5〉 사진 37의 1지점 EDS분석.



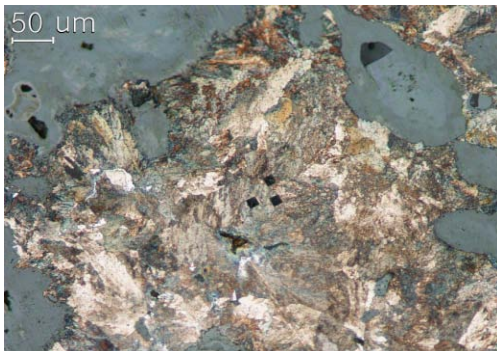
〈그림 6〉 사진 37의 2지점 EDS분석.

3) 첼모 c 부위 횡단면

사진 38은 사진 29의 공부에 해당하는 c 부위에서 채취한 시편의 전체 조직사진으로 좌측과 상·하단이 표면을 향하고 우측이 내부를 향하고 있다. 좌측과 상·하단 표면 및 내부의 일부분이 부식되어 있고 시편 전체에서 탄화물이 균일하게 분포하고 있다. 사진 39, 40은 사진 38의 좌측을 확대한 사진으로 탄소함량 0.8%의 공석강에 가까운 퍼얼라이트 조직으로 페라이트와 시멘타이트가 교대로 층상을 이루는 Lamella구조로 되어있다. 페라이트와 시멘타이트 사이의 층간 간격이 미세한 것으로 보아 퍼얼라이트를 생성할 때 변태온도가 낮았으며 비교적 빠른 속도로 냉각된 것으로 판단된다. 사진 41은 사진 39를 확대한 사진이며 이러한 공석강이 나타나는 소재는 단타 침탄방법으로는 도달하기 힘든 함탄 범위로서 결정립이 조대하고 변형의 흔적이 없으며 비금속개재물을 포함하지 않는 것으로 보아 주철로부터 탈탄시켜 제작한 것으로 판단된다. 공부는 주철로부터 제강과정을 거친 공석강을 소재로 비교적 낮은 온도에서 형태를 제조하기 위한 최소한의 가공 작업만이 수행된 것으로 보인다. 사진 38의 좌측 부위 경도값이 284Hv이고 우측은 310Hv로서 좌측보다 높게 나타나며 이는 함탄량이 높은 공석강의 사용과 단조가공에 의한 가공경화의 영향으로 보인다. 우측이 좌측보다 경도값이 큰 것도 가공도의 차이에 따라 좌측보다 가공을 많이 받아 결정립이 미세화 되었기 때문이다. 사진 42는 사진 38의 우측을 SEM 상으로 확대한 것이며 미세한 층상의 Lamella구조와 탄화층이 일부 분해된 형상을 보여준다.



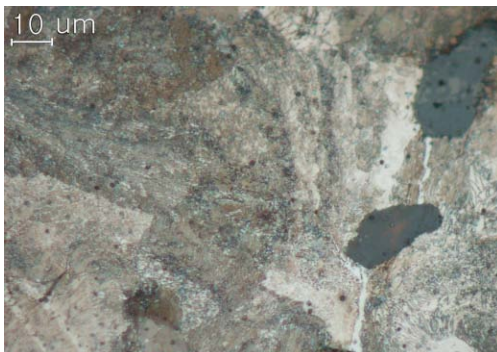
〈사진 38〉 철모 c 부위 횡단면 조직.



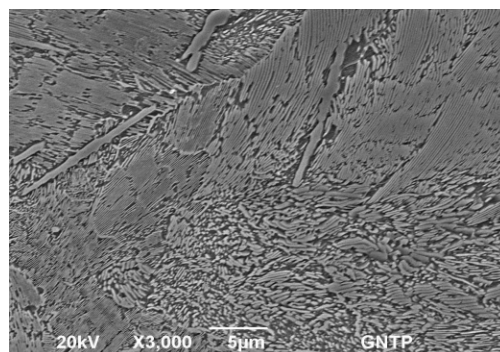
〈사진 39〉 사진 38의 좌측.



〈사진 40〉 사진 39의 일부.



〈사진 41〉 사진 39의 일부.

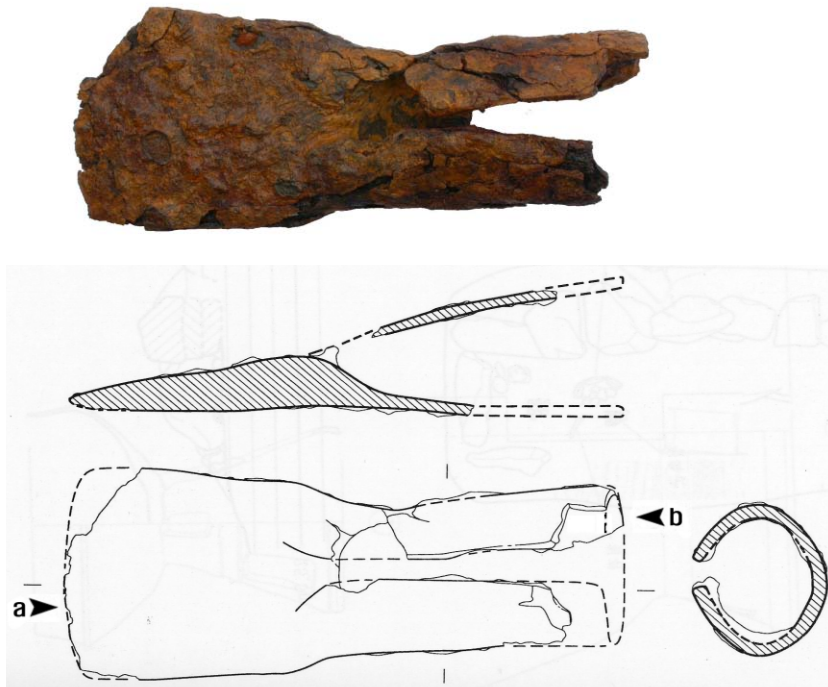


〈사진42〉 사진38의 SEM사진.

2. 김해 안양리고분군

2.1. 철부

사진 43은 66호 석곽묘에서 출토된 단조 철부로 대형이며 공부 및 인부가 일부 결실되었다. 직선상의 공부에서 신부는 인부로 갈수록 약하게 나팔상으로 벌어진다. 공부의 단면 형태는 타원형이고 신부의 단면 형태는 장방형이다. 잔존길이 16.5cm, 인부 너비 7.3cm, 공부 너비 5.5cm, 공부 두께 3.9cm이다.²⁵⁾ 상단의 것은 사진이고 하단은 실측도이며 화살표 a, b에서 시편을 채취하였다.

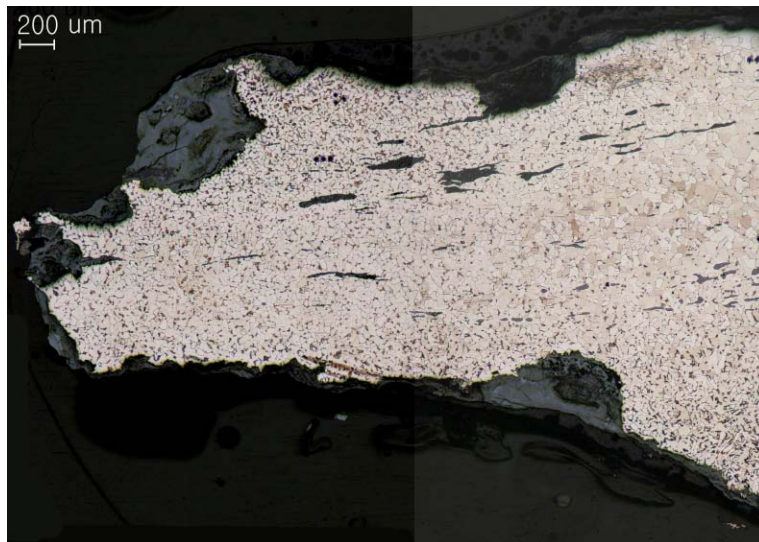


〈사진 43〉 안양리 고분군 66호 석곽묘 출토 철부.

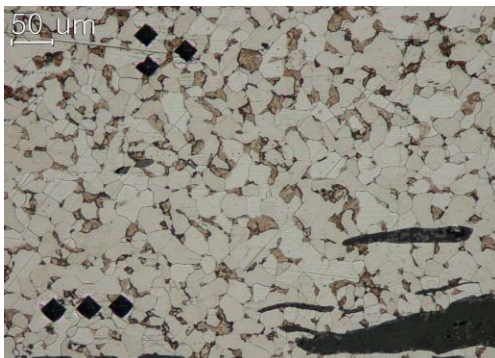
25) 주 17의 p. 282.

1) 철부 a 부위 횡단면

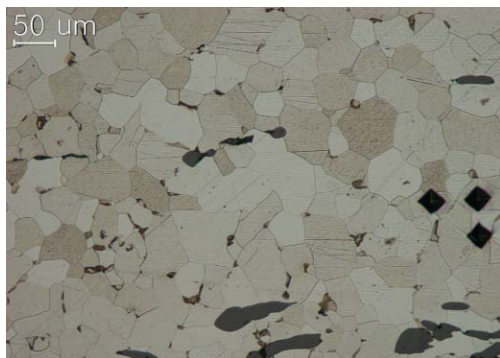
사진 44는 사진 43의 날에 해당하는 a 부위에서 채취한 시편의 전체 조직 사진으로 좌측이 날 선단을 향하고 우측이 내부를 향하고 있으며 내부에 비금속개재물이 가공 방향으로 길게 연신되어 있다. 시편의 표면 부위에 일부 탄소를 포함하고 내부로 갈수록 순철에 가까운 페라이트 조직이 관찰된다. 하단 좌측의 표면 부위는 과열조직인 비드만스토프트와 유사한 조직이 생성되어 있다. 이는 높은 온도에서 침탄과 가공이 수행되었음을 나타낸다. 사진 45, 47은 사진 44의 상단 표면을 확대한 사진으로 결정 입계를 따라 담금질 조직인 마르텐사이트가 생성되어 있고 결정입도가 내부보다 조밀하다. 이는 연성이 좋고 가공하기 쉬운 순철을 소재로 고온에서 단조가공과 침탄이 이루어지고 물이나 기름에 급냉시켜 담금질 조직을 발생시킨 것이다. 페라이트 결정립에 변형의 흔적이 남아 있지 않고 마르텐사이트 조직이 뚜렷하게 나타나지 않은 것으로 보아 담금질 후 뜨임처리가 이루어진 것으로 판단된다. 사진 49는 사진 47에서 어둡게 보이는 부분을 확대한 SEM사진으로 바깥의 어두운 부분들은 페라이트 조직이고 중심의 밝은 부위에서 마르텐사이트 조직과 미세한 퍼얼라이트 조직이 동시에 관찰되고 있다. 이와 같이 마르텐사이트와 미세한 퍼얼라이트 조직이 혼재하는 것은 담금질 속도가 충분하지 않을 때 일부 퍼얼라이트 조직이 출현하는 분할변태가 일어났기 때문이다. 또한 이 부위의 페라이트 경도값이 176Hv로 다소 높은 것은 가공에 의한 결정립의 조밀화와 담금질의 영향으로 보인다. 사진 46, 48은 우측의 중앙 부위를 확대한 사진으로 단조가공과 침탄의 영향을 적게 받아 표면보다 페라이트 조직이 조대하고 순철에 가깝다. 이 부위의 페라이트 경도값은 149Hv 이다. 사진 50은 사진 44의 비금속개재물 부위를 확대한 사진이다. 그림 6은 사진 50의 1지점에 대한 EDS 분석 결과로 철 산화물이며, 그림 7은 2지점에 대한 분석 결과로 주로 철과 Si, Ca, Al, K 원소를 포함하고 있다. 이와 같은 비금속개재물은 페라이트가 슬래그에 혼입된 우스타이트 조직으로 소재가 저온환원법으로 생산된 괴련철임을 보여준다.



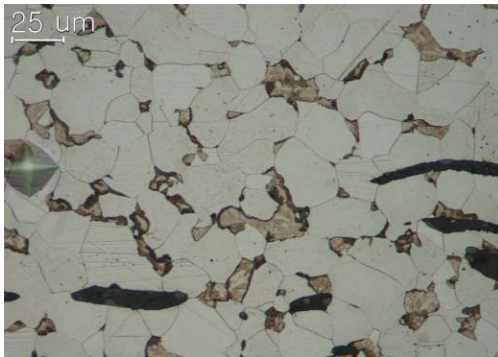
〈사진 44〉 철부 a 부위 횡단면 조직.



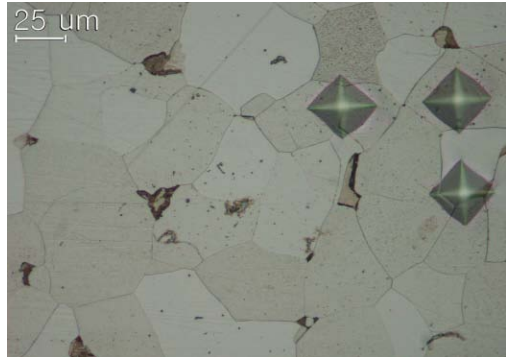
〈사진 45〉 사진 44의 상단 중앙.



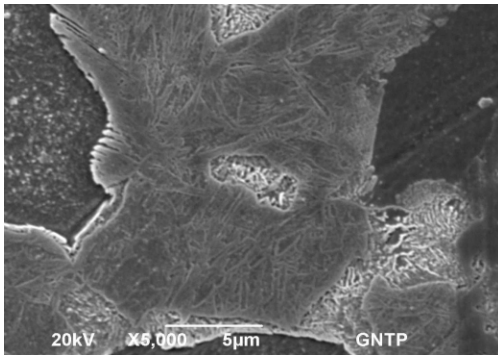
〈사진 46〉 사진 44의 하단 중앙.



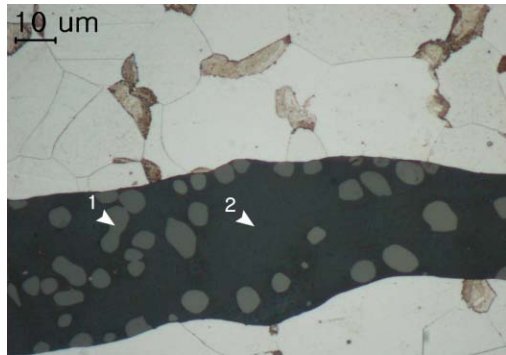
〈사진 47〉 사진 45의 일부.



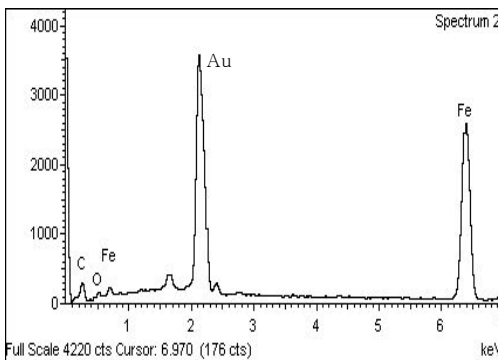
〈사진 48〉 사진 46의 일부.



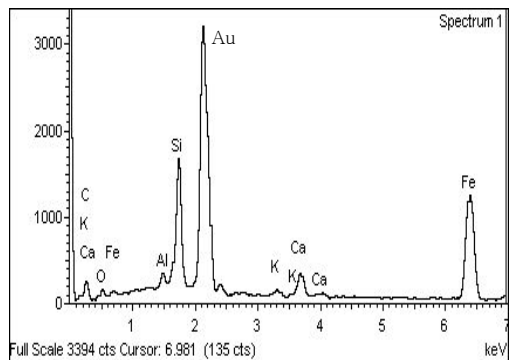
〈사진 49〉 사진47의 SEM사진.



〈사진50〉 사진44의 비금속개재물.



〈그림 7〉 사진 49의 1지점 EDS분석.



〈그림 8〉 사진 49의 2지점 EDS분석.

