한국 방짜기술의 출현과정에 관한 금속학적 연구: 국립경주박물관 부지 출토 통일신라 청동유물을 기준으로

박장식*·주진옥†

홍익대학교 세종캠퍼스 금속공학과

† (재)신라문화유산연구원 보존연구팀

Evolution of High Tin Bronze Technology in Korea as Observed in Bronze Objects of the Unified Silla Period, Excavated from the National Gyeongju Museum Site

Jang Sik Park* and Jin Ok Joo†

Department of Metallurgical Engineering, Hongik University, Sejong 30016, Republic of Korea

† Foundation of Silla Cultural Heritage Research Institute, Gyeongju 38166, Republic of Korea

Abstract: Korea is famous for its long history of manufacturing high tin bronze objects of near peritectic composition by the application of forging and rapid cooling at approximately 700 °C. Not much is known, however, of the origin and developmental processes of this technique. Fortunately, valuable evidence for assessing the associated technological evolution was found by examining the microstructure and chemistry of bronze objects excavated in the National Gyeongju Museum construction site. Initial awareness of the technique was clearly visible in the selection of unleaded high tin bronze alloys of varying tin levels and the application of special thermo-mechanical treatments involving forging and quenching from the α - β or α - γ phase field of the Cu-Sn system. This observation along with the excavation contexts suggests that the high tin technology was gradually established in Korea by a long period of experimentation, starting from the 8th century AD or earlier.

(Received May 27, 2016; Accepted June 16, 2016)

Keywords: Korea, high tin bronze, technological evolution

1. 서 론

방짜유기는 주석함량 22% 부근의 구리-주석 합금을 이용하여 제작된 청동기를 말하며, 이의 제작공정은 700 °C 근처의 고온에서 가해지는 두드림 작업과 이후 700 °C 근처에서 실행되는 담금질 처리로 구성된다. 청동합금에 주석함량이 10%를 상회할 경우 취성이 높은 δ 상이 석출됨으로써(그림 1 [1]) 상온에서의 두드림 공정이 사실상 어려워짐에도 불구하고 [2] 벽두께 1 mm 이하의 청동기가 두드림 공정에 의하여 제작되어 별다른 문제없이 실생활에 사용되었다는 점에서 방짜기술은 금속학자들의 각별한 관심의 대상이 되어왔다 [3]. 온도가 높아짐에 따라 일반적으로 금속소재의 취성이 낮

아진다는 사실을 감안하면 고주석(高朱錫) 청동합금일지라도 온도를 조절할 경우 두드림 작업이 가능하므로 방짜기술에서 두드림 공정이 실행된 것 자체가 기이할 것은 없을 것이다. 그러나 청동기 유물 대부분에서 확인되듯이 벽 두께가 0.2 mm 정도로 매우 얇을 경우, 설령 두드림을 통하여 제품 제작이 가능하더라도 사용도중 작은 충격에도 쉽게 파손되어 실용성을 상실하게 될 것이므로 이 문제를 해결하지 않고서는 방짜기술이 정착하기 어려웠을 것이다.

그동안 청동기 유물을 대상으로 수행된 연구에서는 [1-5] 방짜유기에 알파상(alpha phase)과 더불어 마르텐사이트(martensite) 또는 감마상(gamma phase)이 주요 구성성분으로 자리한다는 사실이 밝혀졌다. 이는 두드림 공정이 완료된 후 담금질 처리를 수행함으로써 취성이 높은 델타상(delta phase)의 출현을 억제하여 사용도중 파손되는 것을 막기 위한 것으로 볼 수 있다. 특히 금속학자의 입장에서는 구리

*Corresponding Author: Jang Sik Park

[Tel: +82-44-860-2562, E-mail: jskpark@hongik.ac.kr]

Copyright © The Korean Institute of Metals and Materials

Table 1. Summary information on the purpose, excavation location, external appearance and chronology of the bronze objects examined, from the construction site for the National Gyeongju Museum.

