

# 扶蘇山城 出土 古代 鐵器遺物에 대한 金屬學的 研究

林善基, 姜大一, 文煥哲, 朴東圭\*, 姜聖君\*\*

## Metallurgical Study on the Iron Artifacts Excavated from Busŏ Sangŏng

Lim, Sun Ki, Dai III Kang, Whan Suk Moon, Dong Kyu Park\*  
and Sung Goon Kang\*\*

**ABSTRACT** : Iron artifacts from Busŏ Sansŏng inferred to late Baikjae period were studied on the aspects of metallurgy. These materials were the largest size ever since excavated. From the analytical results these artifacts were found to be pure iron system without impurities or hypo-eutectoid steel system in below 0.3% in carbon contents. From the content of phosphorus in the range of 0.03~0.05% as a impurity it was shown that charcoal were used for making these iron artifacts from sponge iron not fusion method. By observing metallurgical structure it was found that iron artifacts was manufactured by repetitive folding and hammering forging method and some by heating method for adding carbon with cool water. This method were to improve the quality of the soften steel to harden one. In addition to those above repetitive hammering method eliminated the nonferrous materials such as slag inclusion and remained relatively pure ferrite.

### I. 序 論

人類가 불을 처음 사용하여 鑛石에서 金屬을 추출하는 冶金技術은 B.C. 6000~5000年? 페르시아 일부에서 시작되었다고 한다(17).

---

소속 : 문화재연구소 보존과학연구실

Laboratory of Conservation Science, National Research Institute of Cultural Properties  
Korea

\* 한국분말야금연구소

Korea Powder Metallurgy Co., LTD, R & D Center

\*\* 한양대학교 공과대학 재료공학과

Department of Materials Engineering, Hanyang University

인류는 이미 오래전부터 金屬을 이용하여 그들이 필요로 하는 道具를 만들어 사용하였던 것이다. 金屬文化의 발달은 일반적으로 熔融溫度가 보다 낮은 銅의 冶鍊으로부터 金屬을 생산하는 技術을 발전시켜, 보다 높은 熔融溫度와 복잡한 제조공정이 요구되는 鐵의 생산단계에 까지 이르게 된다.

冶銅 開始期인 靑銅器文化로부터 冶鐵 開始期인 鐵器文化 직전까지는 長久한 시간이 소요 되었으나 그 기간이 採鑛, 爐의 製作 그리고 鑄造와 鍛造 등의 技術이 발달하여 冶鐵에 필요한 諸條件이 성립되었으며, 이후 증가하는 鐵器의 社會적인 需求 충족과 鐵器文化의 발달이 성립될 수 있었다.

우리나라의 金屬文化는 대체로 B.C. 10世紀頃 靑銅器文化를 지닌 無文土器人들이 나타남으로써 시작되었고, 北方系 문화가 남하한 것이라고 믿어진다. 그 후 B.C. 4~3世紀頃에 韓半島에는 두 계통의 새로운 金屬文化가 전해 졌다. 그 하나는 중국의 戰國時代에 출현한 鐵器文化이고, 다른 하나는 스키타이계통의 靑銅器文化였다고 한다(9).

鐵器文化의 일반적인 발달현상 및 유입시기는 지역에 따라 그 시기가 相異하며 발전과정도 각기 다르다. 최초의 鐵器 발생지로 알려지고 있는 동부 지중해 지역에서는 B.C. 12世紀頃에 이미 鐵이 靑銅을 대치해 나가고 있으며, 中國의 경우는 戰國時代 末期에 製鐵이 성립되기 시작하였고, 영국의 鐵器開始는 B.C. 5~4世紀頃에 Hallstatt人에 의해 성립되었다(8).

우리나라 鐵器文化의 流入은 B.C. 3世紀頃으로 추정되며(2), 冶鐵作業이 南韓으로 移入되는 것은 위만조선의 멸망과 B.C. 108년에 樂浪郡이 설치되면서 부터 본격적이고 집중적인 鐵器文化가 유입되었다. 이후 B. C. 1~A. D. 3世紀頃에는 鐵의 製鍊과 製造技術이 발달하여 우수한 金屬工藝 技術이 이미 한반도 전역에 퍼졌으며, 따라서 주위의 여러 민족과 일본에도 공급하였다(14). 우리나라는 三國時代에 들어 冶鐵 및 製造技術이 더욱 발달하여 武器類, 農具類, 裝身具類, 馬具類 및 日常用品 등을 비롯하여 모든 제품에 이용되었으며, 鑄造 및 鍛造法을 이용하여 鐵器의 材質을 개선시킴으로써 용도에 따라 사용할 수 있는 製造技術의 수준에 이르렀다.

古代 金屬文化에 대한 研究는 考古學的, 歷史學的, 美術史的 측면의 可視的 形態만에 局限하고 있을뿐 冶金術, 製鍊術, 鑄造技術, 鍛金技法, 象嵌法 등 自然科學的, 技術史的 研究는 극히 빈약한 실정이다.

古代 唯物 중 가장 비중을 많이 차지하고 있는 鐵器遺物에 관한 冶鍊法, 製造法, 鍛造法, 鑄造技術 등을 다루는 金屬學的 측면의 연구도 일부 學者에 의해 극히 한정적인 실정이다(3, 4, 5, 6, 7, 10, 11). 따라서 本 研究는 古代 鐵器遺物에 대한 金屬學的의 解釋으로써 百濟時代 末期로 추정되는 扶蘇山城 內에서 發掘出土 된 鐵製遺物(갈고리형창, 투검창, 양지창, 도끼, 낫, 화살촉등) 7種을 대상으로 하였다.

本 研究는 出土品인 鐵製遺物들의 원료인 철에 대한 製鐵方法과 遺物製造方法, 그리고 金屬學的인 평가를 위하여, I.C.P. 및 C/S分析器에 의한 成分分析, 金屬顯微鏡에 의한 內部 素地金屬의 組織檢査, 마이크로 비이커스硬度器에 의한 組織·粒子別 微細硬

度測定, 走査形電子顯微鏡(SEM-EDS)에 의한 非金屬介在物의 成分 및 分布狀態 등을 調查研究하였다.

따라서 우리나라에서는 처음 出土된 超大型의 山城武器인 古代 鐵器遺物에 대해 冶鍊法, 製造技術史등을 究明하여 이를 鐵製遺物의 科學的 保存處理 및 古代 冶鐵史 研究의 基礎資料로 이용하고자 하였다.

## II. 山城遺跡 및 出土遺物의 特性

### 1. 遺跡의 性格

충남 부여군 부여읍 쌍북리 산 1번지 일대에 위치한 扶蘇山城은 1980년부터 發掘에 着手하여 現在까지 進行하고 있다. 扶蘇山城은 포곡식형 산성이며 土城으로 築造되었다. 城壁構造는 土層狀에 확인되는 토루의 규모를 보면 관축층과 관축층을 보강한 다짐층을 포함하여 幅이 800cm이며 높이가 380~420cm이다. 土城의 築造는 경사도가 20°인 自然巖盤層에 깊이 120cm정도로 堀土한 다음 木柱를 수직으로 세우고 또한 外측 400cm지점의 傾斜面에 깊이 60cm 폭 40cm정도 堀土하여 木柱를 수직으로 세운 다음 關軸을 하였다. 전반적으로 關軸의 內부는 수직이며 外부는 枹방식으로 關軸을 하였으며 關軸층은 크게 3부분으로 나누며 下층은 關軸시에 수평을 유지하기 위해 暗赤色 粘土를 다진 후에 上층에 200cm정도 黃갈색 麻沙토와 적황색 점토로 다진 형태로 關軸을 하였으며 最上層 140cm는 暗赤色 點토로 다짐을 하였다.

本 研究에 試料로 使用된 鐵器遺物은 1991년 9월부터 11월까지 약 3개월 간에 걸쳐 發掘 調查한 扶蘇山城內 推定 東門址 區域(Fig. 1)에서 金銅製, 靑銅製, 鐵製 등 약 300여점이 함께 出土되었는데, 本 鐵器遺物은 갈고리형창, 투겁창, 양지창, 도끼, 낫, 화살촉등 武器類로써 山城內 推定 東門址의 한 구덩이에서 서로 엉킨 상태로 發掘 出土되었다(Fig 2).

### 2. 扶蘇山城 出土 鐵製遺物

發掘出土된 鐵製遺物은 超大型의 武器類로써 山城에서 使用된 대표적인 형태의 遺物이다. 本 研究에 使用된 試料는 한 덩어리로 엉킨상태의 遺物(갈고리형창, 투겁창, 낫, 화살촉, 화살촉<슴베>, 양지창, 도끼) 7種을 試料로 選別 採取하였으며, 遺物 각각에 對한 種類, 規格, 分析位置를 分類하여 Table 1에 나타내었다.