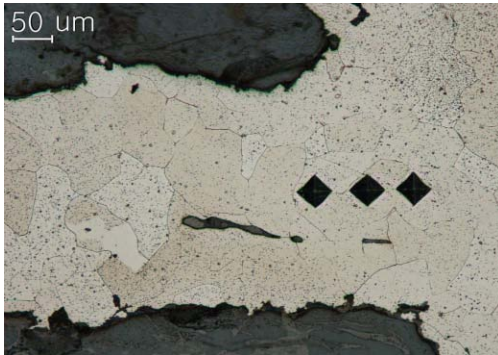
2) 철부 b 부위 횡단면

사진 51은 사진 43의 공부에 해당하는 b 부위에서 채취한 시편의 전체 조직사진으로 상·하단은 거의 부식되어 있고 내부에 종단면을 따라 금속이 일부 남아 있다. 시편 전체가 탄소를 거의 포함하지 않는 순철의 페라이트 조직으로 잔존하며 비금속개재물이 가공 방향으로 길게 연신되어 있다. 사진 52, 53은 사진 50의 확대사진이며 탄소를 포함하지 않는 순철로서 비금속개재물의 형태로 보아 저온환원법으로 생산된 괴련철을 소재로 제작하였고 침탄의 흔적은 보이지 않는다. 표면을 둘러싼 철 산화물의 조직 관찰이 불가능하여 정확한 제조과정은 알 수 없지만 페라이트의 결정립에 가공에 의한 변형의 흔적이 일부 남아 있어 성형 작업이 재결정 과정을 거치지 않는 범위의 낮은 온도에서 수행된 것으로 판단된다.

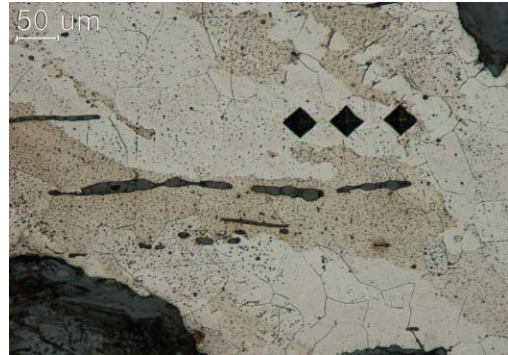
경도값은 각각 87Hv, 93Hv로서 순철이 소재로 사용되었고 단조 가공이 심하지 않았음을 보여준다.



〈사진 51〉 철부 b 부위 횡단면 조직.



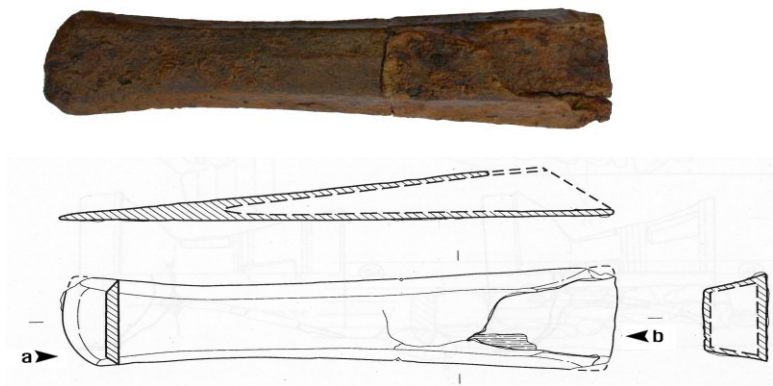
〈사진 52〉 사진 51의 좌측.



〈사진 53〉 사진 51의 우측.

2.2. 주조철부

사진 54는 44호 석곽묘에서 출토된 주조 철부로 공부와 인부가 부분적으로 결실되었다. 인부에서 아래로 갈수록 좁아지다가 다시 공부로 갈수록 넓어진다. 인부의 왼쪽에 (사용에 의해서 마모가 되었는지 정확히 알 수 없어나) 마모흔이 남아 있다. 신부의 단면 형태는 제형이다. 잔존길이 19.5cm, 인부 너비 4.5cm, 공부 너비 5.3cm이다.²⁶⁾ 상단의 것은 사진이고 하단은 실측도이며 화살표 a, b에서 시편을 채취하였다.

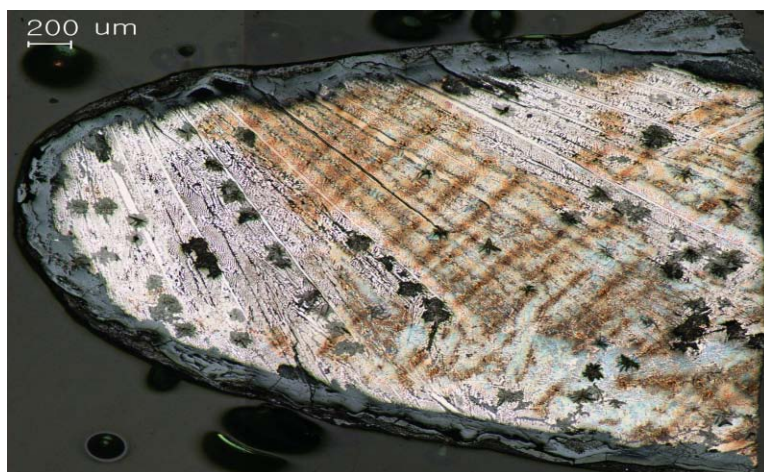


〈사진 54〉 안양리 고분군 44호 석곽묘 출토 주조철부.

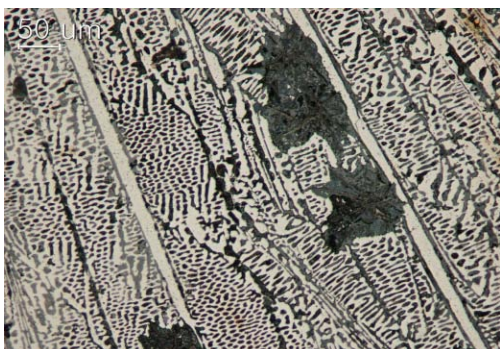
26) 주 17의 p. 209.

1) 주조철부 a 부위 횡단면

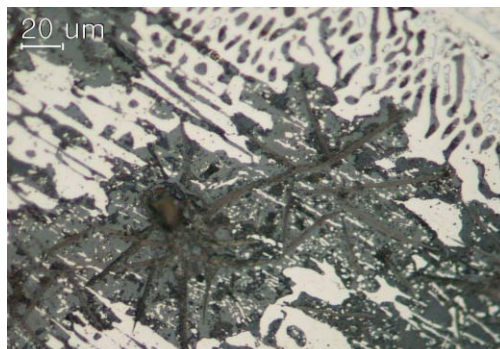
사진 55는 사진 54의 날에 해당하는 a 부위에서 채취한 시편의 전체 조직 사진으로 좌측과 상·하단은 표면에 해당되고 우측이 내부를 향하고 있다. 사진에서 바탕을 이루고 있는 비교적 밝게 보이는 부분이 백주철 조직이고 검게 보이는 국화꽃 모양의 점들은 탄소로 이루어진 흑연이다. 사진 56은 사진 55의 일부를 확대한 사진으로 가늘고 긴 막대 모양으로 생긴 시멘타이트상과 원형 혹은 타원형으로 길게 늘어선 퍼얼라이트조직이 확인된다. 또한 막대 모양의 초정시멘타이트와 인접하여 검은 바늘 모양의 흑연 조직이 확인되고 있다. 이와 같이 막대처럼 생긴 초정시멘타이트와 흑연이 생성한다는 것은 주철의 탄소함량이 4.3%가 넘는 과공정주철임을 알 수 있다. 막대처럼 생긴 초정시멘타이트와 흑연은 액체에서 고체로 응고되는 과정에서 제일 먼저 형성된 것이며 이들이 어느 정도 석출되고 난 뒤에 시멘타이트와 오스테나이트가 동시에 석출되는 공정반응이 진행되어 공석조직이 형성되었다. 퍼얼라이트는 오스테나이트가 상온으로 냉각되면서 727℃ 이하에서 공석 변태를 일으켜 생성되었다. 사진 57은 침상의 흑연 조직을 확대한 사진이며 우측 상단에 둥글거나 길게 늘어진 물방울 같은 페라이트 조직이 관찰된다. 페라이트 조직은 이 유물이 응고 과정을 거쳐 제작된 후 727℃에 가까운 온도에서 장시간 추가적인 열처리를 받았으며 퍼얼라이트 내의 시멘타이트가 분해되고 빠져나가면서 형성된 것이다. 사진 58, 59는 사진 55의 내부와 표면근처를 각각 확대한 사진으로 사진 58에 보이는 퍼얼라이트는 층상의 Lamella구조와 달리 시멘타이트가 입자형태로 구상화되어 있다. 사진 59의 표면근처의 조직은 퍼얼라이트 내의 탄화물이 입자 형태로 분해되고 빠져나가 페라이트로의 조직 변화가 발생하였고 조직의 형상도 변화되었다. 이는 날 선단부에서 장시간의 열처리가 가해졌고 표면이 내부보다 열에 대한 영향을 많이 받았음을 보여준다.



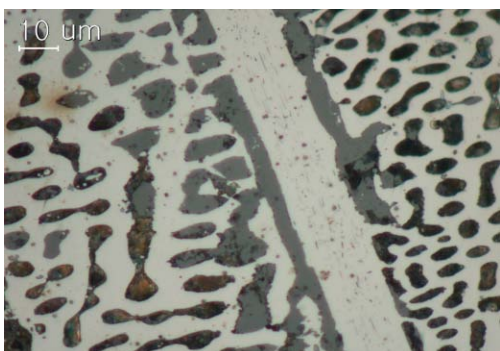
〈사진 55〉 주조철부 a 부위 횡단면 조직.



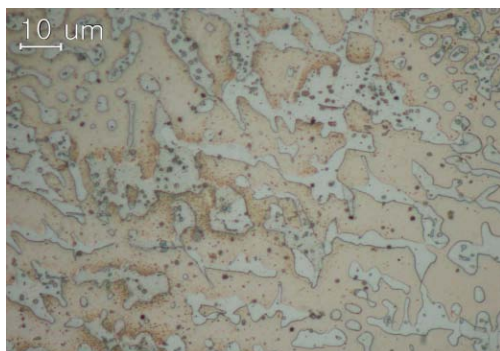
〈사진 56〉 사진 55의 일부.



〈사진 57〉 사진 55의 일부.



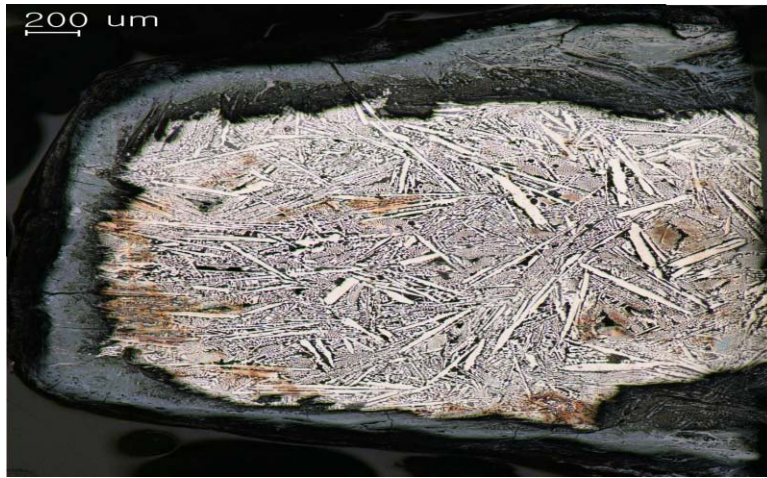
〈사진 58〉 사진 56의 일부.



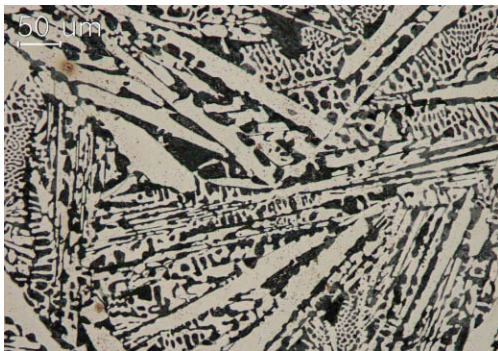
〈사진 59〉 사진 55의 우측 하단.

2) 주조철부 b 부위 횡단면

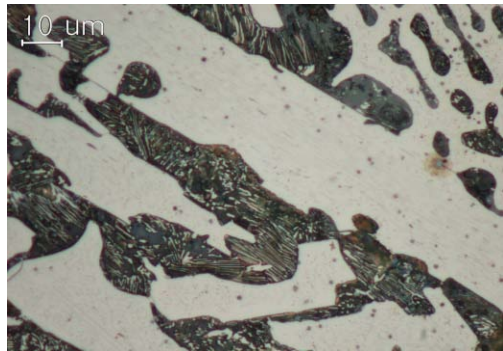
사진 60은 사진 54의 공부에 해당하는 b 부위에서 채취한 시편의 전체 조직사진으로 좌측과 상·하단은 표면에 해당되고 우측이 내부를 향하고 있다. 탄소함량이 4.3%를 초과하는 과공정주철에서 나타나는 조직으로 바탕을 이루고 있는 비교적 밝게 보이는 부분이 백주철 조직이고 막대 모양으로 생긴 초정시멘타이트상과 검게 보이는 퍼얼라이트 조직이 확인된다. 사진 61은 사진 60의 일부를 확대한 사진으로 액체에서 고체로의 응고 과정에서 액체내의 탄소가 빠져나가 시멘타이트가 두텁고 긴 판형상으로 성장하여 응고되었다. 이로 인해 액체는 과공정에서 공정으로 변하고 온도가 내려가면서 이미 응고된 판 형태의 시멘타이트 사이에서 공정 조직이 출현하여 미세한 원 또는 원통 모양의 오스테나이트가 일정한 간격을 유지하면서 규칙적으로 배열되어 있다. 사진 62는 사진 61의 일부를 확대한 사진이며 오스테나이트 영역이 서서히 냉각하여 723℃에서 공석 변태를 거치면서 퍼얼라이트로 변태하여 시멘타이트와 페라이트가 층상을 이루는 Lamella구조를 보여주고 있다. 사진 63은 사진 60의 표면 근처를 확대한 것으로 하단 좌측에서 퍼얼라이트 내의 시멘타이트가 입자 형태로 구상화된 것을 보여주고 있다. 이는 철부 선단에서 가해진 열처리로 인해 공부 표면이 일부 영향을 받은 것으로 판단된다.



〈사진 60〉 주조철부 b 부위 횡단면 조직.



〈사진 61〉 사진 60의 일부.



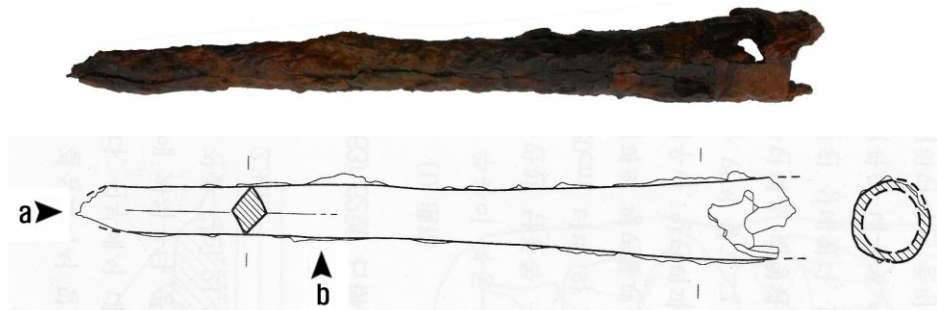
〈사진 62〉 사진 61의 일부.



〈사진 63〉 사진 60의 일부.

