

경북(慶北) 월성군(月城郡) 내남면(內南面) 덕천리(德川里)  
출토(出土)의 철(鐵)슬래그에 대(對)한 연구(研究)  
—유리이나 슬래그이나에 대한 논의(論議)를 중심(中心)으로—

崔 炆

<韓國科學技術研究院 金屬部長>

李仁淑

<서울大學敎 博物館 學藝研究士>

金秀哲

<韓國科學技術研究院 金屬部 技師>

都正萬

<韓國科學技術研究院 金屬部 研究員>

目 次

- |             |              |
|-------------|--------------|
| I. 序論       | 2. 슬래그의 微細構造 |
| II. 調査方法    | IV. 檢討       |
| 1. 試料의 모양   | 1. 슬래그와 유리   |
| 2. 試料의 組成分析 | 2. 製鐵法의 推定   |
| 3. 微細構造의 觀察 | V. 結論        |
| III. 調査結果   | 參考文獻         |
| 1. 試料의 組成   |              |

I. 서론(序論)

80년대초(年代初)에 신문지상(新聞紙上)에 신라시대(新羅時代)의 것으로 추정(推定)되는 유리를 녹였던 가마터가 발견(發見)되었다는 보도(報道)가 있는 다음, 분석치(分析值)를 제시(提示)하면서 유리라고 단정(斷定)을 내리는가 하면<sup>1)</sup>, 일부(一部) 학자(學者)는 이에 대(對)하여 철(鐵)을 녹였던 슬래그로 추정(推定)하여 반론(反論)을 제기(提起)하기도 하였다.

저자(著者)들은 다행(多幸)히 시료(試料)를 얻을 수 있어서 면밀(綿密)히 조사(調査)해 본 바 유리 덩어리가 아니고 슬래그임을 확인(確認)하여 금년(今年) 5월(月) 10일(日) 한국과학기술연구원(韓國科學技術研究院)에서 열린 「신소재(新素材) 200 심포지엄」에서 저자(著者)의 한사람(崔)이 연구결과(研究結果)의 일부(一部)를 공개(公開)하여

이미 지상(紙上)에 보도(報道)된 바가 있다.<sup>2)3)</sup>

본고(本稿)에서는 조사(調查)한 결과(結果)를 종합분석(綜合分析)하여 덕천리(德川理) 출토(出土)의 유리모양의 덩어리가 사실(事實)은 슬래그임을 과학적(科學的)으로 입증(立證)코자 한다.

## II. 조사방법(調查方法)

### 1. 시료(試料)의 모양

같은 지점(地點)에서 수집(收集)한 것으로 되도록 다양(多樣)한 것을 골랐다. 가장 혼한 것이 사진 1-A와 같은 것이었으며 표면(表面)은 녹청색(綠青色)을 띠고 있고, 절단(切斷)해보면 내부(內部)로 갈수록 그 빛깔이 옅어져 연한 청색(靑色), 연한 회색(灰色)을 나타내었으며 국부적(局部的)으로 암갈색(暗褐色) 부위(部位)도 있었다.

조그마한 덩어리로서는 사진 1-B의 왼쪽과 같이 마치 녹청색(綠青色)의 유리 덩어리와 같은 것이 있었으며 이를 자세히 관찰하면 오목한 곳에 오랜 풍화작용(風化作用)으로 붉은 녹(산화철(酸化鐵))이 슬어 있었다. 또한 사진 1-B의 오른쪽과 같이 다공질(多孔質)의 녹청색(綠青色) 덩어리도 있었다.

사진 1-C는 잔존(殘存)한 노벽(爐壁)과 노벽(爐壁)에 붙어있는 슬래그로서 노벽(爐壁)과 슬래그가 반응(反應)한 부위(部位)(베어(bear)라 일컫는다)는 회색(灰色)을 띠고 있었으며 곳에 따라서는 적갈색(赤葛色)의 녹이 슬어 있었다.

### 2. 시료(試料)의 조성분석(造成分析)

시료(試料) 사진 1-A를 절단(切斷)하여 각(各) 부위(部位), 즉(卽), 사진 2의 A, B 및 C부위(部位)와 베어 및 노벽(爐壁)쪽의 일부(일부(一部))를 채취하여 가루로 만들어 자석(磁石)으로 철입자(鐵粒子)를 제거(除去)한 다음, 방출발광분석법(放出發光分析法)(emission spectroscopy)으로 개략적인 분석(分析)을 하여 0.001% 이상(以上)되는 주요원소(主要元素)에 대해서는 습식법(濕式法)으로 조성(組成)을 정량(定量)하였고, 미량원소(微量元素)에 대(對)해서는 원자흡수분광법(原子吸收分光法)(atomic absorption spectrometry)이나 유도결합(誘導結合)플라즈마(ICP: inductive coupling plasma) 분광법(分光法)으로 정량(定量)하였다.

### 3. 미세구조(微細構造)의 관찰(觀察)

가루를 만들고 남은 시편(詩篇)은 에폭시에 실어 연마(研磨)하여 광학현미경(光學顯微鏡)으로 미세구조(微細構造)를 관찰(觀察)하였고, 더 크게 보기 위해서는 주사전자현미경(走査電子顯微鏡)을 썼으며, 석출(析出)된 결정체(結晶體)는 현미경(顯微鏡)에 부착(附着)되어 있는 에너지분산형(分散型) 분광계(分光計)(EDS: energy dispersive spectrometry)로 조성(組成)을 정량(定量)하였다. 한편 가루 시료(試料)를 써서 X-선

(線) 회절법(回折法)으로 슬래그내(內)의 결정체(結晶體)를 찾아내어 EDS법(法)과 대비(對比)시켜 결정체(結晶體)를 판정(判定)하였다.

### III. 조사결과(調查結果)

#### 1. 시료(試料)의 조성(組成)

조사(調查)한 시료(試料)의 각(各) 부위(部位) 및 베어와 노벽(爐壁) 흙의 조성(組成)은 표(表) 1과 같다.

