

경주 양북면 봉길리 유적출토 청동검의 제작기술에 관한 연구

주진옥¹ | 박장식*

신라문화유산연구원, *홍익대학교 금속공학과

Bronze Technology Observed in a Bronze Dagger Excavated from Bongili in Yangboongmyon, Gyeongju

Jin-Ok Ju¹ | Jang-Sik Park *

Silla Cultural Heritage Research Institute, Gyeongju, 780-080, Korea

*Department of Metallurgical Engineering, Hongik University, Chochiwon, 339-701, Korea

¹Corresponding Author: wnwsdhr@hanmail.net, +82-54-777-3101

초록 본 연구에서는 경주 봉길리에서 출토된 청동검 한 점의 미세조직과 화학성분을 분석하였다. 그 결과 이 동검에는 납이 포함되지 않은 주석함량 10%의 청동합금이 사용되었으며 제작과정에 두드림 공정이 적용된 것으로 밝혀졌다. 지금까지 보고된 한반도 출토 동검의 절대다수가 납 청동을 주조하여 제작된 것임을 고려할 때 무연청동에 두드림 공정을 적용하였다는 점에서 본 동검은 다른 것들과 구별된다. 이 동검은 고고학적 가치가 큰 희귀한 자료로서 고대 경주지방에 독특한 청동기 기술을 구사하는 집단의 존재 가능성을 시사한다.

중심어: 경주, 청동검, 미세조직, 화학성분

ABSTRACT A bronze dagger excavated from the historical site at Bongili in Gyeongju was examined for its microstructure and chemical compositions. The results show that it was forged out of the Cu-10 weight % Sn alloy having no lead. The application of forging in fabrication and the use of an unleaded alloy distinguish this artifact from other bronze daggers that have been reported in Korea, the majority of which were cast from leaded Cu-Sn alloys. This dagger is a rare and valuable archaeological material suggesting a unique bronze technology practiced in ancient Gyeongju area.

Key Words: Gyeongju, Bronze dagger, Microstructure, Chemical composition

1. 서론

청동검은 청동거울과 함께 한반도에 청동기시대가 시작될 무렵부터 사용된 대표적인 청동기로서 이의 기원과 유입경로와 발전 및 변화과정에는 우리나라의 고대사가 담겨있다. 지금까지 형식 분류에 근거하여 수행된 연구에

서는 우리나라의 동검에 오르도스나 스텝지역의 영향이 분명하게 나타나있음에 비하여 중국과 연관된 것으로 볼 수 있는 것이 미미하다는 사실이 밝혀졌으며, 이른 시기의 비파형 동검이 후대에 한식 동검으로 발전하였다는 사실도 밝혀졌다^{1,2}. 외형에서 확인되는 이러한 사실은 이들의 제작에 적용된 기술에도 반영되었을 가능성이 큰데, 이는