2.3. 철모

사진 64는 61호 석곽묘에서 출토된 철모로 신부는 공부에 비해서 약간 좁다. 신부의 단면 형태는 능형에 가깝다. 공부의 일부가 결실되어서 말단부가 어떠한 형태인지 알 수 없으나 공부의 단면은 원형으로 추정된다. 신부에서 대부는 뚜렷한 각이나 꺾임이 없이 그대로 연결되어 있으며 신부는 직선에 가까우나 공부는 갈수록 약간 넓어진다. 잔존 길이 21.4cm, 신부 너비 1.4cm, 신부 두께 1cm, 공부 너비 2.5cm, 공부 두께 2.3cm이다.²⁷⁾ 상단의 것은 사진이고 하단은 실측도이며 시편은 화살표 a, b에서 채취하고 공부는 부식되어 시편을 채취할 수 없었다.



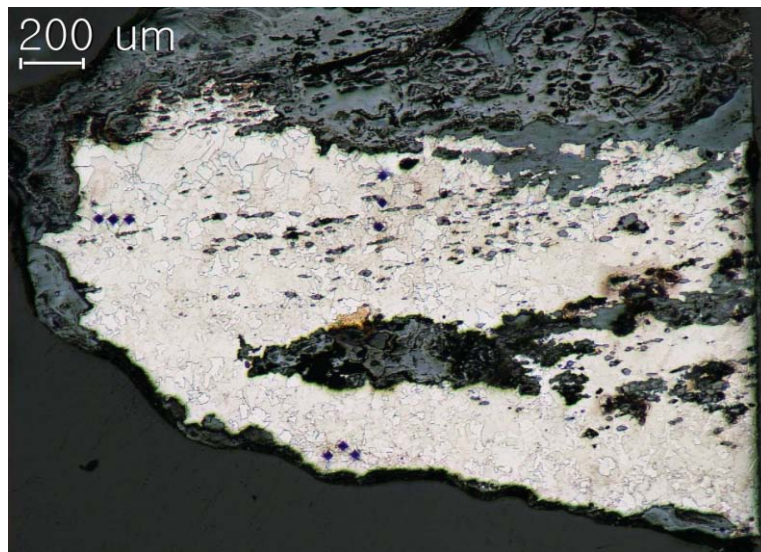
〈사진 64〉 안양리 고분군 61호 석곽묘 출토 철모.

1) 철모 a 부위 횡단면

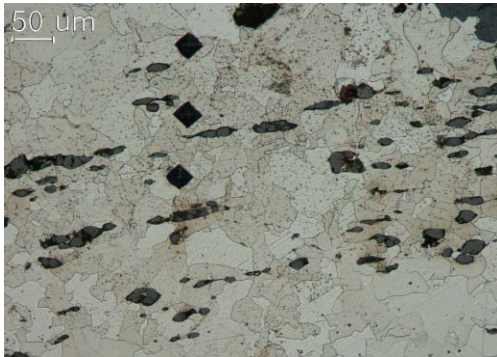
사진 65는 사진 64의 날에 해당하는 a 부위에서 채취한 시편의 전체 조직 사진으로 좌측이 날 선단을 향하고 우측이 내부를 향하고 있으며 상부는 부식되어 있다. 시편 전체가 탄소를 포함하지 않는 순철의 페라이트 조직이 확인되며 조직 내부에 철 산화물이 크게 형성되어 있고 비금속개재물이 가공 방향으로 길게 연신되어 있다. 사진 66, 68은 사진 65의 상단을 확대한 사진으로 원형의 기공이 일부 존재하며 단조 가공으로 페라이트 결정립에 변형이 발생하였고 재결정이 일어나는 온도 이하에서 성형 작업이 수행

27) 주 17의 pp. 259~260.

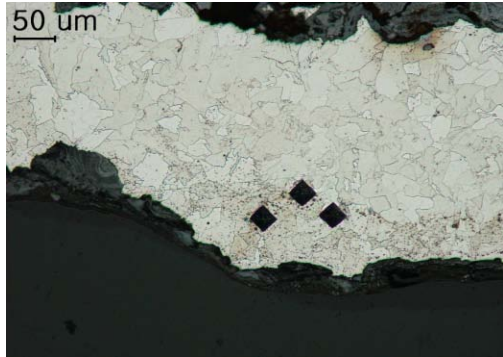
되었음을 알 수 있다. 사진 67은 하단 중앙을 확대한 사진으로 날 표면에 해당한다. 성형을 위한 단조 가공으로 결정립이 내부보다 조밀하며 날 부위의 강도를 강화시키기 위한 침탄처리나 담금질 흔적은 관찰되지 않는다. 이 부위의 페라이트 경도값은 141Hv로 내부의 125Hv보다는 약간 높는데 가공 응력에 따른 결정립의 크기 차이에 기인한다. 사진 69는 사진 68의 비금속개재물 부위를 확대한 사진이다. 그림 8은 사진 69의 1지점에 대한 EDS 분석 결과로 철 산화물이며, 그림 9는 2지점에 대한 분석 결과로 Si, Ca, Al, W, K, Mg 등의 원소가 철 산화물 형태로 포함되어 있다. 이와 같은 비금속 개재물은 페라이트가 제련과정에서 발생하는 슬래그에 혼입된 우스타이트 조직으로 소재가 저온환원법으로 생산된 괴련철임을 보여준다.



〈사진 65〉 철모 a 부위 횡단면 조직.



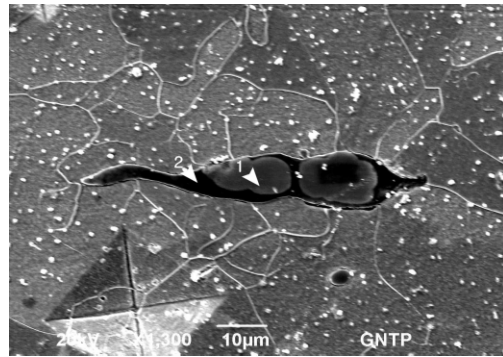
〈사진 66〉 사진 65의 상단 중앙.



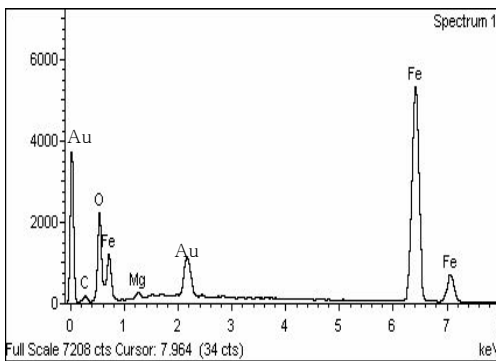
〈사진 67〉 사진 65의 하단 중앙.



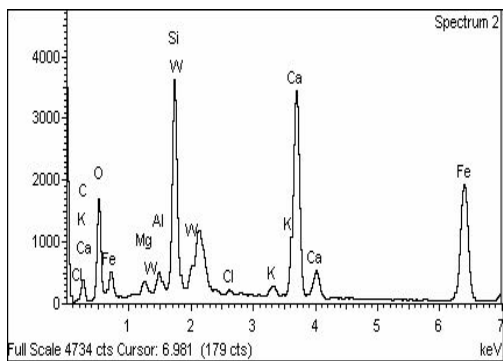
〈사진 68〉 사진 66의 일부.



〈사진69〉 사진68의 비금속개재물 SEM사진.



〈그림 9〉 사진 49의 1지점 EDS분석.



〈그림 10〉 사진 49의 2지점 EDS분석.

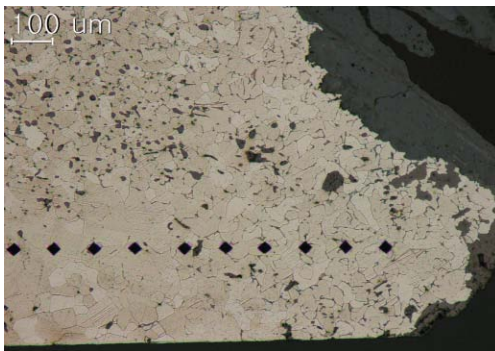
2) 철부 b 부위 횡단면

사진 70은 사진 64의 날에 해당하는 b 부위에서 채취한 시편의 전체 조직 사진으로 상단이 날 선단을 향하고 하단이 내부를 향하고 있으며 우측과 표면 일부는 부식되어 있다. 시편은 탄소를 거의 포함하지 않는 순철의 페라이트 조직으로서 비금속개재물이 시편 전역에서 작은 덩어리 형태로 분포하며 가공 방향으로 연신되어 있다. 이는 소재가 a 날 부위에서와 같이 저온환원법으로 생산된 괴련철로서 제련 과정에서 노 내의 용탕온도가 너무 낮아 용탕과 슬래그의 완전 분리가 되지 않은 상태에서 소재 내에 포함 된 것으로 보인다.

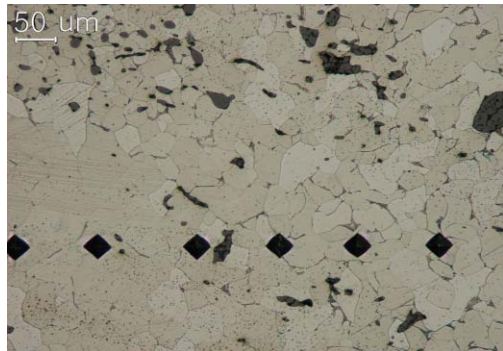
사진 71, 72는 사진 70의 하단 우측을 확대한 사진으로 내부의 페라이트 조직과는 달리 퍼얼라이트를 일부 포함하고 있다. 사진 71, 72는 사진 70의 하단 우측을 확대한 사진으로 조직의 가장자리에 페라이트 조직 입계 사이로 탄화물을 일부 포함하고 있다. 이와 같은 소량의 탄화물로 보아 철산화물로 부식된 표면으로부터 침탄이 수행되었고 표면으로 갈수록 많은 탄소를 포함할 것으로 판단된다. 또한 침탄이 수행된 가장자리는 단조 가공으로 결정립에 변형이 발생하였고 조밀한 조직을 이루고 있다. 사진 73은 사진 71의 우측을 확대한 사진으로 입계 사이로 침탄으로 인한 퍼얼라이트 조직이 형성되어 있고 시멘타이트가 구상화되어 있다. 제작과정은 괴련철을 소재로 표면에 침탄 처리가 이루어진 소재를 사용하여 오스테나이트 영역 아래의 고온에서 단조 가공으로 성형 작업이 수행되고 공기 중에 냉각한 것으로 판단된다. 표면 근처의 페라이트 경도값이 145HV에서 106HV으로 내부로 갈수록 감소하며 이는 침탄과 가공 응력에 의한 결정립의 미세화에 기인한다.



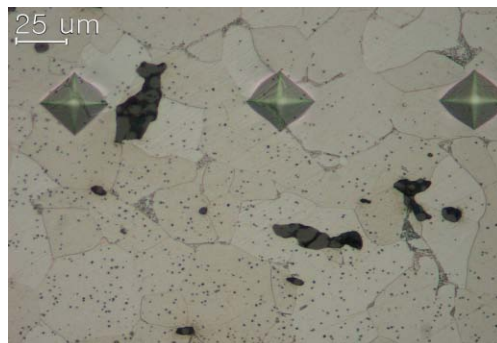
〈사진 70〉 철모 b 부위 횡단면 조직.



〈사진 71〉 사진 70의 하단 우측.



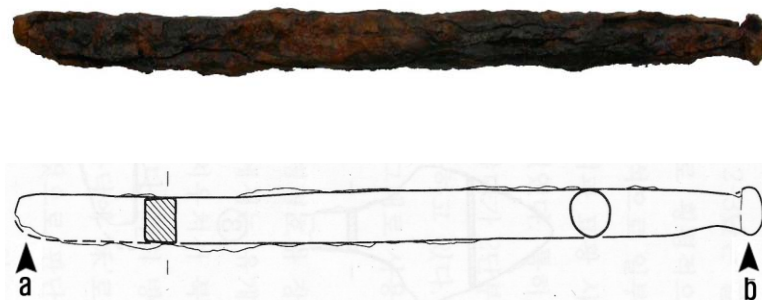
〈사진 72〉 사진 71의 일부.



〈사진 73〉 사진 72의 일부.

2.4. 철정

사진 74는 26호 석곽묘에서 출토된 철모로 선단부가 일부 결실되었으나 원형에 가까운 형태이다. 표면은 전체적으로 부식으로 균열되었으며 못의 머리쪽 단면 형태는 원형이고 아래쪽 선단부의 단면 형태는 방형이다. 잔존 길이 21.4cm, 신부 너비 1.3cm, 신부 두께 1.2cm이다.²⁸⁾ 상단의 것은 사진이고 하단은 실측도이며 시편은 화살표 a, b에서 채취하였다.



〈사진 74〉 안양리 고분군 26호 석곽묘 출토 철정.

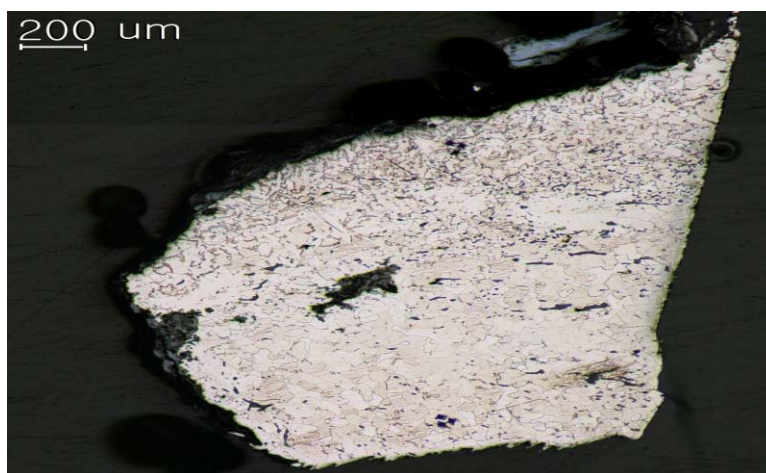
1) 철정 a 부위 횡단면

사진 75는 사진 74의 선단에 해당하는 a 부위에서 채취한 시편의 전체 조직사진으로 좌측이 날 선단을 향하고 우측이 내부를 향하고 있으며 하단의 표면 일부가 시편 채취 과정에서 결실되었다. 시편의 상단 표면에 어둡게 보이는 부분이 탄소함량이 높고 결정립이 조밀하며 내부로 갈수록 밝게 보이는 페라이트의 양이 증가하여 순철에 가까운 조직이 확인된다. 침탄이 주로 상단 표면에 국한되고 단조 가공도 이 방향을 중심으로 수행되어 하단의 표면보다 결정립이 미세화 되어 있다.

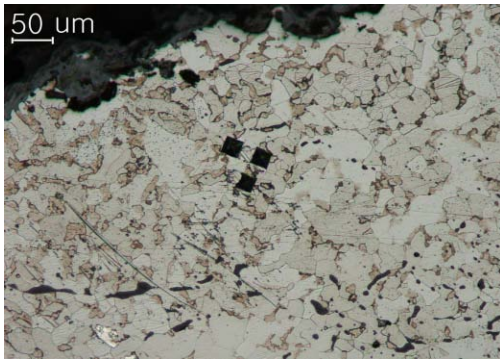
사진 76, 78은 사진 75의 상단 부위를 확대한 사진으로 페라이트의 결정 입계 사이로 담금질 조직인 마르텐사이트와 퍼얼라이트가 일부 확인되고 있다. 표면에 침탄처리를 실시하고 담금질을 하였으나 냉각속도가 충분하

28) 주 17의 p. 127.

