三國時代 鐵器遺物의 製作技術 硏究

Iron Technologies of the Three Kingdoms Period in Korea

鄭 光 龍 大田保健大學博物館科敎授

Ⅰ. 머리말

최근에는 자연과학적인 분석기법이 고고학 연구에 새롭게 도입되면서 새로운 사실들이 밝혀지고 있다. 이는 외형적인 요소에 의존하는 기존의 연구가 그 한계성을 갖고 있기 때문이다. 특별히 금속은 미세조직 분석으로 제철 · 제강 · 제련법, 열처리방법 등 가공방법에 대한 비교적 정확한 정보를 얻을 수 있다.

철 소재는 탄소함유량 및 가공이나 열처리 조건에 따라 기계적 성질이 크게 변화된다. 탄소함량이 낮은 순철은 연성은 높으나 강도 및 경도가 낮은 단점이 있으며, 탄소함량이 높은 주철은 취성이 심해 충격에 의해 파손될 수 있는 단점이 있다. 따라서 순철을 침탄시킴으로서 탄소함량을 높이거나, 주철의 탄소함량을 낮추는 방법으로 강을 생산할 수 있다. 강은 가공이나 열처리 조건에 의해 그 기계적 성질의 조절이 가능한 매우 유용한 소재로서 고대에도 이를 보다 효율적으로 생산하기 위한 수많은 노력이 있었을 것으로 사료된다.

고대에 강의 제조기법은 주철 용탕을 이용한 초강법과 관강법, 그리고 고체상태의 순철 및 주철을 열처리하여 탄소를 가감하는 침탄법과 탈탄법 등으로 나눌 수 있다. 이 중 탈탄법은 주철을 고온에서 탈탄시킴으로서 강을 얻는 방법으로서 비교적 다른 기법에 비해 제조방법이 간단하다는 장점이 있다.

세계 冶鐵史에서 유럽과 중국은 製鐵 · 製鋼 技術의 技術體系가 서로 다르다. 유럽은 14세기까지 低溫固體還元法에 의한 塊鍊鐵을 생산하여 浸炭鋼을 생산한 반면, 中國은 독자적으로 低溫固體還元法에 의한 塊鍊鐵과 高溫熔融鑄鐵(銑鐵)을 생산하였다. 특히 고대의 중국은 주철을 이용한 柔化處理 기술을 개발하여 鑄鐵脫炭鋼을 생산하였고, 더 나가서는 주철에서 탄소와 슬래그를 제거하여 우수한 품질의 炒鋼을 생산하게 된다. 이러한 주철을 이용한 鋼의 생산 기술이 세계적으로 그 우수성을 인정받았다. 西漢 中期以後에는 炒鋼 방법으로 얻은 탄소 함량이 비교적 높은 鋼을 원료로 하여 반복해서 접고 두드려 만드는 百煉鋼을 개발하였으나 백련강은 百煉을 거쳐야만 강을 생산하므로 인력과 시간이 많이 소요되어 대량생산이 불가능하였다. 따라서 남북조시대(5 6世紀代)에는 더욱더 발전된 灌鋼技術을 개발하게 되었다. 이로써 古代 中國은 봉건 사회 전기에 독자적인 製鋼技術이 기본적으로 정착되었고, 봉건 사회가 되면 이 독특한 技術體系는 한 걸음 더 나아가 중대한 발전을 이루게 되었다.

본 연구는 고대 중국문헌에 나타나는 기술체계(괴련철, 주철 유화처리, 주철 탈탄강, 초강, 백련강 기술 등)와 고대 한국의 삼국시대 철기의 기술체계를 상호 비교하여 이를 규

명하고자 하였다. 이를 위해 백제 지역의 월평산성유적(5세기), 군산 산월리유적(6세기) 그리고 신라 지역의 皇南大塚 南墳(5세기)에서 출토된 철기유물을 대상으로 미세조직을 분석하였다. 또한 국내에서 처음 발견된 탈탄철부의 정확한 제작기법을 알아보기 위하여 재현실험 등을 수행하였다.

Ⅱ. 연구방법

1. 분석대상 유물

분석대상 유물인 삼국시대 철기유물 9점은 대부분 부식이 심하고 철산화물 등이 형성되어 있었다. 그러므로 보존처리 과정 중에 방사선투과조사를 실시한 후 금속 심이 남아있는 시료를 대상으로 하였다. 분석대상 유물의 선별은 종류 및 기능별로 세분하였고, 유물의 특징 및 분석위치는 [표]와 같다.

No	시대유적명	유물명칭	유물의특징	분석위치
1	백제시대 월평산성	주조철부	몸체중간에정사각형의구멍이있고, 단면은사다리꼴이다. 길이 24.5㎝, 폭 7.2㎝	날선단 · 자루부위
2		탈탄철부	전체적인형태는알수없고, 날선단부와자루부위일부가남아있다. 길이 8.3㎝, 폭 3.1㎝	날선단 · 자루부위
3	백제시대 산월리유적	주조철부	장방형으로중앙이오목하게들어간형태다. 투겁부의절반정도가 결실되었고단면은 사다리꼴이다. 길이 17.2㎝, 폭 4.1~5.7㎝	자루부위
4		단조철부	투겁부의단면은장타원형이고, 신부의 단면은세장방형이다. 길이 10.3㎝폭 3.7㎝	날선단 · 자루부위
5		철모	투겁부의끝부분은 ‘ V 자로깊게파이고단면은원형이다. 신부의단면은마름모꼴이다. 길이 30㎝, 투겁지름3㎝	날선단
6	신라시대 황남대총	주조철부	공부는사다리골이고등에는돌대4개가 표현되었다. 전장 20 21cm 내외	자루부위
7		철정	막대판형으로양쪽말단에서나팔형으로벌어지며 단면은 장방형이다. 전체길이23.1cm, 두께9.2cm, 무게 136.98g	신부 · 날부
8		철모	공부는 V 자형으로말아서감은형태이고양끝에두개의못구멍을내어목제병부를부착하여고정시킬수있도록하였다. 공부의 단면은원형이고, 인부의단면은마름모꼴이다. 전체길이23.9cm, 공부폭3.3cm, 무게 205.03g	날선단 · 신부 · 자루부위
9		철부	공부안쪽끝부분에자루를끼우고, 단면은타원형이다. 공부는말아서접은형태로자루와신부의접경에는마름모형으로마감되어 있고신부의단면은장방형이다. 전체길이24.0cm, 공부폭7.2×5.1cm, 공부신최대폭9.4cm, 무게 1585.27g	날선단 · 신부중심

[표] 분석 대상유물과 분석위치

2. 분석방법

시료 채취는 금속심이 남아 있는 부분에서 유물의 용도와 각각 그 기능성에 따라서 micro - hand cutter를 이용하여 채취하였다. 즉 칼의 경우 날 부위와 칼 등부위, 칼자루 부위 등 위치별로 각각의 위치에서 시료를 채취하였다. 미세조직 관찰을 위한 mounting을 실시하고 마운팅된 시료는 sand paper 200mesh에서부터 2,000mesh까지 연마하였다. 그 이후 0.3㎛와 0.05㎛의 Al_2O_3 분말을 사용하여 미세 연마하였다. 미세 연마된 시료의 etching은 나이탈을 이용하였다.

