연기 장재리 출토 철검의 제작방법 연구

조현경 | 조남철¹ | 이선영*
공주대학교 문화재보존과학과, *(재)백제문화재연구원

A Study on Manufacturing Method of iron Sickles Found in Jangjae-ri, Yeongi, Korea

Hyun Kyung Cho | Nam Chul Cho¹ | Seon Young Lee*

Department of Cultural Heritage Conservation Science, Kongju National University, Gongju, 32588, Korea
*Baekje Cultural Properties Research Institute, Buyeo, 33146, Korea

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

초 록 철검은 다양한 형태를 가지고 다양한 용도로 사용된 도구이다. 농기구는 물론 무기로 사용된 경우도 있다. 지금까지의 연구는 주로 농기구의 특징에 초점을 맞추어 형태적 변화에 대해 이루어졌다. 과학적 분석 사례는 많지 않으므로 이 논문에서는 철검의 금속학적 분석에 대해 다루고자 하였다. 연기 장재리의 철검 2점을 분석하고 인근 유적인 연기 송원리에서 출토된 철검의 금속학적 연구 결과와 비교하였다. 3점 모두 단조 성형, 열처리 공정으로 제작되었다. 연기 장재리의 No.1 철검은 담금질의 마르텐사이트 조직이 확인되었다. 연기 장재리의 No.2 철검은 다른 2점에 비해 고온의 제작환경을 겪었던 것으로 나타났다. 이로 보아 연기 송원리의 철검보다는 기술적 난이도가 높았던 것을 알 수 있었다.

중심어: 철검, 미세조직, 농기구, 장재리, 송원리

ABSTRACT Iron sickle is tool used in various ways and have various form. It has agricultural feature as well as is used in weapon. Previous studies have been focused on features of farming tools. In this study, metallurgical analysis of iron sickles are introduced because examples of analysis for iron sickles is rare. Two sickles from Yeongi Jangjae-ri are investigated and compared to one sickle of Yeongi Songwon-ri. Three sickles have forging molding process and heat treatment process. No.1 sickle of Jangjae-ri have martensite of quenching. No.2 sickle of Jangjae-ri was undergone high temperature as compared with others. This show manufacturing technology of sickles from Jangjae-ri in over the Songwon-ri's.

Key words: Sickle, Microstructure, Farming tool, Jangjae-ri, Songwon-ri

1. 서 론

철검은 현재의 낫과 유사한 농공구로, 철판을 구부려 만든 날을 목병에 착장하여 사용한다. 현재의 낫이 다양하게 사용되고 있는 것을 감안할 때 수확구 이외에도 다양한 용

도로 사용된 것으로 볼 수 있다(Kim, 2000). 철검의 기능은 작물의 줄기를 베는 수확구, 잡목을 치는 벌채구, 나무 껍질을 제거하거나 목제품을 제작하는 목공구로 볼 수 있다. 이 외에도 공주 하봉리 8-1호묘에서 출토된 철검은 철준과 공반되고 물미와 세트로 출토된 상태를 볼 때 긴 자루

Table 1. List of samples.

No.	Tombs	Objects	Length (cm)	Sampling point	Quantity
1	Pit tomb No.9	Iron sickle	24.8	2	1
2	Pit tomb No.29	Iron sickle	16.2	2	1

를 장착하여 무기로 사용한 것으로도 보고 있다(Son, 2008).

낮은 초기 철기시대를 기점으로 현재까지도 다양한 형태로 제작되어 이용되어왔지만, 철판을 구부려 기부돌출부를 목병에 끼워 착용하는 형태의 철검은 통일신라시대까지 제작된 것으로 보인다(Kim, 2015). 철검은 다용도로 사용되었기 때문에 한 시기에도 다양한 날의 형태가 확인되는 양상을 보이므로 시기에 따른 변화 속성을 간취하기가 어려워 개별연구는 잘 이루어지지 않았다. 지역별 철기문화를 다루면서 철검 연구가 이루어지기는 하였으나 영남지역·영산강유역·중부지역에 한정되었다(Kim, 2007; Kim, 2010; Choi, 2010). 주로 철제 농공구라는 틀 안에서 형태적 속성에 따른 변화상에 대해 다루었으며 자연과학적 분석에서도 지역적, 형태적 구분에 있어 대도나 철부 등 다른 철기에 비해 분석사례가 많지 않은 편이다. 특히 호서지역에서의 철검 출토량은 적지 않음에도 불구하고 다른 지역과는 달리 철검 연구는 부족한 실정이다.