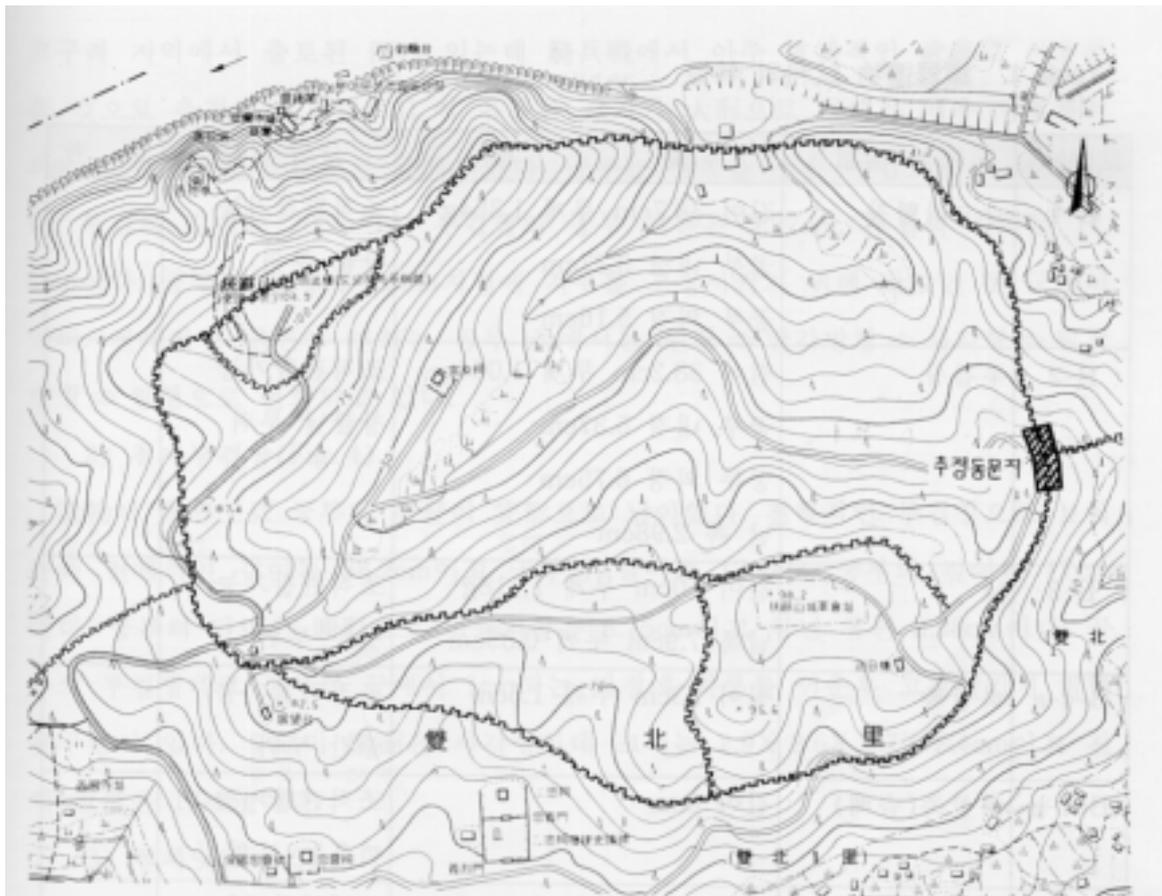


Fig. 1. 扶蘇山城 發掘調査 現況圖  
 扶蘇山城의 發掘 現況 圖



Fig. 2. 發掘 出土狀態의 鐵器遺物  
 發掘 出土 狀態의 鐵器 遺物

Table 1. 鐵器遺物 試料의 特性

試料No.	鐵器 種類	規 格	分析 部位	備 考
B-1	갈고리형창	길이 38.7cm 무게 1,354g 공부 내경 3.27cm 공부 외경 5.16cm	조직관찰가능 창끝 부위	
B-2	투검창	길이 38.2cm 무게 1,054g 공부 내경 5.37cm 공부 외경 6.75cm 날 폭 2.98cm	조직관찰가능 창끝날 부위	
B-3	낫	길이 50cm 무게 1,118g 날폭 7.9cm 두께 0.85cm	조직관찰가능 낫등 부위	
B-4-a	화살촉	길이 23cm 두께 1.5cm	조직관찰가능 중간 부위	
B-4-b	화살촉(슴베)	길이 6cm	조직관찰가능 끼우는 부위	
B-5	양지창	길이 28cm 날폭 4.5cm 공부 내경 5cm 공부 외경 7cm	조직관찰가능 날등 부위	
B-6	도끼	길이 58cm 공부 내경 7.15cm 공부 외경 7.20cm	조직관찰가능 끼우는 부위	

### 3. 出土 鐵器遺物의 性格

本 研究에 사용된 鐵器遺物의 考古學的 解釋을 통한 遺物의 性格은 다음과 같다.

#### 1) 철제갈고리형창(Fig. 3)

철제갈고리형창은 지금까지 出土例가 극히 한정되어 있다. 이 遺物은 중국 길림성 우산하 第41號墳 壁畫墳과 함경북도 영흥군 영흥읍 소라리 토성내 유적등 고구려 지역에서 출토된 例가 있는데 騎兵戰에서 아주 효과적인 무기로 사용했을 것으로 추정하고 있다(1). 이 유물은 크기가 大形으로 상태가 매우 양호하며 파손된 부분없이 完形으로 출토되었다. 공부는 양쪽을 접은 투검모양을 하고 있다. 투검의 길이는 20cm이고 투검끝의 공부 지름은 3.27cm, 투검의 깊이는 17.5cm이다. 공부의 끝에서 2.2cm지점에 자루를 고정시키기 위해 박았던 못 구멍이 있다. 전

체적인 단면의 변화는 공부 끝에서는 원형⇨말박방형⇨사각형⇨말각방형⇨원형으로 변화되고 있다.

2) 철제투겁창(Fig. 4)

遺物이 大形으로 공부와 창끝이 完形으로 남아있다. 전형적인 투겁창으로 보이는데 전체적인 길이는 38.2cm이고 공부의 길이는 17.4cm, 공부의 깊이는 17cm이다. 공부의 단면은 圓形으로 바깥지름은 6.75cm이고 창날 폭은 2.98cm이다. 공부의 투겁형태로 공부의 끝에서 1cm되는 지점에 자루를 끼운후 고정시키기 위한 못구멍이 있다. 身部の 斷面은 사각형인데 크기는 2.9X 2.6X 2.7X 2.4cm이고 전체 重量은 1,045g이다.

3) 철제낫(Fig. 5)

일반적인 철제낫과 비교할 때 크기가 大形이며 전체적으로 약간 안쪽으로 구부러져 曲刃을 이루고 있고, 자루의 연결부위가 왼손잡이가 사용하기 용이하게 ㄴ자로 턱이 만들어져 있으며 사각형의 고정못 구멍이 있다. 用途는 武器類로 사료되는데 步兵이 騎兵과 싸울때나 성에서 防禦用으로 사용되었던 것으로 추정된다.

4) 철제화살촉(Fig. 6)

일괄 출토된 화살촉은 形態를 파악하기 어려우며 대체로 斷面이 사각에서 끝으로 좁아지는 형태로 完形이 출토되지 않았다.

5) 철제양지창(Fig. 7)

지금까지의 발굴 유물중에서 보이지 않았던 유물로서 扶蘇山城에서 처음 출토된 것으로 상태는 양호하며 날의 일부가 부러져 있으나 完形으로 보여주고 있다. 공부는 투겁형태의 圖形이고 자루를 끼운 후 고정시키기 위한 못구멍이 있다. 用途는 양쪽 날끝이 외반되어 있는 것으로 보아 밖으로 밀어서 자르는 防禦用 武器類로 사료된다.

6) 철제도끼(Fig. 8)

투겁도끼의 형태를 하고 있으나 날을 세우지않은 未元의 도끼로 보여지는데 完成된 것으로 본다면 망치와 같은 용도가 아닐까 추측된다. 투겁은 圓形이며 날쪽으로 좁아지는 梯形을 이루고 있다.

### III. 實驗方法

山城內에서 發掘 出土된 古代 鐵器遺物은 오랜기간 동안 땅속에 埋藏되어 있었다. 武器類인 鐵器遺物은 흙 및 腐植生成物에 의한 심한 腐植 상태로 서로 엉켜 붙어 있었다. 이러한 狀態의 遺物을 保存處理用 小道具를 이용한 物理的인 方法으로 分離를 시켰으며 遺物 表面에 附着된 赤黃色인 goethite( $\alpha$  FeO · OH)層과 검은 酸化層인 magenetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)層으로 推定되는 녹을 정밀분사가공기(air brasive : 粉末유리)를 이용하여 除去시키고 蒸溜水로 洗滌하여 本 研究에 사용하였다(12).