표(表)를 보면 전철량(全鐵量)이 슬래그에서는 2~6%에 불과(不過)하고 베어에서는 그 양(量)이 18%에 이르고 있다. 고대제철(古代製鐵)에서는 전철량(全鐵量)이 40~50%, 중세(中世) 이후(以後)에는 30% 내외(內外)인 것이 흔한 바인데<sup>4)5)6)</sup> 이처럼 전철량(全鐵量)이 적은 예(例)는 매우 드물기는 하나 일본(日本)에서도 구주(九州) 북강시(福岡市)의 금속소산(今宿燒山)을 비롯하여 몇몇 그 예(例)가 있다.<sup>7)</sup> 한국(韓國)에서도 울주군(蔚州郡)에서 이와 유사(類似)한 분석치(分析值)가 있으나 유출(流出) 슬래그라기보다는 베어라고 생각한다고 하였다.<sup>8)</sup> 그러나 이러한 論議는 모두가 제철노(製鐵爐)가 원시적(原始的)인 화상노(火床爐)이거나 수노(豎爐)인 경우이며 초기(初期)의 고로(高爐)가 출현(出現)하면 이런 예(例)는 오히려 흔한 편이다.<sup>9)</sup>

No	Fe	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MgO	Mno	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S
1	4.91	0.67	6.28	56.7	1.28	2.01	0.59	0.65	19.0	10.1	1.42	0.07	0.04
2	4.97	2.14	4.82	54.2	1.13	2.0	0.55	0.60	19.7	10.2	1.50	0.09	0.03
3	5.41	4.82	2.37	53.7	0.90	1.99	0.54	0.45	20.3	10.3	1.67	0.09	0.01
4	2.30	0.69	2.52	69.5	0.56	0.52	2.56	0.52	6.69	11.8	3.06	0.11	0.002
5	18.1	12.0	12.5	49.0	1.61	1.06	1.00	0.97	8.90	11.0	1.43	0.21	0.03
6	3.53	0.11	4.93	68.0	1.56	0.09	0.93	0.75	0.99	17.5	3.06	0.14	0.003

표(表) 1. 슬래그의 화학조성(化學組成) (wt. %)

주(註)) No. 1-3은 사진 2의 A, B 및 C 부분, No. 4는 사진 2의 검정부위, No. 5는 베어, No. 6은 노벽임.

다시 표(表)를 보면 슬래그인 No.1~4의 SiO<sub>2</sub> 함량(含量)이 53~70%, CaO가 6~20%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 10% 내외(內外)로서 고(高) CaO, 고(高) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 유리질(質)로 되어 있다. 이런 슬래그는 고로(高爐) 슬래그의 특징(特徵)이기도 하다. □ 특(特)히 CaO를 보면 노벽(爐壁)이 0.99%인 것을 감안할 때 의도적(意圖的)으로 CaO를 다량(多量) 첨가(添加)한 것을 알 수 있다.

얼핏 조성표(組成表)만 보면 알미노 규산염(硅酸鹽)유리처럼 생각하기 쉬우나 유리와 슬래그의 구별(區別)은 일차적(一次的)으로 결정체(結晶體)가 있느냐 없느냐에 따라 판정(判定)되며, 특(特)히 철규산염(鐵硅酸鹽)이나 금속입자(金屬粒子)가 슬래그 내(內)에서 발견(發見)되면 철(鐵)을 녹이는데 쓰인 슬래그임이 틀림없다.<sup>10)</sup>

## 2. 슬래그의 미세구조(微細構造)

사진 2의 녹색색(綠青色) A부의 미세조직(微細組織)은 사진 2-A와 같다. 이 부위(部位)는 완전(完全)히 비정질(非晶質)로 되어 있고 기포(氣泡)(사진의 검고 둥근 부위(部位))가 있으며 자세히 보면 금속(金屬) 미립자(微粒子)가 곳곳에 산재(散在)해 있다. 연청색부(軟青色部)의 B부(部)를 보면 검은 기포(氣泡) 이외(以外)에 막대 모양의 석출물(析出物)이 있는데 이것은 EDS 와 X-선(線) 회절법(回折法)으로 검정(檢定)한 바  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  의 결정체(結晶體)이며 바탕은 유리질(質)이었다. 사진 2에서 B부위(部位)의 화살표는 철입자(鐵粒子)(흰 부분(部分))를 가리킨다.

연한 회색부(灰色部) C부위(部位)(사진 2-C)에서는 검은 부위(部位)의 기포(氣泡)와 막대 모양의  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  가 B부위(部位)보다 더 많이 석출(析出)되어 있으며 흰 부위(部位)는 철(鐵)의 입자(粒子)이다. 사진 하부(下部)의 나무가지 모양은 fayalite( $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ )이다. 이처럼 철(鐵)의 슬래그에서는 금속입자(金屬粒子)나 fayalite가 흔히 관찰(觀察)된다.

시료(試料)를 절단(切斷)해보면 때로는 사진 3-A와 같이 육안(肉眼)으로도 둥근 큰 금속립(金屬粒)이 박혀 있는 것을 볼 수 있으며, 금속립(金屬粒)을 확대(擴大)한 것이 사진 3-B이다. 자세히 관찰(觀察)하면 큰 금속립(金屬粒) 이외(以外)에도 많은 작은 금속입자(金屬粒子)가 곳곳에 산재(散在)해 있는 것을 볼 수 있다.

이 금속립(金屬粒)을 연마(研磨)하여 광학현미경(光學顯微鏡)으로 관찰(觀察)하면(사진 4-A) 흑연(黑鉛)이 장미꽃 모양으로 석출(析出)되어 있는 회주철(灰鑄鐵)임을 알 수 있다. 이런 회주철(灰鑄鐵)은 탄소(炭素)의 함량(含量)이 2%이상, 이번 경우에는 4% 내외로 추정되며 실리콘 함량도 높을 것으로 생각된다. 흑연(黑鉛)이 장미꽃 모양을 하고 있는 것은 냉각속도(冷却速度)가 큰 것을 의미(意味)한다. 이 금속립(金屬粒)을 다시 5% 질산(酸) + 메타놀 용액(溶液)으로 부식(腐蝕)시키면 사진 4-B와 같이 바탕은 일부(一部) 흰 점모양의 ferrite를 제외하고서는 대부분(大部分) pearlite로 이루어져 있다. 이런 pearlite 회주철(灰鑄鐵)은 강도(強度)가 클 뿐만 아니라 응고시(凝固時) 수축율(收縮率)이 적어 주물용(鑄物用)으로 매우 적합(適合)한 것이다. 극(極)히 일부(一部)이기는 하지만 때로는 사진 5와 같이 흰 부분(部分)의 ferrite와 아주 미세(微細)한 줄무늬로 된 pearlite로 이루어져 있는 탄소강(炭素鋼)도 관찰(觀察)되었다. 이는 노내(爐內)에서 침탄(浸炭)이 충분(充分)히 이루어지지 못하여 생긴 것으로 생각된다. 여기서는 ferrite구조(構造)가 극히 미세(微細)한 것으로 보아 냉각속도(冷却速度)가 컸다고 추정(推定)된다.

사진 6-A는 슬래그와 노벽이 반응(反應)한 베어부위(部位)로서 많은 각상(角狀)의 결정체(結晶體)가 산재(散在)되어 있다. 여기서 밝은 상(相)은 ferrite( $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ )이고 회색상(灰色相)은  $(\text{CaO} \cdot \text{FeO})\text{SiO}_2$  이다. 이런 상(相)은 노벽(爐壁) 근방의 온도가 노심(勞心)보다 낮아 산화물(酸化物)의 환원(還元)이 잘 되지 않을 때 생기는 결정체(結晶體)이며, 바탕은 유리질(質)이다.