호서지역에서 출토된 철검은 총 253점으로 38개 유적에서 확인되었다(Kim, 2015). 대부분 분묘에서 출토되었으나 금속학적으로 분석한 사례는 연기 송원리 고분군의 1점에 불과하다(Cho, 2012). 본 고에서는 이미 연구된 연기 송원리 고분군 철검과 더불어 인근 유적인 연기 장재리 유적 출토 철검 2점의 분석 결과를 다루고 있다. 기존의 형태적 속성에 따른 변화상을 다룬 선행연구(Kim, 2015)를 참고하여 금속학적 분석결과와 비교하여 이 지역 철검의 특징을 파악해보고자 한다.

2. 연구대상 및 연구방법

금속학적 분석을 실시한 철검은 연기 장재리 유적에서 출토되었다. 충남 연기군은 2012년 세종특별자치시로 공식 출범하였으나 기존의 연구가 ‘연기군’의 명칭을 사용하고 있으므로(Jeon, 2013; Kim, 2015) 출토 유적을 연기 장재리 유적으로 칭하고자 한다. 연기 장재리 유적의 발굴조사는 103지점, 104지점, 105지점, 106지점으로 나뉘어 진행되었으며 청동기시대에서 조선시대에 이르는 다양한 분

묘유적과 주거지유적이 확인되었다. 발굴조사의 주된 성과는 103지점의 425기 유구이며(Kim *et al.*, 2013) 분석대상 철검은 103지점의 백제시대 분묘에서 출토된 것이다. 분묘의 조성시기는 중심연대가 5세기 초중반으로 인접한 연기 송원리 및 송담리 유적과 매우 유사한 양상을 보이고 있다.

Table 1은 분석대상 철검의 목록이며 분석 시료는 유물의 파손을 최소화하는 범위 내에서 글라인더를 이용하여 채취한 후 복원하였다. 본 논문에 수록한 유물의 실측도는 百濟文化財研究院에서 2013년 발간한 『鳳岐 長在里 遺蹟』 보고서에서 인용한 것으로 채취한 시료의 위치를 실측도 상에 추가적으로 표시한 것이다. 채취한 시료는 에폭시 수지로 마운팅(mounting)하여 샌드페이퍼의 조밀 순서에 따라 #200, 400, 800, 1000, 1200, 2400, 4000의 순서대로 연마한 후 물로 세척하였다. 이후 연마포(MD-MOL, Struers)와 연마제(DP-spray 3 μ m, 1 μ m, Struers)를 이용하여 미세연마를 실시하였다. 연마가 끝난 철제시편은 3%의 나이트랄(HNO₃+Ethyl Alcohol)용액으로 시편을 부식시킨 후 물과 Ethyl Alcohol로 세척하였다.

미세조직은 금속현미경(Metallurgical Microscope, Leica)으로 관찰하였다. 먼저 시편 전체를 관찰하고 부위별로 배율을 달리하면서 조직을 관찰하였다. 철제시편의 미세조직 내에 존재하는 비금속개재물은 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope: SEM, MIRA3)-에너지분산형분광계(Energy Dispersive Spectrometer: EDS, QUANTAX 200, Bruker)를 이용하여 조사하였다.

비금속개재물의 성분은 철검을 제작하면서 생겨난 슬래그의 성분과 동일하므로 철검의 제작 조업온도를 추정하는 데에 이용하였다. 백제시대의 제철조업이 철의 용융 온도까지 이르지 못하는 직접제련이었다는 점을 고려하여 FeO-Al₂O₃-SiO₂(FAS) 혹은 FeO-CaO-SiO₂(FCS)와 같은 삼원상태도를 이용하여 슬래그가 형성될 수 있는 조업온도를 추정하였다(Kim, 2012; Hauptmann, 2014).