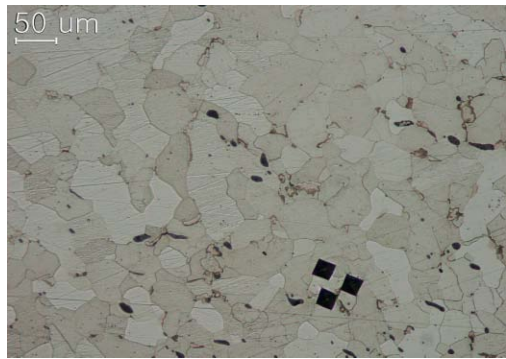
지 못하여 마르텐사이트 조직과 펄라이트가 동시에 생성되어 있다. 사진 79는 사진 76에서 어둡게 보이는 부분을 확대한 SEM사진으로 바깥의 어두운 부분들은 페라이트 조직이고 중심의 밝은 부위에서 마르텐사이트 조직과 미세한 펄라이트 조직이 동시에 관찰되고 있다. 담금질 후 실시된 고온에서의 열처리와 단조 가공으로 펄라이트 조직내 시멘타이트상이 입자 형태로 탄화되고 결정립의 변형도 가져온 것으로 생각된다. 순철을 소재로 성형과 침탄을 실시하고 급냉처리로 담금질 조직을 생성하였으며 이후 뜨임처리가 있었던 것으로 판단된다. 사진 77은 하단 부위를 확대한 사진으로 성형 가공과 침탄이 상단보다 작게 가해져 페라이트 조직이 조대하고 담금질 조직이 현저하게 줄어들었다. 시편의 상단과 하단부위의 경도값이 181Hv와 157Hv로 다소 높은 것은 가공에 의한 결정립의 조밀화와 담금질의 영향으로 보인다. 사진 80은 사진 77의 비금속개재물 부위를 확대한 사진이다. 그림 10은 사진 80의 1지점에 대한 EDS 분석 결과로 철 산화물이며, 그림 11은 2지점에 대한 분석 결과로 Si, Ca, Al, K, 등의 원소가 철 산화물 형태로 포함되어 있다. 이는 우스타이트와 함께 철광석을 제련할 때 생성되는 유리질 슬래그로서 고체저온환원법에 의해 생산된 괴련철임을 알 수 있다.



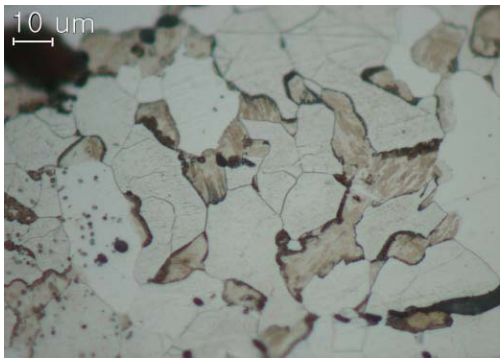
〈사진 75〉 철정 a 부위 횡단면 조직.



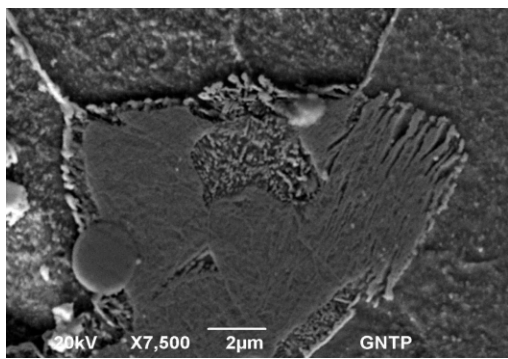
〈사진 76〉 사진 75의 상단.



〈사진 77〉 사진 75의 하단.



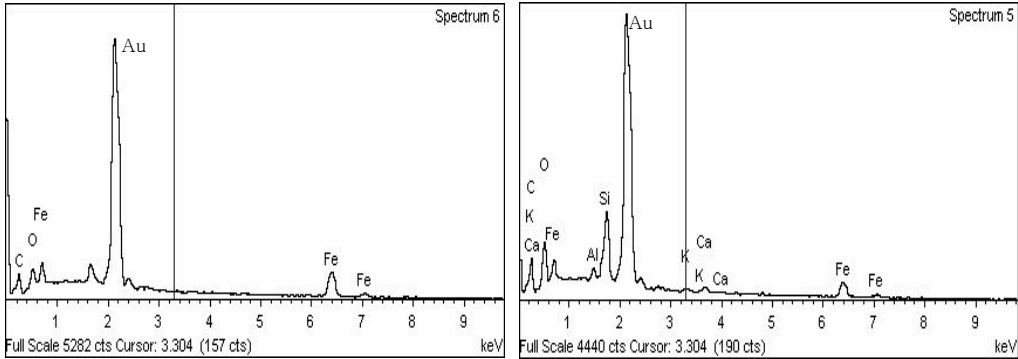
〈사진 78〉 사진 76의 일부.



〈사진 79〉 사진 76의 SEM사진.



〈사진 80〉 사진 77의 비금속개재물.

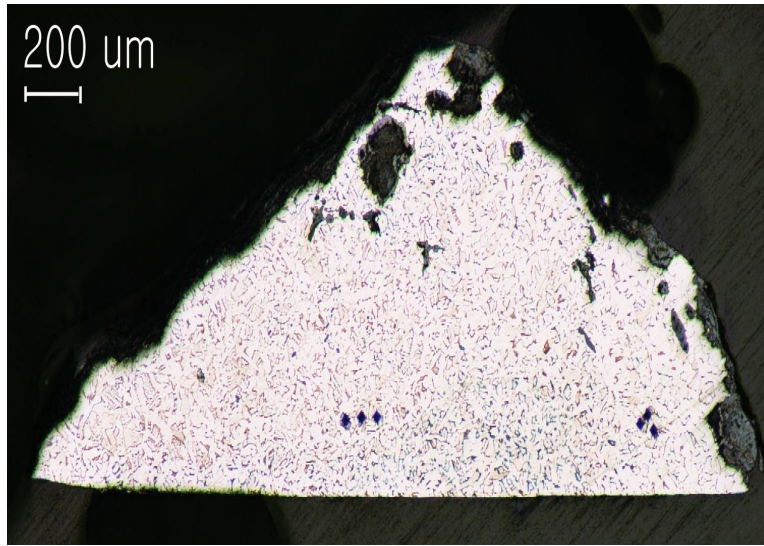


〈그림 11〉 사진 49의 1지점 EDS분석. 〈그림 12〉 사진 49의 2지점 EDS분석.

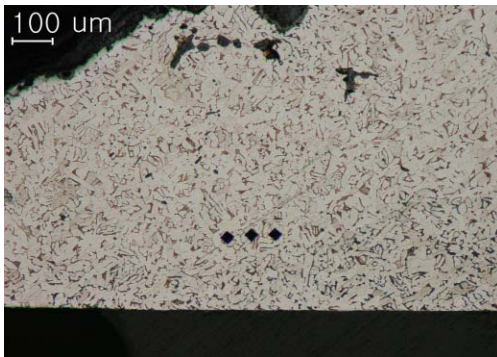
2) 철정 b 부위 횡단면

사진 81은 사진 74의 두부에 해당하는 b 부위에서 채취한 시편의 전체 조직사진으로 하단이 내부를 향하고 있고 좌·우측 경사진 면이 표면을 향하고 있다. 밝게 보이는 페라이트 기지 입계 사이로 탄화물이 확인되고 조직 전체에 균일하게 분포하고 있다. 사진 82, 83은 사진 81의 하단 중앙을 확대한 사진으로 오스테나이트의 결정립계에 페라이트가 침상 또는 판상으로 석출되는 과열조직인 비드만스웨튼과 유사한 형태를 하고 있다. 소재는 탄소함량이 0.3% 정도를 포함하며 퍼얼라이트 조직이 고르게 분포하고 있어 성형에 앞서 제강과정을 거친 탄소강으로 판단된다. 이러한 조직은 탄소가 어느 정도 포함된 강에서 1000℃ 이상의 고온으로 가열할 때 고탄 지역이 과열되어 페라이트 결정립이 비정상적으로 성장한 것으로 공기 중에 빠른 속도로 냉각될 때 생성되지만 크게 성장하지 못하고 있다. 이는 소재 내의 탄소함량이 부족하고 표면에서 탈탄이 거의 발생하지 않은 것으로 보아 완전한 과열조직을 형성할 만큼 가열온도나 가열시간이 충분하지 못한 것으로 판단된다. 소재 내에 확인되는 조밀한 결정립은 고체침탄법을 사용하여 침탄과 더불어 접고 두드리는 가공을 반복적으로 실시한 것으로 판단되며 1000℃ 이상의 고온이 가해져 탄소가 과열되면서 비드만스웨튼과 유사한 조직이 형성되었다. 과열조직은 철모의 성형 후 선단부에 가해진 고온의 침탄에 의한 영향으로 생성된 것으로 보인다. 사진 84는 사진 81의 확대

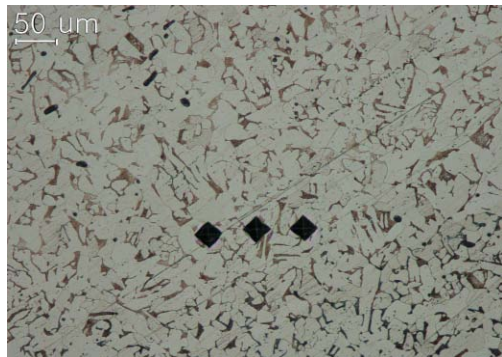
사진으로 공석온도 이하에서 장시간의 열처리와 성형 가공으로 퍼얼라이트의 내의 시멘타이트가 일부 분해되어 구상화되어 있다. 경도값은 시편 전 부위에서 비슷하며 평균 144Hv를 나타낸다.



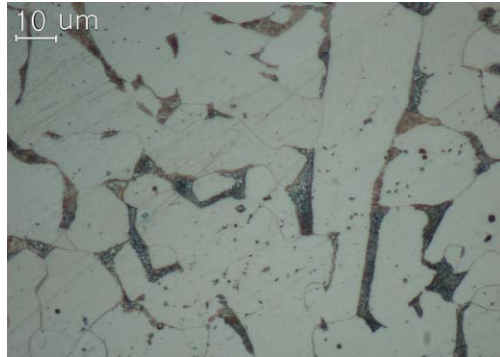
〈사진 81〉 철정 b 부위 횡단면 조직.



〈사진 82〉 사진 81의 하단 중앙.



〈사진 83〉 사진 81의 일부.



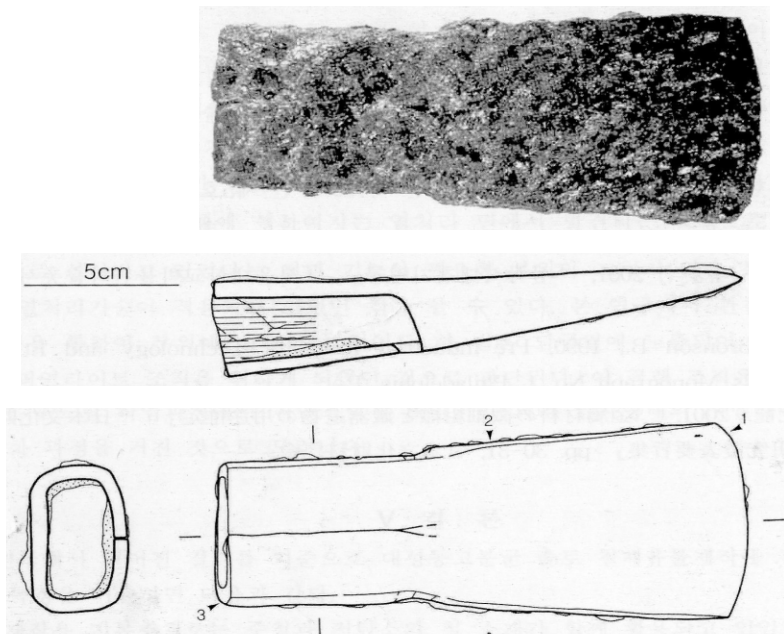
〈사진 84〉 사진 81의 일부.

3. 김해 대성동고분군²⁹⁾

3.1. 철부

사진 85는 2세기 전반으로 추정되는 제60호 목관묘 출토 단조철부의 외형으로 상단의 것은 사진이며 하단은 실측도이다. 도끼는 그 기능상 날에 특별한 강도가 요구되므로 이 부위를 강화하기 위한 특별한 기술이 적용되었을 가능성이 크다. 이 점을 확인하기 위하여 실측도에 화살표 1, 2, 3으로 표시된 바와 같이 날 부위 한 곳과 여타부위 두 곳에서 시편을 취하게 되었다.

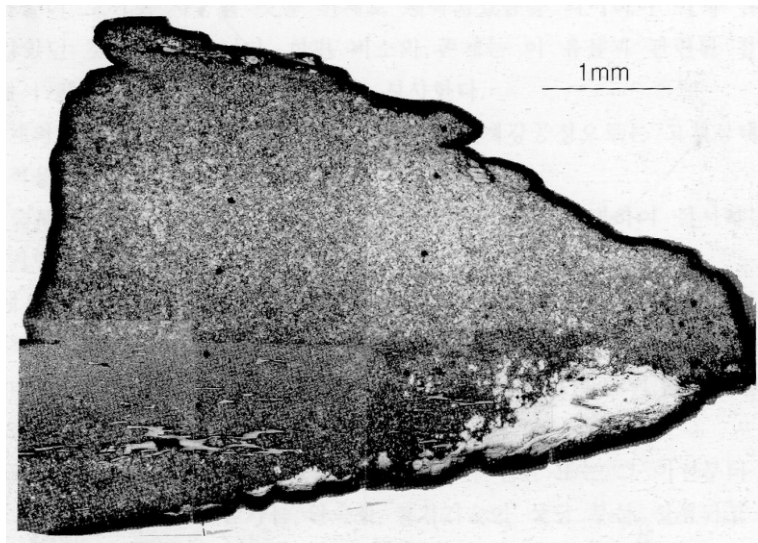
29) 주4의 pp. 326~331.



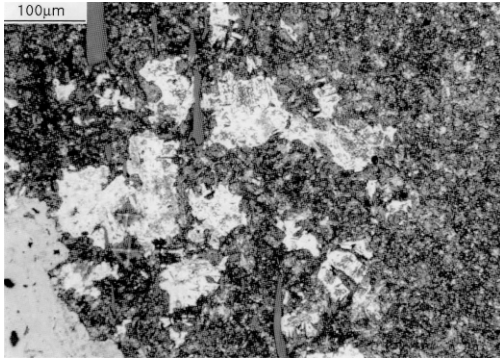
〈사진 85〉 대성동 고분군 60호 목관묘 출토 단조철부.

사진 86은 날에서 취한 시편 전체를 보여주는 광학현미경 조직사진으로 우측이 날 선단에 해당하며 좌측이 몸체로 연결된다. 사진 87, 88은 사진 86에 보이는 조직을 확대한 사진이다. 두 사진 모두에서 비교적 검게 보이는 조직이 우세하나 사진 87의 좌측에 한하여 밝게 보이는 조직이 몇 군데 확인되며 상하로 늘어진 불순 개재물의 존재 또한 관찰된다. 눈에 인접한 밝은 부위 내에 보이는 두개의 마름모는 500g 하중에서의 비커스 경도측정 자국으로 위에 있는 작은 것이 Hv=700에 해당하며 아래의 큰 것이 Hv=550에 해당한다. 한편 사진 86의 좌측 중심부를 확대한 사진 88은 어둡게 보이는 조직이 주를 이루고 있고 좌우측에서 비커스 경도를 측정한 결과 Hv=250에 해당하는 수치가 얻어졌다. 사진 89, 90은 이들 두 부위를 확대한 전자현미경 조직사진으로 사진 89는 명암이 다른 두 가지 부위가 공존하고 있는 반면 사진 90은 밝은 부위가 단독으로 존재하고 있다. 이 두 그림에서 밝게 보이는 곳을 자세히 관찰하면 비교적 어두운 바탕을 배

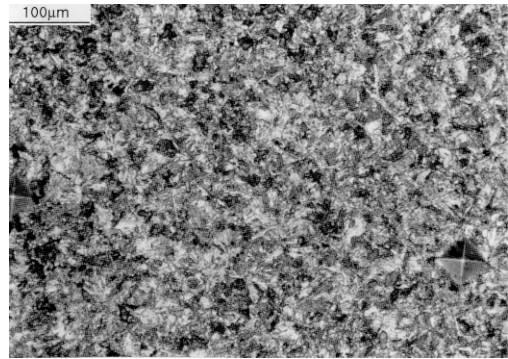
경으로 입자 또는 실 형태의 밝은 조직이 혼재하고 있음을 볼 수 있다. 여기에서 바탕은 탄소함량이 낮은 페라이트상에 해당하며 밝은 조직은 탄소함량 6.7%의 시멘타이트상에 해당한다. 이와 같이 페라이트와 시멘타이트가 얹혀 있는 조직을 퍼얼라이트라 부르는데 여기에서와 같은 미세한 배열 행태는 비교적 빠른 속도로 냉각시킬 경우 얻어진다. 이에 비하여 사진 89의 어두운 부위에서는 단일상의 존재가 확인되고 그 형상과 경도치로 보아 여기에는 담금질 조직인 마르텐사이트상이 형성되어 있음을 알 수 있다. 날 부위 조직은 미세한 퍼얼라이트를 위주로 표면 가까운 곳에 한하여 담금질 조직인 마르텐사이트가 일부 존재하고 경도값 Hv=700은 대략 0.5% 정도의 탄소를 함유하는 강철에서 얻어진다. 또한 마르텐사이트가 존재한다는 것은 여기에 담금질 처리가 수행되었음을 의미하며 이 조직이 표면에 한하여 분포하고 있음은 이러한 처리가 날 부위 전체를 목표로 하지 않고 표면만을 겨냥하여 실행되었음을 나타낸다.