#	Artifact (purpose)	Excavation location	Photo	Period
1	Gilt hairpin	1 bang building site		Unified Silla
2	Bronze hairpin	3 bang #1 well		Unified Silla
3	Bronze hairpin	3 bang #1 well		Unified Silla
4	Bronze dish	1 bang #13 building site		Unified Silla
5	Bronze spoon	2 bang drain		Goryeo

(Cu)-주석(Sn) 합금의 상태도(그림 1)에 비추어 델타상의 역제가 가능한 여러 가능성 가운데서도 유독 Sn함량 22%와 온도 700 °C의 조건이 방짜유기의 표준기술로 자리하게 된 배경에 관심을 갖게 된다. 최근 고주석 청동합금을 대상으로 수행된 연구결과에 따르면 [3] 담금질 조직 내에 존재하는 알파상과 마르텐사이트 또는 감마상의 상대량에 따라 청동합금의 파괴에 대한 저항력이 민감하게 변하며, 이것이 방짜유기의 표준기술인 Sn함량 22%와 온도 700 °C의 조건에서 최적화하는 것으로 드러났다.

이상에서 살펴보았듯이 방짜기술은 담금질 처리의 중요성을 인식하면서 시작되었으며 [6], 이후 오랫동안 시행착오를 거쳐 최적의 Sn함량과 온도조건을 찾아 가게 된 것으로 볼 수 있다. 그렇다면 이 기술이 언제 어디에서 처음 인식되어 실행되었으며, 우리나라에는 어떠한 경로를 거쳐 유입되었는지 그리고 어떤 과정을 거쳐 완성되었는지에 대한 질문이 제기되는 것은 당연하다. 이 질문은 우리나라의 역사에 관한 것으로 방짜기술이 단순히 기술의 차원에 국한되는 것이 아니라 자연과학과 인문학이 함께 풀어 가야할 가치 있는 명제이자 연구테마에 해당함을 보여준다. 본 연구에서는 금속공학에서 그동안 이러한 이론과 분석방법을 적용하여 최근 신라문화유산연구원이 국립경주박물관 신축부지에서 발굴한 청동유물(표 1 [7])을 분석함으로써 우리나라에 방짜기술

Fig. 1. The equilibrium Cu-Sn phase diagram [1].

이 성립되는 과정에서의 기술 발전단계를 밝힘은 물론 향후 역사연구에 도움이 되는 양질의 자료를 얻고자 한다.

2. 분석방법

분석용 시편은 대상 유물에서 극미량의 금속편을 취하여 이를 연마와 부식을 포함하는 표준처리를 가하여 준비되었으며, 부식용액으로는 메틸알코올(methyl alcohol) 100 ml와 염산 30 ml에 산화철(III) 10 g을 혼합한 용액을 사용하였다. 시편의 미세조직은 광학현미경과 주사전자현미경(scanning electron microscope, SEM)을 이용하여 관찰하였다. 화학조성은 주사전자현미경에 부착된 에너지분산분광계(energy dispersive spectrometer, EDS)를 이용하여 추정되었으며 그 결과는 무게를 기준으로 하는 백분율로 제시되었다.

3. 결 과

표 1에 제시한 다섯 점의 청동기에서는 다음에 기술한 바와 같이 합금의 조성과 제작도중 가하여진 열처리 또는 두드림 조건 면에서 분명한 차이를 보이는 다양한 미세조직이 관찰되었다.

Fig. 2. (a) Optical micrograph showing the structure of object #1 in Table 1 and (b) EDS spectrum taken from the area of approximately 0.25×0.19 mm near the center of Fig. 2a.

3.1 금동 뒤꽂이

그림 2a는 표 1의 1번에 보인 금동 뒤꽂이에서 취한 시편의 미세조직을 촬영한 광학현미경사진으로 쌍정이 포함된 알파 단일상이 전 부위에 걸쳐 자리하고 있음을 보여준다. 한편 그림 2b는 그림 2a 중심 근처의 약 0.25×0.19 mm 영역에서 취한 EDS 스펙트럼으로 여기에서는 Cu 외에 다른 원소는 발견되지 않는다.