상태도를 구성하는 삼성분의 합을 100%로 표준화한 후 삼원상태도에 대입하였다. FAS와 FCS 상태도는 같은 비금속개재물 내에서도 조성 차이로 인해 다른 온도로 나타

나는 경우가 있다. 이 경우 구성 원소 중 주 원소에 해당하는 상태도의 온도를 조업온도로 판단하였다(Cho, 2015).

3. 연구 결과

3.1. 철검 (No.1)

백제시대 토광묘 9호에서 출토된 철검은 완형으로 선단부는 호상으로 약하게 구부러져 있고, 선단을 제외한 신부의 전체적인 너비가 일정한 편이다. 신부의 단면은 세장한 이등변삼각형이며 기부는 직각으로 꺾여 올라갔다(Kim *et al.*, 2013). Figure 1은 철검의 도면으로 시료 채취 위치를

표시한 것이다.

배부(Figure 1a-A)와 신부(Figure 1a-B)에서 각각 시료를 채취하였다. Figure 1(b)는 배부, Figure 1(c)는 신부의 시료이다. 두 시료 모두 하단의 어두운 부분에 마르텐사이트 조직이 형성되어있다. 하단에서 상단으로 갈수록 페라이트의 비율이 많아지고 페라이트의 결정립 또한 크게 성장하였다. Figure 1(d)에 나타나 있듯이 조대한 페라이트의 경계에 마르텐사이트가 함께 존재한다. 신부의 표면에는(Figure 1(e)) 거의 마르텐사이트만 나타나고 있다.

전체적인 조직 양상을 보면 철검 양면의 탄소 함량에 차이가 있는 것으로 확인된다. 아공석강으로 이루어진 철검의 표면부는 침탄 처리가 이루어진 것으로 보인다. 침탄 후

Figure 1. (a) Sampling point of No.1 sickle. (b) Microstructure of Body(×50). (c) Microstructure of back(×50). (D) Enlarged microstructure of edge(×200). (E) Enlarged microstructure of back(×200).

오스테나이트화 온도가 A_1 온도를 넘어서게 되면 페라이트 결정립은 온도가 상승함에 따라 점차 커지게 된다. 이때 시멘타이트 입자는 사라지고 담금질하게 되면 어느 정도의 마르텐사이트가 나타남과 동시에 경도가 증가하게 된다(Samuels, 2007).

Figure 2와 Table 2는 No.1 철검 내에 존재하는 비금속 개재물의 SEM-EDS 분석결과이다. $\text{FeO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ (FAS)와 FeO-CaO-SiO_2 (FCS)의 삼원상태도에 대입하여 얻은 온도(Figure 6)를 Table 2에 함께 정리하였다. 조업온도는 약 $1150\sim 1350^\circ\text{C}$ 으로 볼 수 있다. 비금속개재물 내의 원형 백색 입자는 우스타이트이며, 바탕부분은 유리질상이다. 이는 제련과정에서 잔류한 슬래그가 철검 내에 남아있는 것으로 추정된다. 조업온도와 성분으로 보아 직접제련법으로 환원시킨 연철(bloom)을 소재로 한 것으로 볼 수 있다(Cho, 2015).

백제시대 토광묘 9호의 철검은 연철(bloom)을 소재로

한 아공석강으로 제작되었으며, 비금속개재물이 방향성을 가지고 연신하는 것으로 보아 여러 차례 접고 두드리는 단점과정을 거친 것으로 보인다. 약 720°C 이상의 온도까지 가열된 후 침탄이 이루어졌으나 한쪽 면에만 침탄되어 한 면에만 마르텐사이트 조직이 나타난 것으로 볼 수 있다.