## 1. 鐵器의 成分分析

鐵器遺物의 化學分析을 위하여 誘導結合型 플라즈마原子發光分光分析法(Inductively Coupled Plasma Spectrometer : Shimadzu, ICPS-1000III) 및 Carbon/Sulfur 分析機(Leco, CS-444)를 이용하여 試料에 대한 定量分析을 하였다. ICP分析은 鐵器試料를 채취하여 표면의 녹 및 이물질을 완전히 洗滌한 후 각 試料에 대해 精秤(607.2~1738mg)하였다. 試料는 왕수(1 : 1) 20~40ml로 溶液處理한 후 Hot plate에서 70℃로 3시간 加熱하였으며 試料量에 따라 50~250ml 비이커에 옮겨 ICP分析法에 의해 定量 測定하였다. 定量은 10元素(Si, Mn, P, Mg, Al, Ca, Cr, Ni, Cu, Zn)로 각각의 最適條件을 檢査하여 測定條件을 설정한 다음 백그라운드, 分光干涉을 살피서 2點 檢量線法에 따라 測定하였다. Carbon/Sulfur 分析은 高度의 分析值를 얻기위하여 鐵器 試料表面에 부착된 녹 및 이물질을 최대한 깨끗이 제거시켰다. 鐵器試料는 36% HCl에 담구어 표면에 부착된 녹을 완전 除去시킨 後 적정 크기로 切斷하여 定量 測定하였다.

## 2. 顯微鏡 組織檢査

顯微鏡 檢査는 金屬材料의 組織을 통하여 材料의 性質과 缺陷狀態 및 그 原因을 調查하는데 필요 불가결하다. 本 鐵器材料의 檢査에는 일반적으로 널리 이용되는 反射式 金屬顯微鏡(Metallurgical Microscope)을 이용하여 結晶粒度, 非金屬介在物, 熱處理組織, 脫炭層, 浸炭層, 및 炭化物 狀態 등을 조사하였다. 鐵器의 內部組織은 직접 顯微鏡으로 觀察하였고 試料의 鏡面을 얻기위해 에폭시 樹脂로 마운팅(mounting)한 後 그라인딩(grinding)과 研磨(mechanical polishing)을 하였고, alcohol (순도 99.99%)로 洗滌하여 乾燥시킨 後 [nitric acid(nital 3%) HNO<sub>3</sub> 3ml, ethyl alcohol 97ml] 에 의해 腐蝕(etching)시켰다(13).

鐵器의 內部構造 狀態 및 非金屬介在物의 成分組成, 分布狀態, 缺陷 등을 走査型 電子顯微鏡(Scanning Electron Microscope : SEM., Philips, Model 515)으로 관찰하였고, 부착된 EDS(Energy Dispersive Spectroscopy)를 이용하여 調查하였다.



Fig. 3. 철제갈고리형창

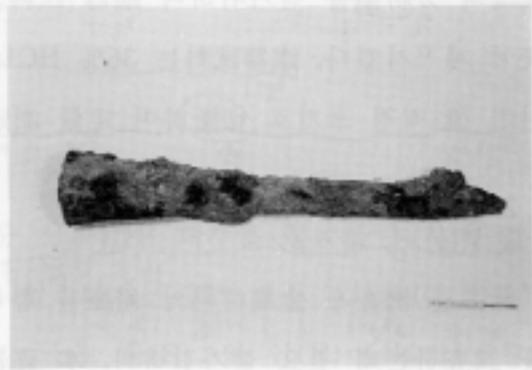


Fig. 4. 철제두검창



Fig. 5. 철제낫

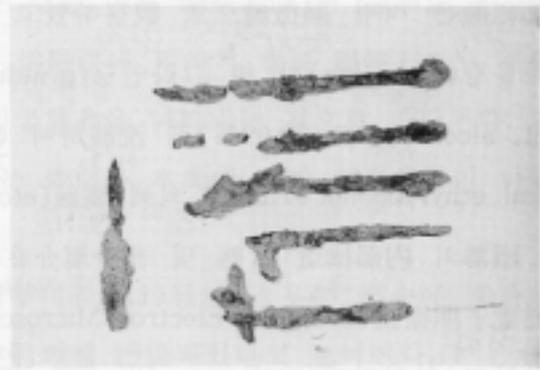


Fig. 6. 철제화살촉

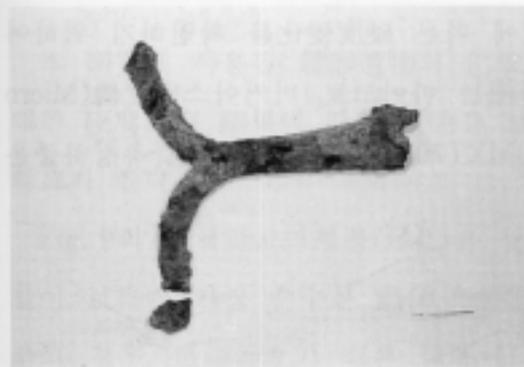


Fig. 7. 철제양지창

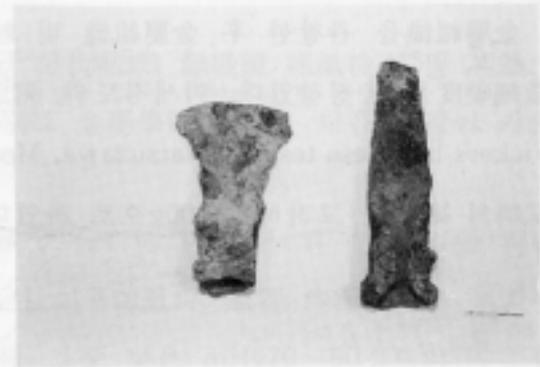


Fig. 8. 철제도끼

### 3. 微細硬度測定

金屬組織을 관찰한 후 金屬組織 및 粒度에 따른 硬度變化를 확인하기 위하여 微細硬度를 측정하였다. 미세경도의 測定器機는 마이크로 비커어스硬道機(Micro Vickers har Inness tester : Matsuzawa, Model MXT70)를 이용하였으며, 측정하중은 試料의 硬度를 고려하여 100g으로 하였다.

## IV. 實驗結果 및 考察

### 1. 鐵器遺物の 化學組成

本 研究에 사용된 鐵器遺物은 化學成分 分析結果 대부분 불순물이 거의 없는 純鐵 내지는 低炭素鋼系였다. 일반적으로 일컬어지는 鋼의 5大 不純物(C, Si, Mn, S, P)중 炭素(C)를 제외한 硅素(Si), 망간(Mn), 황(S) 및 인(P)이 거의 포함되어 있지 않은 순수한 鐵(0.05~0.23%C)이었다. 다만 다른 元素가 0.01%이하의 함량인데 비하여 인(P)만은 B-2, B-3, B-4試料에 대하여 다소 높은 결과를 나타내고 있다. 다른 成分보다 인(P)이 많은 것은 다른 調査者(5)의 경우도 유사한데 이는 古代의 製鐵方法이 현재와 같은 熔融法에 의하지 않고 鐵鑛石으로 부터 還元塊(sponge iron)를 얻어 이를 다시 가공했음을 나타내는 것으로 판단된다. 다만 뒤에 논의 될 철제도끼(B-6)의 경우는 表面을 木炭에 의한 浸炭흔적이 나타나고 있다.

그밖의 다른 불순물중 칼슘(Ca)과 알루미늄(Al) 등의 경우는 鐵속에 함유된 성분으로 보기보다는 腐植科程에서 土壤에 의해 汚染되었다고 보여진다.

扶蘇山城出土 鐵器遺物에 대한 種類別 化學造成은 Table 2에 나타내었다.

Table 2. 扶蘇山城出土 鐵器遺物 化學組成

試料No.	鐵器 種類	化 學 分 析 值(%)											備 考	
		C	Si	Mn	P	S	Mg	Al	Ca	Cr	Ni	Cu		Zn
B-1	갈고리형창	0.05	0.02	-	0.003	0.001	0.002	0.003	0.014	-	-	0.004	0.015	창끝 부위
B-2	부검창	0.08	0.03	0.007	0.030	0.015	0.003	0.010	0.021	0.008	-	0.031	0.032	창끝 날부위
B-3	낫	0.07	0.01	0.007	0.035	0.005	0.002	0.002	0.014	0.007	-	0.010	0.063	낫등 부위
B-4-a	화살촉	0.05	0.05	-	0.047	0.004	0.003	0.014	0.024	-	0.020	0.001	0.013	중간 부위
B-4-b	화살촉(합계)	0.19	0.02	0.003	0.043	0.006	0.002	0.004	0.009	0.001	-	-	0.002	자루 부위
B-5	양지창	0.18	0.01	-	0.006	0.002	0.002	0.003	0.016	-	-	-	0.001	창등 부위
B-6	도끼	0.23	0.02	0.001	0.009	0.001	0.004	0.010	0.030	0.004	-	-	0.001	자루 부위

## 2. 鐵器의 内部組織 檢證 및 分析

本 研究에 사용된 鐵器遺物의 化學成分 分析結果, 顯微鏡 組織檢査 및 組織에 대한 硬度測定 結果에 따라 遺物을 種類別로 金屬學的 解釋을 다음과 같이 기술하고자 한다.

