김포 양촌유적 출토 원삼국시대 철부에 적용된 제작기술 검토

유재은¹ | 이재성*

국립문화재연구소 복원기술연구실, *국립나주문화재연구소

Study on the Manufacturing Technology Applied on Iron Axes of Proto-Three Kingdoms excavated from Yangchon, Gimpo

Jae Eun Yu¹ | Jae Sung Lee*

Restoration Technology Division, National Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon, 305-380, Korea

*National Research Institute of Cultural Heritage of Naju, Naju, 520-230, Korea

¹Corresponding Author: yje62@hotmail.com, +82-42-860-9341

초 록 원삼국시대에 속하는 경기도 김포시 양촌유적에서 출토된 단조철부 5점과 주조철부 1점을 대상으로 미세조직 관찰과 비금속개재물 분석을 실시하였다. 단조품에 사용된 소재는 순철에 가까운 소재와 저탄소강이 사용되었고 성형 후 1점에만 담금질을 하였다. 주조품은 주철을 탈탄시킨 미세조직이 보여 주철탈탄 제강법이 적용된 것을 확인하였다. 비금속개재물 분석 결과 철부는 고체저온환원법으로 제련하여 생산된 괴련철을 두드려서 제작하였다. FeO 함량이 SiO₂에 비해 비교적 높게 나타나 제련 시 노의 온도가 환원에 충분하지 못해 Fe의 회수율이 적었던 것으로 보이며 이 과정에서 광물에 포함된 K, P, Mg, Mn, Ti 등 불순물이 혼입되었다. Ca 함량이 높게 검출되는 곳이 있어 일부는 조제제로 석회물질을 넣었던 것으로 추정된다.

중심어: 철부, 미세조직, 탈탄, 침탄, 담금질, 비금속개재물

ABSTRACT Microstructures and nonmetallic inclusions of five forged iron axes and one cast iron axe were analyzed. The axes were excavated from the Proto-Three Kingdom Period site located in Yangchon, Gimpo. The forging objects were made of almost pure iron and low carbon steel, and only one among five were quenched after its figuration. Malleable cast iron structures showing on the casting suggest that the decarbonized casting method were applied. According to the results of nonmetallic inclusion analysis, the axes were produced by hammering the iron bloom which was attained with low-temperature -solid-reduction-method. Showing higher Fe content over SiO₂, it is assumed that the re-collecting rate of Fe was low because of the insufficient forging temperature and the impurities were included during the smelting process. It is assumed that the lime was used as a preparation because of detecting high Ca contents.

Key Words: Iron axes, Microstructure, Decarbonizing, Carbonizing, Quenching, Nonmetallic inclusion

1. 서 론

고대의 철기 제작은 크게 제련과정과 제작과정으로 구

분할 수 있다. 제련은 철기 제작에 사용되는 소재를 얻기 위해 광석이나 광물을 노에 넣어 환원시켜 철을 얻는 단계로 이 과정에서 철과 불순물인 슬래그가 생산된다. 여기서

연어진 철을 2차로 정련하거나 두드려서 형태를 만들게 되는데 이때 재료에 포함된 불순물이 제거되거나 철기로 제작한 후에도 내부에 흔적을 남기게 된다. 유물을 만드는 제작과정은 철을 두드리거나 주형에 쇳물을 부어 주물로 형태를 만드는 성형부터 제강, 열처리 등의 기술이 적용되는 단계이다. 제작에 가해진 기술은 미세조직을 관찰함으로써 알 수 있으며 현재까지 철기 연구 성과의 대부분을 차지하고 있다. 이와 함께 제련과 관련된 기술은 조직 내부에 존재하는 비금속개재물을 통해 파악할 수 있다. 비금속개재물은 제련 시 광물이나 연료 등의 불순물이 빠져나가지 못하고 잔존한 것으로 고대의 제련이 대부분 고체저온환원법으로 철과 불순물의 분리가 원활하지 못하여 나타난 현상이다. 비금속개재물 연구는 슬래그와 노벽을 중심으로 분석이 이루어졌고 유물을 대상으로 한 연구도 진행되어 꾸준히 성과가 나오고 있다(Ha, 2008; Lim, 2011; Kim, 2012; Cho, 2013).