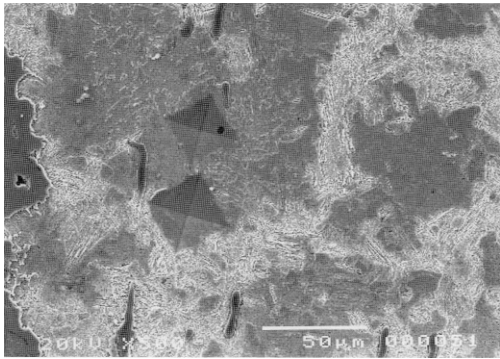
〈사진 86〉 사진 85의 1부위 조직.



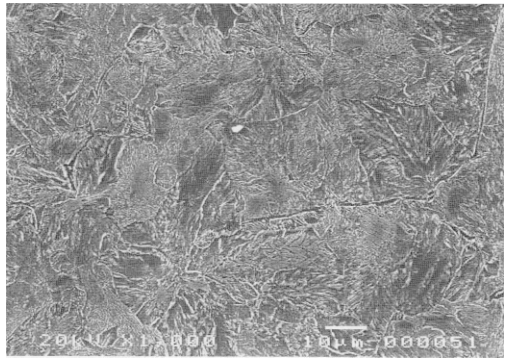
〈사진 87〉 사진 86의 우측 하단.



〈사진 88〉 사진 86의 좌측 중앙.



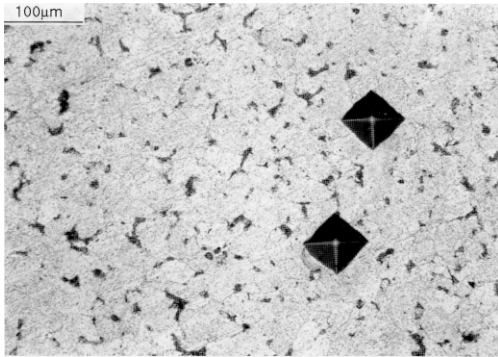
〈사진 89〉 사진 86의 우측 일부.



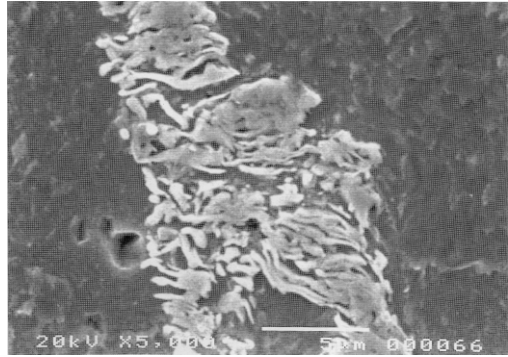
〈사진 90〉 사진 86의 좌측 일부.

사진 91, 92는 각각 광학현미경과 전자현미경을 사용하여 도끼의 몸체에 서 취한 시편의 미세조직을 촬영한 것이다. 사진 91은 밝은 바탕에 점점이 검은 부위가 자리하고 있고 여기에서 밝은 부위는 페라이트에 해당하며 어두운 곳에는 퍼얼라이트가 자리하고 있다. 사진 92는 퍼얼라이트와 그 주변 페라이트를 확대한 것으로 밝은 부위는 미세한 퍼얼라이트 조직으로 볼 수 있으나 일부에서는 담금질 조직으로 볼 수 있는 흔적도 발견된다. 이 철부의 몸체는 탄소함량이 낮은 철 소재가 사용된 것으로 판단할 수 있고 의도적인 열처리의 흔적은 없으나 밝은 부위에 보이는 조직의 형상으로 보아 이 시편에는 담금질에 가까운 급냉처리에 이어 고온단조작업이 실시된 것으로 판단된다. 사진 91에 보이는 경도자국은 Hv=160에 해당하며 이는

탄소함량이 극히 낮은 연철 소재에서 얻어지는 수치이다.

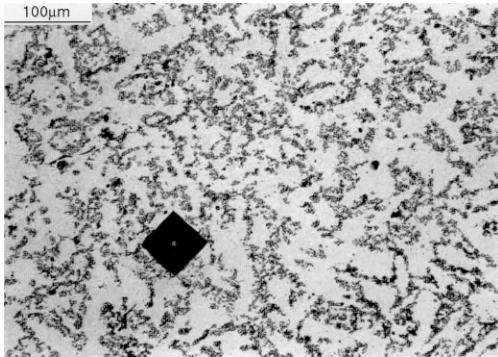


〈사진91〉 사진85의 2부위 조직.

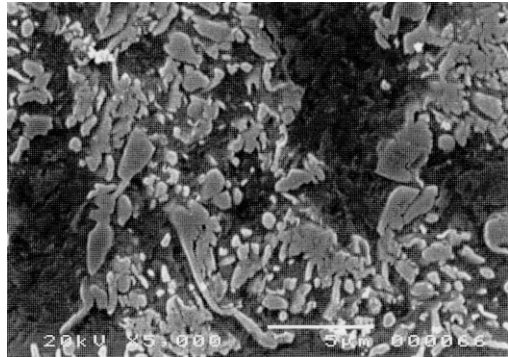


〈사진 92〉 사진 91의 SEM사진.

사진 93, 94는 각각 광학현미경과 전자현미경을 사용하여 철부의 공부에서 취한 시편의 미세조직을 촬영한 것이다. 이 사진에서 확인되는 조직상의 특징은 여기에 탄소함량이 다소 높다는 점을 제외하면 사진 91, 92와 대동소이 하며 절대 탄소량은 높지 않은 편이다. 사진 94에서 둥근 입자 형태의 시멘타이트가 출현하기 위해서는 비교적 높은 온도에서 실시되는 장시간의 열처리가 필요하며 고온 열처리과정에서 두드림 작업이 함께 실시되거나 또는 마르텐사이트나 미세한 퍼얼라이트 조직을 대상으로 할 경우 이들의 출현에 필요한 처리 시간을 줄일 수 있다. 공부는 몸체에서와 같이 탄소함량이 낮은 철 소재가 사용되었으며 가공과정에서 실시된 고온 단조 작업의 영향으로 입자형태의 시멘타이트상이 출현한 것으로 판단된다. 이 시편의 경도는 Hv=150 정도로 매우 낮은 편이다.



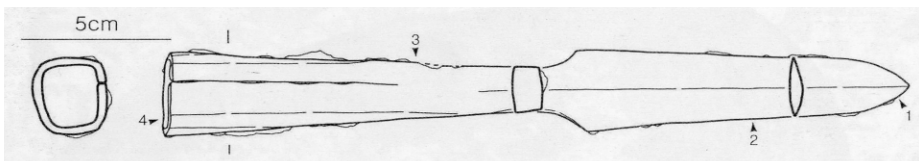
〈사진93〉 사진85의 3부위 조직.



〈사진 94〉 사진 93의 SEM사진.

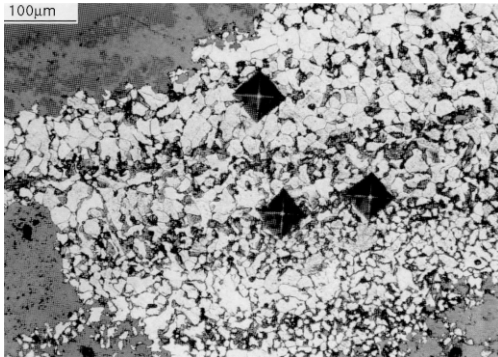
3.2. 철모

사진 95는 철모의 외형으로 머리부와 공부가 분명하게 구별되어 있음을 보여준다. 이 유물 역시 제 60호분에서 출토되었다. 창은 기능면에서 머리부위 중에서도 그 침단에 특별한 강도가 요구될 것이므로 이를 강화하기 위한 특별한 기술이 적용되었을 가능성이 크다. 이 점을 확인하기 위하여 실측도 상에 화살표로 표시한 네 부위에서 시편을 취하여 그 미세조직을 분석하였다.

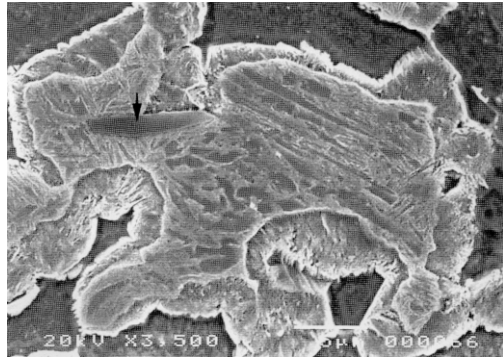


〈사진 95〉 대성동 고분군 60호 목관묘 출토 철모.

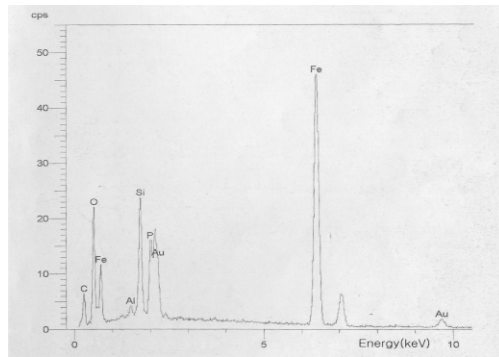
사진 96은 실측도에 화살표 1로 표시된 창끝 부위에서 취한 시편의 조직을 보여주는 광학현미경 사진으로 밝게 보이는 페라이트를 바탕으로 검게 보이는 조직이 좌우로 층을 이루며 자리하고 있다. 사진에 보이는 비커스 경도측정 자국 중 위의 것은 주로 페라이트 구역에 자리하고 있으며 아래의 것 2개는 검게 보이는 구역과 페라이트 구역에 걸쳐 있으며 위의 것은 $H_v=220$ 에 해당하며 아래의 것 2개는 $H_v=250$ 에 해당한다. 이러한 차이는 검게 보이는 부위의 탄소함량이 비교적 높음에 기인한다. 사진 97은 사진 96의 어둡게 보이는 부분을 확대한 전자현미경 사진으로 중심에 위치한 밝은 부위에는 내부의 조직과 이를 두르고 있는 외곽의 조직이 분명한 경계를 형성하고 있다. 조직의 형태로 보아 내부의 것은 담금질 조직인 마르텐사이트에 해당하며 외곽의 것은 미세한 퍼얼라이트 조직으로 판단된다. 여기에서와 같이 마르텐사이트와 미세한 퍼얼라이트가 함께 존재하게 된 것은 이 부위에 담금질에 가까운 처리가 가하여졌으나 그 정도가 충분하지 못하여 일부 퍼얼라이트 조직이 출현하게 되었음에 기인한다. 사진 96에서와 같이 검은 부위가 페라이트를 바탕으로 층을 이루며 존재한다는 사실은 열처리 전부터 탄소함량이 높고 낮은 부위가 층을 이루고 있었음을 시사한다. 이는 탄소함량이 불균일한 철 소재가 유물제작에 공급되었으며 이를 대상으로 하는 성형과정에서 접고 두드리는 작업이 반복되었음을 의미한다. 사진 97의 화살표로 표시한 곳에 불순 개재물의 존재가 확인되고 여기에서 취한 EDS 스펙트럼으로 이의 주 구성성분이 Fe와 Si 산화물임을 보여준다. 이는 제련과정에서 발생하는 슬래그의 주요 성분과 일치하는 것으로 이 개재물이 철 소재에 잔류하게 된 슬래그에 해당하는 것임을 보여준다. 그림 12에서 P 함량이 매우 높게 나타나고 있는데 이는 제련과정에 인 함량이 높은 철광석이 사용되었을 가능성을 시사하는 것으로 향후 광석단지를 추정함에 단서가 될 수 있다.



〈사진96〉 사진95의 1부위 조직.

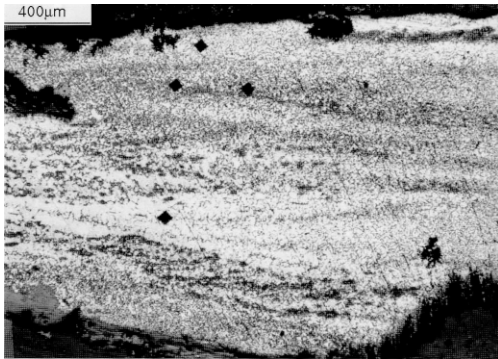


〈사진 97〉 사진 96의 SEM사진.

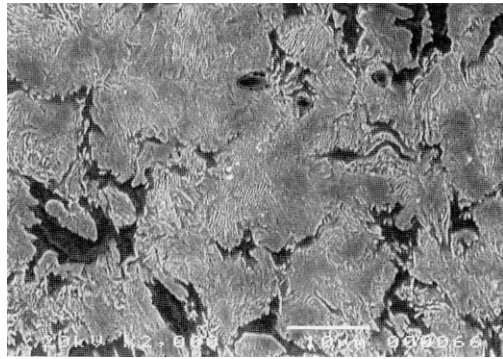


〈그림13〉 사진97의 화살표 부위 EDS분석.

사진 98은 실측도에 화살표 2로 표시된 곳에서 취한 시편의 조직을 보여주는 광학현미경 사진으로 측면 날에 해당한다. 여기에도 밝게 보이는 페라이트 바탕에 검게 보이는 조직이 층을 이루며 자리하고 있고 비커스 경도를 측정한 결과 밝은 구역에서 $H_v=190$ 그리고 어두운 곳에서는 $H_v=210$ 이다. 사진 99는 사진 98의 어둡게 보이는 곳 주변을 확대한 전자현미경 사진으로 마르텐사이트와 미세한 퍼얼라이트 조직이 함께 자리하고 있다. 그러나 여기서는 사진 97에 비하여 미세한 퍼얼라이트 부위가 차지하는 비중이 훨씬 높게 자리하고 있다.

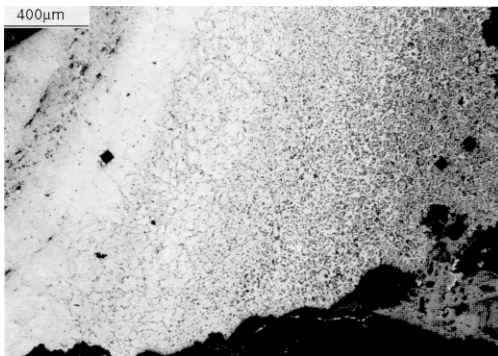


〈사진98〉 사진95의 2부위 조직.