Fig. 9의 철제갈고리형장(B-1)은 化學成分 分析結果에서도 알 수 있었던 것과 같이 試料中 가장 순수한 鐵(0.05%C)로서 이루어졌다. 鐵器 内部組織은 組大부분의 경우, 微細硬度가 다른 遺物에 비해 가장 낮은 mHv70~80정도의 수준을 나타내고 있다. 그러나 反復鍛打에 의해 단련된 微細組織(ferrite組織) 部分은 mHv120~170정도로 純鐵로서는 다소 높은 硬度를 나타내고 있다. 組織内部는 鍛接部를 제외하고는 非金屬介在物이 거의 存在하지 않은 純鐵로서 古代 鐵器製造技術의 우수성을 나타내고 있다.

Fig. 10 철제투겁창(B-2)의 경우는 시료중 가장 많은 反復鍛接을 실시한 것으로 보이나 硬度는 mHv80~120정도의 평이한 수준을 나타내고 있다. 鍛接部가 많은 만큼 鍛接部の 非金屬介在物이 다른 遺物에서보다 다소 많았고 層狀의 形態로 분포되어 있다.

Fig. 11 철제낫(B-3)의 경우는 組織粒度가 層狀이 아닌 다소 만곡상으로 존재하고 있어 鍛打時 접힌부분으로 보인다. 組織内部의 組大粒子 部分의 硬度는 mHv80~100수준이었고 組織外部의 求刑에 가까운 微細部分의 硬度가 mHv100~170정도를 나타내고 있다.

Fig. 12의 철제화살촉(B-4-a)은 炭素(carbon)분자에서 탄소량이 적게 검출되었으나 (B-1)~(B-3)에서 보다 다소 많은 퍼얼라이트(pearlite)가 관찰되었다. 硬度는 입도가 組大한 部分의 경우 mHv100정도로 평이하았으나 퍼얼리스트(pearlite)가 관찰되는 部分의 硬度는 mHv182정도로써 韃라이트(ferrite)보다는 다소 높은 값을 나타내고 있다.

Fig. 13 철제화살촉 스페부위(B-4-b)는 (B-4-a)보다도 더 많은 浸炭이 이루어지고 있어 더 많은 퍼얼라이트(pearlite)조직과 炭素量(0.19%C)을 보여 주고 있으며 粒度는 두 경우가 비슷하게 나타났다. 硬度는 mHv120~215의 分布를 보이고 있다. 용도상으로 볼 때, (B-1)~(B-3)의 경우는 강인함을 필요로 하는 특성에 맞추어 製造된 것으로 보이며, (B-4-a)~(B-6)의 鐵器遺物들은 다소간의 強度를 요구하는 경우에 맞추어 製造된 것으로 보인다. 따라서 發掘出土된 鐵器物은 이미 사용하고자 하는 용도에 맞추어 製鍊技術 및 製造工法을 적절하게 選定하였음을 나타내고 있다.

Fig. 14 철제양지창(B-5)의 경우는 지금까지의 組織과 달리 積層反復鍛打를 실시한 후 적절한 熱處理를 통하여 鐵의 材質에 대한 均一化 處理를 한 것으로 보인다. 또한 無數한 反復鍛打法으로 단련하여 마무리처리를 한 것으로 보일만큼 炭素가 균일하게 분포되어 있으며, 매우 우수한 鍛造技術의 組織分布를 나타내 주고 있다. 다만 硬度는 다소 낮아서 mHv100~140정도를 나타내고 있다.

Fig. 15 철제도끼(B-6)의 경우는 浸炭의 흔적이 나타나 있다. (B-4), (B-5)의 경우도 다소의 浸炭흔적이 나타나 있으나 철제도끼는 가장 뚜렷하게 浸炭의 흔적이 나타나 있다. 浸炭되어 나타나 있는 퍼얼라이트(pearlite)의 微細度로 볼 때 反復鍛鍊 후 빠른 속도로 冷却되었을 것으로 추정되며, 시료가 硬化能을 향상시킬 수 있는 다른합금 첨가원소를 함유하고 있지한 것으로 볼 때 시료는 아마도 水冷에 의한 冷却方法으로 熱處理되었을 것으로 추정된다. 퍼얼라이트(pearlite) 組織은 mHv300 정도의 높은 硬度를 나타내고 있다. 이 試料는 當時의 鐵器製作에 대한 冶練 및 製造技術의 수준을 대표하고 있다고 하겠다.

上記 內容을 金屬組織相으로 볼 때 扶蘇山城 出土 鐵器遺物은 대부분이 다음 5가지의 特徵으로 이루어진 것을 알 수 있었다.

첫째, Fig. 16의 철제투검창에서 알 수 있듯이 순수한 鐵의 粒子인 韃라이트(ferrite)가 일정한 粒度로 존재하는 것이 아니라 다소 큰 입도와 작은 입도를 갖는 입자가 交代로 반복되는 것을 알 수 있었다. 이는 反復鍛打에 의해 만들어진 積層構造로서 粒界와 粒内の 介在物이 層狀임을 나타내주고 있다.

둘째, Fig. 17의 철제화살촉 内部의 組織은 組大한 粒子를 나타내는 것도 있었다. 이것은 反復鍛打에 의해 加熱, 冷却을 반복하는 동안 内部의 純鐵粒子가 擴散되어 組大化 한 것으로 판단된다.

셋째, Fig. 18의 철제양지창은 대체로 組織内の 表面部 粒子는 작고 균일하게 分布되어 있다. 이는 熱間狀態에서 반복 단련되어 組織이 改善된 狀態를 나타내고 있다.

넷째, Fig. 19의 철제도끼는 浸炭의 흔적 또는 浸炭現狀을 발견할 수 가 있었다. 浸炭은 本 試料들과 같이 불순물이 없는 純鐵에 가까운 材料에 있어서 가장 효과적으로 재료를 개선시킬 수 있는 방법의 하나로 古代에서는 특히 유용한 방법의 하나였을 것이다. 따라서 反復積側鍛打方法과 아울러 木炭사용에 의한 浸炭技術이 유용하게 사용되었음을 나타낸다고 하겠다.

이밖에도 반복적인 積層鍛打에 의해 鐵滓(slag) 등의 非金屬介在物 등이 거의 제거되고 비교적 순수한 상태의 韃라이트(ferrite)組織만 남은 것으로 미루어 當時의 製造技術의 우수성을 보여주는 한 단면이라 할 수 있다.

다섯째, Fig. 20은 鐵器組織内の 非金屬介在物에 대한 分布 및 組成을 走査型電子顯微鏡(SEM-EDS)을 이용하여 조사한 것으로 介在物은 鍛鍊方向으로 延伸된 것을 관찰할 수 있었다. 介在物에 대한 EDS分析結果 化學造成은 Si-Al-Ca로 나타났으며 이는 鐵器製造時 불순물이 混入되어 形成된 것으로 反復鍛打法에 의한 製造方法임을 확인시켜주고 있다.

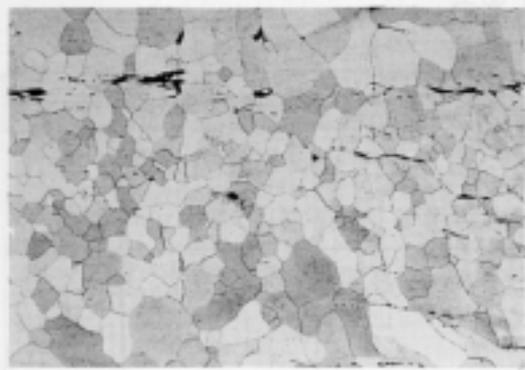
### 3. 微細硬度測定

微細組織을 觀察한 후 金屬組織 및 粒度에 따른 硬度變化를 확인하기 위하여 微

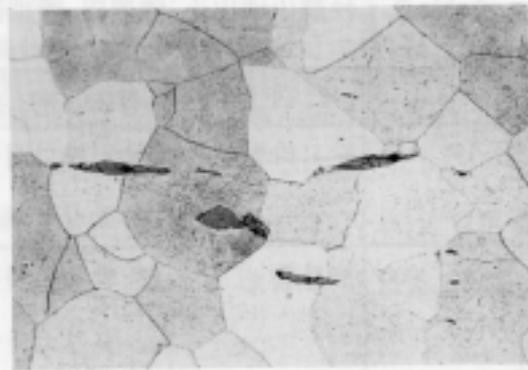
細硬度를 측정하였다. 硬度는 대부분이 粒子가 미세할수록 硬度가 높았으며 組大할수록 낮은 硬度值를 나타내었다. 또한 ferrite組織 보다는 pearlite組織이 높은 硬度值를 나타내었다. 이에 대한 試料의 種類別 部位의 硬度值를 Table 3에 나타내었다.