이상의 분석결과와 표면에 드러난 금(Au) 피막의 존재로 보아 이 유물에는 합금원소를 첨가하지 않은 Cu소재가 사용되었으며, 제작과정에 두드림에 의한 형상가공과 고온에서의 재결정 처리, 그리고 표면에 Au를 입히는 공정이 차례로 수행되었다는 사실을 알 수 있다.

Fig. 3. (a) Optical micrograph showing the structure of object #2 in Table 1, (b) SEM micrograph magnifying the area marked by the arrow in Fig. 3a, (c) EDS spectrum from the area of approximately 0.25×0.19 mm near the center of Fig. 3a and (d) EDS spectrum from the spot marked by the arrow in Fig. 3b.

3.2 청동 뒤꽂이

그림 3a는 표 1의 2번에 제시된 청동 뒤꽂이에서 취한 시편의 미세조직을 보여주는 광학현미경사진이다. 이 조직사진에서 밝은 곳에는 나뭇가지(수지) 모양으로 성장한 알파상이 자리하고 있으며 이들 수지 사이의 어두운 곳에는 또 다른 상이 자리하고 있다. 이러한 조직은 주조공정이 진행되는 동안 응고반응을 거쳐 형성된다. 알파영역에 그림 2a에서와 같은 쌍정이 없는 점으로 보아 이 유물에는 주조공정이 완료된 후 두드림 작업이 추가적으로 수행되지 않았음을 알 수 있다. 수지 사이에 존재하는 조직을 자세히 관찰하기 위하여 그림 3a의 중심 근처 화살표 부위를 전자현미경으로 확대한 결과 그림 3b가 얻어졌다. 그림 3b에서는 알파영역이 어둡게 보이는 반면 이들 알파영역 사이의 조직이 밝게 나타나있다. 이를 고려하여 그림 3a와 3b를 자세히 비교해보면 알파가 아닌 부위에는 미세한 입자가 빼곡하게 자리하고 있음을 알 수 있다. 이들 입자는 Cu에 32.6%의 Sn이 포함된 금속상이다. 텔타로 불리는 이 금속상은 520 °C에서 진행되는 공석변태의 산물인 α - δ 공석조직의 한 구성 요소이다. 이 같은 공석조직의 존재는 이 시편에 상당량의 주석이 포함되어 있음을 의미한다. 그림 3c와 3d는 EDS 스펙트럼으로 전자는 그림 3a 중심 근처의 약 0.25×0.19 mm 영역에서, 그리고 후자는 그림 3b에 화살표로 표시된 텔타입자에서 취하여졌다. 그림 3c에서는 Cu와 Sn의 존재가 확인되며 이로부터 추정되는 주석함량은 약 21.4%이다. 이는 이 시편의 평균 주석함량에 해당하는 것으

Fig. 4. (a) Optical micrograph showing the structure of object #3 in Table 1, (b) SEM micrograph magnifying the area marked by the arrow in Fig. 4a, (c) EDS spectrum from the entire area of Fig. 4b, and (d) EDS spectrum from arrow 2 in Fig. 4b.

로 볼 수 있다. 그림 3d로부터 추정되는 Sn함량은 약 30%로 이 수치는 텔타입자에서 일반적으로 관찰되는 Sn함량의 범주에 속한다. 그림 3d에서는 소량의 은(Ag)이 확인된다. 이것은 유물제작에 공급된 Cu나 Sn에 불순물 형태로 Ag가 포함되어 있었음에 기인하는 것으로, 의도된 것은 아니다.

이상의 결과를 종합하면 이 유물은 Sn함량 21.4%인 청동합금을 준비한 후 이를 녹여 미리 준비한 틀에 붓는 주조공정을 거쳐 제작된 것으로 판단할 수 있다. α - δ 공석조직이 출현한 것으로 보아 주조 후 냉각과정에서의 냉각속도가 담금질에 준할 정도로 매우 높지는 않았을 것이 분명하다. 그러나 그림 3b에서와 같은 미세한 텔타입자를 얻기 위하여서는 대기 중에서 수행되는 것보다 훨씬 빠른 냉각속도가 요구되므로 이 유물에 담금질 처리가 시도되었을 가능성은 충분하다. 청동합금을 대상으로 실시되는 담금질 처리에서 냉각속도가 충분히 높지 않아 텔타상이 출현하는 경우는 흔히 발생한다.