시편의 미세조직 관찰은 광학현미경과 SEM을 사용하였으며, 비금속개재물 분석은 EDS를 이용하였다. 주사전자현미경의 가속 전압은 20kV를 사용하였다.

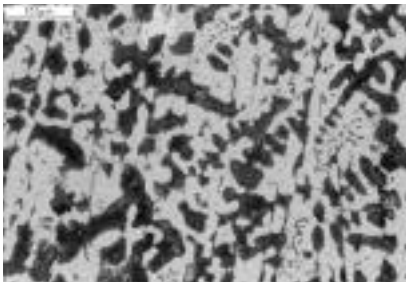
Ⅲ. 결과 및 고찰

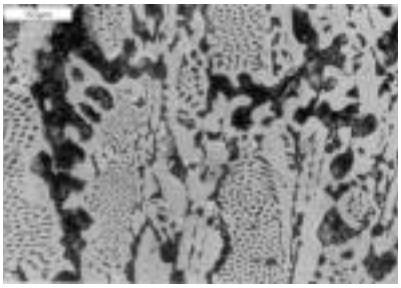
1. 백제시대 월평산성

(1) 주조철부

<그림 1>은 주조철부의 외형사진이고 1로 표시된 날선단 부위와 2로 표시된 자루에서 시료를 채취하여 미세조직을 분석하였다.

<그림 1> 주조철부 외형사진


<그림 2> 그림 1의 1부위미세조직


<그림 3> 그림1의 2부위 미세조직

<그림 2>는 그림 1의 1부위에서 채취한 시료의 미세조직 사진으로서 어두운 부분의 퍼

얼라이트와 밝은 부분의 시멘타이트상이 존재하는 것을 볼 수 있다. 이는 전형적인 백주철 조직으로서 주철이 용탕으로부터 고상으로 응고될 때 응고속도가 빠른 경우 나타나게 된다. 이러한 백주철은 주조방법으로 제작된 경우에만 나타난다. 이 시료는 시편의 부위와 관계없이 그 조직이 모두 백주철이며, 백주철은 강도와 내마모성은 높으나 취약한 성질을 갖고 있다.

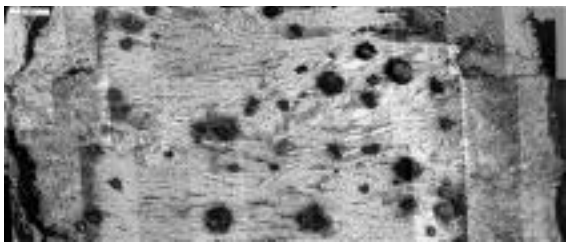
<그림 3>은 그림 1의 2로 표시된 자루부위의 미세조직사진으로 그림 2에서와 같은 백주철 조직을 나타내고 있다. 이러한 백주철 조직을 갖는 주조철부는 삼국시대 신라나 고구려 유물에서도 종종 발견되는 것으로서 당시에 매우 보편적인 철기제작의 주조기술 이었음을 알 수 있다.

(2) 탈탄철부

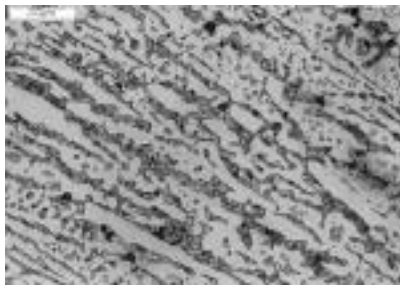
<그림 4>는 탈탄철부의 외형사진으로 1로 표시된 날선단 부위와 2로 표시된 공부에서 미세조직을 관찰하였다.

<그림 5>는 그림 4의 1로 표시된 날선단 부위 단면의 미세조직사진이며 중심의 대부분이 백주철 조직이다. 또한 표면 쪽의 가장자리는 탈탄에 의해 퍼얼라이트가 형성되어 있는 것을 볼 수 있다. 중앙의 백주철 기지조직 중에 다수의 기공이 존재하는 것을 볼 수 있는데, 이 기공은 철의 주조과정에서 발생하는 가스의 영향 때문으로 백주철 조직을 갖는 유물에서 종종 나타난다. 이 기공의 주위를 자세히 살펴보면 기공을 중심으로 탈탄이 진행되어 있는 것을 볼 수 있다. <그림 5a>는 그림 5의 중심부에 있는 백주철 기지조직의 확대사진이며, 앞서 나타낸 주조철부와 같은 전형적인 백주철 조직을 볼 수 있다. <그림 5b>는 그림 5의 탈탄이 진행되지 않은 백주철조직과 탈탄에 의해 퍼얼라이트로 변화된 탈탄층의 경계부위의 확대사진이다. <그림 5c>는 그림 5의 가장자리에 있는 탈탄부위의 미세조직사진으로 대부분이 퍼얼라이트이고 탄소함량이 공석에 가까운 것을 알 수 있다. 이 퍼얼라이트 층은 약 1 2mm의 두께로 표면 층에 균일하게 분포되어 있다.

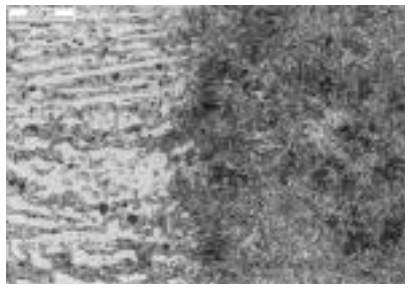
<그림 4> 탈탄철부 외형사진



<그림 5> 그림 4의 1부위 미세조직

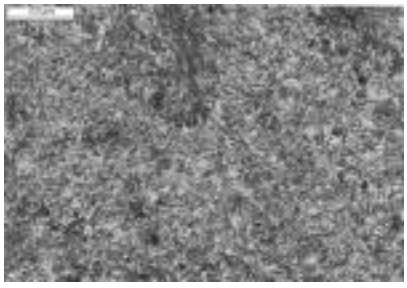


<그림 5a> 그림5의 백주철 부위 확대사진

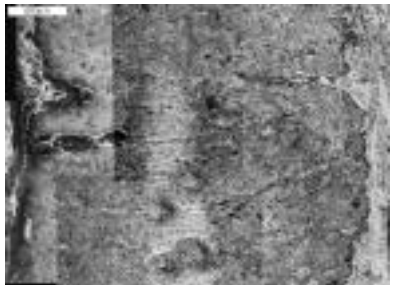


<그림 5b> 그림 5의 백주철과 탈탄부(펄라이트)의 경계확대사진

이러한 탈탄법은 관강법과 침탄법에 비해 비교적 쉽게 강을 얻을 수 있는 방법으로 고온에서 백주철을 놓아두면 대기중에 존재하는 산소가 백주철의 시멘타이트(Fe_3C)와 반응하여 표면에서부터 탈탄이 진행되게 된다. 이 과정에서 시멘타이트 덩어리가 최초에는 퍼얼라이트로 변화되고, 탈탄이 더욱 진행되면 탄소함량이 거의 없는 페라이트로 변화된다. 따라서 철부의 표면 층은 부식에 의해 확인할 수는 없으나 페라이트 조직일 것으로 추정된다.



