서천 봉선리유적 출토 철제대도의 금속학적 조사 및 기능성 고찰

조현경 | 정영상* | 조남철¹ | 이 훈**

공주대학교 문화재보존과학과, *국립중앙과학관, **전)충청남도역사문화연구원

Metallurgical Investigation and Functional Consideration of the Iron Swords from Bongseon-ri Site in Seocheon

Hyun Kyung Cho | Young Sang Jung* | Nam Chul Cho¹ | Hun Lee**

Department of Cultural Heritage Conservation Science, Kongju National University, Gongju, 314-701, Korea

*National Science Museum, Daejeon, 305-705, Korea

**Ex-Chungnam Institute of History and Culture, Gongju, 314-140, Korea

¹Corresponding Author: nam1611@kongju.ac.kr, +82-41-850-8541

초록 서천 봉선리유적은 백제의 중앙과 지방의 묘제가 혼재하고 있는 유적으로 백제 중앙에서 재지세력에세 사여한 것으로 추정되는 환두도가 다량 출토되었다. 이것은 재지세력이 백제 중앙의 관리 하에 놓이는 과정을 나타내는 부장유물로 추정된다. 이 중 4점의 환두도와 1점의 목병도를 대상으로 금속학적 분석을 실시하여 무기로서의 실용적 기능과 부장용·의장용으로써의 비실용적 기능에 대하여 연구하였다. 목병도 1점은 담금질과 고체침탄의 제강기술을 이용하여 제작되었으며 무기로서의 실용성을 가진다고 볼 수 있다. 반면 4점의 환두도는 인부에는 강도가 작은 미세조직이 나타나고 배부에서 충격을 흡수할 만큼의 미세조직이 나타나지 않으므로 목병도에 비해 무기로서의 기능은 떨어진다고 볼 수 있다. 즉, 서천 봉선리에서 출토된 목병도와 환두도는 실용기와 비실용기로 명확히 구분되는 것이 가장 큰 특징이라고 할 수 있다. 또한 미세조직 내에 존재하는 비금속개재물을 분석한 결과 우스타이트와 유리상이 함께 발견되므로 제련 공정에는 저온환원법이 적용되었을 가능성이 크다.

중심어: 대도, 환두도, 미세조직, 서천 봉선리, 무기

ABSTRACT In Bongseon-ri site, the central type and the local type of the Baekje tombs co-exist together. Many swords with ring pommel which to regional leaders in Seocheon the Beekje government granted are excavated from these tombs. These represent that the regional leaders were controlled by the Baekje government gradually. Four swords with ring pommel and one simple sword are investigated metallurgically and we seek what swords have a function of weapon or what sword produce for grave goods. The simple sword is made by solid carburizing technology and quenching of heat treatment so it's possibly used as a weapon. In contrast, four swords with ring pommel has little chance of weapon because the blade of swords consists of microstructure that have low hardness and the back of swords don't have microstructure can absorb the shock. The most identical characteristic of the simple sword and swords with ring pommel is that they are possible to classify clearly into practical/non-practical tools. Additionally, according to non-metallic inclusion analysis result of these swords, wüstite and glass phase are found together. Thus, it is able to say that reduction method in low temperature is applied during smelting process.

Key Words: Sword, Sword with ring pommel, Microstructure, Seocheon Bongseon-ri, weapon

1. 서 론

도(刀)의 용도와 기능은 깎고 자르는 데 쓰이는 일상용 도구일 뿐 아니라 전쟁 시 살상용 무기로서 찌르거나 베는 것으로 철이 보급되기 시작하면서 급속하게 발전하였다. 특히 고대는 각국 간의 전쟁과 전투가 빈번하게 이루어지던 시기로 효율적인 전쟁의 수행을 위해 철제무기들이 발전하였고 그 중 도(刀)는 무장의 기본으로 매우 중요하다. 특히 분묘에 부장된 환두도는 무기로서의 기능 뿐 아니라 위세품(威勢品)으로써의 의미도 반영되어 당시 사회의 권력관계나 신분 등을 알 수 있는 자료이다(Seong, 2000; Seong 2006; Lee, 2008).