3.3 청동 뒤꽂이

그림 4a는 표 1의 3번 유물인 또 다른 청동 뒤꽂이에서 취한 시편의 미세조직을 보여주는 광학현미경사진이다. 여기에서도 그림 3a에서와 유사하게 수지형상으로 성장한 알파상이 관찰되며 이들 알파 영역 사이에는 알파와 구별되는 별도의 금속상이 자리하고 있다. 그림 4b는 그림 4a의 중심 근처 화살표 근처를 확대한 전자현미경 조직사진으로, 표면의 높낮이 면에서 알파 영역은 비교적 낮은 곳에 그리고 별도의

Fig. 5. (a) Optical micrograph showing the structure of object #4 in Table 1 (the straight lines running down diagonally from the left edge represent those created during the rapid cooling treatment.), (b) EDS spectrum from the entire area of Fig. 5a, and (c, d) EDS spectra from arrow 1 and 2 in Fig. 5a, respectively.

금속상은 화살표 1로 표시된 곳에서와 같이 비교적 높은 곳에 자리하고 있다. 그림 4c는 그림 4b의 전 영역에서 취한 EDS 스펙트럼으로 이 시편에 약 12.0%의 Sn과 2.5%의 비소(As)와 2.7%의 납(Pb)을 포함하는 청동합금이 사용되었음을 보여준다. 한편 그림 4b의 화살표 1에 대한 EDS 분석결과 이곳에 약 24.0%의 Sn과 2.7%의 As가 포함된 금속상이 자리하고 있는 것으로 드러났다. 감마로 불리는 이 금속상은 청동합금을 520 °C와 586 °C 사이의 온도에서 담금질할 경우 발생하는 것으로 이 유물에 이에 준하는 열처리가 수행되었다는 것을 분명하게 보여준다. 한편 그림 4b의 화살표 2에는 주변의 조직과 구별되는 입자가 자리하고 있다. 이곳에서 취한 EDS 스펙트럼인 그림 4d를 보면 이것이 Pb 입자에 해당함을 알 수 있다. 청동합금에 납을 첨가하면 녹는 온도가 낮아지며 액상에서의 유동도가 향상되어 주조공정을 원활하게 하는 장점을 얻을 수 있다. 반면 Pb는 응고반응을 거치는 동안 청동합금으로부터 분리되어 그림 4b에서와 같이 입자형태로 자리하게 됨으로써 청동제품의 충격에 대한 저항력을 현저히 감소시켜 두드림 가공을 불가능하게 한다.

이상의 결과에 의하면 이 유물 또한 앞서 살펴본 청동 뒤꽂이와 유사하게 주조공정을 통하여 제작된 것이 분명하다. 그러나 여기에 사용된 청동합금에는 Sn함량이 12% 근방으로 낮아진 반면 2.5%의 As와 2.7%의 Pb이 첨가되었으며, 제작과정에서는 주조공정이 완료된 후 550 °C 근처의 온도에서

Fig. 6. (a) Optical micrograph showing the structure of object #5 in Table 1 and (b) EDS spectrum from the arrow in Fig. 6a.

급랭시키는 담금질 처리가 추가적으로 수행되었다. 이러한 담금질 처리는 그림 3b에서와 같은 α - δ 공석조직의 형성을 억제하는 대신 감마상의 출현을 유발하기 위하여 실시된다. 이것은 α - δ 공석조직에서 델타상의 취성이 매우 높아 가공 또는 사용도중 작은 충격에도 청동제품이 쉽게 파손되는 단점을 극복하기 위하여 특별하게 개발된 기술로 볼 수 있다.