철은 우수한 강도와 실용성으로 고대 정치세력의 기반이자 고대국가의 형성과도 연관되고 있다. 무기와 각종 농기구로 제작되었지만 부장용으로 제작되어 고분에 매장되기도 하였다. 특히 고대부터 철 산지로 알려진 영남 지역에서는 다량의 철기가 출토되어 이에 대한 연구가 진행되어 왔다. 철기 연구는 미세조직 분석을 통한 제작기술 연구를 중심으로 이루어졌고 적용된 기술체계도 어느 정도 밝혀졌다. 최근에는 일부 지역을 중심으로 한 제련 제철 관련 연구도 진행되고 있어 앞으로 전체적인 철기 제작기술 양상을 파악할 수 있을 것으로 본다(Cho, 2012; Cho *et al.*, 2013).

본고는 원삼국시대 철기를 대상으로 미세조직과 비금속개재물 분석을 실시하고 그 결과를 토대로 제련과 제작기술을 알아보고자 한 것이다. 대상 유물은 경기도 김포시에 소재하는 양촌유적에서 출토된 철부이다. 이 유적은 3세기 대 원삼국시대에 속하는 유구가 발견된 곳으로 양촌택지개발지구 개발에 앞서 발굴조사가 실시된 곳이다. 김포시 운양동 일대에 분포하고 있으며 한강문화재연구원에서 2007년부터 2011년까지 발굴조사를 실시하였다. 확인된 유구 중 원삼국시대 분묘에서 철부, 철착, 철모, 철검 등의 철기가 다량으로 출토되었다(Hangang Ins., 2013). 수량이나 종류로 보아 이들 철기에 대한 과학적 분석을 통해 당시 이 지역에 적용된 제작기술을 파악할 수 있을 것으로 판단되었다.

출토 철기는 미세조직과 비금속개재물 분석을 실시하

였으며 일부는 미세조직 결과를 발표하였다(Yu *et al.*, 2011; Yu and Lee, 2012). 여기서는 철부의 미세조직과 비금속개재물 분석으로 적용된 제작과 제련기술에 대해 밝혀보고자 한다. 철부만을 대상으로 한 것은 종류에 따른 적용 기술을 알고자함이며 이는 향후 다른 철기에 대한 연구 결과와 함께 이 지역 철기 제작기술 체계를 밝히는데 도움이 될 것이다.

2. 연구 대상 및 방법

2.1. 연구 대상

대상유물은 철부 6점으로 단조품이 5점이고 주조품이 1점이다. 길이 약 7~12cm의 소형에 속하는 철부로 약간씩 다른 형태를 하고 있다. 대부분 사각형이나 철부 4는 날의 양끝이 둥글게 올라간 모양이다. 공부는 접혀있는 형식과 접히지 않는 것으로 나눌 수 있다. 단조철부는 두드려서 제작할 때 대부분 공부를 접게 되나 철부 4는 접지 않아 날의 형태와 함께 약간 다른 양상을 보이고 있다. 주조품은 양날 끝에 돌대가 있는 형태로 단면 사각형이다. 유물과 시편을 채취한 위치는 Table 1로 정리하였다.

2.2. 연구 방법

각 부위에서 시료를 채취해서 시편을 제작하였다. 먼저 금속이 남아있는지 여부를 자석으로 확인하고 다이아몬드 커터로 시편을 채취하였다. 시편은 에폭시수지로 고정시켜 마운트하고 샌드페이퍼 #500, #1,000, #2,000 순으로 연마하였다. 마지막에 3 μ m, 1 μ m 연마제를 사용하여 관찰 면을 마무리하였다. 미세조직 관찰을 위해 Nital(Nitric acid+ Ethyl alcohol) 2% 용액으로 시료의 관찰 면을 부식시켰다.