서천 봉선리유적은 백제의 중앙과 지방의 관계를 보여주는 유적으로 원삼국시대의 토광묘, 재지세력의 묘제로 보이는 수혈식석곽묘, 중앙세력의 묘제로 보이는 횡혈식석실분, 수혈식과 횡혈식의 조합으로 파생된 횡구식석곽묘 등 다양한 묘제가 혼재하고 있다(Jeong and Jeon, 2005a). 토광묘의 경우 4세기 말에서 5세기 대까지로 조성된 것으로 추정되며 수혈식석곽묘는 이른 5세기대에서 6세기 초반까지도 조성된 것으로 보인다(Jeong and Jeon, 2005a). 이들 묘제는 재지적 성격이 강하나 백제화된 유물인 함께 부장되었다. 이는 재지문화상을 그대로 유지한 상태의 무덤 조영이 이루어진 것으로 볼 수 있으며(Kwon, 2013), 재지세력이 백제 중앙의 관리 하에 놓이는 과정이 나타난 것으로 판단된다. 그 예로 부장 유물 중 중앙에서 사여했을 것으로 추정되는 환두대도 및 대도 11점이 다양한 형태의 분묘에서 출토되었는데, 이는 개인 착용형 위세품으로 환두대도가 출토되는 지역은 백제에 편입된 지역 가운데 지방 통치의 핵심을 이루는 지역으로 추정하고 있다(Lee, 2011; Kwon, 2013)

그러나 이러한 가설은 대부분 유물의 형태·문양 등 가시적으로 보이는 것을 이용하여 얻어진 고고학적 고증으로써 이를 뒷받침할 수 있는 과학적 접근은 미흡한 편이라 할 수 있다. 본 연구에서는 서천 봉선리에서 출토된 환두도와 목병도를 금속학적으로 분석하여 무기로서의 실용적 기능과 부장용·의장용으로써의 비실용적 기능에 대한 고고학적 고증에 대해 과학적 근거를 제시해 보고자 한다. 철제유물의 미세조직 분석을 통해 제작 당시 가해진 처리 방

법에 대한 정보를 유추할 수 있으며 이러한 처리법이 특정한 기계적 성질을 목적으로 하여 제작되었는지 해석해 보고자 한다. 미세조직과 기계적 성질 간의 상관관계를 규명함으로써 착용형 장식도인 환두도와 실용기로 볼 수 있는 목병도에 적용된 기술적 정보의 차이, 4-6세기 대의 백제 재지세력에서 사용된 철기 제작 기술 체계의 특징을 알아보고자 하였다.

2. 연구대상 및 연구방법

서천 봉선리유적에서 출토된 철제대도는 총 11점으로 이 중 X-ray 촬영을 통해 금속심이 잘 남아있는 5점을 선정하고(Table 1) 유물의 파손을 최소화하여 시료를 채취하였다. 본 논문에서 수록한 모든 유물의 실측도는 忠淸南道歷史文化研究院에서 2005년 발간한 『舒川-公州間 高速道路 工事敷地內(6공구)-舒川 鳳仙里 遺蹟』 보고서에서 인용한 것으로 채취한 시료의 위치를 실측도 상에 추가적으로 표시한 것이다. 채취한 시료는 에폭시 수지로 마운팅(mounting)하여 샌드페이퍼의 조밀 순서에 따라 #300, 500, 1000, 1200, 2400, 4000의 순서대로 연마한 후 물로 세척하였다. 이후 연마포(MD-MOL, MD-NAP, Struers)와 연마제(DP-suspension 3 μ m, 1 μ m, Struers)를 이용하여 미세연마를 실시하였다. 연마가 끝난 철제시편은 3%의 나이탈(HNO₃+Ethyl Alcohol)용액으로 시편을 부식시킨 후 물과 Ethyl Alcohol로 세척하였다. 미세조직은 금속현미경(Metallurgical Microscope, Leica)로 관찰하였으며, 먼저 시편 전체를 관찰하고 부위별로 배율을 달리하면서 조직을 관찰하였다. 철제시편의 미세조직 내에 존재하는 비금속재물은 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope: SEM, MIRA3)-에너지분산형분광계(Energy Dispersive Spectrometer: EDS, QUANTAX 200, Bruker)를 이용하여 조사하였다.