특히 배어부위(部位) 중(中)에서도 적갈색(赤葛色)의 녹이 슬어있는 부위(部位)를 보면 사진 6-B와 같이 유리질(質) 바탕에 철(鐵)의 덩어리가 흩어져 있다.

## IV. 검토(檢討)

### 1. 슬래그와 유리

유리와 슬래그는 그 조성(組成)이 거의 같고 빛깔도 흡사하여 양자(兩者)를 판별(判別)하자면 조성(組成)뿐만 아니라 미세구조(微細構造)도 반드시 관찰(觀察)할 필요(必要)가 있다.

제철(製鐵)에 쓰인 슬래그가 유리와 다른 점(點)은 철(鐵)의 슬래그에는 철(鐵)의 규산염(硅酸鹽)(ferrous silicate) 결정체(結晶體) 예(例)컨대 사진 2-C나 6-A와 같이 fayalite가 관찰(觀察)되거나 또는 더 한층 직접적(直接的)인 증거(證據)로서 철입자(鐵粒子)가 검출(檢出)된다(사진 2-C나, 3-A)

덕천리(德川理) 출토(出土)의 슬래그에서는 이 두 가지가 다 검출(檢出)되어 결코 유리라고는 할 수 없다.

유리의 정의(定義)에 의하면 용융물(熔融物)이 결정화(結晶化)가 일어나지 않도록 하여 냉각(冷却)시켜 얻은 무기물질(無機物質)이라 하였는데,<sup>11)</sup>이 정의(定義)에 따르면 사진 2-B에서 CaO · SiO<sub>2</sub> 상(相)이 석출(析出)된 것을 보아 유리가 아니라고도 할 수도 있으나 예외(例外)로 결정체(結晶體)유리에서는 결정체(結晶體)가 석출(析出)되므로 이것만 갖고서 곧장 슬래그라고 단정(斷定)할 수는 없다.

앞서 지적(指摘)한 바와 같이 덕천리(德川理) 출토물(出土物)은 슬래그인 것이 분명(分明)하지만 유리라고 가정(假定)해보면 지금까지 한국(韓國)에서 출토(出土)된 각종(各種) 유리제품(製品)의 조성(組成)과는 동떨어져 있다는 것을 쉽게 알 수 있다. 즉 출토품의 조성을 보면 CaO 함량(含量)이 가장 많은 것이 신라고분(新羅古墳)의 남색 구슬로서 6.5%, Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub> 는 해남군(海南郡) 군곡리(郡谷理)의 초록색(草綠色) 관옥(管玉)으로서 6.3%인데 비(比)하여<sup>12)</sup> 본(本) 슬래그에서는 CaO가 20% 내외(內外), Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub> 가 10% 내외(內外)로서 우선 조성상(組成上) 크게 빛나가고 있다. 슬래그 조성(組成)에서는 Na<sub>2</sub> O가 함유(含有)되어 있어서 소다유리처럼 생각되기도 하나 슬래그에서도 목회(木灰)가 함유(含有)되면 Na<sub>2</sub> O가 검출(檢出)된다.

또 한가지의 방증(傍證)으로서 유리 녹이는 가마터였다면 유리제품(製品)의 파편(破片)이라도 출토(出土)될 수 있을텐데 현재(現在)까지는 그런 파편(破片)의 출토(出土)보고(報告)를 접(接)하지 못하였다. 위에 제시(提示)한 이유(理由)로 덕천리(德川理) 출토물(出土物)은 유리가 아니고 슬래그라는 것을 확인(確認)할 수 있다.

### 2. 제철법(製鐵法)의 추정(推定)

덕천리(德川理) 슬래그의 연대(年代)는 아직껏 밝혀지지 않았으나 고고학자(考古學者)들의 견해(見解)에 따라 신라시대(新羅時代)의 것이라고 가정(假定)하고 기술(記述)코자 한다.

그렇다면 신라시대(新羅時代)에 과연(果然) 회주철(灰鑄鐵)의 생산(生産)이 가능(可能)