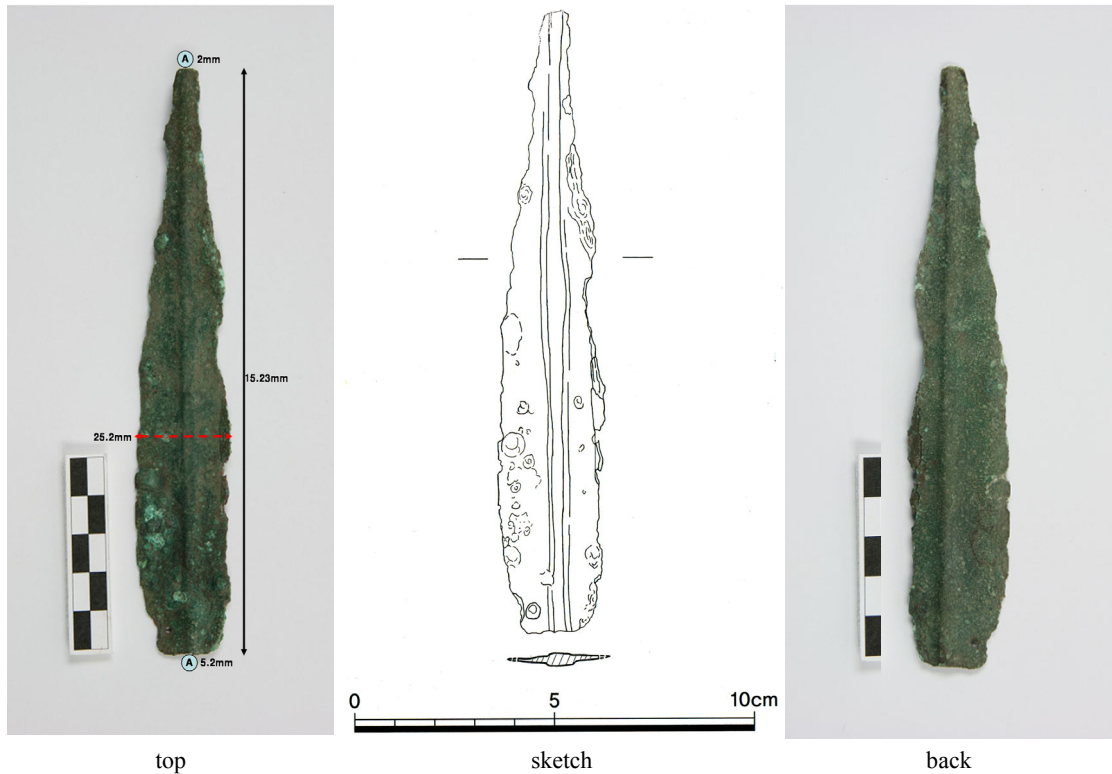


Figure 1. Photos and sketch showing the appearance of the bronze dagger excavated from Bongili at Gyeongju.

비파형 동검이나 한식 동검에 투영된 제작기술의 지역적 또는 시대적 특색에 대한 연구가 필요함을 의미한다. 또한 시베리아와 몽골을 포함하는 스텝지역에서 제작된 청동기가 형상에서 뿐 아니라 합금의 종류나 제작기법에서도 중국의 전통 청동기와 상당한 차이를 보이는 점을 감안할 때³⁻⁵ 이들 기술과의 연관 관계를 살피기 위하여서도 우리의 청동기 기술에 대한 연구는 필요하다. 우리나라에서는 최주를 비롯한 일부 학자들에 의하여 동검 제작에 사용된 합금의 화학성분에 대한 자료가 보고된 바 있다⁶⁻⁸.

최근 신라문화유산연구원은 경주 양북면 봉길리 13-1 번지 유적지를 발굴조사 하는 과정에서 청동검 한 1점을 발굴하였다⁹⁾. 이 유적에서는 신석기시대와 청동기시대의 주거지를 비롯하여 통일신라의 석군, 수혈 등이 확인되었는데, 이 동검은 신석기시대 2호 주거지 상부에서 청동기시대의 유물인 무문토기편과 통일신라의 토기편과 함께 출토되었다. 이들 유물은 신석기시대 문화층이 교란되면서 후대에 유입된 것으로 판단된다. Figure 1에서 보는 바와 같이 이 동검은 심히 훼손되어 정확한 형식 분류가 불가

능한 상태이다. 본 연구에서는 이 청동검을 대상으로 하는 금속학적 미세조직 분석실험을 수행하였으며 그 결과를 선행 연구와 비교함으로써 소재의 특성과 제작방법 면에서 드러나는 유사점과 차이점을 살펴보았다. 분석대상 유물이 비록 한 점에 불과하나 출토된 동검의 수량이 절대적으로 부족할 뿐 아니라 출토된 유물에 대한 분석 또한 여의치 않은 현 상황을 고려하여 본 연구의 결과를 기록으로 남겨 우리나라 동검의 기술적 측면에 대한 소중한 자료로 활용하고자한다.

2. 유물 및 분석방법

2.1. 청동검

Figure 1은 본 연구에서 분석된 동검의 외형을 보여준다. 이 동검의 잔존길이는 약 15.23cm, 잔존 최대 너비는 2.52cm, 두께는 0.4cm이다. 그 표면은 전체적으로 옅은 초록색 녹으로 덮여 있으며 검신 하단부에는 청동병의 원인



Figure 2. Photo showing the locations where samples were taken.

인 Paratacamite($CuCl_2 \cdot 3Cu(OH)_2$)가 형성되어 있다. 등대의 단면은 타원형을 띠고 있으며 검신의 인부는 부식으로 훼손되어 동검의 원형을 파악하기 어려운 상황이다. 또한 검신의 기부 한쪽에는 원형의 투공이 있다.