<그림 5c> 그림 5 탈탄부위(펄라이트) 확대사진



<그림6> 그림 4의 2 자루부위 미세조직

<그림 6>은 그림 4의 2로 표시된 공부의 미세조직사진으로 그림 5에서와 같이 중심의 백주철과 표면쪽 가장자리의 퍼얼라이트로 구성된 것을 볼 수 있다. 그러나 그림 5와는 달리 백주철의 영역이 줄어들어 있고 위쪽의 중심부에서는 백주철 조직이 사라진 것을 볼 수 있다. 이는 공부의 두께가 얇아 탈탄이 공부의 중심까지 진행되었기 때문이다. 따라서 공부에서도 그림 5의 날선단 부위에서와 마찬가지로 펄라이트로 탈탄된 영역의 두께가 1 2mm 정도이다. 이러한 철부는 처음 주조철부로 제작된 이후 전체를 일정시간 탈탄시켜 사용한 것으로 이러한 탈탄이 고의적인지 우연인지에 대해서는 더 많은 연구가 필요하다.

현재까지 연구된 삼국시대 철부의 대표적인 제작기법은 다음과 같은 세 가지 방법으로 구분할 수 있다. 첫째, 주조방법으로 제작된 백주철 조직이다. 둘째, 순철(괴련철)을 이용하여 제품을 가공한 다음 필요한 부위에 탄소를 침투시키는 침탄법이다. 셋째, 순철(괴련철)과 강을 단접하는 제작기법이다.

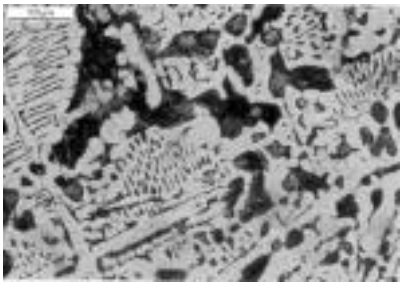
결론적으로 탈탄철부는 매우 독특한 제작기법을 갖는 것으로 백제 월평산성에서 탈탄강이 제작되었을 가능성이 있다는 것을 시사해 주는 매우 중요한 증거가 된다.

(3) 재현실험

월평산성 탈탄철부의 미세조직을 재현하기 위하여 다음과 같은 탈탄 재현실험을 실시하였다. 재현실험은 보존처리 과정중에서 수습된 백제시대의 백주철 시편을 이용하였다. 열처리 조건은 탈탄반응이 충분한 온도인 900℃에서 5시간 동안 유지한 후 공냉시켰다.

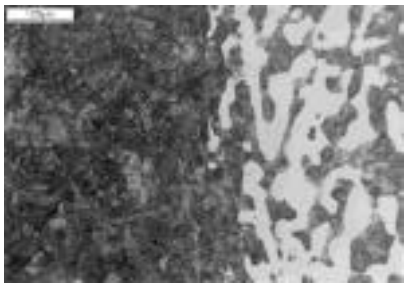
<그림 7>은 탈탄처리 이전의 미세조직으로 그림 2에 나타난 주조철부와 마찬가지로 시멘타이트와 펄라이트가 존재하는 백주철 조직인 것을 볼 수 있다.

<그림 8>은 그림 7에 나타낸 백주철 편을 900℃에서 5시간 탈탄시킨 시료의 미세조직 사진이다. 이 사진 중심의 대부분에 존재하는 백주철과 백주철을 감싸고 있는 펄라이트 그리고 시료의 표면에 존재하는 페라이트를 볼 수 있다. 이는 앞서 설명한 탈탄철부와 거의 같은 형태인 것을 볼 수 있다. <그림 8a>는 그림 8의 백주철과 펄라이트 경계부위의 확대사진으로 우측의 시멘타이트와 펄라이트로 구성된 백주철조직과 좌측에 공석조직인 펄라이트 조직을 볼 수 있다. <그림 8b>는 그림 8의 표면쪽 펄라이트와 페라이트의 경계부위로 우측에 펄라이트와 좌측의 페라이트조직을 볼 수 있다. 여기에서 페라이트가 표면부근에 존재하는 것은 앞서 설명한 바와 같이 표면 층에서 탈탄이 심하게 일어났기 때문이다.

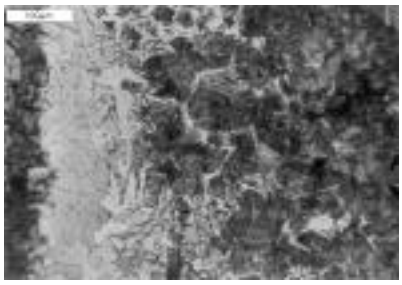


<그림 7> 탈탄실험에 이용된 백주철 미세조직

<그림 8> 백주철을 900℃에서 5시간 탈탄처리후 공냉한 미세조직



<그림 8a> 그림 8의 백주철과
펄라이트 경계부위확대사진



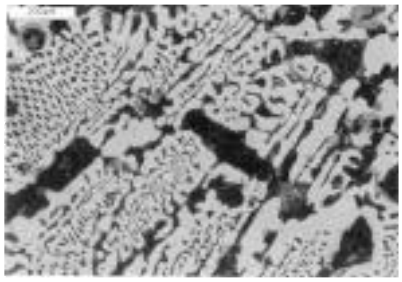
<그림 8b> 그림 8의 표면 페라이트와
펄라이트 경계부위 확대사진

2. 백제시대 산월리유적

(1) 주조철부

<그림 9>은 주조철부의 외형사진이고 1로 표시된 부위에서 시료를 채취하여 미세조직을 분석하였다.

<그림 9> 주조철부 외형사진



<그림10> 그림 9의 1부위 미세조직

<그림 10>은 그림 9의 1 자루부위에서 채취한 시료의 미세조직 사진이며, 어두운 바탕의 퍼얼라이트와 밝은 바탕의 시멘타이트상이 존재하는 것을 볼 수 있다. 이는 전형적인 백주철 조직으로 주철이 용탕으로부터 고상으로 응고될 때 응고속도가 빠른 경우 나타나게 된다. 이러한 백주철은 주조제품에서만 나타나게 된다. 이 시료는 시편의 부위와 관계없이 그 조직이 모두 백주철이고 백주철은 강도와 내마모성은 높으나 취약한 성질을 갖는다. 이와 같은 백주철 조직을 갖는 주조철부는 백제 이외의 고구려, 신라 등에서도 모두 발견되고 있다.