3. 연구 결과

3.1. 소환두도(No. 1)

4세기 말에서 5세기 대에 조성된 것으로 추정되는 2지

역 4호 토광묘에서 출토되었으며 전체길이 87.4cm, 병부 길이 19.0cm이다(Jeong and Jeon, 2005b). Figure 1은 소

환두도의 시료 채취 위치 및 미세조직 사진이다. 시료는 인 부 1곳(Figure 1A의 a), 배부 1곳(Figure 1A의 b)에서 채취

Table 1. List of samples.

No.	Area	Tombs	Artifacts	Length (cm)	Sampling point	Quantity
1	2 nd	Pit tombs No. 4	Long sword with ring pommel	87.4	Blade	1
					Back	1
2	2 nd	Stone-lined tomb No. 1	Long sword with three leafs in ring pommel	82.3	Blade	1
					Back	1
3	2 nd	Stone-lined tomb No. 6	Long sword with ring pommel	76.3	Blade	1
					Back	1
4	2 nd	Stone-lined tomb No. 9	Long sword	59.7 (remainng)	Blade	1
					Back	1
5	3 rd -II	Stone-lined tomb No. 7	Long sword with ring pommel	77.6	Blade	1
					Back	1

Figure 1. (A) Sampling point of No. 1 sword. (B) Microstructure of blade($\times 50$). (C) Microstructure of back($\times 50$). (D) Enlarged microstructure of blade($\times 200$). (E) Enlarged microstructure of back($\times 200$).

하였다.

Figure 1B는 인부의 시료로 좌측이 날 표면에 해당된다. 대부분 순철조직인 페라이트로 가장자리를 따라 미세한 결정립이 분포하며 내부에는 조대한 결정립이 분포한다. 국부적으로 크기가 다른 결정립이 존재하는 것은 제작 도중 이 부분에 큰 변형이 가해졌으며, 단조에 의한 제작이 완료된 후 높은 온도에서 추가적인 공정이 수행되었음을 말해준다(Hong *et al.*, 1992). Figure 1C는 배부의 시료이며 백색 사각형 부분을 확대한 것이 Figure 1E이다. 대부분 탄소 함량이 낮은 비드만스테텐-페라이트로 이루어진 아공석강이다(Kim *et al.*, 1999).

No.1 소환두도를 제작한 소재는 탄소함량이 낮은 철이며 배부 표면은 비교적 탄소함량이 높은 부위로서 비드만스테텐-페라이트의 조직과 함께 펄라이트가 상대적으로 많이 나타나고 있다. 미세조직 내 일부 비금속개재물이 존재하는데 일련의 방향성과 규칙성을 보이지는 않는다. 그러나 인부의 조직을 보면 다수의 비금속개재물이 일련의 방향성을 가지고 나타나므로 소재를 접어서 고온 가열한 뒤 반복단타를 가하여 불순물을 분리하는 과정을 실시한 것을 알 수 있다. 즉, 인부와 배부는 단조가공 이후 고온에

서의 유지시간이 있었으며 이 때의 변형 정도와 온도 조건 등의 가공 조건이 균일하지 않았던 것으로 볼 수 있다.

인부(Figure 2A)과 배부(Figure 2B)의 비금속개재물의 성분을 SEM-EDS로 분석한 결과를 Table 2에 정리하였다. A-1, A-2, B-1, B-2의 네 지점에서 FeO과 더불어 SiO₂, Al₂O₃, CaO의 성분이 확인되었다. 특히 날 부분의 비금속개재물을 분석한 A-1은 유리상이며 A-2는 우스타이트(wüstite, FeO)로 CaO의 함량이 높은 것으로 보아 제련 과정에서 의도적으로 석회물질을 첨가한 것으로 보인다. 등부분 비금속개재물을 분석한 B-1과 B-2는 성분의 차이는 있으나 유리상(glass phase)으로 확인되었다. 이는 제련 과정에서 제거되지 못한 유리상의 슬래그 일부가 철 소재 내에서 응고되어 남아있는 것으로 볼 수 있다.