2.2. 분석방법

Figure 2의 화살표 1과 2는 보존처리 과정에서 극소량의 분석시료를 취한 위치를 보여준다. 화살표 1은 날에 해당하며 화살표 2는 검신의 하단부이다. 분석시료는 연마와 부식의 과정을 거쳐 광학현미경과 주사전자현미경(SEM: Scanning Electron Microscope)을 이용하는 조직분석실험에 사용되었으며, 시편의 화학조성은 주사전자현미경에 부착된 에너지분산분광계(EDS: Energy Dispersive Spectrometer)를 이용하여 측정하였다.

3. 분석결과

3.1. 날부분

Figure 3a는 Figure 2의 화살표 1에서 취한 시편의 미세

조직을 보여주는 광학현미경사진이다. Figure 3b는 Figure 3a의 전 영역에서 취한 EDS 스펙트럼으로, 이 시편이 구리(Cu)와 주석(Sn)을 주 구성원소로 하면서 소량의 황(S)을 포함하고 있음을 보여준다. Figure 3b에서 추정되는 주석 함량은 약 9.5%이며 황함량은 약 0.6%이다. 부위에 따라 명암에 큰 차이가 있기는 하나 Figure 3a에 보이는 조직은 모두 구리와 주석을 주 구성요소로 하는 α 상에 해당한다. Figure 3a에서 보듯이 α 상 내부에 명암의 차이가 발생한 것은 주석함량이 서로 다름에 기인한다. Figure 3a의 화살표 1과 2에서 취한 EDS 스펙트럼인 Figure 3c와 3d를 보면 화살표 1의 주석함량은 약 6.5%임에 비하여 화살표 2에는 그 두 배에 가까운 12.0%의 주석이 포함되어 있으며 화살표 1에서는 검출되지 않은 비소(As) 또한 1~2% 정도 포함된 것을 알 수 있다. 주석과 비소의 함량에서 발견되는 이러한 차이는 주조당시 응고과정에서 발생하는 것으로, 응고시작 단계에 수지(dendrite)형상으로 출현하는 α 상의 주석 및 비소함량이 응고완료 단계에 출현하는 α 상에 비하여 낮음에 기인한다. 그런데 Figure 3a에서 관찰되는 수지는 본래의 모습을 거의 상실한 상태에 있다. 이것은 이 조직사진의 전 부위에 걸쳐 관찰되는 평행선 모양의 촘촘한 무늬와 관련된 것으로 Figure 1의 동검제작과정에서 주조 후 두드림 작업이 수행됨으로써 응고당시 형성된 조직에 변형이 초래되었음에 기인한다.

3.2. 검신 하단부

Figure 4a는 Figure 2에 보인 화살표 2의 검신 하단부에서 채취한 시편의 미세조직을 보여주는 광학현미경사진으로 리본형상의 작고 어두운 부위가 전 영역에 분산되어 있음을 보여준다. 이 Figure 4a의 바탕에는 수많은 결정립들이 자리하고 있으며 각각의 결정립에는 직선형 무늬가 관찰되는데, 전자는 청동합금 내의 α 상에 재결정(recrystallization)이 있었음을 의미하며 후자는 소성변형의 흔적에 해당한다. 이 같은 재결정 조직은 고온에서 수행되는 두드림 작업을 통하여 상당한 변형을 받은 청동기에서 발생하는 것으로 본 시편에 이에 상당하는 처리가 가해졌다는 사실을 보여준다. Figure 4b는 Figure 4a의 전 부위에서 취한 EDS 스펙트럼으로 구리(Cu)에 약 10.8%의 주석(Sn)과 0.6%의 황(S)이 포함되어 있음을 보여준다. Figure 4c는 Figure 4a에 화살표로 표시한 입자에서 취한 EDS 스펙트럼으로 이곳에 구리와 황이 자리하고 있음을 보여준다. 따라서