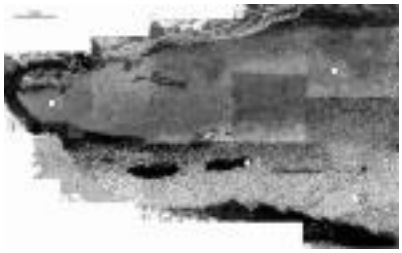
(2) 단조철부

<그림 11>은 단조철부의 외형사진이고 1의 날선단 부위와 2의 자루 부위에서 시료를

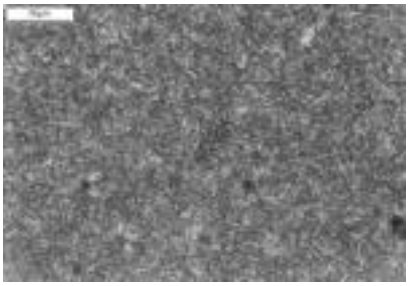
채취하여 분석하였다.

<그림 12>는 그림 11의 1의 날선단 부위 미세조직으로 위쪽에서 어둡게 보이는 탄소함량이 높은 부분, 아래쪽에서 밝게 보이는 탄소함량이 낮은 부위가 존재하는 것을 볼 수 있다. 우선 위쪽의 탄소함량이 높은 어두운 부위를 살펴보면 왼쪽 날 끝 표면 부위와 오른쪽 심부의 미세조직이 서로 다르게 나타나는 것을 볼 수 있다.

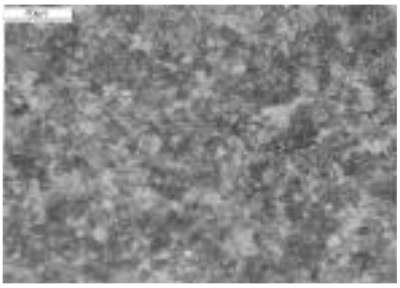
<그림 11> 단조철부 외형사진



<그림 12> 그림 11의 1부위 미세조직



<그림 12a> 그림 12의 1 부위 확대사진

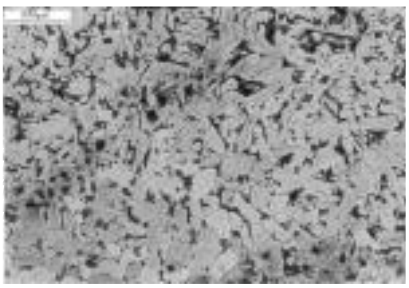


<그림 12b> 그림 12의 2부위 확대사진

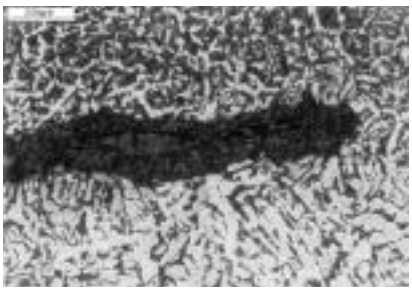
<그림 12a>는 그림 12의 1의 왼쪽 날 끝 부위의 확대사진으로 전체가 마르텐사이트 조직으로 나타났다. 마르텐사이트 조직은 열처리시 수냉과 같은 급냉에 의해서만 나타나고 매우 높은 강도와 경도를 갖는다. <그림 12b>는 그림 12의 2로 표시된 오른쪽에서 본 확대사진으로 전체가 퍼얼라이트 조직임을 볼 수 있다. 펄라이트 조직은 열처리시 비교적 서냉에 의해 나타나는 조직으로 마르텐사이트 보다는 낮은 강도와 경도를 갖지만 높은 인성을 갖는다. 이는 같은 날 부위라 할지라도 표면 부위만이 급랭되었으며, 그 내부로 갈수록 서서히 냉각되었음을 의미한다. 따라서 날 끝은 매우 강도가 높은 마르텐사이트 조직을 갖게 되며, 안쪽은 비교적 높은 강도와 인성을 갖는 공석(퍼얼라이트)조직이 나타나는 가장 이상적인 열처리 방법이다.

<그림 12c>는 그림 12의 3으로 표시된 부분으로 페라이트로 구성된 순철의 미세조직이다. 이러한 페라이트 조직은 강도와 경도가 매우 낮고 연성이 높다는 것이 특징이다. <

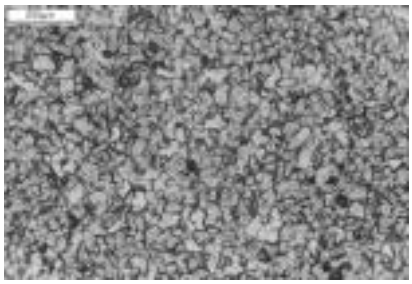
그림 12d>는 그림 12의 4로 표시된 탄소함량이 높은 부위와 탄소함량이 낮은 부위의 경계에 위치한 슬래그 부위의 확대 사진으로 슬래그 위쪽은 아공석강이며 슬래그 아랫부분은 페라이트 조직이다. 이렇게 슬래그를 중심으로 위쪽과 아래쪽으로 탄소의 함량 및 미세조직이 급격하게 변화되는 것은 이 부위가 단접부위라는 것을 의미하는 것이다. 슬래그 위쪽이 아공석강인 것은 단접과정에서 탈탄에 의한 것이다. 따라서 이 슬래그는 단접부위로 단접이 제대로 이루어지지 않아서 발생한 단접자국으로 사료된다.



<그림12c> 그림 12의3부위
확대사진



<그림 12d> 그림 12의 4부위
확대사진



<그림 13> 그림 11의2부위미세조직

<그림 13>은 그림 11의 2 자루부위에서 채취한 시료의 미세조직 사진이고 대부분 페라이트 조직인 것을 볼 수 있다. 따라서 전체적으로 단접이 이루어진 것이 아니라 강도가 필요한 날선단 부위에서만 고탄소강으로 단접하였으며 높은 강도가 필요하지 않은 자루부위에는 단접이 이루어지지 않았음을 알 수 있다.

(3) 철모

<그림 14>는 철모의 외형사진이고 1의 날선단 부위에서 시료를 채취하였다.

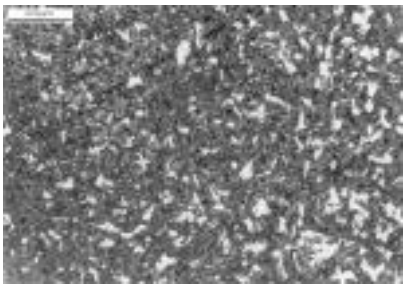
<그림 15>는 그림 14의 1 날선단 부위에서 분석한 미세조직사진이다. 그림에서 미세조직은 전체적으로 매우 미세한 아공석강으로 어둡게 보이는 퍼얼라이트와 밝게 보이는 페라이트가 존재하는 것을 볼 수 있다.

<그림 16>은 SEM를 이용해 촬영한 고배율의 미세조직 사진이고 중앙에 1로 표시된 부위는 비금속개재물인 슬래그 이다.