3.2. 삼엽환두도(No. 2)

Figure 3은 5세기~6세기 초반에 조성된 것으로 추정되는 2지역 1호 석곽묘에서 출토된 삼엽환두도와 미세조직 사진이다. 환두는 모서리가 둥근 사각(抹角方形)의 철봉을 구부러 제작하였으며 환두 안에 삼엽(三葉)이 장식되어 있

Table 2. EDS analysis results of No. 1 sword.

Spectrum Position	Element(wt.%)								
	FeO	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO
A-1	40.06	-	0.81	6.02	25.76	3.51	23.37	-	-
A-2	85.77	-	-	2.19	9.11	0.36	4.69	-	-
B-1	34.99	-	3.50	1.89	23.89	1.48	32.62	-	-
B-2	23.86	-	0.55	21.74	25.33	20.96	6.46	-	-

Figure 2. SEM image and points of EDS analysis of No. 1 sword. (A) Blade. (B) Back.

Figure 3. (A) Sampling point of No. 2 sword. (B) Microstructure of blade($\times 50$). (C) Microstructure of back($\times 50$). (D) Enlarged microstructure of blade($\times 200$). (E) Enlarged microstructure of back($\times 200$).

Figure 4. SEM image and points of EDS analysis of No. 2 sword. (A) Blade. (B) Back.

Table 3. EDS analysis results of No. 2 sword.

Spectrum Position	Element(wt.%)								
	FeO	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO
A-1	99.19	-	-	-	-	-	-	-	-
A-2	8.07	1.20	3.38	16.57	60.18	5.12	14.75	-	-
B-1	2.55	1.15	3.86	15.76	58.53	6.82	18.61	-	0.66
B-2	21.50	-	2.09	10.91	45.05	6.76	18.61	-	-
B-3	78.80	-	-	-	15.96	0.42	1.40	-	-

다. 환두부와 도신부는 리벳으로 연결하였으며 총 길이 82.3cm, 병부길이 18.3cm이다(Jeong and Jeon, 2005b). 시료는 인부 1곳(Figure 3A의 a), 배부 1곳(Figure 3A의 b)에서 채취하였다.

Figure 3B의 좌측은 인부의 표면 방향이며 Figure 3C의 우측은 환두도의 배부 표면 방향이다. 인부와 배부 대부분의 조직이 펄라이트로 탄소 함량이 높은 아공석강이다. 부분적으로 섞여 있는 흰 부분은 페라이트상으로 고온에서 존재하는 오스테나이트상의 결정립계를 따라 형성되어 있다(Figure 3D). 이러한 조직은 철의 탄소 함량이 공석조성인 0.77%에 미치지 못할 경우 공랭 또는 노냉 시 펄라이트 조직이 생성되기 전에 결정립계를 따라 석출되는 것(Kim *et al.*, 1999)으로 공석에 가까운 강 소재를 이용하여 환두도를 제작하였음을 알 수 있다. 등 부분 미세조직인 Figure 3C에서 발견되는 검은 반점은 비금속개재물이다.

미세조직 내에서 발견되는 비금속개재물을 SEM-EDS 분석을 통해 구성성분을 확인하였다(Figure 4, Table 3). 인부 비금속개재물의 경우 A-1지점에서는 Fe산화물이 검출되며, A-2지점은 유리상으로 FeO와 더불어 SiO₂, CaO, Al₂O₃, K₂O 등이 검출된다. 배부 비금속개재물의 B-1지점과 B-2지점에서는 SiO₂와 CaO가 주성분을 이루는 유리상이 확인되며, B-3지점에서는 Fe산화물이 확인되었다. 이와 같은 조성은 제련 과정에서 발생한 슬래그에서 흔히 볼 수 있는 조성이며, 제련 과정에서 제거되지 못한 슬래그의 일부가 철 소재 내에 존재하고 있음을 알 수 있다. 또한 CaO의 함량이 높은 것으로 보아 제련과정에서 의도적으로 석회물질을 첨가한 것으로 보인다.