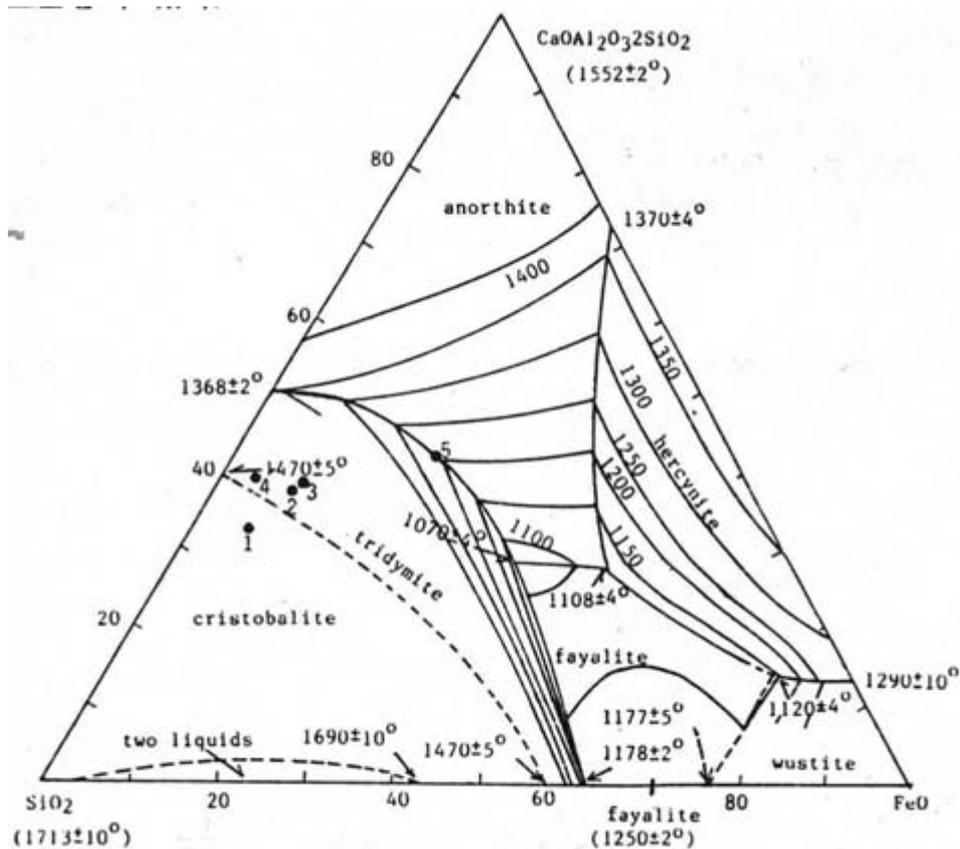
하였을가하는 의문(疑問)에 부딪힌다. 메소포타미아에서는 BC1200년(年), 아나톨리아나 이집트에서는 BC1000년(年)에 제철(製鐵)이 시작되었는데<sup>13)</sup> 이들은 모두가 다 해면철(海綿鐵)(괴연철(塊鍊鐵))의 제조(製造)로부터 시작된다. 원료(原料)로는 양질(良質)의 철광석(鐵鑛石)과 숯을 사용하였으며 숯이 탈 때 생기는 CO가 산화철(酸化鐵)을 환원(還元)하여 고상(固狀)의 해면철(海綿鐵)을 얻는다. 여기에는 협잡물(挾雜物)이 다량(多量) 함유(含有)되었기 때문에 철괴(鐵塊)가 식기 전에 단타(鍛打)하여 협잡물(挾雜物)을 빼져 나오게 한다. 당시(當時) 기술(技術)로는 제련온도(製鍊溫度)를 1,000°C 이상(以上) 올릴 수가 없었다. 이런 해면철(海綿鐵)은 극히 연(軟)하여 단조(鍛造)가 가능(可能)하여 단조제품(鍛造製品)을 만들 수는 있으나 주물(鑄物)을 만들 수는 없다. 순철(純鐵)의 용융점(熔融點)은 1,535°C이므로 1,000°C 내외(內外)의 온도(溫度)로서는 철(鐵)을 액상(液相)으로 추출(抽出)할 수 없고 고상(固狀)의 해면철(海綿鐵)밖에 얻을 수 없다. 고온(高溫)을 얻자면 원시적(原始的)인 화상로(火床爐)나 수로(豎爐)로서는 얻을 수 없으므로 후대(後代)에 와서는 노신(爐身)을 높이고, 강력(強力)한 고풍장치(鼓風裝置)를 설치(設置)하기에 이르렀다. 특(特)히 철(鐵)의 탄소함량(炭素含量)이 증가(增加)하게 되면 용점(融點)도 낮아져 탄소(炭素)가 4.3%쯤 함유(含有)되면 용점(融點)은 1,148°C가 되고 탄소함량(炭素含量)이 그 이상(以上) 증가(增加)되면 다시 용점(融點)도 증가(增加)하게 된다.

서구(西歐)에서는 14C초(初)에 비로소 탄소함량(炭素含量)이 2% 이상(以上)(선철(銑鐵) 또는 주철(鑄鐵)이라고 한다)되는 주철(鑄鐵)을 실용화(實用化)할 수 있었으나 중국(中國)에서는 BC 6C인 춘추시대(春秋時代)에 철(鐵)을 제련(製鍊)하기에 이르렀고 더욱이 서구(西歐)와는 달리 해면철(海綿鐵)과 거의 동시(同時)에 주철(鑄鐵)을 생산(生産)할 수 있었다는데 그 특징(特徵)이 있다. 춘추만기(春秋晚期)(BC 5C)에 강소(江蘇) 육합정교(六合程橋)에서 출토(出土)된 철조(鐵條)와 철환(鐵丸)은 각각(各各) 고대(古代) 해면철(海綿鐵)을 단조(鍛造)한 것과 백주철(白鑄鐵)을 주조(鑄造)한 것임이 밝혀졌다.<sup>14)15)</sup> 중국(中國)에서는 상·주시대(商·周時代)에 이미 고도(高度)의 청동주조기술(靑銅鑄造技術)이 발달(發達)하여 청동(靑銅)의 고로(高爐)가 철(鐵)의 고로(高爐)로 이행(移行)하기가 쉬워서 주철(鑄鐵)을 얻을 수 있게 되었다.<sup>16)</sup> 이때의 제련온도(製鍊溫度)는 1,200~1,500°C로 추정(推定)된다. 춘추(春秋)·전국시대(戰國時代)의 고로유지(高爐遺址)는 아직 발견(發見)되지는 않았으나 한대(漢代)의 고로유지(高爐遺址)는 하남(河南), 강소(江蘇), 북평(北平) 등지(等地)에서 발견(發見)되었고<sup>17)</sup> 그 중(中)에서도 가장 진보(進歩)된 것이 하남(河南) 정주(鄭州) 고영진(古營鎮)의 고로(高爐)이다.<sup>18)</sup> 이것은 노고(爐高)가 4.5m이며 단면(斷面)은 타원형(橢圓形)으로 되어 있다. 처음 생산(生産)된 것은 대부분(大部分) 백주철(白鑄鐵)이었으나 이는 인성(靱性)이 적고 경도(硬度)가 크지만 깨지기 쉽다. 이를 개선(改善)한 것이 회주철(灰鑄鐵)인데 서한(西漢) 초기(初期)(BC 2C)에는 이미 생산(生産)하기에 이르렀다.

이처럼 중국(中國)은 서구(西歐)와 달리 기원전(紀元前)에 고로(高爐)를 써서 주철(鑄鐵)을 생산(生産)하여 마차(馬車)의 축수(軸受) 등(等)에 사용(使用)되었다.

이것을 감안(勘案)할 때 인국(隣國)인 신라(新羅)에서 수백년(數百年) 후(後) 주철(鑄鐵)을 생산(生産)하게 되었다는 것은 크게 놀랄 일은 아니다. 실제(實際)로 경북(慶北) 월성군(月城郡) 외동면(外東面) 녹동리(鹿洞理)의 제철유적(製鐵遺蹟)의 고로(高爐)는 높이가 5m나 되어 주철(鑄鐵)을 출산(出産)할 수 있기에 충분(充分)하다고 예상(豫想)되고 있다.□ 그러면 제련온도(製鍊溫度)는 얼마나 될까하여 표1의 조성(組成)을 갖고

anorthite( $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ )— $\text{SiO}_2$ — $\text{FeO}$ 의 상태(狀態)도(圖)를 써서 도시(圖示)해본 바 그림 1과 같이 용융점(熔融點)은 대체로  $1,450^\circ\text{C}$  내외(內外)였다. 그러나 본(本) 슬래그 조성(組成)에는  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{FeO}$  이외(以外)에 여러 산화물(氧化物)이 함유(含有)되어 있기 때문에 융점(融點)이 내려가기 마련이다. 실제(實際)로 슬래그를 갖고 융점(融點)을 조사(調查)한 바 약(約)  $1,250^\circ\text{C}$ 였다. 고로(高爐)에서는 이 이상(以上)의 온도(溫度)로 충분(充分)히 주철(鑄鐵)을 생산(生産)할 수 있다.