Table 3. 扶蘇山城出土 鐵器의 微細硬度 測定

試料No.	鐵器 種類	測定 部位	硬度值(mHv)	備考
B-1	갈고리형창	① 입자미세부분	149	
		② 입자조대부분	77	
B-2	무집창	① 입자미세부분	106	
		② 입자조대부분	90	
		③ 입자중간부분	96	
B-3	낫	① 입자미세부분	108	
		② 입자조대부분	92	
		③ 입자작고 원형부분	134	
		④ 입자미세부분	130	
B-4-a	화살촉	① 입자미세부분	160	
		② 입자조대부분	114	
		③ 입자크고 조대부분	118	
		④ 퍼얼라이트부분	105	
B-4-b	화살촉(슴베)	① 입자미세부분	153	
		② 입자조대부분	156	
		③ 입자중간부분	192	
B-5	양지창	① 입자미세부분	124	
		② 입자조대부분	115	
B-6	도끼	① 조대한 웨라이트부분	82	
		② 퍼얼라이트부분	266	
		③ 웨라이트부분	127	
		④ 퍼얼라이트 전체부분	189	
		⑤ 철이구역	166	

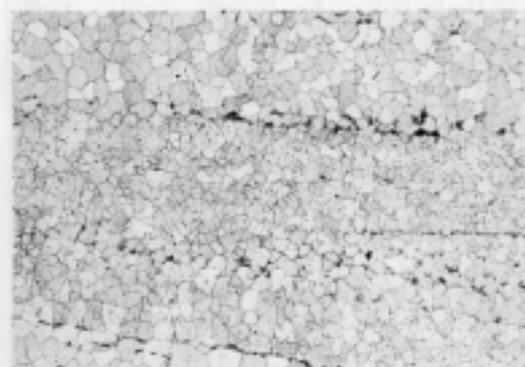


$\times 100$

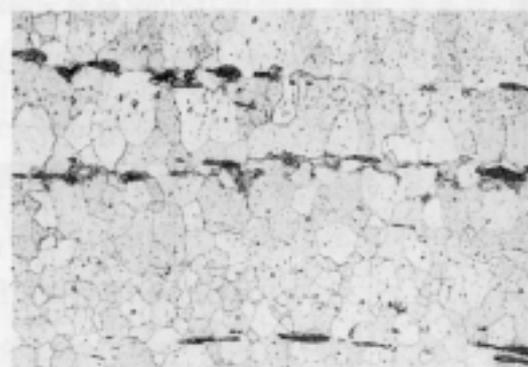


$\times 200$

Fig. 9. 철제갈고리형창(B-1)顯微鏡 組織



$\times 100$

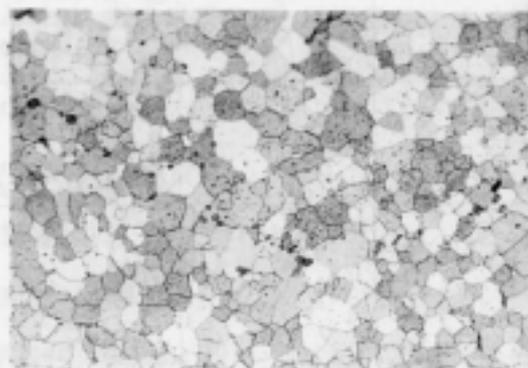


$\times 200$

Fig. 10. 철제두겹창(B-2)顯微鏡 組織

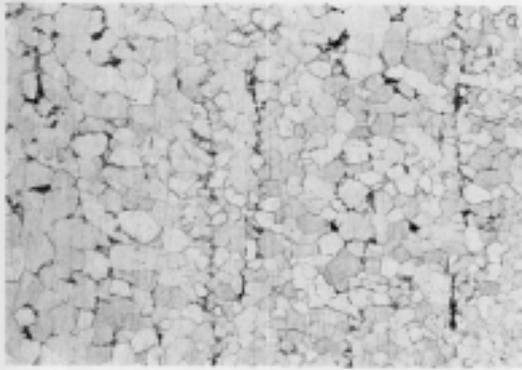


$\times 100$

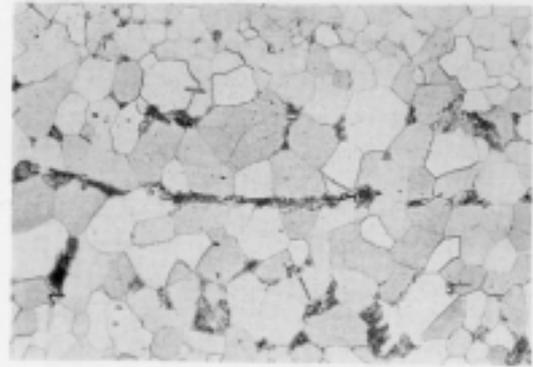


$\times 200$

Fig. 11. 철제낫(B-3) 顯微鏡 組織

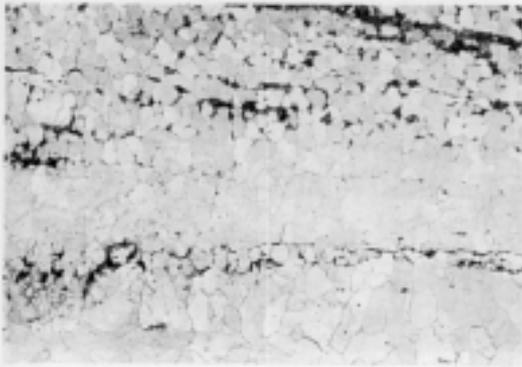


× 100

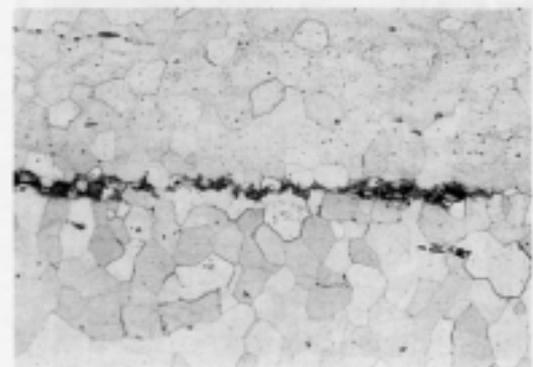


× 200

Fi. 12. 철제 화살촉(B-4-a) 顯微鏡 組織

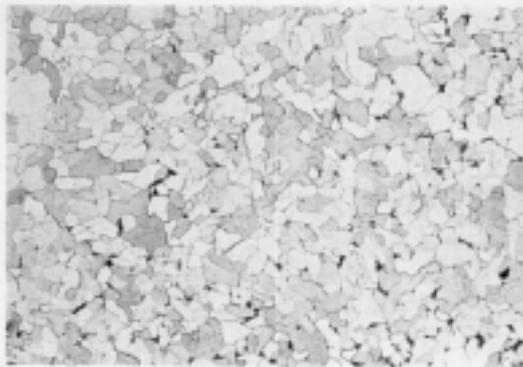


× 100

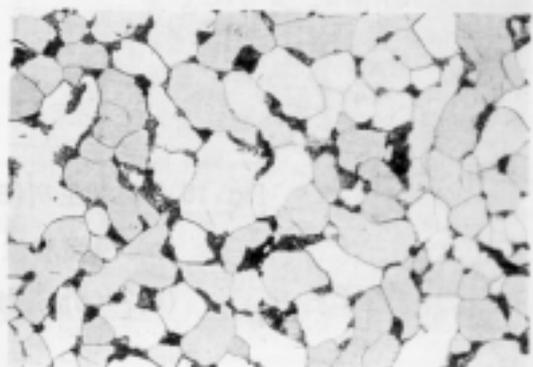


× 200

Fig. 13. 철제 화살촉(슴배)(B-4-b) 顯微鏡 組織

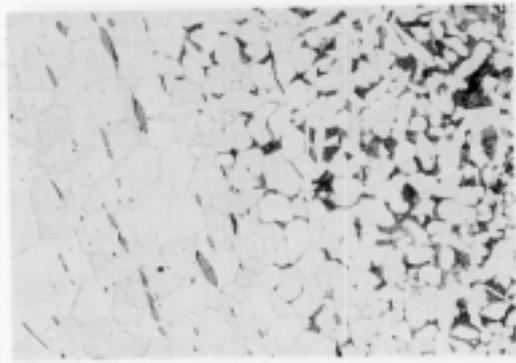


× 100



× 200

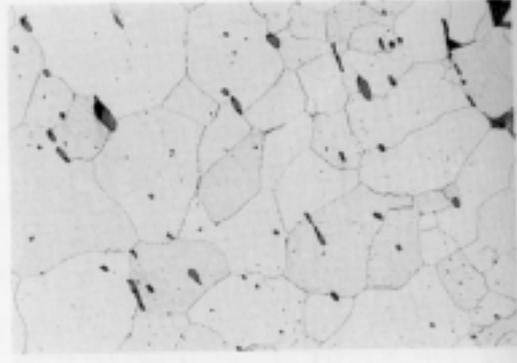
Fig. 14. 철제양지창(B-5) 顯微鏡 組織



005x

(a)