3.2. 철검 (No.2)

백제시대 토광묘 29호에서 출토된 철검은 완형으로 기부에는 목질의 흔적이 남아있다. 기부와 신부 사이에 턱의 구분이 거의 없으며 신부는 곧게 뻗다가 선단에서 호상으로 둥글어진다. 기부 말단은 직각으로 구부러졌으며 신부의 단면은 세장한 이등변삼각형이다(Kim *et al.*, 2013). Figure 3a는 철검의 도면으로 시료 채취 위치를 표시한 것이다. 두 곳 모두 신부에서 채취하였으며 Figure 3a의 A부분 시료는 신부의 중앙부에 해당하며 B 시료는 비교적 인

Figure 2. SEM image and points of EDS analysis of slag inclusion in No.1 sickle. (a) Body. (b) Back.

Table 2. EDS analysis results of slag inclusion in No.1 sickle.

Points	Element(wt.%)										FAS	FCS
	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂		
A-1	62.26	16.37	2.81	15.94	1.76	0.85	-	-	-	-	1150	1275
A-2	47.78	23.39	2.40	23.51	1.54	1.38	-	-	-	-	1200	1250
A-3	98.93	-	-	0.37	-	-	-	-	-	0.70	1350	1369
A-4	84.57	6.75	2.63	4.58	0.66	0.80	-	-	-	-	1300	1350
B-1	72.20	18.29	5.55	3.13	-	0.83	-	-	-	-	1150	1250
B-2	68.85	13.10	4.20	11.15	0.77	1.93	-	-	-	-	1150	1300
B-3	86.97	5.77	1.93	4.01	-	1.32	-	-	-	-	1300	1350

부에 가까운 부분의 시료이다.

Figure 3b는 신부 중앙부인 A 시료 전체 사진이다. 중앙 부분은 펄라이트로 이루어져 있으며 철검 신부의 외부로 갈수록 점차 페라이트의 비율이 많아진다. Figure 3d는 펄라이트와 페라이트가 함께 확인되는 부분을 확대한 것으로 펄라이트와 결정립계에 형성된 페라이트가 발견된다. Figure 3c 상단의 백색부분은 페라이트이며 하단의 어두운 부분은 펄라이트와 그 결정립계에 생성된 비드만스테텐 페라이트이다.

No.2 철검의 중앙부에는 펄라이트 조직을 가지고 있고

표면으로 갈수록 페라이트가 자리한 것으로 보아 철검의 소재는 공석 조성에 못 미치는 탄소를 가진 아공석강으로 추정된다. 약 800℃ 가량의 고온에서 가공 및 오스테나이트화되는 동안 철검의 표면에서 탄소가 빠져나갔고 이로 인해 철검의 중앙부보다 표면의 탄소함량이 적은 비등축의 페라이트 조직이 형성되었을 것이다. 이후 과냉되면서 생성되는 비드만스테텐 페라이트가 펄라이트와 페라이트의 경계부에 함께 형성된 것으로 볼 수 있다. 또한 페라이트 조직 사이에서 발견되는 비금속개재물이 일정한 방향성을 가지고 있는 것으로 보아 단점의 가공과정도 있던 것

Figure 3. (a) Sampling point of No.2 sickle. (b) Microstructure of body A($\times 50$). (c) Microstructure of body B($\times 50$). (d) Enlarged microstructure of body A($\times 200$). (e) Enlarged microstructure of body B($\times 100$).

결실되었다(Figure 5a). Figure 5b의 좌측이 배부 표면부로 페라이트와 적은 양의 펄라이트가 혼재하고 있다. 내부로 갈수록 비등축상으로 형성된 페라이트 비율이 증가한다.

Figure 5. (a) Sampling point of sickle from Yeongi Sonwon-ri site. (b) Microstructure of sample. (c) Enlarged microstructure of white box in (b). (d) SEM image and points of EDS analysis of slag inclusion in (b).

비금속재물은 소량 관찰되며 유리질상의 형태를 띠고 있다(Cho, 2012). SEM-EDS 분석결과는 한 지점으로 이를 삼원상태도에 대입한 결과 약 1200℃의 조업온도를 유추할 수 있었다. KM-065 출토 철검의 소재는 낮은 탄소함량의 아공석강으로 추정할 수 있으며 표면보다 내부에 탄소함량이 높은 펄라이트의 비율이 증가한 것으로 보아 일부 탈탄이 일어난 것으로 보인다.