1. 綠靑部 2. 軟靑部 3. 연한 灰色部 4. 黑色部 5. 베어  
그림 1. 슬래그의 熔融點

1. 녹청부(綠靑部) 2. 연청부(軟靑部) 3. 연한 회색부(灰色部) 4. 흑색부(黑色部) 5. 베어  
그림 1. 슬래그의 용융점(熔融點)

한편으로 연료(燃料)로서는 숯 이외(以外)에 석탄(石炭)을 썼는지는 조성표(組成表)의 S의 함량(含量)을 보면 유황분(分)이 0.04% 이하(以下)여서 숯을 쓴 것이 틀림없다는 것을 알 수 있다.

## V. 결론(結論)

경북(慶北) 월성군(月城郡) 내남면(內南面) 덕천리(德川理) 출토(出土)의 제철(製鐵) 슬래그에 대하여 조사(調査)하였다. 출토(出土)된 용융물(熔融物)의 외양(外樣)은 유리처럼 보이는 것도 있으나 이것을 과학적(科學的)으로 면밀(綿密)히 조사(調査)한 바 철입자(鐵粒子)가 박혀 있고, 또한 철(鐵)의 규산염(硅酸鹽) 결정체(結晶體)가 검출(檢出)되는 것을 보아 철(鐵)의 슬래그임을 확인(確認)하였다. 더욱이 슬래그 속의 철입자(鐵粒子)를 조사(調査)한 바 주물용(鑄物用)으로 적합(適合)한 pearlite 회주철(灰鑄鐵)임이 밝혀졌다.

중국(中國)의 회주철(灰鑄鐵)이 서한시대(西漢時代)인 기원전(紀元前) BC 2C에 출현(出現)한 것을 보아 훨씬 후대(後代)인 신라시대(新羅時代)에서도 주철(鑄鐵)을 충분히 생산(生産)할 수 있다고 생각된다. 또한 덕천리(德川理) 슬래그의 용점(融點)이 1,250°C인 바 조업온도(操業溫度)는 그 이상(以上)의 온도(溫度)인 약 1300°C로 추정(推定)된다. 고로(高爐)와 강력(強力)한 고풍장치(鼓風裝置)를 써서 이런 고온(高溫)을 얻어 내어 철(鐵)을 광석(鑛石)에서 높은 효율(效率)로 추출(抽出)할 수 있었다는 것은 당시(當時)의 기술수준(技術水準)이 높았다고 할 수 있다.

단지 여기서 서술(敘述)한 것은 덕천리(德川理)의 슬래그를 신라시대(新羅時代)의 것이라고 추정(推定)하여 언급(言及)했으나 아직도 연대측정(年代測定)이 이루어지지 않았기에 하루 빨리 연대측정(年代測定)이 이루어지기를 바란다.