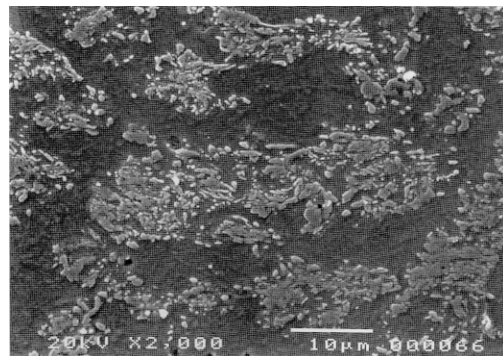


〈사진 99〉 사진 98의 SEM사진.

사진 100은 실측도에 화살표 3으로 표시된 곳에서 취한 시편의 조직을 보여주는 광학현미경 사진으로 창 의 자루에 해당한다. 역시 밝은 페라이트 바탕에 검게 보이는 조직이 자리하며 분명하지는 않으나 여기에서도 상하로 형성된 층상 구조의 흔적이 발견된다. 경도는 좌측의 페라이트 구역에서 Hv=180 그리고 우측의 어두운 곳에서 Hv=190의 값이 얻어졌다. 사진 101은 사진 100의 일부를 확대한 전자현미경사진으로 바탕을 이루고 있는 검은 부위가 페라이트며 그 위에 입자 형태로 존재하는 조직은 시멘타이트이다. 이처럼 입자화 된 시멘타이트가 얻어지려면 고온에서 수행되는 열처리가 필수적이며 마르텐사이트나 미세한 퍼얼라이트 조직을 대상으로 두드림 작업을 병행할 경우 이의 출현을 촉진할 수 있다.

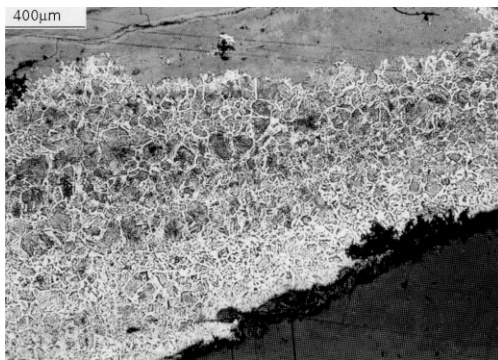


〈사진100〉 사진95의 3부위 조직.

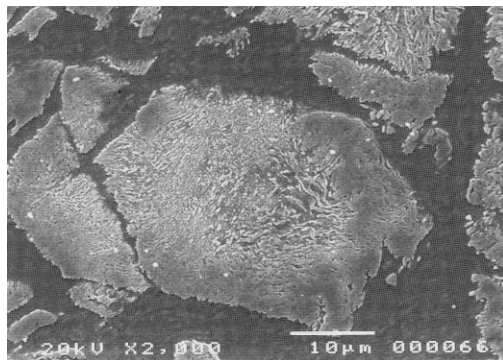


〈사진101〉 사진100의 SEM사진.

사진 102는 실측도에 화살표 4로 표시된 공부에서 취한 시편의 조직을 보여주는 광학현미경 사진으로 여기에는 어두운 부위가 광범위하게 자리하고 있다. 사진 103은 이의 일부를 전자현미경으로 확대한 것으로 여기에서도 페라이트 바탕에 마르텐사이트와 미세한 퍼얼라이트가 함께 자리하고 있으며 일부 시멘타이트상에는 구상화 흔적도 발견된다.



〈사진102〉 사진95의 4부위 조직.



〈사진103〉 사진102의 SEM사진.

4. 유물별 제작기술 고찰

4.1. 함안 오곡리 대도

함안 오곡리 고분군 17호에서 출토된 대도는 날 부위와 등 부위의 소재로 이미 제강과정을 거친 탄소강을 사용하고 있으며 탄소함량은 날 부위가 0.2% 등 부위가 0.8%에 이르는 공석강을 사용하고 있다. 소재 내에 포함된 탄소량의 균일한 조성과 결정립 크기가 표면과 내부에서 큰 차이가 발생하지 않는 것으로 보아 제강작업이 완료된 강을 사용하여 성형가공이 이루어졌음을 알 수 있다. 그러나 날 부위와 등 부위에서 확인되는 소재 내의 탄소량의 차이는 동일한 소재를 사용하여 한쪽을 침탄 혹은 탈탄하여 제작한 것으로는 생각되지 않는다. 조직 내의 탄소의 분포와 조성에서 순

철을 소재로 침탄 가공한 흔적이 발견되지 않으며 등 부위는 높은 탄소강으로서 주철을 탈탄시켜 제작한 것으로 판단되기 때문이다. 따라서 대도에 사용된 소재는 탄소함량이 다른 두 종류의 탄소강을 단접하여 제작하였을 가능성이 크며, 날 부위는 소재에 포함된 비금속개재물에 철광석 입자와 슬래그가 포함된 것으로 보아 저온환원법에 의해 생산된 괴련강일 것으로 생각된다.

제조과정에서 날 부위는 0.2%의 탄소강으로 고온에서 성형한 후 담금질 처리로 강도를 높이기 위한 작업을 수행하였다. 그러나 담금질 속도에서 a와 b 날 부위에서 차이가 발생하며 a 날 부위에서는 생성되지 않는 퍼얼라이트 조직이 b 날 부위에서 마르텐사이트와 같이 생성되고 있다. 이것은 b 날 부위의 담금질 속도가 a 날 부위만큼 충분하지 못했다는 것을 알 수 있다. 등 부위는 0.8%의 강을 소재로 형태 제작을 위한 성형 작업만 이루어졌으며, 결정립이 조대하고 소재 내에 비금속개재물을 포함하지 않고 있어 제강방법으로서 주철을 탈탄시켜 제작한 것으로 생각된다.

제조과정은 날과 등 부위에 탄소함량이 고르게 분포하는 강을 사용하여 제강→성형→열처리의 제작공정을 거쳤다고 보인다.³⁰⁾ 날 부위는 날에 높은 강도를 부여하고자 공석온도 이상의 고온에서 조직을 오스테나이트화시킨 후 담금질하여 마르텐사이트 조직을 생성하였지만 탄소함량의 부족으로 인해 강도를 높이기에는 한계가 있어 보인다. 등 부위의 제작은 크게 강도를 요구하지 않지만 고탄소강을 사용하여 공석온도 이하의 고온에서 성형하여 강도와 인성을 높임으로서 날 부위에서 받는 충격을 완화시키고 취성을 낮추고자 하는 의도가 있었던 것으로 볼 수 있다. 또한 등 부위의 퍼얼라이트상에서 탄화층이 가공에 의해 일부 분해된 것이 나타나고 이는

30) 철기 제작과정 체계는 경주지역을 중심으로 한 성형→제강→열처리 공정과 백제 유적에서 발견된 제강→성형→열처리 공정으로 구분된다. 전자는 황남대총 남분에서 확인된 기술체계이고 후자는 천안 용원리, 천안 신평리, 대전 구성동 등지에서 확인되었다.

유재은, 『고대 철기의 미세조직 분석과 제조기술 연구 -경기지역 산성 출토 유물을 중심으로-』, 단국대학교 박사학위논문, 2002.

날 선단의 제작 후에 등 부위를 비교적 고온에서 성형하는 과정에서 발생한 것으로 이때 자연히 날 선단부도 뜨임처리된 것으로 보인다.

그러나 대도의 제작에서 날 부위에 탄소함량이 낮은 강을 소재로 담금질한 후 뜨임처리를 함으로써 등 부위와의 경도값에서 별다른 차이를 보이지 못하고 있다. 대도의 제작에 사용된 균질한 탄소강에서 보듯이 제강 기술은 뛰어난 것으로 보이나 소재의 함탄량을 정확히 알고 필요한 곳에 적절히 사용하는 기술적인 측면은 부족한 것으로 보인다.

4.2. 함안 오곡리 철부

함안 오곡리 고분군 63호에서 출토된 철부는 날 선단부와 공부의 탄소함량으로 보아 동일한 소재를 사용하였다. 날 선단부와 공부의 조직 내에 포함된 탄소의 균질한 분포 조성은 순철을 소재로 성형 후 침탄시킨 강의 조직이 아니라 침탄과 더불어 접고 두드려 소재 내에 탄소가 고르게 분포된 것이다. 따라서 소재는 미리 제강과정을 거친 탄소강으로 판단되며 탄소함량은 0.3~0.4%에 이르는 것으로 보인다. 또한 날 선단부에서 가공 방향으로 길게 연신된 불순물은 철 소재 내에 본래부터 존재하던 것으로 원 소재가 저온환원법에 의해 제련된 괴련철일 가능성이 높다.

제작과정에서 날 부위는 탄소강을 소재로 높은 온도로 가열한 후 성형하고 담금질을 실시하였으며 내부로 갈수록 냉각속도의 차이로 인해 담금질 조직인 마르텐사이트가 감소하고 퍼얼라이트가 증가한다. 이로서 날 부위 전체가 아닌 날 선단에만 담금질을 하여 강도를 강화시키고자 하였다. 공부는 1000℃ 이상의 높은 온도로 소재를 가열할 때 탄소를 많이 포함할수록 용융온도가 낮아지는 것과 같이 고탄소 부위가 다른 곳보다 과열되어 페라이트가 비정상적으로 성장한 비드만스튜텐 조직이 생성되었고 비교적 고온에서 성형작업이 수행되었다. 이러한 비드만스튜텐 조직은 현대의 제조공정에서는 피해야 할 조직으로 결정립의 비정상적인 성장 상태에서 형성되는 이유로 경·강도와 같은 기계적 특성을 크게 저하시키는 요소로 작용하고 조대한 침상막대 구조는 균열 저항성을 저하시켜 결국 재료의 연성

과 인성을 떨어뜨리는 요인으로 작용한다.³¹⁾ 날 선단부는 급랭시켜 담금질 하였고 공부는 퍼얼라이트상의 탄화층이 분해되어 시멘타이트상이 입자 형태로 출현하고 있으며 이는 공석온도 이하에서 장시간의 열처리가 실행되었다는 것을 알 수 있고 날 선단부도 이러한 제작공정에 따라 뜨임처리가 수행된 것으로 보인다. 전체적인 제작공정은 제강-성형-열처리의 순서로 이루어졌다.

철부의 제작에 사용된 소재는 탄소함량이 충분하지 않으며 담금질 후 실시된 뜨임처리로 인해 날 선단부의 강도가 높지 않고 공부에서 확인되는 과열조직으로부터 철부 제작에 사용된 기술 수준은 높다고 볼 수 없다.

4.3. 함안 오곡리 철모

함안 오곡리 고분군 51호에서 출토된 철모는 날 선단부와 날 후단부 및 공부에 사용된 소재에서 차이를 보이고 있다. 날 선단과 공부는 이미 제강 과정을 거친 공석강을 사용하고 있으며 날 후단부는 순철을 소재로 표면부에 침탄 처리한 강을 사용하고 있다. 날 후단부는 침탄으로 인해 표면에서 탄소함량이 증가하였고 고온의 환경에서 표면의 고탄소 부위가 과열조직을 생성하고 있으며 날 선단과 등 부위는 주철을 소재로 탈탄시켜 제작한 고탄소강을 사용하고 있다. 철모 제작방법에서 순철을 소재로 침탄처리를 한다면 공석강이 나타나기 힘들다. 반면에 전체를 고탄소강을 소재로 사용하면 날 후단부와 같이 내부에 페라이트가 존재하고 표면에 탄소를 포함하는 조직을 만들 수 없다. 따라서 날 후단부는 저온환원법에 의해 제련된 비금속개재물을 포함하는 괴련철을 소재로 사용하고, 선단부 날과 공부는 성형 가공 이전에 제강과정을 거친 공석강을 이용하여 각 부위별로 다른 소재를 사용하여 제작한 것으로 보인다.

철모의 각 부위에서 나타나는 조직의 특징으로서 날 선단은 시멘타이트가 구상화된 입자 형태의 탄화물이 조직 전체에 균일하게 분포한다. 날 후단

31) 고흥순, 『고대 철기유물의 침탄과 열처리에 대한 연구』, 강릉대학교 석사학위논문, 2002.

부는 페라이트가 고온에서 비정상적으로 성장하는 비드만스토펜 조직이 나타나며, 공부는 변태온도가 낮을 때 발생하는 미세한 층상의 퍼일라이트가 생성되어 있다. 소재 내의 탄소함량과 조성 및 미세조직의 차이로부터 제작과정을 추론하면, 먼저 순철을 소재로 표면을 침탄처리 하여 과열조직을 가지는 날 후단부와 소재가 공석강인 날 선단부를 단접하여 공석온도 이하에서 심한 단조가공이 수행된 것으로 생각된다. 이후 공석강의 소재를 가지는 공부와 단접하고 비교적 낮은 온도에서 형태 제작을 위한 최소한의 가공만으로 작업이 이루어진 것으로 판단된다.

철모의 날 선단은 탄소함량이 높은 공석강을 사용하여 강도를 높이려고 하였지만 담금질 처리가 수행되지 않았고 공석온도 이하에서 단조가공이 심하게 이루어져 강도를 요구하는 날 선단의 특성을 반영하지 못하고 있다. 날 후단부와 공부는 특별히 강도를 필요로 하지 않지만 날 후단부의 과열조직은 기계적 특성을 감소시키며, 공부에 경제적 가치가 높은 고탄소강을 사용하여 제작한다는 것은 용도와 기능에 맞지 않게 비효율적으로 소재를 선택하여 사용하고 있다는 것을 보여준다.

4.4. 김해 안양리 철부

김해 안양리 고분군 66호에서 출토된 철부는 날 선단부와 공부에서 확인되는 순철에 가까운 페라이트 조직과 비금속개재물에 대한 EDS분석 결과 저온환원법으로 생산된 순철을 단일 소재로 사용하였음을 알 수 있다. 제작방법은 강도가 요구되는 날 부위에 성형작업 후 침탄을 실시하고 담금질 처리를 하였으며 특별히 강도를 요구하지 않는 공부는 순철을 소재로 형태 가공만 하였다. 날 부위는 강도를 강화시키기 위해 침탄처리와 담금질을 하였으나 탄소함량이 적고 담금질 속도가 충분하지 않아 강한 강도를 요구하는 용도에는 적합하지 않았을 것이다. 침탄처리 후 날 부위에만 열처리를 가하여 마르텐사이트 조직을 얻음으로서 강도를 높이려고 하였지만 담금질 효과를 얻을 수 있을 정도의 충분한 침탄이 이루어지지 않고 있어 기술적으로 함탄량이 어느 정도인지 알기 힘들었던 그 당시의 기술수준을 보

여주고 있다.

단조품의 철기 제작공정은 크게 강을 소재로 단조가공으로 성형한 후 열처리 작업을 거치는 방법과 순철을 소재로 성형 후 필요한 부위에 침탄 처리를 가하여 강을 제작하고 열처리 하는 공정을 거친다. 강 소재를 만들기 어려웠던 고대의 철기류 제작에서 제강방법과 기능에 부합하는 강 소재의 선택 및 사용량은 제작기술을 알 수 있는 중요한 요소로서 시대적, 지역별로 차이를 보이고 있는데 이 철부는 후자에 의한 방법으로 제작된 것으로 생각된다.