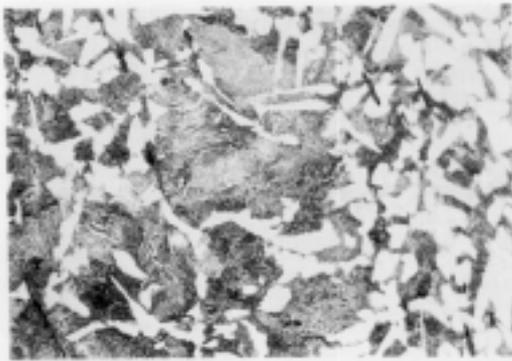
×100



001x

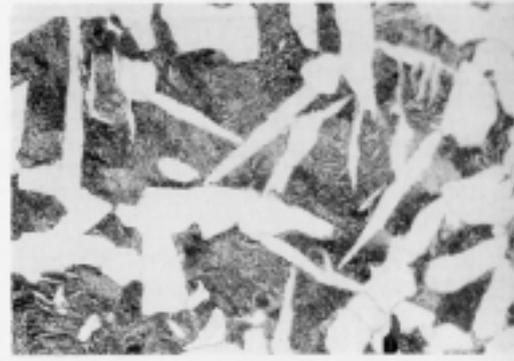
(b)

×200



×200

(c)



001x

(d)

×400

Fig. 15. 철제도끼(B-6)顯微鏡 組織

(a) 浸炭層位 (b) 內部組織

(c)~(d) 浸炭部位(Pearlite組織)



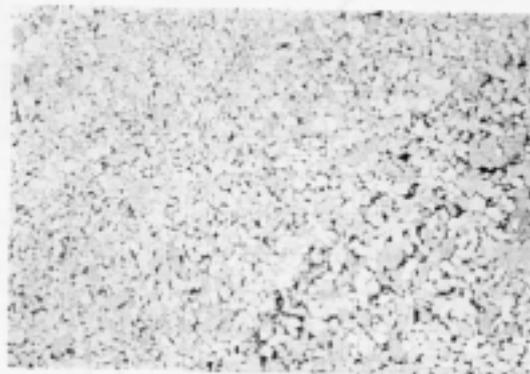
×50

Fig. 16. 反複積層鍛打層位 顯微鏡組織  
(철제두겹창)



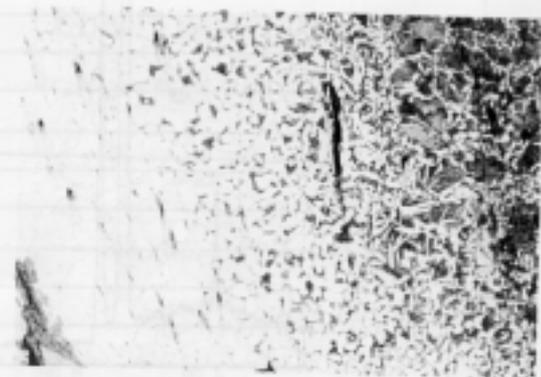
×50

Fig. 17. 粗大粒子組織層 部位  
(철제화살촉)



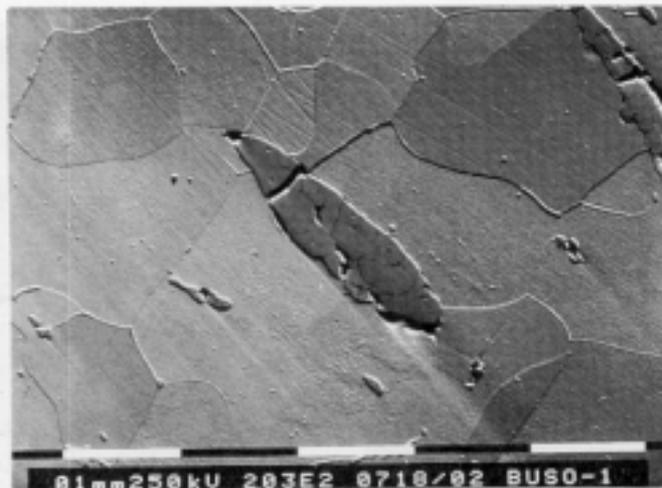
×50

Fig. 18. 微細粒子組織層 部位  
(철제양지창)

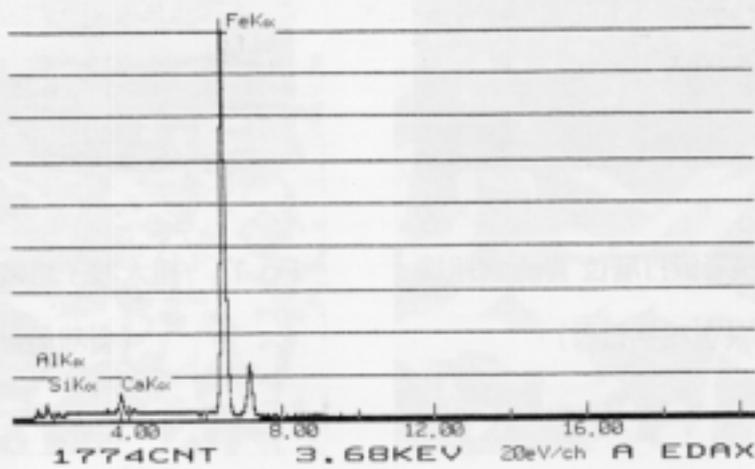


×50

Fig. 19. 浸炭組織層 部位  
(철제도끼)



-BUSO-1 (a)