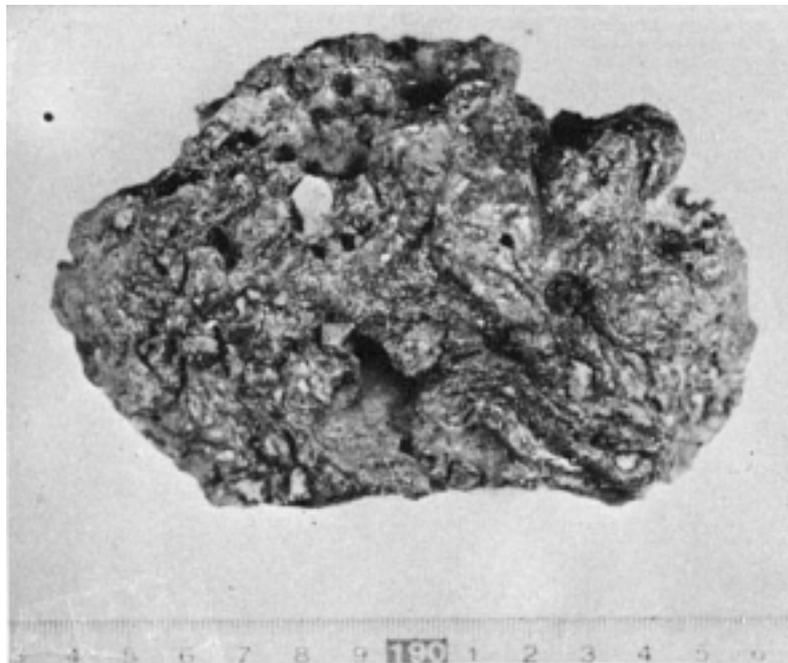


사진 1-A. 슬래그

사진 1-A. .go.kr슬래그

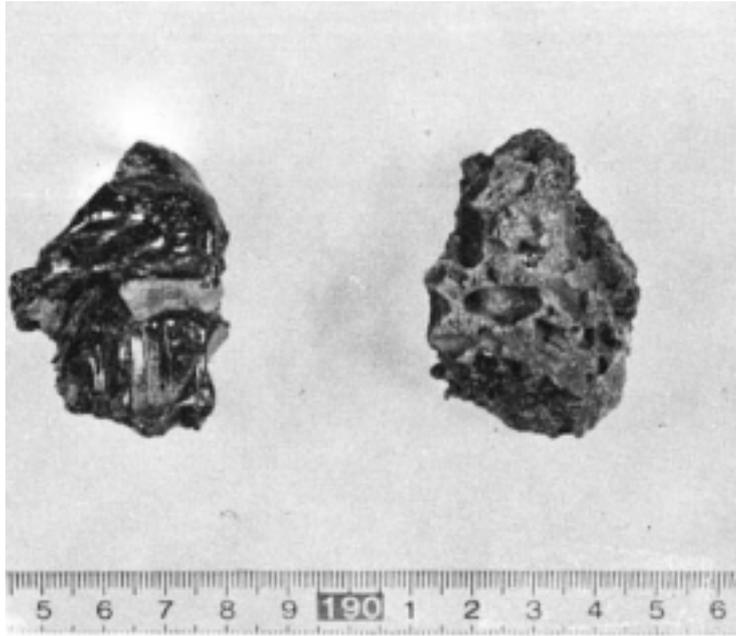


사진 1-B. 슬래그  
사진 1-B. 슬래그

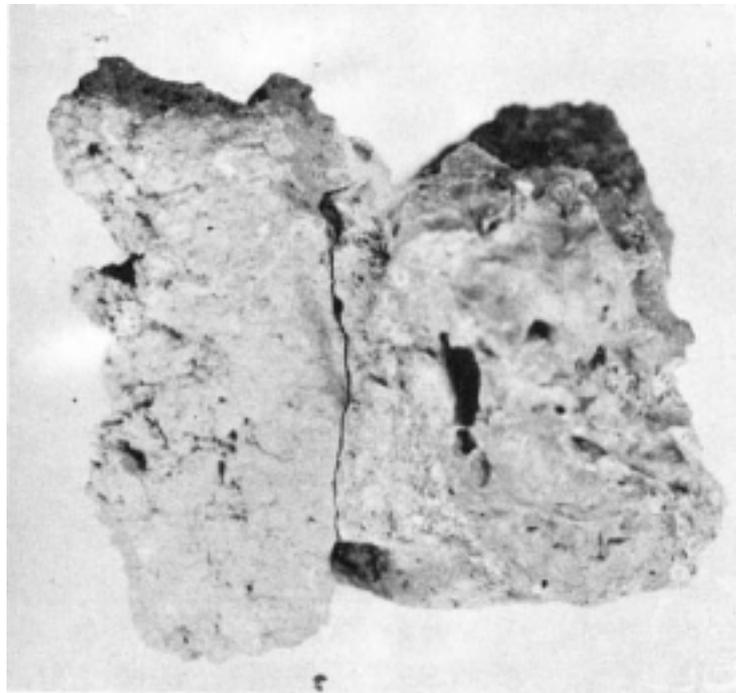
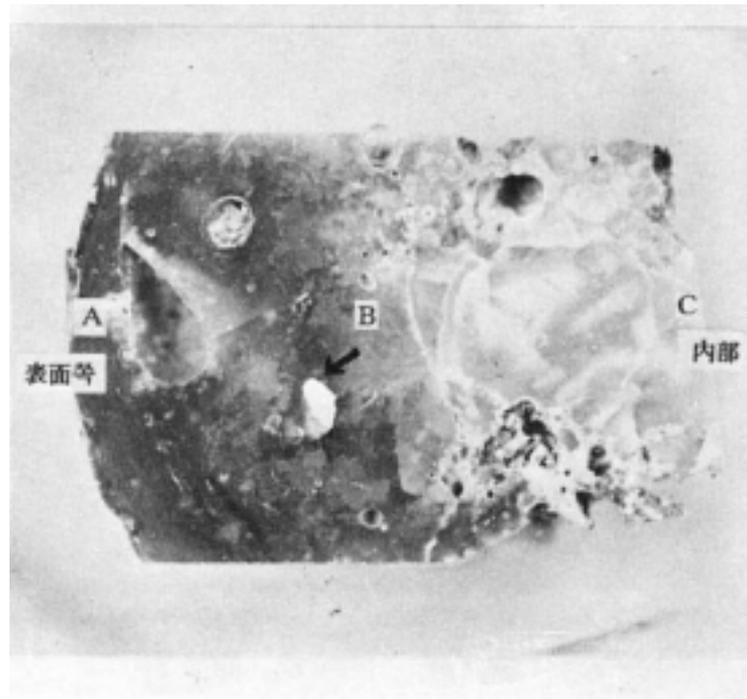


사진 1-C. 베어  
사진 1-C. 베어



2. 슬래그 表面部の 매크로 構造, 倍率3.6 倍

사진 2. 슬래그 표면부(表面部)의 매크로 구조(構造), 배율(倍率) 3.6배(倍)

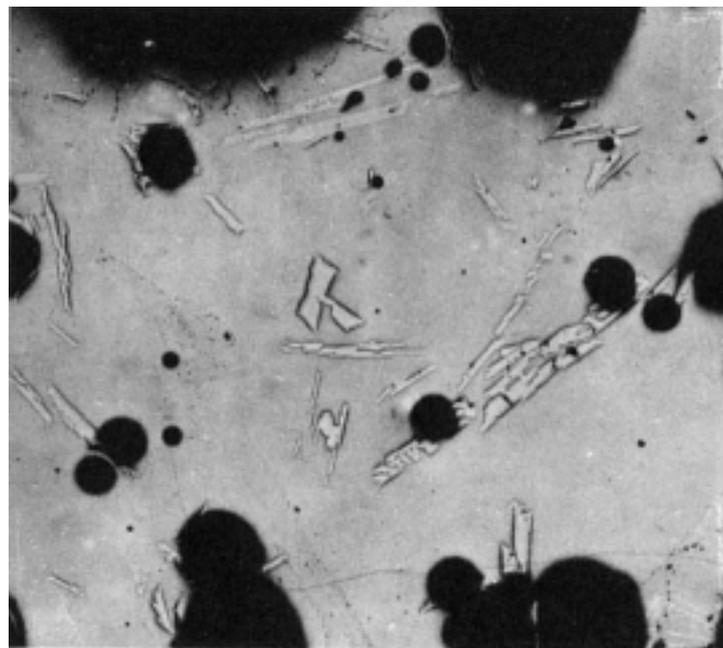


사진 2-A, 綠青色部(A部)의 微細組織,

사진 2-A. 녹청색부(綠青色部)A부(部)의 미세조직(微細組織), 배율(倍率) 100배(倍)

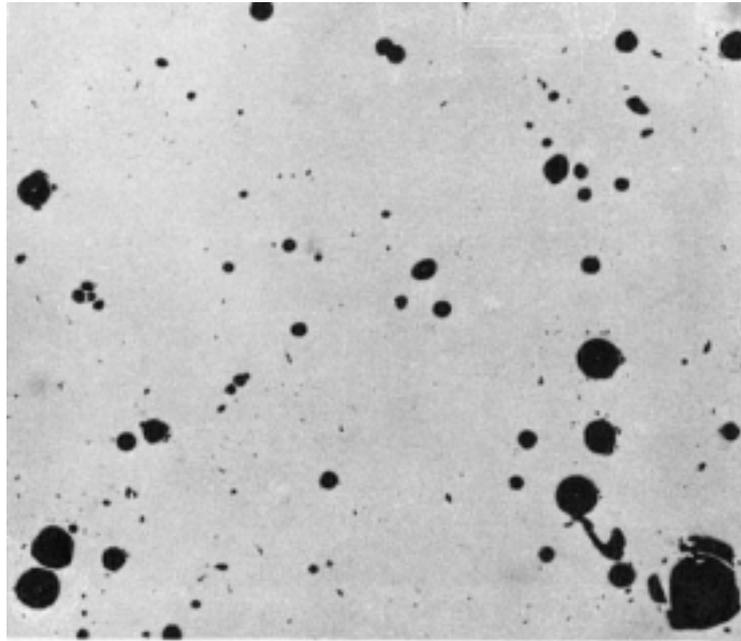


사진 2-B. 연청색부(軟青色部)B부(部)의 미세조직(微細組織),  
사진 2-B. 연청색부(軟青色部)B부(部)의 미세조직(微細組織), 배율(倍率) 100배(倍)