4.5. 김해 안양리 주조철부

김해 안양리 고분군 44호에서 출토된 주조철부는 탄소함량이 4.3%를 초과하는 과공정 주철로서 규소함량이 높지 않은 주철을 틀에 부어 응고하는 과정에서 냉각속도가 빨라서 생성되는 백주철 조직을 취하고 있다. 이 주조철부는 과공정 조직이지만 날선단과 공부는 조직상에 차이가 나타난다. 공부는 과공정 조직에서 나타나는 막대 모양의 초정시멘타이트가 많이 분포되어 있지만 날 선단에서는 상당 부분 감소되어 있고 검은 바늘 모양의 흑연 조직이 다수 확인된다. 또한 날 선단의 퍼얼라이트는 시멘타이트상이 입자 형태로 구상화되고 탈탄되어 있다. 이는 주조에 의해 형태제작이 완료된 백주철에 충격에 대한 취성을 완화시키기 위해 날 선단부에 열처리를 가한 것으로 보인다. 비교적 높은 온도에서 장시간 열처리로 초정시멘타이트상의 탄소가 분해되어 흑연을 석출시키고 퍼얼라이트 내의 시멘타이트도 분해되면서 일부에서는 조직의 변화가 일어난 것으로 보인다. 이 과정에서 날 선단은 초정시멘타이트가 다소 사라져 내충격성이 다소 개선된 것으로 보이고 공부도 선단부에 가해진 열처리의 영향을 일부 받고 있음이 확인되었다. 이러한 시도는 주철 조직의 취약점을 해소하기 위해 의도적으로 시행된 것으로 보이지만 충격 저항을 줄이는 데는 한계가 있는 것으로 이러한 방법으로 제작된 주조철부가 실제 생활에 사용되었는지는 알 수 없다. 안양리 고분군에서 출토된 105점의 철기제품 중 주철로 제작된 것은 2점에

지나지 않지만 날 선단에서 실시한 열처리 과정으로 보아 주철을 소재로 강을 제작하였을 수도 있다. 그러나 고탄소강을 사용한 단조품은 확인되지 않고 있다.

4.6. 김해 안양리 철모

김해 안양리 고분군 61호에서 출토된 철모는 날 선단과 날 후단부의 조직 내부에 순철에 가까운 페라이트 조직이 확인된다. 소재 내부에 포함되어 있는 많은 양의 비금속개재물로 보아 저온환원법으로 생산된 괴련철을 소재로 사용하였고 이는 제련 과정에서 환원온도가 낮아 철 산화물과 슬래그가 충분히 제거되지 못한 것으로 판단된다.

날 선단과 후단부의 내부에 순철의 페라이트 조직이 확인되며 날 후단부에서 표면에 침탄의 흔적이 있고 시멘타이트 탄화물이 입자 형태로 구상화된 것으로 보아 고온에서 단조가공이 수행된 것으로 보인다. 날 선단에서는 성형가공이 심하게 발생하여 결정립에 변형이 많이 발생하였고 이로 인해 표면에 일부 침탄된 탄화물이 탈탄되었을 가능성도 있다. 제작방법은 순철을 소재로 고온에서의 침탄처리로 표면에 일부 탄소를 포함하는 중간소재를 제작한 후 보관시켰다가 필요시에 이들 소재를 사용하여 오스테나이트를 생성하지 않는 범위의 고온에서 성형 과정을 거쳐 제작된 것으로 보인다.

철모의 제작에서 강도가 요구되는 날 선단은 순철로 제작되어 무기로서의 기능을 발휘하기가 어렵다. 철모의 기능에 대한 고려 없이 단순히 표면 일부만 침탄처리된 소재를 사용하여 형태 제작을 위한 단조 가공만이 있을 뿐이다. 침탄처리 또한 의도적으로 행한 것인지 혹은 중간소재를 제작하는 과정에서 침탄 분위기에 의해 자연스럽게 침투 되었는지 알 수 없다. 또한 탄소강을 만드는 제강과정이 없었고 그에 따른 열처리 기술이 수반되지 않는 것으로 보아 제조기술은 뛰어나지 않은 것으로 판단된다. 이로서 이 철

모가 실제 사용을 목적으로 제작되었다면 제조기술이 떨어지지만 피장자의 부장품으로 단순 제작되었다면 경제적 가치를 고려한 것일 수 있다.

4.7. 김해 안양리 철정

김해 안양리 고분군 26호에서 출토된 철정은 실생활에 사용한다면 대형 건물 제작에 적합한 것으로서 철정의 특성상 선단부는 강도를 요구하며 두부는 충격을 받는 부위로 인성이 강한 성질이 요구된다. 철정의 제작에서 선단부와 두부는 각자의 특성을 고려하여 서로 다른 소재를 사용하고 제작과정에서도 차이를 보인다. 날 선단은 순철을 소재로 표면부에 침탄처리 후 담금질 처리를 함으로써 강도를 높이고자 하였으며, 두부는 탄소함량이 균일하게 조성된 탄소강을 소재로 인성을 높이고 충격을 흡수하고자 하였다.

그러나 날 선단은 침탄이 한 방향에서만 가해지고 침탄량도 적을 뿐만 아니라 표면에만 국한되어 담금질처리의 효과를 보기 어렵고 냉각속도가 충분하지 않아 마르텐사이트조직이 완전하게 생성되지 못하고 있다. 두부는 제작에 사용된 탄소강이 과열조직을 가지고 있으며 이는 균열 저항성과 재료의 인성을 떨어뜨려 기계적 특성을 크게 저하시키는 요소로 작용할 것이다. 또한 고온에서의 성형가공으로 탄화층이 분해되어 강도의 감소를 수반한다. 철정의 제작에서 선단부는 순철을 소재로 사용하고 제강과정을 거친 두부의 소재와 단접한 후 성형과 침탄과정을 거쳐 담금질 처리한 것으로 판단된다. 철정의 용도와 특성에 맞는 제작방법은 알고 있었던 것으로 보이나 소재의 선택과 철기제작 기술 수준은 떨어지는 것으로 판단된다.

4.8. 김해 대성동 철부³²⁾

김해 대성동 고분군 60호에서 출토된 철부의 제작과정을 추정하면 다음과 같다. 우선 소재 면에서는 대체적으로 탄소함량이 낮은 철 소재가 사용되

32) 주 16의 p. 328.

었으나 날에 한하여 탄소함량이 높은 소재가 사용되었다. 날 부위의 탄소함량을 선택적으로 높이기 위하여 정확하게 어떠한 기술이 적용되었는지는 이상의 결과만을 근거로 추측하기 어렵다. 다만 고대에 유행하던 기술을 고려할 경우 다음과 같은 두 가지 공정을 상정할 수 있다. 우선 저탄소의 철 소재를 두드려 형태가공을 완료한 후 날 부위에 침탄처리를 가함으로서 탄소함량을 선택적으로 높였을 가능성이 있으며, 아니면 탄소함량을 높인 강 소재를 미리 제작한 다음 저탄소의 철 소재에 이를 접합하여 고탄소의 강 소재가 날이 되도록 가공하였을 가능성이 있다. 후자의 경우에는 탄소함량 조절을 위한 제강법으로 여러 가지 다양한 공정이 적용될 수 있으나 전자의 경우에는 침탄법에 의한 제강공정만이 가능하다. 한편 사진 87에서와 같이 두드림 방향을 따라 길게 늘어진 채 존재하는 불순개재물은 이 유물제작에 공급된 소재 내에 본래부터 존재하던 것으로 원소재가 저온환원법에 의하여 제련된 괴련철일 가능성이 높음을 시사한다.

4.9. 김해 대성동 철모³³⁾

김해 대성동 고분군 60호에서 출토된 철모에 사용된 소재와 제작방법을 추정하는데 필요한 단서로는 탄소함량이 높은 부위와 낮은 부위가 층상의 구조를 이루고 있다는 사실과 부위에 관계없이 담금질에 가까운 처리를 통하여서만 출현할 수 있는 조직이 관찰된다는 점을 들 수 있다. 대부분의 시편에서 층상의 조직이 발견된다는 사실은 원자재로 공급된 철 소재에 이미 어느 정도의 탄소가 포함되어 있었으며 이를 사용하여 형태를 가공하는 성형과정에서 두드려 펴고 접는 작업이 반복적으로 실시되었음을 의미한다. 따라서 이 유물의 제작에 공급된 소재는 이미 그 전 단계에서 실시된 제강과정을 거쳐 탄소함량이 조절된 것으로 볼 수 있다. 그러나 탄소의 분포상황 면에서는 국부적으로 큰 차이가 있었던 것으로 판단된다. 한편 이 유물에서 취한 시편 모두에서 담금질 조직이 발견된다는 사실은 제작도중 적어도 한번은 각 부위에 담금질 처리가 수행되었음을 의미한다. 그러나

33) 주 16의 p. 331.

부위별로 크게 다른 조직이 자리하고 있는 점으로 보아 이 유물 제작의 마무리 단계에 머리와 공부를 구별하는 선택적인 열처리가 실시된 것으로 추정된다.

5. 유적별 제작기술 고찰

5.1. 함안 오곡리유적

함안 오곡리 유적에서 출토된 대도와 철부, 철모 각 1점에 대한 미세조직을 분석한 결과 5세기경 이 지역의 철기제작 기술체계에 나타나는 일반적인 특징을 보면 제련공정에서 저온환원법이 적용되었을 가능성이 크며 이로부터 탄소함량이 낮은 해면철이 생산되어 기본소재로 공급되었던 것으로 생각된다. 기본소재의 탄소함량을 높이기 위한 제강법으로 고체침탄법을 사용하고 있지만 전체적으로 탄소함량이 균일한 강을 제작하였고, 침탄반복단타로는 제작하기 힘든 고탄소강도 사용된 것으로 보아 주철로부터 탈탄시켜 강을 제작한 것이 확인된다. 이러한 사실은 조대한 결정립 입자와 소재 내에 비금속개재물이 확인되지 않는 것으로부터 추정된다. 오곡리 철기 유물에서는 주조품이 확인되지 않지만 함안 지역에서 5세기대에 주철로부터 강의 제작이 있었던 것으로 판단되며 주철을 소재로 한 강의 생산은 대량으로 양질의 강을 확보할 수 있는 발전된 제강기술이지만 이러한 제강법이 본격적으로 실시된 것으로는 보이지 않는다.

철제품을 생산하기 위한 소재의 선택에 있어서 오곡리 유물은 고탄소강이나 탄소함량이 균일한 강을 사용하고 있으며 강도를 요구하지 않는 부위도 경제적 가치가 높은 고탄소강을 사용하고 있다. 이러한 강의 제작은 상당한 시간과 노동력이 필요한 것으로 당시의 경제력이 어느 정도인지 판단해볼 수 있을 것이다. 필요한 부위에 강도를 보강하기 위한 열처리 기술로서 강도가 요구되는 곳에서 고탄소강을 사용하고 있지만 철부의 선단부 날과 같이 담금질처리를 실시하지 않아서 강도의 효과를 보지 못하는 경우가 있다. 또한 담금질 속도가 충분하지 않아서 분할변태를 보이고 있으며 고대

철기제작에 흔히 나타나는 과열조직도 생성되어 있다.

제작방법에 있어서 전체적으로 제강->성형->열처리의 백제식 기술체계를 가지고 있는데 김해 지역이 530년대에 신라에 합병되기까지 함안 지역이 백제의 영향권에 있었다는 것에서 이 지역이 백제식의 철기제작 방식을 따르고 있는 것으로 판단된다.

5.2. 김해 안양리고분군

김해 안양리 유적에서는 단조철부, 주조철부, 철모, 철정 각 1점이 분석되었다. 이 지역의 제작기술상의 특징은 기본소재가 제련공정에서 저온고체 환원법으로 생산된 괴련철이 사용되었고 많은 양의 불순 개재물을 포함하고 있다. 안양리에서 출토된 주조철부로부터 이 시기에 주철을 생산할 수 있는 제련기술도 보유하고 있었던 것으로 보이며 주조품의 취성을 제거하기 위한 열처리도 실시하였음을 알 수 있다. 이와 같은 예로 대성동고분군의 5세기대 석곽묘에서 확인되는 주조철부도 유사한 방법으로 제작된 것이 확인된 바 있다. 괴련철을 소재로 탄소함량을 조절하여 강을 생산하는 제강공정으로서 고체 상태에서 실시된 침탄에 의한 방식을 주로 사용하였고 표면에 소량의 침탄이 실시된 저탄소강을 사용하거나 순철을 그대로 사용하고 있다.

안양리 유물은 부위에 따른 소재의 선택이 적합하지 않고 탄소함량이 부족하며 열처리도 표면에 국한된 소량의 탄소로 인해 담금질 효과를 볼 수 없다. 즉 철제품의 형태제작에만 치우쳐 그것을 필요로 하는 용도와 기능에 부합하지 못하며 실생활에서 사용하기가 힘든 것으로서 시기가 앞서는 대성동고분군 2세기대의 출토 유물보다 제작기술은 훨씬 떨어진다. 하지만 이러한 결과를 가지고 철기 제작에 사용된 기술이 이전 시기보다 미숙하다고 보기는 어려우며 그 당시 이 지역의 사회·경제적인 요인에 의해 제작방법도 영향을 받았을 것으로 생각된다. 기능상 강도가 요구되는 부위에 순철을 사용하고 있다는 것은 그만큼 가공하기가 쉽고 값싸게 제작할 수 있다는 장점도 있다. 이와 같이 실생활에 사용할 목적이 아니라 단순히 형

태만 가공하여 피장자의 부장품으로서 형식을 갖추기 위해 제작하였다면 경제적인 면에서 유리한 측면이 있었을 것으로 생각된다. 이 지역에서 고분 이외의 유적에서 출토되는 철제품에 대해 미세조직을 분석한다면 당시의 사회상을 알 수 있는 중요한 자료가 될 것으로 보인다. 제작방식에 있어서 안양리고분군은 5세기대의 유적으로 성형->제강의 신라식 기술체계를 따르고 있다.

5.3. 김해 대성동고분군³⁴⁾

대성동고분군 유적의 출토유물은 2세기 전반의 철부와 철모 각 1점에 대한 기존의 분석 결과로서 제작기술상의 특징은 유물에서 발견되는 불순 개재물의 존재와 분포상황을 고려할 때 이들의 제작에 사용된 철 소재는 저온환원법에 의해 제련된 괴련철이었을 것으로 추정된다. 만일 주철을 대상으로 하는 제강기술이 그 당시 실행되지 않고 있었다면 제강법으로 고체침탄법이 적용되었을 가능성이 크며, 이 경우 침탄공정은 철기제작 과정에서 두드림에 의한 형태가공이 완료된 후 실시되는 것이 일반적이나 그 반대로 침탄 후 성형의 순서로 제작되었을 가능성이 크다. 소재 내의 탄소함량이 기능상 필요한 곳이 아닌 부위에는 대체적으로 낮으며 열처리 면에서 발견되는 특징으로는 담금질기술이 보편적으로 실시되고 있었다는 점과 기능상 필요한 부위와 그렇지 않은 부위를 구별하는 선택적인 열처리 기술이 적용되고 있다. 제작과정을 통하여 부위에 상관없이 적어도 한 번은 담금질에 노출되어 마르텐사이트 또는 미세한 퍼얼라이트 조직을 취하게 되었던 것으로 판단된다.

34) 주 16의 pp. 338~340.