미세조직은 광학현미경(Leica DMR, Germany)을 사용하여 배율별로 관찰하였다. 미세조직에 따른 경도 값 측정은 비커스경도기(Future Tech, 하중 100gf, 5초)를 사용하였다. 미세조직 내에 존재하는 비금속개재물은 먼저 주사전자현미경(SEM, Tescan)으로 관찰하고 화학조성 분석은 에너지분산형X선분석기(Energy Dispersive Spectroscopy: EDS, Bruker)를 이용하였다. 분석에 앞서 시료는 백금(Pt)으로 코팅하였다.

Table 1. List of samples.

Axes image	Artifacts No.	Samples	Size(cm)	Excavated points
No. 1	Blade	6.9	1-11-1
No. 2	A: blade B: butt	9.6	1-11-2
No. 3	Blade	7.8	1-11-8
No. 4	Blade	11	1-11-11
No. 5	A: butt B: blade	12	1-11-12
No. 6	A: butt B: side of blade	9.2	1-11-12

3. 분석 결과

3.1. 철부(No. 1)

날 부위의 미세조직을 관찰할 수 있었으며 왼쪽이 표면이고 오른쪽은 유물 내부를 가리킨다. 전체적으로 조밀한

페라이트와 펄라이트가 혼재되어 있으며 좌우로 길게 늘어선 비금속개재물이 보인다. Figure 1의 확대한 이미지에서 볼 수 있듯이 페라이트 결정립계에 펄라이트가 분포하고 있다. 아공석강 정도의 탄소 함량을 가진 소재를 두드려서 제작하였고 제강이나 열처리는 실시하지 않았다. 페라이트의 경도 값은 136Hv, 160Hv를 가지며 페라이트와 펄

Figure 1. Microstructure of blade(left:×50, right:×500).

Figure 2. SEM image and points of EDS analysis.

라이트가 혼재된 곳은 157Hv, 180Hv의 경도 값을 나타낸다.

Figure 2는 미세조직에 존재하는 비금속개재물의 SEM-EDS 분석 위치를 표시한 것으로 분석 결과는 Table 2와 같다. 밝은 회색의 원형인 1번은 철 산화물이 주요 성분으로 검출된 wüstite이며 원형 입자사이에 존재하는 짙은 회색의 2번에서는 주성분인 Fe 이외에 많은 함량의 Si, Ca, Al 등이 산화물 상태로 검출되었다. 비금속개재물의 가장자리에 위치한 밝은 회색의 3번은 Fe가 주성분으로 미량의 Si와 Al을 함유한 wüstite이다. 3번 철 산화물이 1번으로 분석된 wüstite에 비해 Fe 함량이 높은 이유로 정련과정에서

의한 환원과정으로 생각해 볼 수도 있으나 EDS 분석에 따른 인접 소지금속의 영향도 배제할 수 없다. 이 철부의 비금속개재물에서는 가장자리에 위치한 wüstite 이외의 조직에서 산화물 상태의 인(P)이 검출된다. 용해를 수반하지 않고 진행되는 저온환원 제련과정에서는 불순물의 완전 제거가 불가능하므로 Figure 2와 같은 비금속 개재물이 잔류하게 된다(Choi *et al.*, 2001).

3.2. 철부(No. 2)

Figure 3에서 보이는 날 부위 미세조직은 조밀한 페라이트와 펄라이트가 혼재하고 있으나 가운데는 약간 큰 결정립을 보이고 외부에 해당하는 왼쪽 부분을 중심으로 약간 조밀한 양상을 보인다. 좌우로 길게 늘어선 비금속개재물이 보여 여러 번 두드려서 제작한 것을 알 수 있다. 공부는 전체가 페라이트 조직으로 우측이 표면이고 좌측이 유물 내부를 향하는데 페라이트 결정립은 불균일한 양상을 나타낸다(Figure 4). 날의 페라이트 경도 값은 112Hv, 118Hv이고 공부의 페라이트 경도 값은 121Hv에서 148Hv로 측정되었다.