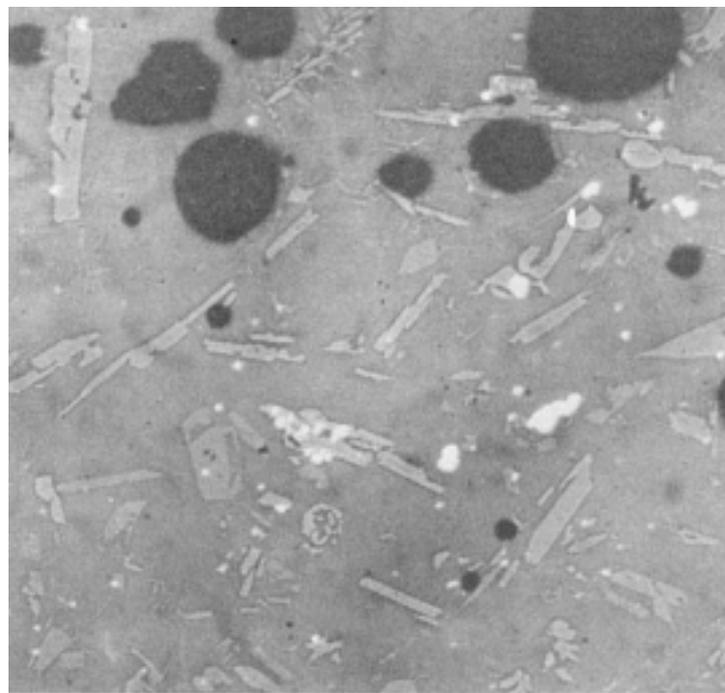


사진 2-C. 연한 회색부(灰色部)C부(部)의 미세조직(微細組織),  
사진 2-C. 연한 회색부(灰色部)C부(部)의 미세조직(微細組織), 배율(倍率) 63배(倍)

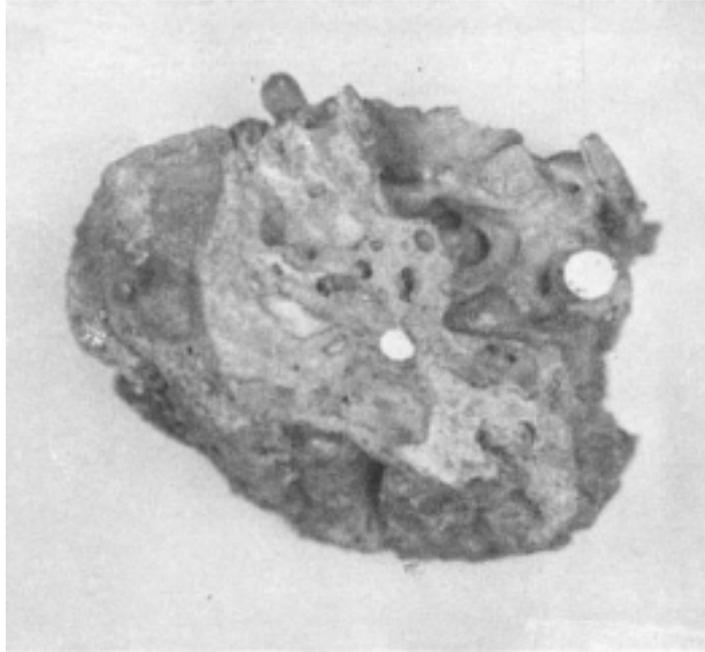


사진 3-A. 슬래그의 斷面圖, 흰 부위는 쇧  
 사진 3-A. 슬래그의 단면도(斷面圖), 흰 부위는 쇧방울 사진

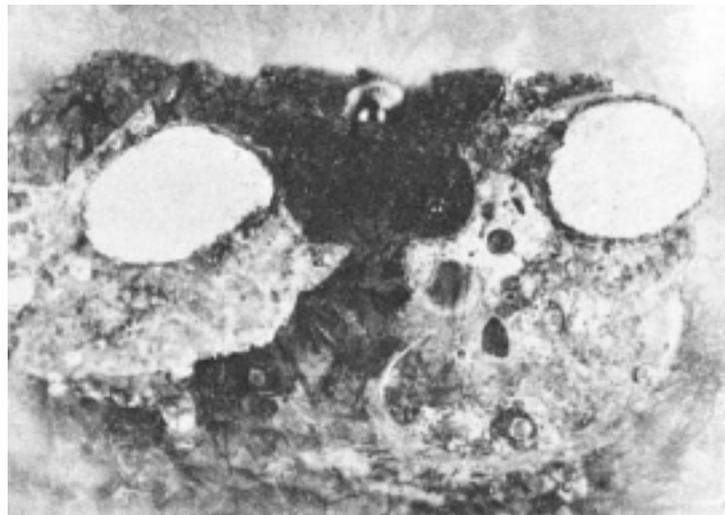


사진 3-B. 쇧방울이 있는 슬래그 덩어리의  
 사진 3-B. 쇧방울이 있는 슬래그 덩어리의 확대도(廓大圖), 둥근 흰 부위(部位)가 큰  
 쇧방울, 배율(倍率) 3.15배(倍)

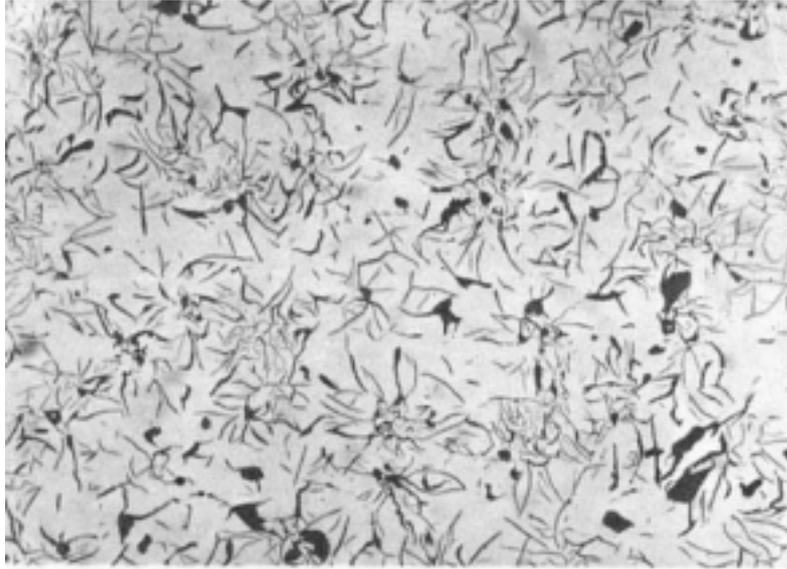


사진 4-A. 쇳방울의 腐蝕前 組織, 검은 것은

사진 4-A. 쇳방울의 부식전 조직(腐蝕前 組織), 검은 것은 흑연(黑煙)으로 회주철(灰鑄鐵)임. 배율(倍率) 100배(倍)