3.3. 소환두도(No. 3)

2지역 6호 석곽묘에서 출토된 소환두도로 환두부와 도신부가 분리된 상태이다. 환두는 지름 0.8cm 가량의 철봉을 구부려 만든 것으로 평면은 타원형을 이룬다. 환두와 도

신은 두 스펀의 말단부를 리벳으로 접합하였다. 신부 단면은 이등변삼각형이고 길이 76.3cm, 도신길이 60.7cm이다(Jeong and Jeon, 2005b). 시료는 인부 1곳(Figure 5A의 a), 배부 1곳(Figure 5A의 b)에서 채취하였다.

Figure 5B의 좌측과 Figure 5C의 우측이 환두도의 표면 방향이다. 대부분의 조직은 탄소 함량이 적은 페라이트로 이루어져 있다. 페라이트 기지 사이에 펄라이트가 일부 혼합하여 나타난다. 인부의 조직(Figure 5B,D)은 전체적으로 페라이트 기지에 펄라이트가 일부 혼합된, 균일한 모습으로 나타나고 있다. 배부 역시(Figure 5C,E) 페라이트 기지에 펄라이트가 일부 혼합되어 나타난다. 인부와 배부의 시료에서 다수의 비금속개재물이 단면 방향(b→a)으로 일련의 방향성을 가지고 나타나는 것을 발견할 수 있다. 이것은 소재를 여러 번 접어서 고온 가열한 뒤 반복단타를 가한 흔적으로 파악된다.

비금속개재물을 SEM-EDS로 분석하였다. Figure 6은 비금속개재물의 SEM Image이며 EDS 분석위치를 표시하고 그 결과를 Table 4에 정리하였다. 인부 비금속개재물인 A-1지점의 경우 Fe산화물, A-2지점은 우스타이트(wüstite)로 보인다. 배부의 B-1지점과 B-2지점은 서로 유사한 성분 조성을 이루는 것으로 확인되었으며 이는 제련과정에서 제거되지 못한 유리상의 슬래그 일부가 철 소재 내에서 응고되어 있다가 형태를 가공하는 과정인 반복적인 단타 작업으로 인해 내부에 균열이 발생하고 깨어지며 형성한 것으로 볼 수 있다.

3.4. 목병도(No. 4)

분석대상 유물 중 유일한 목병도(木柄刀)로 봉부(鋒部)가 결실된 채 출토된 철제대도이다. 잔장 59.1cm, 파부(把部)너비 1.3~1.6cm, 파부두께 0.6cm, 도신너비 2.7cm, 도신두께 0.80cm이다(Jeong, and Jeon, 2005b). 시료는 인부 1곳(Figure 7A의 a), 배부 1곳(Figure 7A의 b)에서 채취하

Figure 5. (A) Sampling point of No. 3 sword. (B) Microstructure of blade($\times 50$). (C) Microstructure of back($\times 50$). (D) Enlarged microstructure of blade($\times 200$). (E) Enlarged microstructure of back($\times 100$).

Figure 6. SEM image and points of EDS analysis of No. 3 sword. (A) Blade. (B) Back.

Table 4. EDS analysis results of No. 3 sword.

Spectrum Position	Element(wt.%)								
	FeO	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO
A-1	112.62	-	-	-	3.06	-	1.80	-	-
A-2	97.26	-	-	2.21	3.72	-	0.87	-	-
B-1	47.38	-	0.51	6.58	34.51	3.25	6.60	-	-
B-2	54.79	-	-	5.87	31.19	2.95	6.80	-	-

Figure 7. (A) Sampling point of No. 4 sword. (B) Microstructure of blade($\times 50$). (C) Microstructure of back($\times 50$). (D) Enlarged microstructure of blade($\times 200$). (E) Enlarged microstructure of back($\times 200$).

였다.