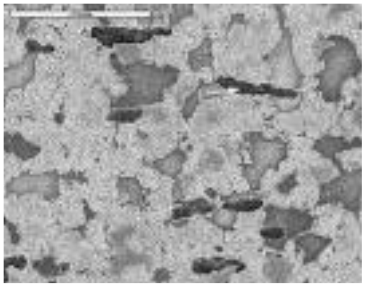
<그림 17>은 그림 16의 1로 표시된 슬래그를 EDS로 측정한 결과이다. 그림과 같이 O, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Fe로 나타났다. 이 성분 중에 산소가 존재하는 것은 이 슬래그가 산화물의 형태로 존재한다는 것을 의미한다. 특히 슬래그 중에 Ti가 존재한다는 것은 사철을 이용하여 제작되었을 가능성이 높다고 보고되고 있으나 추후 더 많은 연구가 필요하다고 본다.

전체적으로 이 철모는 문화재라는 특수성으로 인하여 시료의 채취에 제한이 있어 정확한 제작기법을 밝혀내지는 못하였다. 그러나 이 철모는 미세조직이 비교적 미세하고 균일하다는 점과 슬래그 중에 Ti가 존재하는 것으로 볼 때 강 제련에 의한 제작 가능성이 높은 것으로 사료된다.

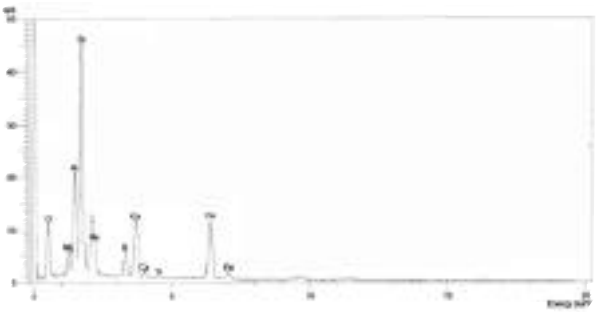
<그림 14> 철모 외형사진



<그림 15> 그림 14의1부위미세조직



<그림16> 철모 SEM 사진



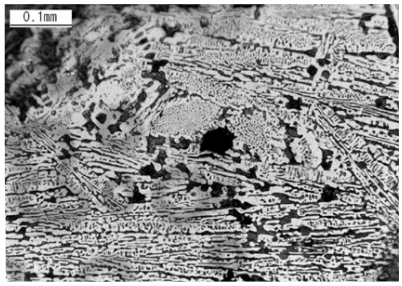
<그림17> 그림 16의 1부위 EDS 측정결과

3. 신라시대 황남대총

(1) 주조철부

<그림 18>은 남분 부곽에서 출토된 주조철부의 외형 사진이다. <그림 19>는 주조철부의 斧 부분의 조직사진으로 백주철 조직을 취하고 있다. 이것은 경우에 따라 충격의 가능성이 있는 도구의 제작에도 주조법이 사용되고 있었음을 보여준다. 脆性을 감소시키고 延性을 높이기 위하여 주조 후 추가적인 열처리를 수행한 흔적은 발견되지 않았다.

<그림 18> 주조철부 외형사진

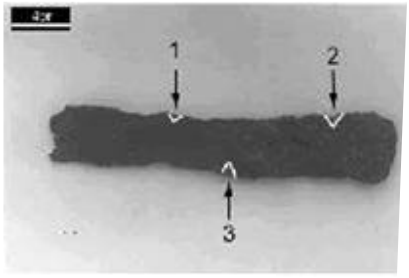


<그림 19> 그림 18의 미세조직

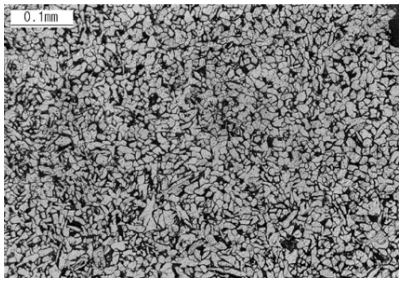
(2) 철정

<그림 20>은 鐵鋌으로 분류된 유물의 외형 사진이고, 화살표 1, 2, 3으로 표시된 부분에서 시편을 채취하여 분석하였다.

<그림 21, 22, 23>은 각각 화살표 1, 2 및 3 부위의 시편에서 찍은 미세조직 사진이다. 이들 세 그림은 모두 크기가 다른 여러 개의 부위들로 나누어져 있음을 볼 수 있다.

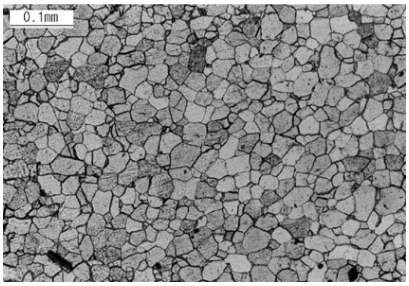


<그림 20> 철정외형사진

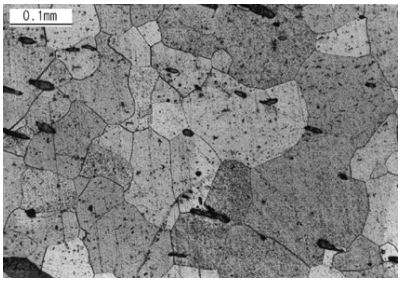


<그림 21> 철정 1부위 미세조직

금속학에서는 이들 부위 하나 하나를 結晶粒이라 하며 이들의 크기와 형태 그리고 이들에 포함된 탄소 함량에 따라 철소재의 미세조직이 정의된다. 앞에서 언급하였듯이 이들 부위, 즉 결정립들 중 대부분이 밝게 나타나는 것으로 보아 이들 세 시편의 탄소 함량은



<그림 22> 철정 2부위 미세조직



<그림 23> 철정 3부위 미세조직

아주 낮다는 것을 알 수 있다.

<그림 21>에서 검은 부위(결정립)의 존재가 가끔 확인되나 전체적으로 그 차지하는 비율이 미약한 것을 볼 수 있으며 <그림 22>의 전 부위에 분산되어 있는 크고 작은 검은 점들은 비금속 불순 개재물로서 제련과정에서 제거되어야 할 슬래그가 일부 잔존하고 있음을 보여준다. 따라서 철정은 탄소를 거의 포함하지 않는 순철 소재를 사용하여 만들어 졌음을 알 수 있다. 탄소함량 면에서 <그림 21, 22 및 23>에 보인 시편은 동일한 것으로 간주될 수 있음에 반하여 이들을 구성하고 있는 결정립의 크기에는 큰 차이가 있음을 쉽게 발견할 수 있다. 위에 보인 세 가지 조직사진의 확대비율이 동일함을 고려할 때 <그림 21과 22> 사이에는 결정립의 크기 면에서 10배 이상의 차이가 있음을 볼 수 있다.