4. 고찰 및 결론

충남 연기 장재리와 송원리에서 출토된 철검 3점의 금속학적 분석 결과를 서로 비교하여 형태적 속성에 따른 변화상을 알아보고자 할 때 참고할 수 있는 것은 철검의 변천과 지역상에 대해 연구한 것이다(Kim, 2015). 이 연구에서는 철검의 형태적 속성 중 시간성을 가장 잘 반영하는 유효속성 두 가지로 정리하고 있다. 첫 번째는 철검의 검신·선단부 형태이다. 크게 직인검과 곡인검으로 분류하며 직인검은 I 식, 곡인검은 선단부가 만입하는 비율에 따라 II~IV단계로 구분하였다. 두 번째는 검신폭으로 전체 검신폭 수치를 분석하여 시기별로 적용하였을 때 검신폭 수치에 따라 시기적인 변화상이 나타나는 것으로 보고 3.1cm를 기준으로 이상은 A 식, 이하는 B식으로 분류하였다(Kim,

Table 4. EDS analysis results of slag inclusion in sickle from Yeongi Sonwon-ri site(Figure 5d).

Points	Element(wt.%)										FAS	FCS
	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂		
a	60.21	34.56	0.82	3.27	1.14	-	-	-	-	-	1200	1200

Figure 6. (a) Working temperature were showed on FeO-Al₂O₃-SiO₂(FAS) ternary system. (b) Working temperature were showed on FeO-CaO-SiO₂(FCS) ternary system.

2015). 이와 같은 분류에 따르면 No.1 철검은 II B식, No.2 철검은 I B식, 연기 송원리의 철검은 III A식에 해당한다. 인접 유적에서 각각의 형식을 가진 철검이 주로 출토되는 시기는 세 유형의 철검 모두 3세기 후반에서 5세기 중반에 해당한다.

연기 장재리 유적의 103지점 백제 분묘에서 출토된 철검의 현황을 살펴보면 토광묘에서 12점, 석곽묘 4점이다. 이 중 분석을 실시한 것은 토광묘에서 출토된 철검 2점으로 극히 일부에 불과하다. 연기 장재리의 철검 2점이 출토된 분묘의 조성시기는 5세기 초중반으로 판단하고 있다 (Kim *et al.*, 2013). 연기 송원리 철검이 출토된 유구는 (주구)토광묘로 중심연대는 3세기 중후반에서 4세기 초반에 걸쳐 보고 있으며 이는 연기 장재리 유적의 토광묘보다 다소 앞선 시기에 해당한다.

철검의 제작기술을 비교한 결과 3점 모두 단조 및 단절, 열처리 조작이 있던 것을 알 수 있었다. 그러나 비금속개재물의 성분을 이용하여 원 소재의 제련방식과 조업온도를 유추한 결과 연기 장재리의 No.1 철검과 연기 송원리의 철검이 유사한 환경에서 제작된 것으로 보인다. 소재의 제련방식은 1150~1350℃의 직접제련법으로 추정된다. 연기 장재리의 No.2 철검은 다른 2점에 비해 비교적 높은 온도의 제작환경에 노출되었으며 탈탄의 열처리 조작을 가지고 있는 점이 특이할 만 하다.

출토 유구에 따라 시간 순으로 배열한다면 연기 송원리-연기 장재리 순이나 철검의 금속학적 분석결과와 함께 고려한다면 시기에 따른 제작기술의 흐름을 알아보기는 어려웠다. 그러나 연기 장재리 No.1 철검에서 강도를 요구하는 부분에 담금질의 열처리 조직인 마르텐사이트가 확인되고 No.2 철검의 조업온도가 1600℃에 이르는 것으로 보아 기술적 난이도가 연기 송원리의 철검보다는 높았던 것으로 볼 수 있다. 그러나 같은 송원리 유적에서 출토된 줄과 철모의 경우(Cho, 2012) 연기 장재리 철검과 마찬가지로 담금질의 열처리 기술이 적용된 것을 확인할 수 있었다. 그러므로 충남 연기 지역의 경우 3세기 중후반에 이미 담금질의 열처리 기술이 사용되고 있었다는 것을 짐작할 수 있으며 이후 5세기까지 지속적으로 도구에 맞게 적용하여 사용한 것으로 판단할 수 있다.