Figure 5는 날과 공부의 비금속개재물을 SEM-EDS로 분석한 위치를 나타낸다. 왼쪽 사진의 날의 비금속개재물에서 밝은 원형의 2번은 Fe가 주성분으로 미량의 Si와 Al을 함유하는 wüstite이다. 1번은 원형 입자 사이 바탕을 분석한 것으로 Fe가 주성분인 Si-Al-Ca계의 유리질 슬래그로 보인

Table 2. EDS analysis result of No. 1 axe.

Analysis position	Oxide Concentration (wt%)							
	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	MgO	P ₂ O ₅	TiO ₂
1	85.55	8.73	1.55	2.96	0.69	-	0.49	-
2	42.79	21.98	5.05	18.44	3.29	-	7.99	0.44
3	99.14	0.52	0.33	-	-	-	-	-

Figure 3. Microstructure of blade(left:×50, right:×500).

Figure 4. Microstructure of butt(×50).

Figure 5. SEM image and points of EDS analysis(left: blade, right: butt).

Table 3. EDS analysis result of No. 2 axe.

Sample	Analysis position	Oxide Concentration (wt%)							
		FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	MgO	P ₂ O ₅	TiO ₂
blade	1	62.33	19.57	11.59	2.62	3.86	-	-	-
	2	90.59	5.93	2.34	0.55	0.57	-	-	-
butt	1	83.58	8.36	2.28	3.99	1.11	0.66	-	-
	2	65.12	17.75	3.98	9.53	2.39	0.57	0.63	-
	3	73.14	13.89	2.30	8.73	1.92	-	-	-

Figure 6. Microstructure of blade(left:×50, right:×100).

다. 공부의 비금속개재물 중 1번에서는 대부분 철 산화물이 검출되며, 2번과 3번에서는 철 산화물과 함께 높은 함량의 Si, Ca, Al이 검출되었다(Table 3). 이러한 결과는 wüstite가 Si-Al-Ca계 유리질 슬래그에 혼입되었음을 보여준다.

3.3. 철부(No. 3)

Figure 6은 날에서 채취한 시편의 미세조직으로 전체적으로 순철에 가까운 조대한 페라이트 결정립이 생성되어 있다. 다량의 비금속개재물이 형성되어 있는데 특히 윗부분에 집중되어 있다. 비금속개재물은 불규칙한 형태를 보이고 있다. 순철에 가까운 소재를 두드려서 제작한 것으로 많이 사용하는 날 부위임에도 불구하고 제강이나 열처리를 실시하지 않았다. 페라이트 경도 값은 103Hv와 110Hv를 나타낸다. 비금속개재물의 분석 위치를 Figure 7에 표시하였고 분석 결과는 Table 4로 정리하였다. 바탕에 길게 띠 형태를 하고 있는 1번은 Fe가 주성분으로 Si, Al, Ca를 함유하는 fayalite로 추정되며 부정형의 2번과 원형의 3번, 4번은 wüstite임을 알 수 있다. 이와 같은 형태의 비금속개재물 조성은 저온환원에 의해 생산된 철과 슬래그에서 혼

Figure 7. SEM image and points of EDS analysis.

히 관찰되는 미세조직이다.

3.4. 철부(No. 4)

오른쪽이 유물 내부를 향하며 나머지는 표면에 해당하는 데 상하로 미세조직과 탄소 함량에 차이가 있다(Figure 8).

Table 4. EDS analysis result of No. 3 axe.