Figure 7B는 인부의 시료로 좌측이 날 표면에 해당되며 결정립이 크게 성장한 상태에서 단단한 조직인 마르텐사이트가 형성된 것을 발견할 수 있다. 대도의 내부로 들어갈수록 마르텐사이트 대신 미세한 결정립의 펄라이트가 분포하고 있다. 인부의 제작 과정을 살펴보면 인부는 가공으

로 인해 배부보다 탄소가 많이 빠져나가 연한 조직이 되므로 이를 보완하기 위해 인부에 탄소를 넣어 주는 침탄작업을 실시한 것으로 보인다. 그리고 날을 세우기 위한 작업으로 인해 선단부의 탈탄이 진행되고 이를 다시 단단하게 만들기 위하여 오스테나이트 영역까지 가열한 후 급냉시키기 때문에 마르텐사이트 조직이 선단에 형성된 것으로 보

인다(Schmann and Oettel, 2009).

Figure 7C는 대도의 배부 시료이며 우측이 등 표면 방향이다. 배부에는 주로 펄라이트와 비드만스테텐-페라이트 조직이 함께 분포한다. 배부 시료의 표면 쪽은 비드만스테텐-페라이트 조직과 펄라이트 집단(colony)이 생성되어 있으며 표면 쪽으로 갈수록 탄소 함량이 많은 펄라이트가 뚜렷하게 나타난다. 대도의 배부 미세조직 내에 보이는 명암 차이는 탄소 함량의 차이로서 철 소재의 가공에 따른 탄소 함량의 차이를 보인다.

미세조직 내에 단면 방향(b→a)으로 존재하는 비금속계 재물을 SEM-EDS 분석을 통해 구성 성분을 확인하였다(Figure 8, Table 5). 인부의 A-1, 2지점에서는 FeO과 더불어 SiO_2 , Al_2O_3 , CaO, K_2O 등이 검출되었으며 유리상이다. A-3지점 역시 함량의 차이는 있으나 유리상으로 확인되었으며 CaO의 함량은 높은 편이다. 배부의 경우 B-1지점은 Fe의 산화물인 FeO, B-2지점은 인부와 마찬가지로 SiO_2 , Al_2O_3 , CaO의 산화물을 포함한 유리상으로 확인된다. 따라서 유리상의 슬래그가 제련 과정에서 잔류하였음을 알 수 있으며 비금속계재물이 길게 늘어진 방향으로 보

아 대도를 제작하기 위해 소재를 접어서 단조 가공했음을 알 수 있다. 그러므로 이 대도는 강 소재를 사용하여 제작되었으며, 단조 가공을 통해 연해진 대도의 날을 강화하기 위해 침탄, 가공을 통한 결정립 미세화, 선단의 담금질과 같은 열처리를 시행하였다.

3.5. 소환두도(No. 5)

3-II지역 7호 석곽묘에서 출토된 소환두도로 도신의 하단부가 절단되었던 것을 접합하였다. 도신은 곧은 형태로 등폭이 넓고 전체에 목제 칼집흔이 덮여있다. 환두 바로 아래에는 폭 1.0cm의 철판이 돌려져 있는데 병두금구(柄頭金具)로 보인다. 파부에는 목병(木柄) 흔적이 남아있으며 길이 3.6cm, 너비 4.2cm, 두께 0.1cm 이하의 초구금구(鞘口金具)가 있다. 길이 77.6cm, 병부길이 19.7cm이다(Jeong and Jeon, 2005b). 시료는 인부 1곳(Figure 9A의 a), 배부 1곳(Figure 9A의 b)에서 채취하였다.

Figure 9B는 환두도의 인부 시료로 좌측이 인부 표면 방향이다. 대부분 순철에 가까운 페라이트 결정립계에 아

Table 5. EDS analysis results of No. 4 sword.

Spectrum Position	Element(wt.%)								
	FeO	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	MnO
A-1	83.67	—	2.01	4.61	14.29	—	14.94	—	—
A-2	104.28	—	1.09	3.24	10.16	—	9.40	—	—
A-3	59.01	—	2.14	7.61	19.36	1.39	23.11	—	—
B-1	101.50	—	—	—	7.38	—	—	—	—
B-2	17.83	—	1.03	4.42	65.37	4.90	10.12	1.33	—

Figure 8. SEM image and points of EDS analysis of No. 4 sword. (A) Blade. (B) Back.

Figure 9. (A) Sampling point of No. 5 sword. (B) Microstructure of blade($\times 50$). (C) Microstructure of back($\times 50$). (D) Enlarged microstructure of blade($\times 200$). (E) Enlarged microstructure of back($\times 200$).