사진 4-B. 쇳방울의 腐蝕後 組織, 바탕의 직

사진 4-B. 쇳방울의 부식후 조직(腐蝕後 組織), 바탕의 작은 줄무늬는 펄라이트로서 펄라이트 회주철(灰鑄鐵)임. 배율(倍率) 200배(倍)

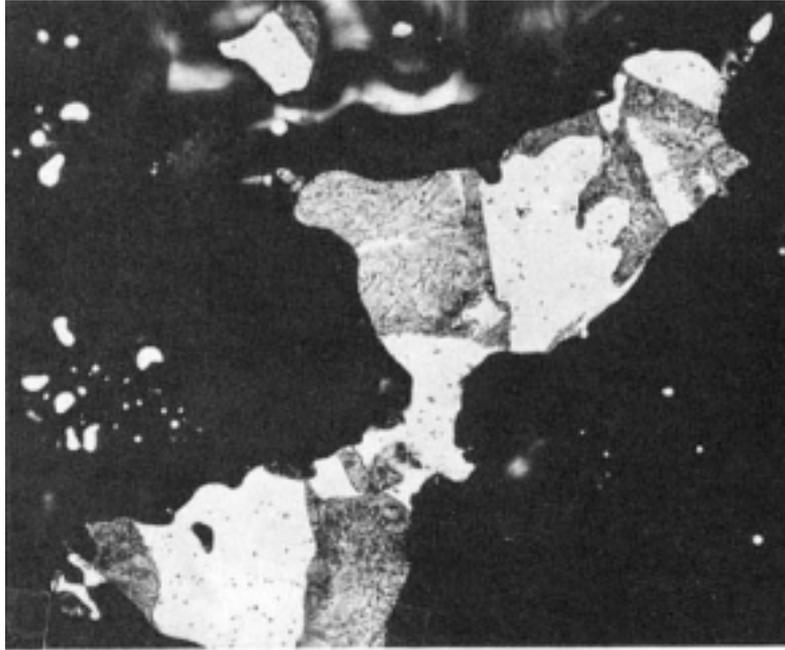


사진 5. 슬래그 內의 微細 鐵粒子, 흰 部位

사진 5. 슬래그 내(內)의 미세 철입자(微細 鐵粒子), 흰 부위(部位)는 페라이트이고 무늬가 있는 부위(部位)는 펄라이트로서 중탄소강(中炭素鋼)임, 배율(倍率) 252배(倍)



사진 6-A. 슬래그의 反應部位인 베어의 微

사진 6-A. 슬래그의 반응부위(反應部位)인 베어의 미세구조(微細構造), 배율(倍率) 5500배(倍)

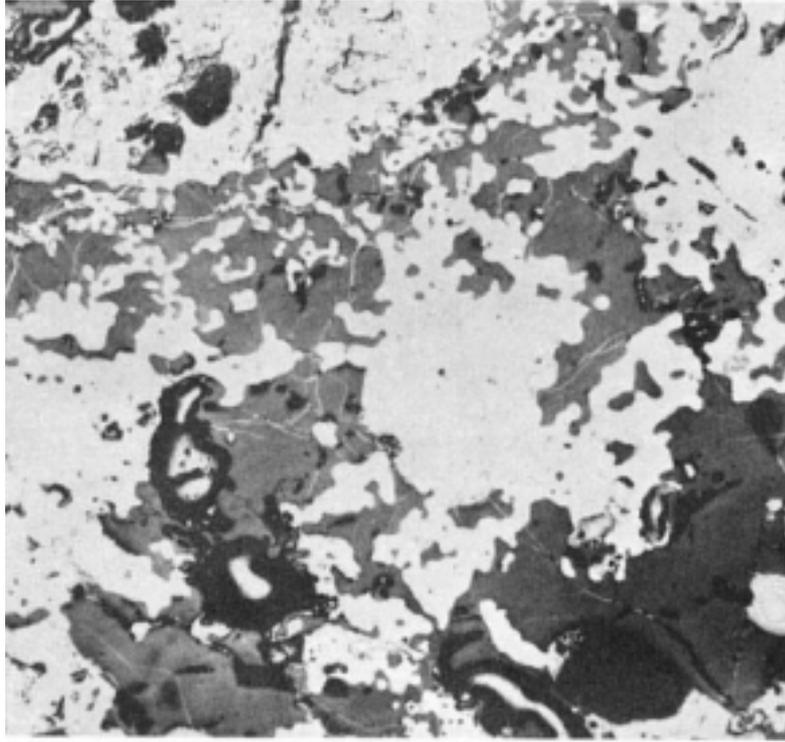


사진 6-B. 베어가 심하게 녹슬어 있는 部位

사진 6-B. 베어가 심하게 녹슬어 있는 부위(部位)의 미세구조(微細構造), 배율(倍率) 100배(倍)

#### 參考文獻

- 1) 全相運 『이야기 韓國科學史』, 서울新聞社, 1985, p.368
- 2) 每日經濟新聞 1989年 5月 12日 8면에 「신라 때 우리 가마터가 아니다」라는 題下로 引用되었음.
- 3) 東亞日報 1989年 5月 16日 10면에 「첨단기술로 『과거 秘密』 밝힌다」라는 題下로 紹介되었음.
- 4) 窪田藏郎 『金屬』 47, 1977, p.58
- 5) 清永欣吾 『素形材』 1985, 5, p.22
- 6) 桂 敬 『考古學』 第8號, 1984, p.53
- 7) 窪田藏郎 『鐵의 考古學』 雄山閣, 1975, p.180
- 8) 窪田藏郎 『考古學ジャーナル』 278, 1987, p.25
- 9) R.F. Tylecote 『The Prehistory of Metallurgy in the British Isles』 The Institute of Metals, 1986, p.221
- 10) Hans-Gert Bachmann 『The Identification of Slags from Archaeological Sites』 The Institute of Archaeology, 1982, p.3
- 11) R.H. Doremus 『Glass Science』 John Wiley & Sons, New York, 1973
- 12) 李仁淑 『古文化』 第34輯, 6, 1989, p.86
- 13) R.H. Doremus 『A History of Metallurgy』 The Metals Society, 1976, p.169
- 14) 李 象 『考古學報』 1975年 第2期
- 15) 黃展岳 『文物』 1976年 第8期
- 16) 朱壽康 『有色金屬』 1980, p.13
- 17) 『中國文明史話』, 木鐸出版社, 1983, p.100

18) 鄭州博物館 『文物』 2, 1987, p.28