Analysis position	Oxide Concentration (wt%)							
	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	MgO	P ₂ O ₅	TiO ₂
1	59.10	26.12	4.79	6.80	1.98	1.17	-	-
2	97.80	1.07	0.37	0.34	-	0.39	-	-
3	78.43	12.57	2.39	4.32	1.65	0.61	-	-
4	93.25	4.12	1.05	1.25	-	0.30	-	-

상부는 펄라이트 바탕에 페라이트가 보이고 하부는 페라이트가 대부분으로 결정립계에 아주 작은 펄라이트가 생성되었는데 상부에는 과열조직인 widmansätten이 보인다(Figure 9). 상부에만 집중적으로 생성된 펄라이트로 보아 탄소 함량이 낮은 소재로 제작 후 부분적인 침탄을 실시한 것으로 추정된다. 추가적인 열처리는 실시하지 않았다. 페라이트 경도 값은 117Hv, 119Hv이고 펄라이트는 226Hv, 232Hv이다. 페라이트 바탕에 펄라이트가 생성된 곳의 비금속재물에서 원형의 밝은 부분은 철 산화물인 wüstite이며 바탕의 어두운 곳은 Fe가 주성분이면서 Si, Al, Ca 등의 원소를 함유하는 유리질 슬래그로 보인다(Figure 10, Table 5).

Figure 8. Microstructure of blade($\times 50$).

3.5. 철부(No. 5)

공부의 미세조직 이미지에서 왼쪽이 유물 내부를 향하고 오른쪽이 표면이다(Figure 11). 표면과 내부의 균열된 부위를 따라서 부식된 곳이 보인다. 상부의 페라이트 조직과 하부의 펄라이트 조직으로 상하가 확연히 구분된다. 상

Figure 10. SEM image and points of EDS analysis.

Figure 9. Microstructure of blade($\times 200$) (left: below, right: upper).

Table 5. EDS analysis result of No. 4 axe.

Analysis position	Oxide Concentration (wt%)							
	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	MgO	P ₂ O ₅	TiO ₂
1	56.73	19.59	3.51	17.38	1.60	1.16	-	-
2	92.68	1.99	0.08	2.40	0.18	0.46	-	-

Figure 11. Microstructure of butt(left:×50, right:×200).

Figure 12. Microstructure of blade(×50).

Figure 13. Martensite and pearlite(×200).

Figure 14. SEM image and points of EDS analysis(left: butt, right: blade).

Table 6. EDS analysis result of No. 5 axe.

Sample	Analysis position	Oxide Concentration (wt%)									
		FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	MgO	P ₂ O ₅	Na ₂ O	TiO ₂	MnO
Butt	1	42.11	27.52	13.58	4.90	8.62	-	-	2.93	0.30	-
	2	73.51	23.47	1.58	0.51	-	0.90	-	-	-	-
	3	88.29	4.72	3.28	0.67	1.12	-	-	0.73	1.16	-
Blade	1	25.61	42.50	2.69	4.19	17.36	1.77	4.23	1.26	-	-
	2	58.19	20.57	0.90	4.73	12.12	0.80	2.05	-	-	0.61
	3	30.12	40.77	2.56	4.10	14.97	1.35	4.41	0.68	-	0.61
	4	27.97	20.16	0.55	23.04	12.36	0.59	15.29	-	-	-

부와 하부의 경계면에 과열조직인 widmanstätten이 부분적으로 생성되었다. 하부의 펄라이트는 공석강에 가까운 탄소 함량을 나타낸다. 날은 공석강의 펄라이트 바탕에 좌우로 길게 마르텐사이트 조직이 일부 생성되었다(Figure 12). 탄소 함량이 낮은 소재로 형태를 만들고 날 부위에 집중적인 침탄 후 담금질을 실시한 것으로 보인다(Figure 13). 이 과정에서 공부에 일부 침탄을 실시한 것으로 추정된다. 공부 페라이트 경도 값은 110Hv, 113Hv이고, 펄라이트는 263~275Hv의 경도 값을 가진다. 날 부위 펄라이트는 352~359Hv, 마르텐사이트는 698~751Hv이다.