-BUSO-1 (b) 上, 下

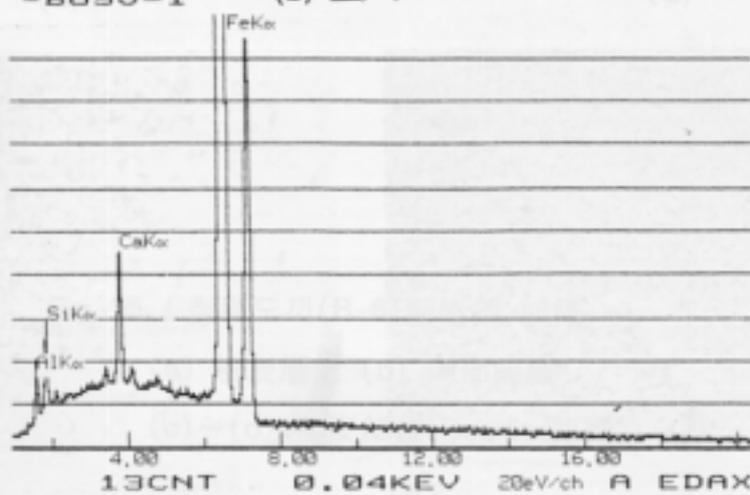
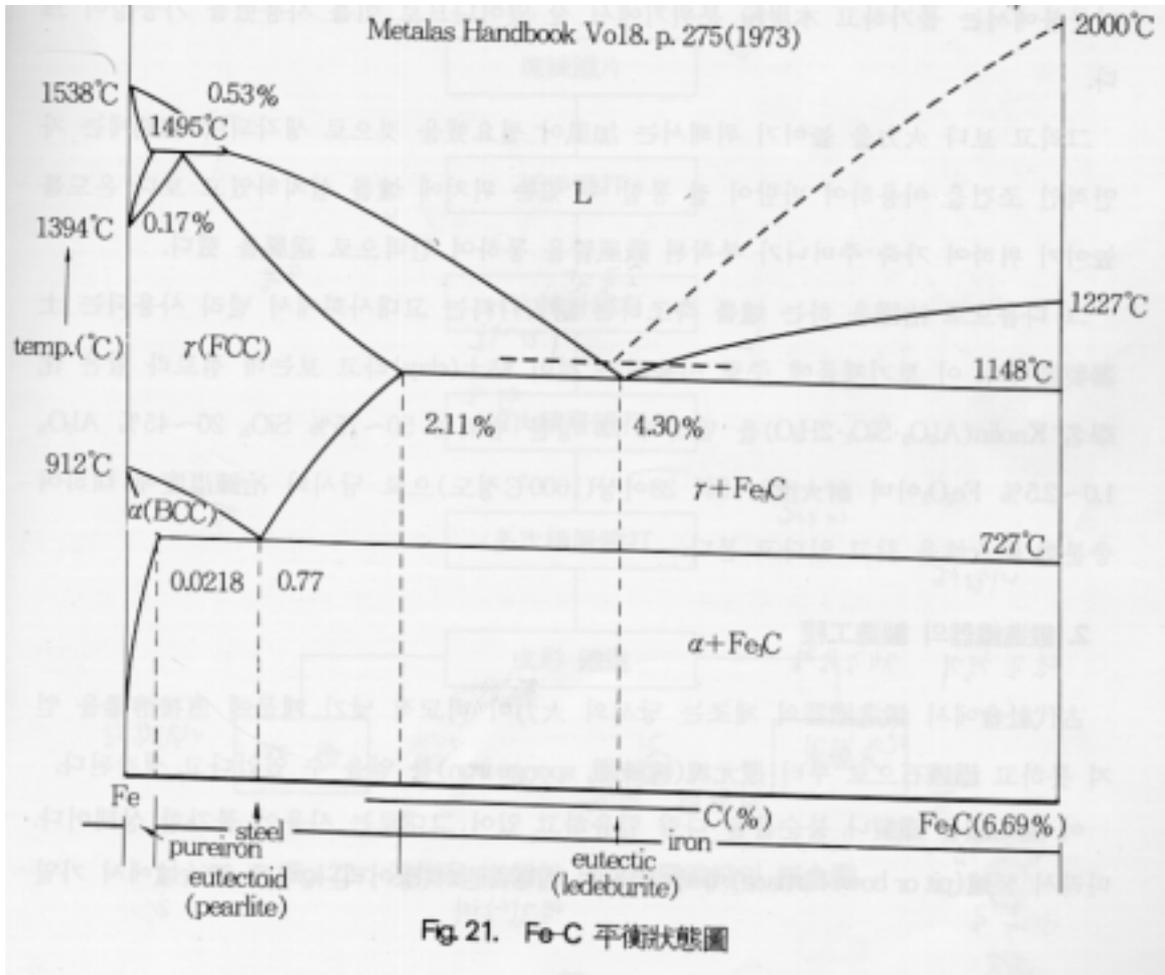


Fig. 20. 鐵器組織內部的 介在物 分布 及 化學組成 分析(SEM-EDS)  
 (a) 鐵器組織內的 介在物 分布 (b) 介在物的 化學組成

## V. 古代 鐵器의 製鍊技術

### 1. 製鐵工法의 形成(3, 15, 16)

鐵鑛石의 채취는 露頭에 확인될 수 있거나 河川에 퇴적된 砂鐵중에서 高品位의 것부터 사용되어 졌다고 말할 수 있으나 고품위의 鐵鑛石을 어떻게 구분할 수 있는가 하는 것이 문제이다. 露頭에 나타난 철광석은 塊狀으로 채취하여 破碎시킨 후 破面의 색깔에 의하여 脈石과는 육안으로 구분될 수가 있고 또 砂鐵의 경우는 근본적으로 上流에서 河岸으로 이동되는 동안 比重에 의하여 自然選鑛되어 일정한 구역에 집중 沈積되므로 발견 및 採鑛이 용이하다. 이를 뒷바침해 주는 것은 初期鐵器時代 철기출토 유적지가 鐵鑛山 분포와 지역적인 인접관계가 있다는 것이다.



冶鐵에 사용되는 燃料은 적어도 1000°C 이상의 高溫을 얻기에 적합한 火力을 유지할 수 있어야 한다. 일반적으로 冶銅과 冶鐵의 차이점은 火力에서 현저하게 나타나고 있는데 銅(靑銅)은 1100°C 부근에서 熔鍊이 가능하지만 鐵은 Fig. 20의 Fe-C 平衡狀態도에 나타난 것과 같이 純鐵의 경우 1539°C에서 溶解할 수 있고 鐵中에 탄소함유량이 증가함에 따라 차츰 融點이 떨어져 炭素舍量이 4.3% 부근에서 1150°C가

되면 용해한다. 이런 점을 감안할 때 적어도 冶鐵에서는 1200℃ 이상의 화력이 필요하다고 생각된다. 일반 나뭇불(800~900℃)은 冶銅까지는 가능하지만 冶鐵은 불가능하다고 판단된다.

따라서 이보다 화력이 높은 木炭(1200℃이상)이 사용됐다고 보는데 목탄을 사용했다는 증거로는 諸遺跡에서 발굴된 철기중에서 浸炭跡이 많이 나타나고 있으며 이 浸炭은 나뭇불에서는 불가능하고 木炭粉 분위기에서 잘 일어나므로 이를 사용했을 가능성이 크다.

그리고 보다 火力을 높이기 위해서는 加風이 필요했을 것으로 생각되며 初期에는 자연적인 조건을 이용하여 바람이 잘 통할 수 있는 위치에 爐를 설치하였고 보다 온도를 높이기 위하여 가죽 주머니가 부착된 鼓風管을 통하여 인력으로 送風을 했다.

그 다음으로 冶鐵을 하는 爐를 축조하는 耐火材料는 고대사회에서 널리 사용되는 土器製品이다. 이 토기제품에 주로 사용되는 것이 粘土(clay)라고 보는데 점토라 함은 化學名  $Kaolin(Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 2H_2O)$ 을 말하며 그 성분 범위는 50~75%  $SiO_2$ , 20~45%  $Al_2O_3$ , 1.0~2.5%  $Fe_2O_3$ 이며 耐火度는 SK 28이상(1600℃정도)으로 당시의 冶鍊溫度에 대하여 충분한 耐火性을 갖고 있다고 본다.

## 2. 鍛造鐵器의 製造工程

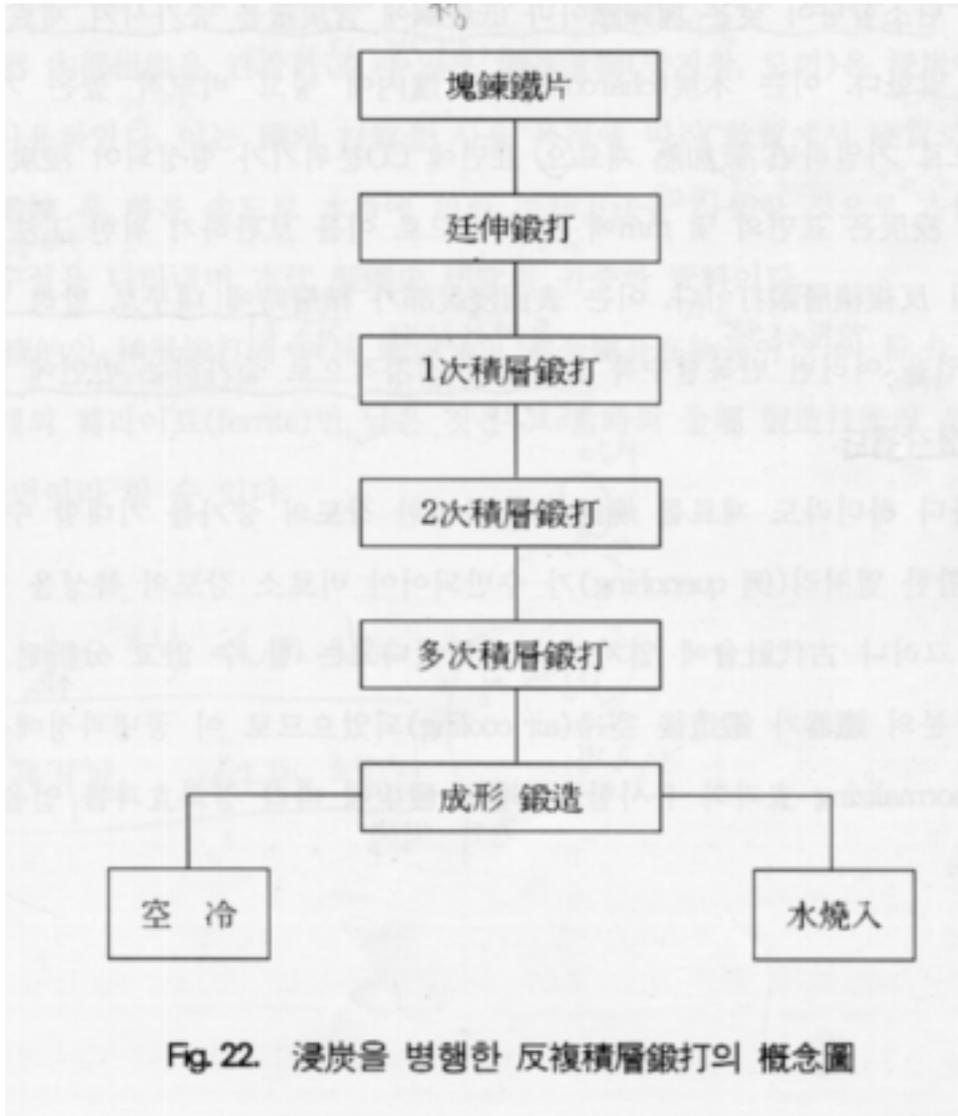
古代社會에서 鍛造鐵器의 제조는 당시의 火力이 비교적 낮기 때문에 直接溶湯을 얻지 못하고 鐵鑛石으로 부터 還元塊(塊鍊鐵, sponge iron)를 얻을 수 있었다고 생각된다.