<그림 23>에서 보이는 결정립의 크기는 <그림 21과 22>의 가운데에 해당하는 것으로 이 철정은 부위마다 크기와 형태가 서로 다른 결정립들로 이루어져 있음을 알 수 있다. 여기에서 부위별로 발견되는 미세조직 상의 차이는 결국 탄소 함량의 차이에 기인하는 것이 아니라 결정립의 크기 차이에 기인하는 것으로 볼 수 있다. 그렇다면 이와 같은 결정립의 크기 차이가 의미하는 것이 무엇인가를 살펴볼 필요가 있다. 철 소재뿐 아니라 대부분의 금속 재료에서 그를 구성하는 결정립의 크기와 형태는 성형 과정에서 가해지는 변형과 열처리의 두 과정을 거쳐 조절됨을 고려할 때 이 철정은 제작도중 부위별로 크게 다른 변형 및 열처리 환경에 노출되어 있었음을 짐작할 수 있다. 이것은 고대의 성형 방법이 주로 단조에 의존하였던 점과 성형에 드는 힘을 줄이기 위하여 고온에서 작업이 수행되었던 점으로 보아 철정의 제작과정에서 단조나 열처리 작업이 무분별하게 수행되었던 것으로 추측할 수 있다.

(3) 철모

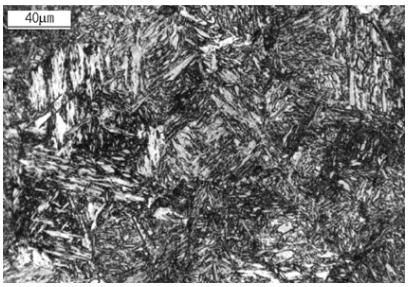
<그림 24>는 철모 외형 사진이다. <그림 25>는 철모 날선단 부위에 존재하는 미세조

직으로서 탄소함량 0.6% 이하의 亞共析鋼을 오스테나이트 구역에서 急冷시킬 경우 얻어지는 마르텐사이트상이 주 구성 요소임을 보여주고 있다. 마르텐사이트는 탄소함량 0.6%를 기준으로 그 모양에 큰 변화가 일어나고 0.6% 이하의 탄소강을 急冷시킬 경우 얻어진다.

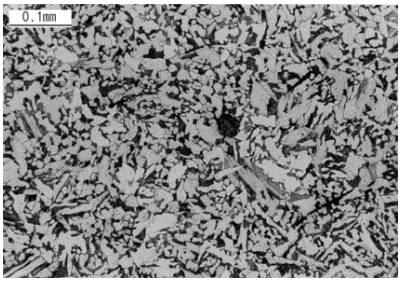
<그림 26>은 창 가운데 2 부위에서 채취한 시편의 미세조직으로서 밝은 부분은 순철에 가까운 페라이트 결정립들로 되어있으며 이들 사이에 간간이 존재하는 어두운 부분은 페라이트와 시멘타이트의 혼합 조직인 퍼얼라이트임을 알 수 있다. 페라이트가 주를 이루는 것으로 보아 <그림 26>의 평균 탄소 함량은 0.1%에 훨씬 못 미칠 것으로 추측된다. <그림 25와 26> 사이에 이와 같이 미세조직상에 큰 차이가 존재하는 것은 이들 부위에 가해준 열처리 조건과 포함된 탄소량이 크게 다르기 때문이다. <그림 25>의 탄소 함량이 얼마나 되는지 정확하게는 알 수 없으나 열처리를 통하여 그림과 같은 조직을 얻기 위해서는 적어도 0.1% 이상의 탄소가 포함되어야 할 것으로 추측된다. 즉, 창끝의 날 부위에는 탄소량을 증가시키기 위한 특별한 처리가 가해졌으며 추후의 열처리 과정에서 急冷이 행해졌음을 알 수 있다. 순철에 탄소 함량을 증가시키려면 우선 숯과 같은 탄소 공급원에 시편을 접촉시킨 뒤 이들을 함께 가열하여 온도를 높여주어야 한다. 이와 같은 일련의 과정을 浸炭이라고 하며 이것은 예로부터 지금까지 철의 탄소 함량을 증가시키는 중요한 방법으로 사용되고 있다. 이 연구에서 백제 지역과 전혀 다른 전통적인 유럽식 기술체계인 침탄방법을 5세기대 신라에서 사용되고 있었다는 것을 알 수 있다.

이와 더불어 높은 온도 구역에 있는 시편을 急冷시킬 경우 硬度値가 지극히 높은 재질이 얻어진다는 사실 또한 그 당시에 이미 인식하고 있었음을 알 수 있다. 현대의 기술 용어로 설명한다면 오스테나이트 조직을 急冷시켜 경도가 높은 마르텐사이트 조직을 얻은 것이다. 古代에는 숯을 주 발열원으로 사용한 것으로 보아 <그림 25>의 조직은 아마도 연소되고 있는 숯 가운데 창끝 부위를 꽂아 일정 시간 방치한 뒤 물에 급히 집어넣음으로써 얻어진 것으로 추측된다.

<그림 24> 철모외형사진



<그림 25> 철모1부위 미세조직



<그림 26> 철모 2부위 미세조직

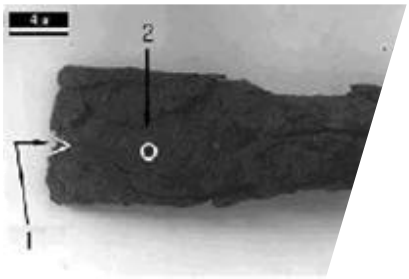
<그림 26>에는 띠 모양의 검은 부분이 한쪽 방향으로 길게 늘어져 있는 것을 볼 수 있다. 이것은 제련과정에서 제거되지 않고 철 소재 내에 잔존하는 슬래그로서 이 소재가 단조에 의하여 가공되었음을 보여준다.

(4) 단조철부

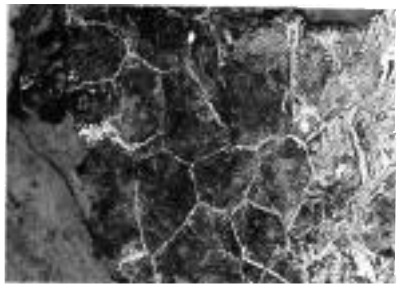
<그림 27>은 단조철부 외형 사진이다. 단조철부 날선단 부위에서 채취된 시편의 조직사진을 <그림 28a 및 28b>에 그리고 신부에서 채취된 조직사진을 <그림 29>에 실었다. 도끼의 날선단부에 해당하는 것으로 <그림 28a 및 28b>의 좌측에는 탄소 함량이 공석에 가까운 퍼얼라이트 조직이 존재하며 우측으로 갈수록 페라이트의 상대량이 증가하는 것을 볼 수있다. 이것은 침탄과정에서 탄소원자의 침투가 도끼 날의 표면에서 시작하여 그 안쪽으로 이루어진 것에 기인하며 두 그림 모두에서 좌측 부위가 날 쪽에 더 근접하여 있었음을 나타낸다. 다만 침탄 부위의 결정립계를 따라 가는 선 모양으로 형성된 페라이트상의 분포로 보아 침탄처리를 수행하는 동안 오스테나이트 결정립이 크게 성장한 것을 알 수 있다. 이것은 탄소 함량이 높은 철 소재를 急冷시킬 경우 마르텐사이트의 출현이 그 높은 취성으로 인하여 실생활에 응용하기 어렵다는 사실이 인식되었을 가능성을 나타낸다.