REFERENCES

- Buchwald, V.F. and Wivel, H., 1998, Slag analysis as a method for the characterization and provenancing of ancient iron objects. *Materials characterization*, 40, 75-77. (in English)
- Callister, W.D., Rethwisch, D.G., 2008, *Materials Science and Engineering*. (tr) Park, I.G., Lee, J.G., Kim, Y.S. and Kim, H.J., Sigmamapress, Inc., 395-396.
- Cho, H.K., 2015, *Manufacturing technology of iron swords in the Midwestern Korea from 2nd to 6th Century AD*, Ph.D thesis, Kongju University, Gongju, 28-31. (in Korean with English abstract)
- Cho, S.H., 2012, *A comparative study on manufacturing techniques of iron artifacts from Geum river basin in the 4th ~ 5th century*. Master thesis, Yonjin University, Yonjin, 37-39. (in Korean with English abstract)
- Choi, Y.M., 2010, *A iron culture in the central region of the Korean peninsula during the Proto-three kingdoms period*. Master thesis, Hansin University, Osan, 49-52. (in Korean with English abstract)
- Hauptmann, A., 2014, *The Investigation of Archaeometallurgical Slag*. In: Roberts, B.W., Thornton, C.P. (ed) *Archaeometallurgy in Global Perspective-methods and Syntheses*. New York, Springer. 91-106. (in English)
- Jeon, S.J., 2013, *A study on the ironware excavated from the barrows in Songdam-ri · Songwon-ri, Yeonkee-Gun*. Master thesis, Korea University, Sejong, 73-74. (in Korean with English abstract)
- Kim, D.H., 2000, *Study on ancient iron agricultural implements*. Master thesis, Pusan National University, Busan, 9. (in Korean with English abstract)
- Kim, D.H., 2010, *A study on farming of the primitive age and ancient times in Yeongnam region*. Ph.D. thesis, Pusan National University, Busan, 35-46. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.K., 2012, *Study of fabrication process of Korean ancient ironware through analysis of microstructures and nonmetallic inclusions*. Ph.D thesis, Yonjin University, Yonjin, 21-26. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.M., 2007, *A study on the transition in iron artifacts of the Three kingdoms age in the Yeongsan river basin*. Master thesis, Mokpo University, Mokpo, 42-43. (in Korean with English abstract)
- Buchwald, V.F. and Wivel, H., 1998, Slag analysis as a

- Kim, S.R., 2015, The transition of iron sickles in Hoseo area from Proto-three kingdoms period to Baekje period and area identity. Master thesis, Korea University, Sejong, 1-5. (in Korean with English abstract)
- Kim, Y.G., Jeong, Y.J., Choi, J.R., Jeong, S.A. and Lee, M.Y., 2013, Report of Excavation on Multifunctional Administrative City 14: Report on the excavation of Jangjae-ri site, Yeongi county-The body, Korea. Baekje Cultural Properties Research Institute, Buyeo, 1-2, 71-72, 89-90, 298-303, 334-336. (in Korean)
- Lee, H.J., Heo, E.H., Cho, B.R. and Oh, W.C., 2010, Report of Excavation on Multifunctional Administrative City 3: Report on the Excavation of Songdam-ri & Songwon-ri site, Yeongi county, Korea. 267-274, 431. (in Korean)
- Samuels, L.E., 2007, Optical Microscopy of Carbon Steels. Wonchang Publishing, Incheon, 43-77. (in Korean)
- Son, M.J., 2008, Ironware culture. Juluesung Publishing, Seoul, 114-115. (in Korean)
-