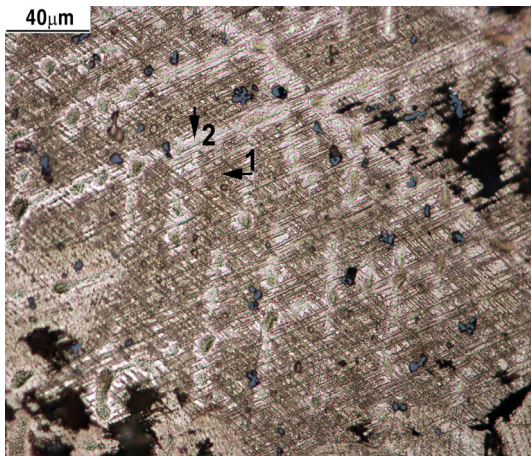


Figure 3a. Optical micrograph showing structure of the sample from arrow 1 in Figure 2.

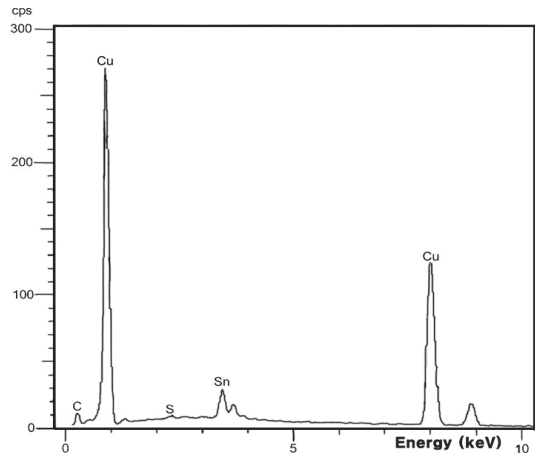


Figure 3b. EDS spectrum taken from the whole area of Figure 3a. 9.5 % Sn, 0.6 % S.

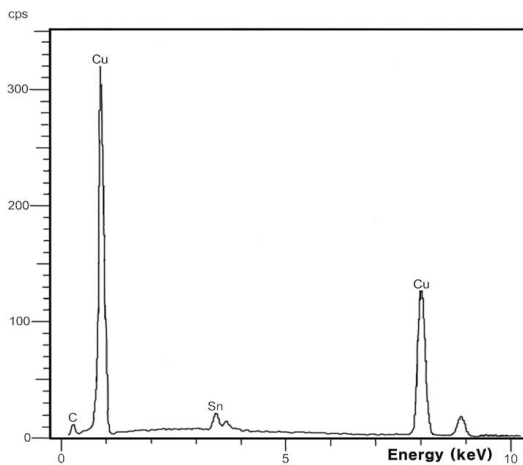


Figure 3c. EDS spectrum from arrow 1 in Figure 3a. 6.5 % Sn.

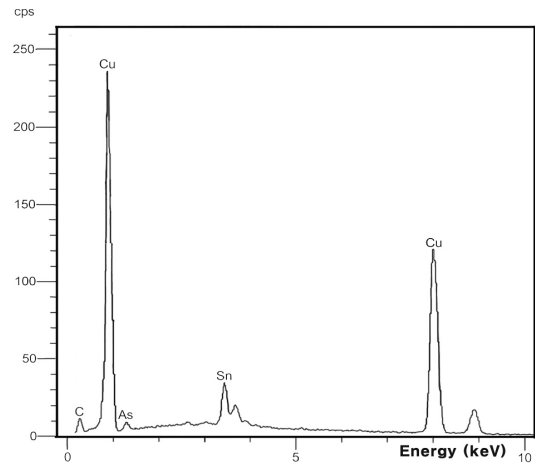


Figure 3d. EDS spectrum from arrow 2 in Figure 3a. 12.0 % Sn, 1-2 % As.

Figure 4a에서 관찰되는 검은 부위는 모두 구리와 황의 화합물에 해당하며 Figure 4b와 Figure 4c의 스펙트럼에 나타나 있는 황은 바로 이들 황화물입자에 기인한다. 합금 내에 존재하는 이러한 황은 제련과정에서 제거되지 않고 잔류하게 된 것으로 황화물이 포함된 광석을 제련에 사용할 경우 발생한다. 조직사진에서 관찰되는 황화물이 리본형태로 방향성을 띠고 분포하고 있는데, 이는 본 유물에 두드림 작업이 가해졌으며 이 과정에서 황화물 입자에 변형이 발생하였음을 의미한다.