Figure 10. SEM image and points of EDS analysis of No. 5 sword. (A) Blade. (B) Back.

Table 6. EDS analysis results of No. 5 sword.

Spectrum Position	Element(wt.%)								
	FeO	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO
A-1	29.00	-	0.68	8.51	34.70	4.00	22.81	-	-
A-2	55.68	-	5.75	1.99	26.01	0.94	9.33	-	1.38
B-1	42.69	1.05	0.35	10.81	31.02	5.97	11.10	-	-
B-2	101.48	-	-	-	-	-	-	-	-

주 적은 양의 펄라이트가 보인다. Figure 9C는 환두도의 배부 시료로 우측이 배부 표면 방향이다. 인부와는 달리 표면부에서 탄소함량이 많아 어둡게 보이는 펄라이트와 비드만스테텐-페라이트가 주로 나타나고 있다. 비드만스테텐-페라이트 조직은 중간 탄소 함량 영역에서 나타나는 것으로 탄소를 포함하는 펄라이트와 함께 혼합되어 나타난다. 따라서 미세조직에서 나타나고 있는 명암 차이와 미세조직의 종류로 미루어 볼 때 배부는 소재의 강도를 높이기 위해 탄소함량을 조절하는 제강법의 공정을 실시했으나 균일한 공정이 시행되지는 못한 것으로 보인다.

비금속개재물의 SEM-EDS 분석 결과를 Figure 10과 Table 6에 나타내었다. 날 부분인 A-1, A-2지점에서는 FeO과 더불어 SiO₂, Al₂O₃, CaO의 산화물이 존재하는 유리상으로 확인되었다. 등 부분의 비금속개재물 중 B-1지점은 날 부분과 마찬가지로 유리상의 슬래그이며, B-2지점은 수지상의 우스타이트로 확인되었다. 이는 제련 과정에서 미처 제거되지 못한 슬래그의 일부가 철 소재 내에 잔류하고 있는 것으로 추정된다.

4. 고찰 및 결론

서천 봉선리유적에서 출토된 환두도 4점, 목병도 1점에서 시료를 채취하여 금속학적 분석을 실시하였다. 미세조직을 통해 4세기 말~6세기 초에 이르는 고대 백제시대의 제철·제강법을 파악하고, 철제대도의 실질적인 기능과 역할에 대해 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

목병도인 2지역 9호 석곽묘 대도의 경우 인부는 담금질을 통해 급냉하여 단단하게 만든 마르텐사이트 조직이 나타나며 도신부로 갈수록 탄소함량이 많은 미세한 펄라이트 조직, 배부로 갈수록 표면부에는 비드만스테텐-페라이트 조직이 나타난다. 이는 대도의 인부에 가해지는 충격을 배부가 흡수할 수 있도록 유연성을 가진 것으로 볼 수 있으며 기능상 필요한 부위에 담금질의 열처리와 고체침탄법

의 제강 기술을 사용하는 등 무기로서의 실용성을 가질 수 있도록 제작되었다고 볼 수 있다. 즉, 대도를 제작할 때 저온환원법과 제강공정, 열처리 기술들을 인부와 배부의 필요한 부분에만 국한시켜 적용함으로써 강도와 인성을 갖춘 철제무기를 제작하였음을 확인할 수 있다. 따라서 목병도는 부장의 목적 외에도 피장자에 의해서 무기로 사용되었을 가능성이 크다.