<그림 29>는 도끼의 중간 부분에서 얻은 미세조직으로 페라이트 결정립이 주를 이루는 가운데 공석조직인 퍼얼라이트가 간간이 존재하는 것과 앞에서 살펴본 유물에서와 같이 띠 모양의 슬래그가 존재하는 것을 볼 수 있다. 이 단조철부의 미세조직에서는 당시의 기술체계인 침탄과정의 흔적을 가장 선명하게 볼 수 있다.

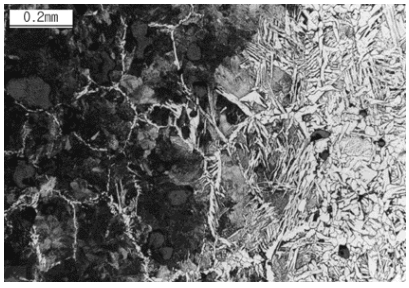
<그림 30>은 주사전자현미경을 이용하여 <그림 28b>의 ①부위 시편에서 얻은 사진으로 표면 요철이 심한 부위가 퍼얼라이트 조직이고, 결정립계를 따라 형성된 매끄러운 띠 모양의 부분이 페라이트를 나타낸다.



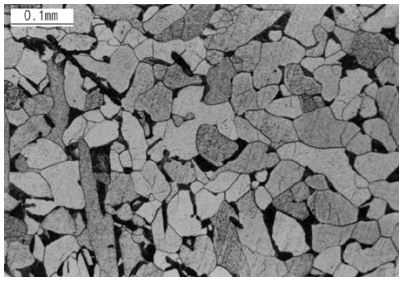
<그림 27> 단조철부외형사진



<그림 28> 단조철부 표면 미세조직

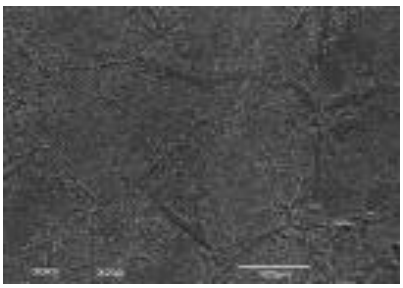


<그림 28a> 단조철부 표면미세조직

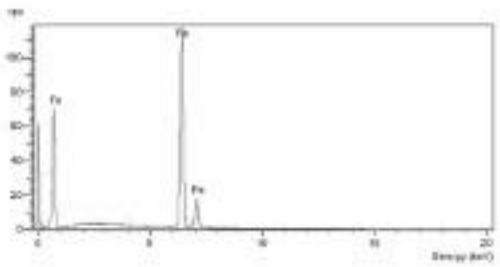


<그림29> 단조철부 2부위 미세조직

<그림 31>은 <그림 30>에서 얻은 에너지분산형X-선(EDX) 분석결과로서 횡축은 X-선 양자가 갖는 에너지를 그리고 종축은 단위 시간당 검출되는 X-선 양자의 수를 나타낸다. X-선의 에너지는 파장에 따라 결정되며 X-선의 파장은 원소에 따라 상이하므로 X-선 양자의 에너지는 곧 원소의 종류를 나타내는 것으로 볼 수 있다. 원소의 종류와는 무관한 에너지 0인 곳을 제외하면 <그림 31>은 철에 해당하는 에너지 세 곳과 탄소에 해당하는 에너지 한 곳에 양자들이 많이 검출되는 상황을 보여주고 있다. 즉, 이 시편은 주 구성성분인 철 외에 탄소를 소량 포함하고 있으며 그 외의 원소는 검출이 가능할 정도로 포함되어 있지 않음을 알 수 있다. 이 분광계로는 산소, 탄소, 수소, 질소 등 가벼운 원소에 대한 정확한 함량 분석을 수행할 수 없는 단점이 있어 <그림 31>의 결과로부터 탄소 함량을 알아내기는 어렵다.

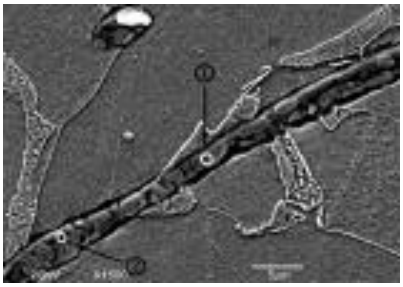


<그림 30> 28b SEM 사진

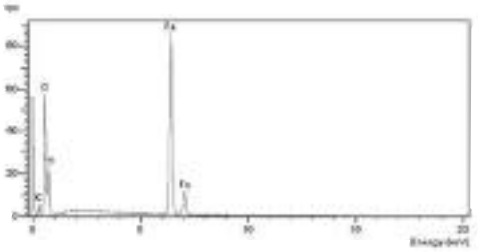


<그림31> 30의 EDX분석결과

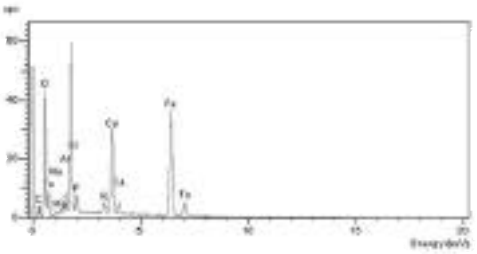
<그림 32>는 <그림 28b> 철부의 ①부위에서 채취한 시편의 전자현미경 조직사진으로 표면 요철이 심한 퍼얼라이트상과 매끄러운 페라이트상 외에 사진 중앙에 슬래그의 존재를 보여준다. 퍼얼라이트와 페라이트 부위에서 얻은 EDX 결과는 <그림 31>에 보인 것과 유사하였으나, 슬래그에서의 결과는 <그림 33 및 34>에 보인 것과 같이 큰 차이를 보였다.



<그림 32> 28b 1부위Slag SEM사진



<그림 33> 32의 1부위 EDX 분석결과



<그림 34> 32의 2부위 EDX분석결과

<그림 32>의 슬래그를 자세히 관찰하면 숫자 ①과 ②로 표시된 두 가지 서로 다른 부위가 존재하는 것을 볼 수 있다.

<그림 33 및 34>는 그림 32 ①부위 및 ②부위에서 얻은 EDX 결과로서 구성원소의 종류와 양에 큰 차이를 보여준다.

철, 탄소 외에 철광석의 주성분인 산소의 존재가 두드러지게 나타나는 <그림 32>로부터 <그림 33>은 ①부위 제련과정에서 환원되지 않은 채 시편 내에 잔류하는 철광석 파편임을 알 수 있다.

<그림 34>에서 볼 수 있는 O, Si, Ca, Al 등은 슬래그의 주성분으로 용융온도가 낮아 제련과정에서 액체상태로 철에서 분리되는 것이 정상이나 때로는 그 일부분이 소재 내에 잔류하기도 한다.