4. 고찰

이상의 결과를 근거로 Figure 1의 동검에 사용된 청동합금의 특성과 제작방법을 추정해보면 다음과 같다. 부위에 따라 다소 차이가 있기는 하나 합금 내의 주석(Sn)함량은 평균 10% 내외이며 주석(Sn) 외에 다른 성분은 첨가되지 않았다. 합금에 0.6% 정도의 황(S)이 함유된 것으로 밝혀졌으나 이는 광석 내에 원래부터 있던 것으로 의도된 것은 아니다. 그러므로 이 동검의 제작에는 구리(Cu)에 10%의 주석(Sn)을 합금한 청동합금(Cu-Sn)을 사용하였고, 제작에는

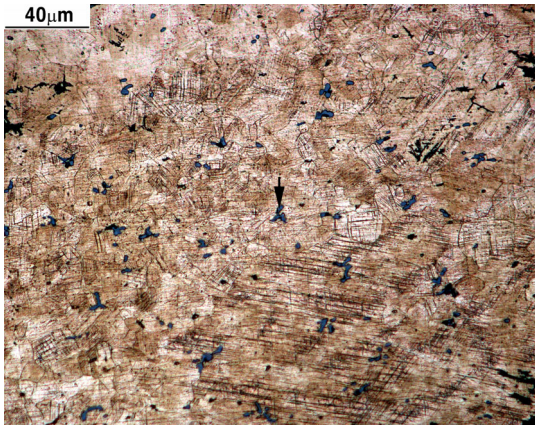


Figure 4a. Optical micrograph showing structure of the sample from arrow 2 in Figure 2.

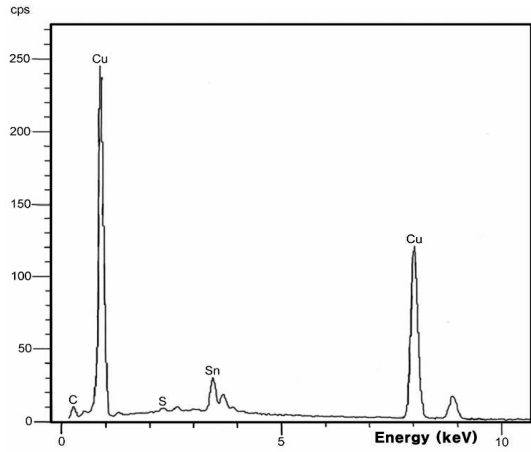


Figure 4b. EDS spectrum from the whole area of Figure 4a. 10.8 % Sn, 0.6 % S.

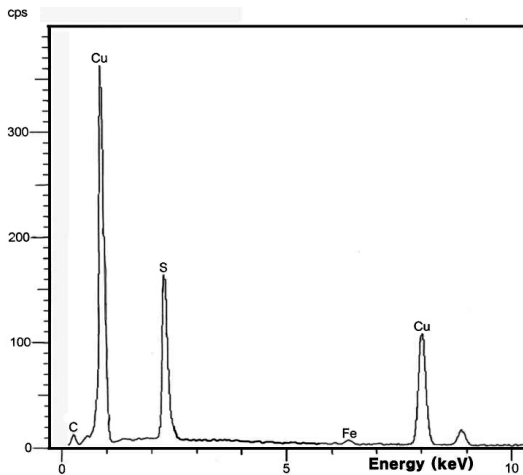


Figure 4c. EDS spectrum from the arrow in Figure 4a.

주조공정과 두드림 공정이 차례로 적용된 것으로 판단된다.

합금의 특성과 제작방법 면에서 이 동검은 매우 특이하다. 지금까지 우리나라에서 보고된 동검 가운데 납(Pb)이 첨가되지 않고 구리(Cu)에 주석(Sn)만을 첨가한 청동합금을 사용한 예로는 대전 비래동 출토 비파형동검과⁷ 백천 일곡리 출토 세형동검의⁸ 두 경우에 불과하다. 비파형 동검 2점과 세형 동검 22점 등 총 24점의 동검에 대한 분석결과를 정리한 최주의 논문에는 한 점을 제외한 전체 동검에 2% 또는 그 이상의 납(Pb)이 포함되었으며 이들의 평균 주석(Sn)함량은 12.1% 그리고 평균 납함량은 6.7%인 것으로 보고되어 있다. 지금까지 동검을 대상으로 수행된 연구에서는 합금의