2지역 4호 토광묘, 2지역 6호 석곽묘, 3-II지역 7호 석곽묘에서 출토된 환두도들은 모두 소환두도이다. 그리고 2지역 1호 석곽묘의 삼엽환두대도는 서천 봉선리유적 출토 환두도 중 가장 장식성이 커서 착장형 부장품일 가능성이 높았던 대도이다. 이들 환두도의 미세조직은 모두 탄소 함량이 낮은 페라이트 조직이 우세한 가운데 부분적으로 펄라이트 조직이 발견되는 양상을 보인다. 특히 2지역 4호 토광묘의 소환두대도와 3-II 지역 7호 석곽묘의 소환두도는 인부에서는 페라이트, 배부에서는 펄라이트와 비드만스테텐-페라이트 조직이 나타난다. 이는 탄소 함량이 아주 낮은 소재를 사용하여 환두도를 제작한 후 일부에만 침탄 처리를 했던 것으로 추정된다. 이들 소환두도를 무기로 사용할 경우 인부에 가해지는 충격을 배부에서 분산시켜 흡수하기에는 무리가 있을 것으로 보이며, 모두 목병도에 비해 특별한 열처리와 제강 및 단조에 의한 가공이 생략되거나 적은 편이다. 그러므로 무기로서의 실용적 기능을 가지고 있다고 보기 어려우며, 무기보다는 피장자를 위한 장식용·부장품으로써 제작되었을 가능성이 크다. 따라서 출토된 목병도와 환두대도는 실용기와 비실용기로 명확히 구분되는 것이 가장 큰 특징이라고 할 수 있다.

서천 봉선리유적에서 출토된 철제대도의 미세조직 내에는 다수의 비금속개재물이 일련의 방향성을 가지고 나타난다. 당시 대도의 제작 과정에서 괴련철을 접어서 고온가열한 뒤 반복 단타를 가하여 불순물을 분리하는 정련 공정을 실시하였지만, 완벽하게 가공이 되지 않았음을 알 수 있다. 비금속개재물은 우스타이트, 유리상으로 확인되었

으며 이를 통해 대도를 제작한 당시 제철공정에는 저온환원법이 적용되었던 것을 알 수 있다. 그러나 앞선 시기인 토광묘에서 출토된 환두도와 후행하는 석곽묘에서 출토된 환두도의 제작기술에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 서천 봉선리유적의 철제대도를 제작한 집단은 사용 목적에 따라 제강 공정, 열처리 기술들을 기능적으로 인부와 배부에 필요한 효과를 국한시켜 대도를 제작한 것으로 볼 수 있다.

REFERENCES

- Gu, J.B., 1995, A new classification and nomenclature of the swords with round pommel. *Yongnam Archaeological Review*, 17, 74-79. (in Korean)
- Jeong, H.J. and Jeon, G.A., 2005a, Excavation Report 18: Seoccheon Bongseonri site-the body. Chumngnam Institute of History and Culture, Gongju, 552-622. (in Korean)
- Jeong, H.J. and Jeon, G.A., 2005b, Excavation Report 18: Seoccheon Bongseonri site-the floor plan. Chumngnam Institute of History and Culture, Gongju. (in Korean)
- Kim, J.G., Kim, G.Y., and Park, H.W., 1999, Microscope and metallography. Gold, Seoul, 213-220. (in Korean)
- Kwon, S.H., Through the ruins of tombs of the Baekje period Seoccheon area. Master thesis, Kongju University, Gongju, 36-4. (in Korean with English abstract)
- Lee, B.R., 2008, A study on the swords with a ring pommel of the third to fifth century in the Guem River area. Master thesis, Chungbuk National University, Cheongju, 2-13. (in Korean with English abstract)
- Lee, H.S., 2004, Manufacturing and ownership of sword with a ring pommel in the Three kingdom period. *Society for Korean Ancient History Review*, 36, 257-289. (in Korean with English abstract)
- Lee, K.Y., 2011, A study on the swords with a ring pommel of Baekje. Master thesis, Kongju University, Gongju, 57-61. (in Korean with English abstract)
- Samuels, L.E., 2007, Optical Microscopy of Carbon Steels. Wonchang Publishing, Incheon, 43-81. (in Korean)
- Schmann, H. and Oettel, H., 2009, Metallografie. Nodemedica, Seoul, 609-612. (in Korean)
- Seong, J.Y., 2000, An archaeological study of Paekche expansion into Mahan areas in midwestern Korea. Ph.D thesis, Seoul University, Seoul, 100-108. (in Korean with English abstract)
- Seong, J.Y., 2006, The development of Paekche's control over local polities and material evidence during the fourth and fifth centuries. Special exhibition: from Hanseong to Ungjin, Gongju National Museum and Chumngnam Institute of History and Culture, Gongju, 209-227. (in Korean)
-