<그림 32>에서 보이는 슬래그는 불순물로서 제품의 성능을 저하시키는 유해한 요소

이기는 하나 고고학 분야에서와 같이 유물의 출처나 철광석의 이동경로 등을 밝힘으로써 고대의 사회상을 추측하는 데에는 중요한 정보를 제공할 수 있다. 즉, 슬래그의 주성분 외에 소량으로 존재하는 Mg, Ti, V 등의 원소는 때론 철광석의 산지를 추정하는데 결정적인 단서를 제공할 수 있다.

Ⅳ. 맺음말

본 연구는 백제 지역의 사비시대 월평산성유적, 6世紀代 군산 산월리유적 그리고 신라 지역의 5世紀代에 조영된 皇南大塚 南墳에서 출토된 철기유물을 대상으로 미세조직을 분석하여 당대의 기술체계를 규명하였다.

1. 주조철부는 삼국시대(고구려, 백제, 신라)의 어느 지역에서나 백주철 조직으로 주조방법에 의해 제작되었다.

2. 백제지역 월평산성 탈탄철부는 앞서의 주조철부와 마찬가지로 주조에 의해 제작되었으나, 이후 탈탄처리를 통해 표면 층을 탈탄시켜 사용하였다. 이는 지금까지 발굴된 철부 유물에서 물성을 향상시키기 위한 괴련철에서의 침탄법과 단접법과는 달리 매우 독특한 기법으로서 당시에 탈탄강이 사용되었을 가능성이 크다.

3. 백제지역의 철기는 사용 용도에 따라 부위별로 강 소재와 순철 소재가 선별적으로 사용되어 철제품이 제작되었음이 확인되었다. 이것은 제품 생산에 소요되는 강 소재와 순철 소재가 이미 만들어져 공급되었음을 의미하는 것이다. 그리고 기능상 강도가 요구되는 부위에는 강 소재가 그 외의 부위에는 순철 소재의 사용이 확인되었다. 이는 순철과 강 소재를 단접하여 강도가 요구되는 부분과 그렇지 아니한 부분으로 구분 사용하였음을 나타낸다. 백제의 철기제작 技術體系는 素材의 선택 면에서 시간과 장소를 초월하는 상당한 공통점이 발견되고 傳統的인 中國式 技術體系를 나타내고 있다.

4. 신라 지역의 皇南大塚 철기는 純鐵을 이용하여 형태를 먼저 만든 다음 마지막 단계에서 제품 표면에 탄소를 침투시켜 표면만을 鋼으로 만드는 기술 체계를 활용하였다. 이는 新羅時代의 기술체계가 제한적이기는 하나 低溫還元法에 의한 塊鍊鐵의 생산과 더불어 固體浸炭法에 의한 傳統的인 유럽식 기술체계를 사용하고 있다. 이러한 기술체계가 지역적으로 당시 경주에만 국한된 것인지, 아니면 신라의 다른 지방에서도 응용되고 있었던 것인지, 또한 시기적으로 언제부터 경주 지역에 나타나게 되었으며, 언제까지 지속되었는지 등에 관한 연구가 계속적으로 이루어져야 한다.

5. 본 연구를 통하여 고고학계에서 形態學的 관찰만으로 용도 추정이 불가능한 유물에

대해서도 金屬學的으로 분류할 수 있었다.

6. 鐵器遺物은 文化財라는 限界로 인하여 新羅地域의 경우에는 皇南大塚의 제한된 자료를 분석하여 신라지역의 製鐵·製鋼 기술의 대표성을 논하기는 부족하였다. 차후 광범위한 신라·가야·고구려지역의 철기유물을 분석하여 이에 대한 자료가 축적되면 形態學的으로 분류되는 考古資料의 해석에서 철기가 갖는 중요한 정보를 통하여 당시의 기술체계를 밝힐 수 있을 것이다.

<참고문헌>

[1] C. K. Kwak, Tombs at Kunsan San wol ri, First interim excavation report, Kunsan National University Museum Publication(2001).

[2] J. Needham, The Evolution of Iron and Steel Technology in East Asia and Southeast Asia, In(T. Wertime & J. Muhly, Eds) The Coming of the Age of Iron, New Haven and London, Yale University Press(1980), pp.507 541.

[3] R. Maddin,「The history of the evolution and development of Metal」,『Proceedings The forum for the fourth international conference on the beginning of the use of metals and alloys(BUMA - Ⅳ)』, Shimane Japan(1996).

[4] The fourth international conference on the beginning of the use of metals and alloys in Shimane (BUMA Ⅳ) Extended abstracts, Shimane Japan(1998).

[5] K.Y. Chung: Ph.D. thesis, Hong Ik University, (2001). Iron Technologies of Ancient Korea - As Observed in Metallurgical Microstructures.

[6] K.Y. Chung, K.J. Choi and C.K.Kwak,「The Microstructure Investigation on Iron Relics In the Remains of San - wol - ri, Baek - jae era in the 6th century」『Proceedings of the Fifth International Conference on The Beginnings of the Use of Metals and Alloys(BUMA - Ⅴ)』, Gyeongju, Korea(2002).

[7] K.J. Choi, K.Y. Chung, H.H. Lee,「On the Manufacturing Technique of Iron Axe Excavated in Wol - pyeong - san - seong of Baek - jae Era」,『Proceedings of the Fifth International Conference on The Beginnings of the Use of Metals and Alloys(BUMA -Ⅴ)』, Gyeongju, Korea(2002).

■ ABSTRACT

Iron Technologies of the Three Kingdoms Period in Korea

Chung, Kwang - Yong
Dept. of Museology, Daejeon Health Science College

To compare and analyze technical system related to manufacturing of ironware during the period of the Three Kingdoms, an analysis was conducted on the minute system of metalwork, as study objects, of the remains of the Mt. Wolpyeong fortress wall in Daejeon in the period of capital during the era of the Three Kingdoms in the 5th century, the Sanwol - ri remains in the 6th century in Gunsan and the remains of ironware excavated from the great ancient tomb of Hwangnam of the Silla dynasty in the 5th century.

The result of analysis shows that in the most of the casting products, the minute system of white cast iron were contained. While the iron part of decarbonization was in the system by casting as white cast iron in the central part, on the surface layer it was turned out that comparatively uniform 100% pearlite system of about 1 2mm degree was existing. The part of pearlite on the surface layer was caused by decarbonization, which appears in all the parts of blade front end and handle. Therefore, it was found that the iron part of decarbonization was manufactured by casting, and then was processed at the high temperature by decarbonization.

For the products of forging, after processing the products on the basis of pure iron for materials, they manufactured the ironware that raises the strength by car - bonizing that keeps carbon infiltrated on the necessary part, by the method of black smith welding that add pure iron to steel, or by varying the method of heat pro - cessing onto the part required of strength.

Though limited, we could understand that the technical systems for manufac - turing skill of ironware in the areas of Baekje and Silla were different each other.

In the technical system for Hwangnam great ancient tomb in the Silla area, it is found that they had raised the strength on the necessary part by applying the steelmaking method of carbonizing in the last stage of production of products, in the meantime in Baekje area, it appears that they had produced steel in advance in the first stage of production of the products, and used the produced steel only to the necessary part.