성분을 측정하는 것이 주가 됨으로써 미세조직에 대한 자료가 부족하고 이는 제작방법을 추정할 수 없었음을 뜻한다. 다만 납(Pb)이 첨가될 경우 제작과정에 두드림 공정이 수행되기 어려우므로 이들 모두를 주조공정에 의하여 제작된 것으로 보아도 무방할 것이다. 대전의 비래동 출토 비파형 동검을 대상으로 수행된 최주 등의⁷ 연구결과에는 미세조직 분석결과가 제시되었으나, 주석(Sn)함량이 19.5%로 매우 높을 뿐 아니라 $\alpha + \delta$ 공석조직이 관찰되는 점으로 보아 두드림 작업이 수행될 수 없는 상황이므로 이 유물 또한 주조에 의하여 제작된 것으로 보아야한다. 그렇다면 본고의 동검은 우리나라에서 지금까지 보고된 동검 가운데 두드림 즉 단조공정을 거쳐 제작된 것으로 밝혀진 최초의 경우에 해당한다. 본고의 동검에 두드림 작업이 수행되었다는 것과 납(Pb)이 첨가되지 않았다는 것은 서로 연계된 것으로 합금제작 단계에 이미 제작공정에 대한 자세한 계획이 수립되어 있었음을 의미한다. 그리고 주석함량 면에서도 그 목표치가 10%인 점이 분명한데 이는 동검과 같이 사용도중 충격을 크게 받는 무기의 제작에 가장 적합한 함량으로서 이 동검이 실제 전투용으로 제작된 것임을 말해준다. 합금의 제작과 제작기법 면에서 봉길리 출토 청동검은 지금까지 분석된 것들과 분명히 구별되며 이것은 이를 제작한 집단의 청동기 기술체계가 매우 독특하였음을 의미한다.

5. 결론

경주 양북면 봉길리 유적지 출토 청동검의 미세조직과

화학성분을 분석한 결과 이 검은 주석(Sn)함량 10%인 청동합금을 소재로 사용하였으며 주조공정에 이어 실시된 단조공정에 의하여 제작이 완료된 것으로 확인되었다. 합금에 납(Pb)이 전혀 첨가되지 않았다는 점과 제작에 두드림 작업이 수행된 점은 지금까지 보고된 것과는 분명히 구별되는 특징으로서 당시 경주 지역에 독특한 청동기 기술을 구사하는 집단이 있었음을 시사한다.

참고문헌

1. Kim, W.Y., "Art and Archaeology of Ancient Korea". *Taekwang Publ. Co*, Seoul Korea, (1986).
2. Portal, J., "Korea Art and Archaeology". *British Museum Press*, London, (2000).
3. Chernykh, E.N., Kuzminykh, S.V., "Ancient Metallurgy in Northern Eurasia (Seyma-Turbino Phenomenon)". *Academy of Sciences of the USSR Institute of Archaeology*, Moscow NAUKA (in Russian), (1989).
4. Bunker, E. C., Kawami, T. S., Linduff, K. M., En, W., "Ancient bronzes of the Eastern Eurasian steppes from the Arthur M. Sackler collections". The Arthur M. Sackler Foundation, Distributed by Harry N. Abrams, Inc., Publishers, (1997).
5. Barnard, N., "Bronze Casting and Bronze Alloys in Ancient China". *Monumenta Serica Monograph 14*, The Australian National University and Monumenta Serica, Canberra, (1961).
6. Choi, J., "The Feature of the Korean Bronze Age-From the Metallurgical Viewpoint". *Proc of the Forum for the Fourth International Conference on the Beginning of the Use of Metals and Alloys (BUMA-IV)*. Shimane Japan, 25-46, (1996).
7. 최주, 이강승, 성정용, 정광용, 김수철, "대전광역시 비래동 출토 비파형동검의 조성 및 납동위원소비". *한국전통과학 기술학회지*, 4·5, p16, (1998).
8. 강승남, "우리나라 고대 청동가공 기술에 관한 연구". *조선 고고연구* 76, (1990).
9. 신라문화유산조사단, "경주의 문화유적 IV". 경주 양북면 봉길리 13-1번지 유적 발굴조사 보고서, (2008).