이 還元鐵은 鐵製나 불순물을 다량 함유하고 있어 그대로는 사용이 불가능한 상태이다. 따라서 竪爐(pit or bowl furnace)에서 갓나온 熱間狀態의 덩어리나 다른 鍛冶 爐에서 가열한 후 鍛打를 계속하면 내부의 鐵滓나 불순물이 壓出되고 內部 孔洞(internal pore)이 사라지게 되는데 이러한 작업을 계속하면 재료의 結晶粒度가 미세화되고 불순물이 극소화되어 才質이 개선되는 것이다.

塊鍊鐵의 鍛造를 위한 적합한 온도는 800~1200℃정도이고 이 온도는 木材나 木炭이 연료로서 共用될 수 있다.

鍛造方法은 이미 靑銅器時代에 숙련된 匠人들에 의하여 익숙해 있다고 본다. 다만 鐵器時代에 특이한 사항으로 鍛接이나 積層鍛造를 했다는 것이다. 그러므로써 材料의 材質을 더욱 치밀하게 할 수 있었고, 異材를 鍛接하여 사용하였으며, 素地浸炭을 할 수 있었다는 것으로 특징지을 수 있다.

이에 대한 一例가 Fig. 21과 같은 공정으로 나타낼 수 있다.



### 3. 鍛造鐵器의 強化方法

古代匠人들은 鐵을 제조할 때 단순히 靑銅器의 형태만 그대로 모방한 것은 아니다. 靑銅器가 鐵器로 대체되는데 장시간의 共用過程에서 材質強度의 면에서 鐵器가 단연우세함(靑銅 : 6,000PSi, 銅 : 140,000PSi)을 터득했을 것이다. 그렇다고 鐵器가 純鐵이나 還元鐵상태에서 그렇게 높은 강도를 유지할 수 있는 것은 아니며 이에 부응하는 強化技術이 당연히 수반 되어야 한다.

古代製鐵에서 철의 強化방법으로는 反復鍛打, 浸炭, 冷鍛 및 熱處理 등을 들 수 있다.

反復鍛打는 塊鍊鐵 내부에 존재하는 巨大 介在物을 分散 및 壓出시키는 것을 병행하여 조직을 치밀하게 함으로써 재료의 強度를 개선하는 것이 이중 효과가 있다.

浸炭強化는 탄소함량이 낮은 塊鍊鐵이나 低炭鋼에 含炭量을 증가시켜 재료의 강

도를 늘리는 것을 말한다. 이는 木炭(charcoal)료를 露內에 넣고 비교적 높은 가열 온도인 1000℃ 이상으로 가열하면 被加熱 재료의 표면에 CO분위기가 형성되어 浸炭이 일어난다. 그러나 이 浸炭은 표면의 몇 mm에 국한 되므로 이를 보완하기 위한 工法이 鎚탄을 병행한 積層의 反復積層鍛他이다. 이는 表面侵炭部가 積層時에 내부로 말려 들어간 것이며 이런 작업을 여러번 반복할수록 含炭量이 점차적으로 증가하는 반면에 재질이 균일화 된다고 생각된다.

鋼은 侵炭한다 하더라도 재료를 燒鈍하면 특별한 강도의 증가를 기대할 수 없다. 따라서 이에 적합한 열처리(例 quenching)가 수반되어야 비로소 강도의 특성을 발휘할 수 있다고 본다. 그러나 古代社會에 열처리가 盛行했다고 할 수 없고 分析된 결과로서 판단컨대 대부분의 鐵器가 鍛造後 空冷(air cooling)되었으므로 이 공냉과정에서 발생하는 pearlite量(normalizing 효과와 유사함)의 增加 發生에 따라 강화효과를 얻을 수 있었다고 생각된다.

## VI. 結 論

百濟末期에 推定되는 扶蘇山城出土 鐵器遺物(7種)의 分析에 따른 金屬學的 特性에 대한 研究結果 다음과 같은 事實들을 알 수 있었다.

첫째, 成分分析結果 鐵器의 대부분은 불순물이 거의 없는 純鐵系(ferrite) 또는 炭素量이 0.3% 미만인 亞共析鋼系의 炭素鋼이었다. 또한 鋼의 불순물중 인(P)의 함량은 0.03~0.05%정도를 함유하고 있어 熔融法이 아닌 木炭을 사용하여 塊鍊鐵을 加工한 鐵器製造方法으로 추정된다.

둘째, 分析된 鐵器들은 모두 鋼을 素材로 한 積層反復鍛打에 의한 鍛造方法이다. 이와 같이 鋼材 鍛造품을 쓴 점은 鑄造품의 취약점을 개선한 技術的 발전이라 할 수 있다.

셋째, 鐵器 內部組織을 관찰한 결과 일부 鐵器遺物(양지창, 도끼)은 浸炭에 의한 熱處理方法을 사용하였다. 이는 鋼의 材質을 사용 목적에 따라 軟質에서 硬質로 개선시키기 위해 反復鍛鍊 후 빠른 속도로 水冷에 의한 冷却方法을 사용한 것으로 古代 鐵器 製造 技術의 우수성을 나타내며 古代 製造史 研究의 귀중한 資料이다.

넷째, 反復的인 積層鍛打에 의해 鐵滓 등의 非金屬介在物등이 거의 除去 되고 비교적 순수한 상태의 韃拉이트(ferrite)만 남은 것은 그 當時의 金屬 製造技術의 우수성을 보여주는 한 단면이라 할 수 있다.

## VII. 參考文獻

1. 金基雄, 1977, 武器와 火藥, 世宗大王紀念事業會, p. 131
2. 金元龍, 1986, 韓國考古學概說, 第三版, 一志社, p. 102
3. 尹東錫, 1883, 鐵器의 成分分析과 組織檢査, 韓國史論 13, pp. 558~608

4. 尹東錫, 1985, 韓國 初期鐵器의 發展과 金屬學的 解釋, 文化財 18, pp. 129~136
5. 尹東錫, 1989, 三國時代 鐵器遺物의 金屬學的 研究, 高麗大學校出版社
6. 尹東錫, 李南珪, 1985, 韓國 古代鐵器의 CMA와 EPMA에 의한 研究, 韓國 考古學報 17-18, pp.91~106
7. 尹東錫, 申環煥, 1981, 漢江流域의 初期 鐵遺物에 對한 金屬學的 解釋, 大韓金屬學會 誌 19
8. 李南珪, 1982, 南韓 初期鐵器 文化의 一考察, 韓國考古學報 13, p.39
9. 全相雲, 1984, 韓國科學技術史, 正音社, p. 257
10. 崔 炷, 1989, 慶北 月成郡 內南面 德川里 出土의 鐵슬래그에 對한 研究, 文化財 22, pp. 142~151
11. 崔 炷, 1991, 古代製鐵法의 復元實驗, 大韓金屬學會會報 4, pp. 91~98
12. Cronyn, J.M., 1990, The Elements of Archaeological Conservation, Routledge, London, p. 179
13. George, L. K., 1949, The Principles of Metallographic Laboratory, Practice, McGraw-Hill book Company, New York, p. 413
14. 『韓國史』, 1959, 古代篇, 서울, p.314
15. 北京鋼鐵學院, 1978, 『中國冶金簡史』, 科學出版社
16. 田藏郎, 1981, 鐵の考古學, 雄山閣
17. 香取 正?, 井尾 敏雄, 井伏 圭介, 1990, 金工の傳統技法, 理工社, pp. 1~2