공부와 날의 비금속개재물 분석 위치와 분석 결과는 Figure 14와 Table 6과 같다. 공부는 페라이트 바탕에 펄라이트가 형성된 곳의 비금속개재물로 약간 밝은 작은 원형의 3번과 부정형의 2번은 wüstite로 보인다. 바탕의 어두운 1번은 Fe가 주성분인 반면 Si, Al, Ca, K를 함유한 유리질 슬래그로 판단된다. 날의 비금속개재물은 마르텐사이트 조직에 형성된 것으로 1번과 3번은 Si가 주성분인 유리질 슬래그이고, 2번과 4번은 함량에 차이는 있으나 모두 유리질 슬래그로 보인다. 여기서는 모두 P의 성분이 검출되었으며 4번은 다른 부위에 비해 P와 Ca의 함량이 높게 검출되었다.

3.6. 철부(No. 6)

공부와 날의 옆면인 돌대에서 채취한 시편의 미세조직은 주철을 탈탄시켜 생성된 미세조직임을 나타낸다. 미세조직에 검은 점으로 보이는 상들은 흑연이다(Figure 15). 주사전 자현미경으로 확대하여 EDS로 맵핑한 결과 미세조직 내의 검은 색 상들이 흑연이라는 것을 명확히 분석할 수 있었으며 소재인 철 이외에 탄소만 포함되어 있음을 확인하였다(Figure 16). 흑연은 뜨임(tempering)에 의해 시멘타이트가 분해되어 생성된 temper carbon으로 덩어리 모양의 분포 양상을 보인다. 공부의 끝 부분에 탈탄이 많이 된 페라이트가 집중되어 보이는데 이것은 형태 제작 시 생성된 주철 조직의 단점인 취성을 제거하기 위하여 탈탄 작업이 집중적으로 수행되었음을 말한다. 이와 같은 탈탄 조직은 백주철을 약

Figure 15. Microstructure of butt(×50). **Figure 16.** (A) SEM image, (B) EDS mapping of Fe, (C) EDS mapping of C.

Figure 17. Microstructure of side of blade(left:×50, right:×1000).

700~800℃에서 오랜 시간 동안 뜨임(tempering)하여 생성된 것으로 판단된다. 특히 돌대에서 관찰되는 구상화 시멘타이트는 주철을 탈탄시키기 위한 작업이 727℃ 부근의 온도에서 수행되었음을 추정케 한다(Figure 17). EDS 분석 결과 회주철 생성과 관련성이 높은 규소(Si)는 검출되지 않았다. 공부의 페라이트는 147~188Hv, 펄라이트는 221Hv, 구상화 시멘타이트는 204~230Hv의 경도 값을 가진다. 날 옆면의 구상화 시멘타이트 경도 값이 297~302Hv이다.

4. 고찰 및 결론

이상으로 김포 양촌유적에서 출토된 철부 6점에 대한 미세조직과 비금속재물 분석을 실시하여 적용된 제작기술을 밝혀보고자 하였다. 단조품의 날 부위는 페라이트, 페라이트와 펄라이트, 펄라이트와 마르텐사이트의 세 가지 양상을 보인다. No. 3은 페라이트만 형성되어 있어 순철에 가까운 소재를 사용한 것이다. 페라이트와 펄라이트가 혼재된 No. 4는 일부 침탄을 실시한 것으로 보이며 No. 5 철부는 침탄 후 담금질을 하여 부위의 강도를 높이려고 하였다. 공부는 No. 2와 No. 5의 철부에서만 관찰할 수 있었다. No. 2의 경우 순철에 가까운 페라이트 조직을 나타내며 No. 5는 일부분 침탄을 실시하였다. 특이한 점은 주조 철부에 주철탈탄 제강법이 적용된 것이다. 이것은 주조가 가지는 취성을 제거하기 위해 탈탄을 시도한 것으로 어떠한 탈탄법이 사용되었는지 명확하지 않으나 구상화 시멘타이트로 보아 727℃ 부근에서 작업이 이루어진 것으로 판단된다.