표 2. 각 시편의 미세조직분석결과

출토유적	유물명	시편명	사용 소재	미세조직	조직특성	제작방법
함안 오곡리	대도	선단부 날	약 0.2% 탄소 포함, 저탄소강	페라이트 마르텐사이트	탄소의 균일한 조성, 개재물 혼입	제강->성형 ->담금질
		후단부 날	약 0.2% 탄소 포함, 저탄소강	페라이트 퍼얼라이트 마르텐사이트	탄소의 균일한 조성, 분할변태	
		등	0.8% 공석강	페라이트 퍼얼라이트	공석조직, 가공에 의한 탈탄	제강->성형
	철부	날	약 0.3~0.4% 탄소 포함, 강 소재	페라이트 퍼얼라이트 마르텐사이트	탄소의 균일한 조성, 분할변태, 개재물 혼입	제강->성형 ->담금질
		공부	약 0.3~0.4% 탄소 포함, 강 소재	페라이트 퍼얼라이트	탄소의 균일한 조성, 과열조직	제강->성형
	철모	선단부 날	0.8% 공석강	퍼얼라이트	시멘타이트의 구상화	제강->성형
		측면부 날	표면부 침탄 저탄소강	페라이트 퍼얼라이트	표면침탄, 과열 조직, 개재물 혼입	성형->침탄
		공부	0.8% 공석강	퍼얼라이트	Lamella구조	제강->성형
김해 안양리	철부	날	표면부 침탄 저탄소강	페라이트 퍼얼라이트 마르텐사이트	표면침탄, 분할변태, 개재물 혼입	성형->침탄 ->담금질
		공부	순철	페라이트	개재물 혼입	제련->성형
	주조 철부	날	4.3% 이상 탄소포함	시멘타이트 퍼얼라이트 흑연	과공정 백주철 시멘타이트의 구상화, 흑연석출	주조->탈탄
		공부	4.3% 이상 탄소포함	시멘타이트 퍼얼라이트	과공정 백주철	주조
	철모	선단부 날	순철	페라이트	개재물 혼입	제련->성형
		측면부 날	순철	페라이트 퍼얼라이트	개재물 혼입 표면부 소량침탄	성형->침탄
	철정	선단부 날	표면부 침탄 저탄소강	페라이트 퍼얼라이트 마르텐사이트	표면침탄, 분할변태, 개재물 혼입	성형->침탄 ->담금질
		두부	약 0.3% 탄소 포함, 강 소재	페라이트 퍼얼라이트	탄소의 균일한 조성, 과열조직	제강->성형
	철부	날	약 0.5% 탄소 포함, 강 소재	퍼얼라이트 마르텐사이트	날 표면만 담금질 실시	제강->성형 ->담금질
		몸체	저탄소강 소재	페라이트 퍼얼라이트	담금질에 가까운 급냉처리	제강->성형
		공부	저탄소강 소재	페라이트 퍼얼라이트	시멘타이트의 구상화	제강->성형
김해 대성동	철모	선단부 날	약 0.2~0.3% 탄소 포함, 강 소재	페라이트 마르텐사이트	탄소의 불균일한 조성, 분할변태	제강->성형 ->담금질
		측면부 날	약 0.2~0.3% 탄소 포함, 강 소재	페라이트 퍼얼라이트 마르텐사이트	탄소의 불균일한 조성, 분할변태	제강->성형 ->담금질
		자루	약 0.2~0.3% 탄소강 소재	페라이트 퍼얼라이트	시멘타이트의 구상화	제강->성형
		공부	약 0.2~0.3% 탄소강 소재	페라이트 퍼얼라이트 마르텐사이트	시멘타이트의 구상화 분할변태	제강->성형 ->담금질

V. 결론

본 연구에서는 아라가야로 대표되는 함안지역의 오곡리유적과 금관가야의 세력권에 있었던 김해 안양리고분군에서 출토된 철기유물을 대상으로 미세조직을 분석하였으며 기존의 연구로서 금관가야 지배층의 매장지로 추정되는 김해 대성동고분군에서 행하였던 철기제작 기술체계를 비교 분석하였다. 이 세 유적의 석곽묘에서 출토된 5C 대의 비슷한 시기의 유물들을 상호 비교해 보고 대성동고분군에서 출토된 2C 전반의 목관묘에서 출토된 유물로부터 시기적 차이에 따른 철기제작 기술의 변화 및 지역적으로 인접하고 있는 이 세 지역의 철기제작과 관련하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 철기 제작에 사용된 소재는 제련공정에서 저온환원법에 의해 생산된 탄소함량이 낮은 괴련철이 주로 사용되었다.
2. 기본소재의 탄소함량을 높이기 위한 제강법으로는 고체 침탄법을 사용하였고 함안오곡리 유물의 일부는 주철을 탈탄시켜 강을 제작한 것이 확인된다.
3. 철제품을 생산하기 위한 소재의 선택에 있어서 오곡리 유물은 고탄소강이나 탄소함량이 균일한 강을 사용하고 있다. 안양리 유물은 주로 순철을 소재로 표면에 소량의 침탄이 실시된 저탄소강을 사용하거나 순철을 그대로 사용하고 있다. 대성동 유물은 대체적으로 탄소함량이 낮은 소재가 사용되었으나 날에 한하여 탄소량이 높은 소재를 사용하고 있다.
4. 필요한 부위에 강도를 보강하기 위한 열처리 기술로서 기능상 필요한 부위와 그렇지 않은 곳을 구별하여 선택적인 담금질 처리기법을 실행하였다. 그러나 전체적으로 담금질 속도가 충분하지 않았으며 안양리 유물은 표면에 국한된 소량의 탄소로 인해 담금질 효과를 기대하기 어렵고, 오곡리 유물에서는 강도가 요구되는 곳에서 고탄소강을 사용하지만 담금질처리를 실시하지 않는 것도 있다. 대성동고분군의 유물은 강도가 필요한 부

위에서 담금질 처리를 하였고 그렇지 않은 부위도 담금질에 가까운 처리를 하고 있다. 그리고 고대 철기제작에 흔히 나타나는 과열조직이 오곡리와 안양리 유물에서 나타나며 이는 경·강도와 같은 기계적 특성을 저하시킨다.

5. 제작공정은 김해안양리 유물이 성형->침탄->열처리의 신라식 기술체계를 가지며 함안오곡리와 김해대성동 유물은 제강->성형->열처리의 백제식 기술체계를 보이고 있다.

6. 안라국의 통제를 받는 군사적인 집단으로 추정되는 5세기대의 함안오곡리유적은 철기 제작방식에서 백제의 방식이 적용되었고, 같은 군사집단으로 비정되는 5세기대의 김해안양리고분군은 신라의 제작방식을 따르고 있다. 금관가야 지배층의 매장지로 추정되는 김해대성동고분군 출토 철기 유물에 대한 기존의 분석결과에서 2세기 전반의 유물은 백제식 기술체계가 나타나며 3세기 전반에서 5세기 전반의 유물은 신라식 기술체계로 변화하고 있다.

이상의 결과는 가야지역 전체를 대상으로 분석한 것이 아니라 일부 지역의 고분 출토유물에 대한 철기제작 기술체계를 검토한 것으로 보편성을 가진다고 말하기 어렵다. 가야의 시대별, 지역별 기술체계를 완전히 이해하기 위해서는 당대의 기술관련 사회상황이 검토되고 지속적인 연구를 통해 많은 자료가 축적되어야 할 것이며 이로부터 가야·신라·백제의 철기제작 기술의 관련성과 고대 한반도에서 제작된 철 기술체계상의 보편성과 특수성도 이해할 수 있을 것이다.

참고문헌

<논문>

정광용, 『三國時代의 鐵器製作技術 研究 -微細組織分析을 通하여-』, 홍익대학교 박사학위논문, 2001.

俞在恩, 『古代 鐵器의 微細組織 分析和 製作技術 研究 -京畿地域 山城 出土 遺物을 중심으로』, 단국대학교 박사학위논문, 2002.

盧泰天, 『韓國古代 冶金技術史 研究』, 한국정신문화연구원 박사학위논문, 2000.

鄭永東, 『慶州地域 出土 銅合金 및 鐵器遺物의 製造過程에 관한 研究』, 부산대학교 박사학위논문, 2007.

崔珖鎭, 『鐵器 및 靑銅器 遺物 製作에 관한 考古金屬學的 研究』, 홍익대학교 박사학위논문, 2003.

金壽起, 『中山里 出土 鐵斧의 金屬學的 研究』, 한양대학교 석사학위논문, 1993.

盧泰天, 『韓半島 初期鐵器時代 鑄造鐵斧類에 대한 一考察』, 한국정신문화연구원 석사학위논문, 1989.

고형순, 『고대 철기유물의 침탄과 열처리에 대한 연구』, 강릉대학교 석사학위논문, 2002.

이재성, 『영산강유역 출토 철기유물에 대한 금속학적 분석』, 용인대학교 석사학위논문, 2003.

강창구, 『제주 용담동 출토 철기유물에 대한 금속학적 연구』, 용인대학교 석사학위논문, 2004.

장은정, 『5~6世紀 高句麗 鐵器製作技法에 대한 一考察 -漢江 下流域 資料를 中心으로-』, 서울대학교 석사학위논문, 2002.

이남규, 『南韓 初期鐵器文化의 一考察 : 특히 鐵器의 金屬學的 分析을 中心으로』, 서울대학교 석사학위논문, 1981.

윤동석, 『韓國初期 鐵器遺物에 대한 金屬學的 研究』, 浦項綜合製鐵株式會社・高麗大學校生産技術研究所, 1982.

윤동석, 『三國初期의 製鐵工程과 技術發展 -고분기 묘장(특히 토광묘)유적에서 출토된 철기유물의 금속학적 연구-』, 浦項綜合製鐵株式會社・高麗大學校生産技術研究所, 1983.

윤동석, 『伽倻의 製鐵工程과 技術發展』, 浦項綜合製鐵株式會社・高麗大學校生産技術研究所, 1986.

윤동석, 「韓國 初期鐵器의 發展과 金屬學的 解釋」, 『文化財』18, 문화재연구소, 1985.

윤동석, 「鐵製遺物과 製造法에 따른 基礎知識」, 『保存科學研究』7, 문화재연구소, 1986.

윤동석, 「鐵의 金屬學的 解釋」, 『金海退來里遺蹟』, 성균관대학교 박물관, 1989.

윤동석·이남규, 『百濟의 製鐵工程과 技術發展』, 浦項綜合製鐵株式會社・高麗大學校生産技術研究所, 1985.

尹東錫大澤正己, 「隍城洞遺蹟 製鐵關聯遺物の 金屬學的 調査」, 『慶州隍城洞遺蹟Ⅱ』, 國立慶州博物館, 2000.

尹東錫辛鐘遠, 「韓國初期 鐵器時代의 炒鋼製造 技術에 관한 金屬學的 研究」, 『學術院論文集』24, 學術院, 1985.

鄭光龍·金聖範, 「高新羅 金屬製品의 製作技法 研究」, 『慶州文化研究』제2집, 1999.

박장식, 「철기유물의 미세조직에 나타난 고신라 철기술체계에 관한 연구 -황남대총 출토 철봉의 금속조직학적 분석결과를 중심으로-」, 『慶州文化研究』3, 경주대학교 경주문화연구소, 2000.

박장식·정영동 「황남대총 남분 출토 칼과 창 의 미세조직 분석을 통한 신라의 철기제작 기술체계에 관한 연구」, 『대한금속재료학회지』Vol.42 No.3, 2004.

박장식 「황남대총 남분 출토 철제 대도의 미세조직 분석을 통한 고 신라의 철기제작 기술체계에 관한 연구」, 『産業技術』Vol.132 No.-, 2003.

박장식 「황남대총 출토 철제 창 의 미세조직에 나타난 고 신라의 철기제작 기술체

계」, 『慶州文化研究』 5, 경주대학교 문화재연구소, 2001.

박장식·이성준 「鷄足山城 출토 철제 大刀 제작에 적용된 기술체계 연구」, 『百濟研究』 Vol.37 No.-, 2003.

박장식·이영식·신경철·김재우, 「가야 철기유물의 과학적 분석을 통한 가야 철기문화 복원에 관한 연구」, 『김해발전연구』 제4권 제1호 통권 제5호, 인제대학교 김해발전전략연구원, 2001.

林善基·姜大一·文煥哲·朴東圭·姜聖君, 「楊州 大母山城 出土 鐵器遺物の 金屬學的 研究」, 『保存科學研究』 第14輯, 文化財管理局 文化財研究所, 1993.

俞在恩·高亨淳·黃振周, 「나주 복암리 3호분 출토 철제유물의 금속학적 조사」, 『보존과학연구』 22, 국립문화재연구소, 2001.

俞在恩·高亨淳·黃振周, 「경남 하동군 발견 철제무구류의 금속조직 조사 및 성분 분석」, 『보존과학연구』 21, 국립문화재연구소, 2000.

俞在恩·高亨淳·李在城, 「수원시 꽃피 유적 출토 철제유물의 미세조직 분석」, 『보존과학연구』 23, 국립문화재연구소, 2002.

허우영, 「철제금속유물의 미세구조 관찰」, 『湖巖美術館 研究論文集』 5, 湖巖美術館, 2000.

윤석효, 「伽倻諸國의 形成에 대한 考察」, 『論文集』, Vol.11 No.1, 한성대학교, 1987.

백승충, 「弁韓의 成立과 發展」, 『韓國古代史研究』, Vol.10, No.-, 1995.

백승충, 「가야의 용례 및 시기별 분포상황」, 『釜山史學』, Vol.22 No.1, 1992.

박광춘, 「가야 묘제의 연구」, 『嶺南考古學』, Vol.- No.26, 영남고고학회, 2000.

<단행본 및 보고서>

William F. Smith 著, 한봉희 譯, 『금속재료 -조직과 성질을 주로한-』 인터비전, 2003.

- 김정근·김기영·박해웅 共著, 『금속현미경 조직학』, 도서출판골드, 1999.
- 김정근·김상호·김영철 共著, 『최신재료학』, 도서출판골드, 2001.
- 이승평, 『그림으로 설명하는 금속재료』, 도서출판청호, 1998.
- 楊寬 著, 盧泰天·金瑛洙 共著, 『中國古代冶鐵技術發展史』 한국학술진흥재단 번역
총서, 대한교과서주식회사, 1992.
- 朴俊奎 著, 『鐵鋼熱處理』, 世進社, 2000.
- 崔鍾澤·張恩晶·朴長植, 『三國時代鐵器研究』, 서울大學校博物館學術叢書10,
서울대학교박물관, 2001.
- 윤동석, 『三國時代 鐵器遺物の 金屬學的 研究』, 고려대학교출판부, 1990.
- 慶南文化財研究院·大邱-釜山間 高速道路(株), 『金海 安養里 古墳群』, 2004.
- 慶南文化財研究院, 『咸安 梧谷里 遺蹟Ⅰ』, 2007.
- 慶南文化財研究院, 『咸安 梧谷里 遺蹟Ⅱ』, 2007.
- 慶星大學校博物館, 『金海大成洞古墳群Ⅲ』, 2003.

Study on the Manufacturing
Technology of Iron Artifacts Excavated from Haman and
Gimhae Area
- on the Artifacts of Gaya Tombs -

Im, Ju Heon

Department of Cultural Properties
The Graduate School
Gyeongju University

(Supervised by professor Ahn, Byong Chan)

(Abstract)

Iron manufacturing technology system was a little difference according to era and area which was practiced. In the Gaya area, Haman and Gimhae area were cultural center of Gaya union, Iron artifacts excavated from those area were analyzed manufacturing technology for contrasting its difference with vicinities area and also other area.

In this study, 7 iron artifacts were chosen from Haman Ogokri site and Gimhae Anyangri site of 5th century by the historical record showed, and their microstructures were analyzed. Additionally, referring to the result of previous studies for iron artifacts from Gimhae Daesungdong site, we analyzed and contrasted iron manufacturing technology system of those three area which were geographically near place and its change according to the periodic difference.

As a result, the materials made use of iron manufacture applied to mainly sponge iron produced by the low temperature reduction process and some of them was identified producing the iron by decarbonization from cast iron. In the choice of material,

Ogokri artifacts were used high-carbon steel or steel that carbon's content was equilized at the steel. Anyangri artifacts were used pure steel or iron containing small amount of carbon by carburizing. Daesungdong artifacts as a whole were used low-carbon steel and the part which hith strength were used high-carbon steel.

As a heat treatment technique for reinforcing the strength to the necessary parts practiced a facultative quenching process distinguishing functionally between the necessary parts or not, but Anyangri artifacts are difficult to expect the quenching effect because of a small amount of carbon limited to the surface. At strength is necessary parts, dispite Ogokri artifacts use high-carbon steel, some of those were not practiced a quenching process. Daesungdong atifacts practiced a quenching process at strength is necessary parts, others parts treated nearby quenching process. Also overheating structure showed frequently at ancient iron manufacture is appearing to Ogokri artifacts and Anyangri artifacts.

Haman Ogokri artifacts of 5nd century by the historical record was made by the production process of Baekje method according to steelmaking, molding, heat treatment order, Gimhae Anyangri artifacts of 5nd century by the historical record was made by the production process of Sinra method according to molding, carburizing, heat treatment order. Also from existing analysis result of iron artifacts of Daesungdong old tomb group presuming to burial ground of Geumgwan Gaya, the artifacts of the first half of 2nd century appear production process of Baekje technology and the artifacts of the first half of 5nd century from the first half of 3nd century is changing to Sinra technology.