주철탈탄 제강법이 적용된 철기로 무순지역 고구려 산성 출토 철촉(Choi *et al.*, 2001), 제주 용담동 출토 주조철부(Kang, 2004), 송실대학교 소장 철제거울(Kim *et al.*, 2012) 등이 있다. 대량생산과 관련이 높은 무순지역의 고구려 산성 출토 철촉의 경우 내부의 백주철 조직에서부터 외부의 펄라이트까지 탈탄의 결과로 생성되는 미세조직의 변화를 잘 보여주고 있다. 제주 용담동 출토 주조철부는 No.6 철부와 형태나 크기가 유사하며 주철탈탄 철부라는 점에서 공통점을 보인다. 하지만 용담동 주조철부의 미세조직에는 대부분 페라이트가 형성된 반면 No.6 철부는 구상화 시멘타이트에서부터 펄라이트, 페라이트까지 다양한 미세조직의 변화를 보여준다. 주철탈탄법이 적용되었으나 제작 시 세부적인 공정에서는 차이가 있었을 것으로 보인다. 주철을 탈탄하여 주철탈탄강을 얻는 기술은 중국의 서한시대(B.C. 2~1세기)때부터 나타나고 있다(Yoon, 1984). 주철을 탈탄한 출토 유물이 제주도를 비롯해 경기도 지역까지 광범위하게 출토된다는 점은 당시 기술 전파와 교류 측면에서 고려해 볼 수 있다. 현재까지 출토된 철기의 수량이나 종류를 본다면 더 많은 양의 주철탈탄 유물이 존재할 것으로 보이나 아직까지 분석된 사례가 드물어 종합적으로 검토하기는 어렵다.

김포 양촌유적의 다른 지점에서 출토된 철부의 분석 결과를 보면 순철에 가까운 소재를 두드려서 제작한 것과 주조로 만든 것이다. 2점의 단조철부는 페라이트 조직으로 날에 제강이나 열처리가 가해지지 않았다. 주조철부는 아공정백주철 조직으로 주조 후 별다른 처리 없이 사용한 것이다(Kim, 2013). 본고에서 분석한 철부와 유사한 기술이

적용되었으나 No. 6 주조철부만 별도의 제강법을 적용한 점은 좀 더 논의가 필요할 것으로 보인다. 이 철부는 형태도 다른 유물과 달라서 철부의 유래와 형식과의 연관성도 고려해볼 수 있을 것이다.

단조로 제작된 모든 철부의 미세조직에는 가공에 의해 길게 연신된 비금속개재물이 다량 분포한다. 비금속개재물은 대부분 Si-Al-Ca계의 유리질 슬래그와 wüstite, fayalite가 혼입된 형태이다. 또한 미세조직 내에 형성된 비금속개재물을 분석하여 ‘유리질 슬래그-wüstite’와 ‘유리질 슬래그-wüstite-fayalite’의 두 가지 유형으로 구분할 수 있었다. 이처럼 두 가지 유형의 비금속개재물이 공존하는 이유를 설명하기는 어렵지만 철기 제작에 공급된 소재의 정련과 관계가 클 것으로 생각된다. 이들 비금속개재물은 저온 환원에 의한 괴련철이나 슬래그에서 흔히 볼 수 있는 것들로 저온 환원 제련과정에서는 불순물의 완전 제거가 불가능하기 때문에 비금속개재물이 남게 된다. 대부분 FeO 함량이 SiO₂보다 높게 나온 것도 노의 온도가 환원에 충분하지 못한 관계로 Fe의 회수율이 적었음을 보여준다. 성분 함량에서 Ca가 높게 검출되는 부분이 있다. Ca는 제련 시 광물의 유동성과 철의 환원을 높이기 위해 Ca가 함유된 폐각과 같은 석회물질을 인위적으로 첨가했을 때 나타난다(Kim, 2013). No. 1과 No. 4, No. 5 철부 날 부위의 비금속개재물에서 CaO의 함유량이 17~23% 범위로 높게 검출되어 제련 시 Ca가 다량 포함된 석회물질을 첨가한 것으로 보인다.

이상의 결과로 보면 양촌 출토 철부 제작에 사용된 소재는 순철에 가까운 소재와 저탄소강, 주철이 모두 사용되었다. 특히 주철탈탄 제강법은 당시 보편적인 기술이 아니었음에도 적용 사례가 밝혀져 일부에서는 이미 사용하고 있었음을 알 수 있다. 이 부분은 현재 분석 결과가 계속 밝혀지고 있어 기술의 도입과 적용, 확산 등이 향후 종합적으로 밝혀질 것으로 본다. 부위별로 추가 공정을 확인하였는데 강도가 필요한 날이라도 일정한 양상을 보이지 않았다. 담금질이 적용된 철부는 No. 5뿐이며 다른 유물에 추가 처리는 보이지 않는다. 동일 종류의 유물에 다양한 기술이 적용된 이유는 명확하지 않다. 제작자의 의도인지 용도가 달랐던 것인지는 모르겠으나 이 부분은 추가적인 연구가 필요하다.

사 사

본 연구에 사용된 시편을 제공해주신 (재)한강문화재연

구원에 감사드립니다.

REFERENCES

- Cho, H.K. Cho, N.C. and Kang, D.I., 2013, Scientific Analysis of Slag and Furnace Wall collected from Iron Production Site at Suryong-ri Wonmorongi in Chungju. Journal of Conservation Science, 29(2). (in Korean with English abstract)
- Cho, N.C., 2012, Material Characteristics of the Objects collected from the Iron Manufacturing site at Chungju, Iron Manufacturing Cultural of Jungwon. The 5th Symposium Proceeding, Jungwon National Research Institute of Cultural Heritage, 115-134.
- Choi, J.T., Jang, E.J. and Park, J.S., 2001, Iron technologies of the Three kingdom Period in Korea. Seoul National University Museum, 279-281. (in Korean)
- Ha, S.W., 2008, A Study on Nonmetallic inclusion of Metal Remains. Dept. of Conservation Properties Graduate School of Art Yong-in University. (in Korean)
- Hangang Ins., 2013, Unyang-dong Site II, Gimpo. Taeyang, Bucheon, 24-45.
- Kang, C.G., 2004, Metallurgical study of iron artifacts excavated from Yongdam-dong, Jeju. Dept. of Conservation Properties Graduate School of Art Yong-in University. (in Korean)
- Kim, H.N., Lee, H.J. and Kim, S.K., 2012, Studies on Conservation and Metallographic Manufacturing Technique of Iron Mirror in the Korean Christian Museum at Soongsil University Collections. Journal of Conservation Science, 28. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.K., 2012, Studies in Fabrication Process and Temperature of Korean Ancient Iron ware through Analysis of Microstructures and Nonmetallic Inclusions. Dept. of Materials Eng., The Graduate School Hanyang University. (in Korean)
- Kim, S.K., 2013, A study on Manufacturing Technology through Microstructure analysis of Iron artifacts excavated from Yangchon, Gimpo. The Archaeological Report of Yangchon, 684-688, 694.
- Lee, H.J., 2012, A study on Manufacture Technology of Iron

- artifacts excavated from Yangchon, Kimpo. Yong-in University, Graduate School of Cultural Properties. (in Korean)
- Lim, J.Y., 2011, A study on Iron-manufacture Method through Analysis of Slag and Ironware excavated from Byeokje, Goyang. Dept. of Conservation Properties Graduate School of Cultural Properties Yong-in University. (in Korean)
- Yoon, D.S., 1984, Metallurgical study of iron artifacts of the early Iron age in Korea. Korea University Press. (in Korean)
- Yu, J.E. and Lee, J.S., 2012, The manufacturin technology applied for iron swords excavated from Yangchon of Gimpo City. Science and Engineering of Cultural Heritage, 11, 18-37. (in Korean with English abstract)
- Yu, J.E., 2011, The microstructure analysis of iron objects excavated from Yangchon of Gimpo City. Science and Engineering of Cultural Heritage, 10, 42-59. (in Korean with English abstract)
-