3.4 청동 접시

그림 5a는 표 1의 4번 유물인 청동 접시에서 취한 시편의 미세조직을 보여주는 광학현미경 사진이다. 이 조직사진의 바탕에는 감마상이 자리하고 있으며 여기에 섬처럼 분포하고 있는 영역에는 알파상이 자리한다. 알파영역 내에 쌍정이 형성되지 않은 것으로 보아 이 유물의 제작과정에도 두드림 공정은 없었음을 알 수 있다. 한편 그림 5a에 보인 알파영역은 그림 3a와 4a에서 관찰되는 것과 분명하게 구별될 정도로 조대하다. 이것은 주조공정에서 응고반응이 매우 느린 속도로 진행되었음을 의미한다. 그림 5a의 조직에서 관찰되는 감마상은 이 유물에도 주조공정이 완료된 다음 550 °C 근처의

온도로 재가열하여 급랭시키는 담금질 처리가 가해졌음을 말해준다. 감마영역에 빗금처럼 보이는 것은 시편준비 과정에서 발생한 것이 아니라 담금질 과정에서 출현한 것으로 담금질 실시 당시 시편 내 일부 영역의 온도가 α - β 및 α - γ 영역에 걸쳐 있었음을 보여준다. 그림 5b-5d는 EDS 스펙트럼으로 그림 5b는 그림 5a의 전체 영역에서 그리고 그림 5c와 5d는 각각 그림 5a의 화살표 1과 2에서 취하여졌다. 그림 5b로부터는 이 시편의 평균 Sn함량이 약 23.4%라는 점이 확인되며, 그림 5c로부터는 그림 5a의 화살표 1의 감마영역에 25.1% 정도의 Sn이 함유되어 있음을 알 수 있다. 한편 그림 5d에는 그림 5a의 화살표 2 부위가 셀레늄(Se)과 철(Fe)을 소량 포함하는 구리 황화물(Cu_2S)에 해당한다는 사실이 나타나 있다.

이상의 결과를 보면 이 유물 또한 앞서 살펴본 표 1의 3번 유물과 유사하게 주조공정과 이후 실시된 담금질 처리의 과정을 거쳐 제작된 것임을 알 수 있다. 그러나 이 유물에 사용된 청동합금은 Sn함량이 23.4%로 매우 높을 뿐 아니라 Pb이나 As를 전혀 함유하고 있지 않다는 점에서 앞서의 청동 뒤꽂이와 분명하게 구별된다.

3.5 청동 숟가락

그림 6a는 표 1의 5번에 보인 청동 숟가락에서 취한 시편의 미세조직을 보여주는 광학현미경 사진이다. 그림 6a에는 바늘모양의 마르텐사이트상이 어둡게 보이는 바탕에 자리하고 있으며 이를 배경으로 밝게 보이는 알파상이 섬처럼 분포하고 있다. 알파영역에서 쌍정이 관찰되는 점으로 보아 이 유물의 제작공정에 고온에서 실행되는 두드림 작업이 있었음을 알 수 있다. 청동합금에 마르텐사이트상이 출현하기 위하여서는 586 °C 이상의 온도에서 급랭시키는 담금질 처리가 수행되어야 하며, 특히 그림 6a에서와 같은 바늘모양의 조직을 얻으려면 담금질 온도를 700 °C 근처로 조정해주어야 한다. 그림 6a 중심 근처의 약 0.25×0.19 mm 영역에 대하여 EDS 분석실험을 수행한 결과 이 시편의 평균 Sn함량이 약 22.0%임을 알 수 있었다. 그림 6b는 그림 6a의 화살표 부근의 마르텐사이트 영역에서 취한 EDS 스펙트럼으로 이를 분석한 결과 이곳의 Sn함량은 약 24.7%인 것으로 드러났다.

이상의 결과를 종합하면 이 청동유물에는 Sn함량 22%인 청동합금이 사용되었으며 제작과정에는 고온에서의 두드림 작업과 700 °C 근처에서 실행되는 담금질 처리가 차례로 수행되었다는 사실을 알 수 있다.

4. 고 찰

이상에서 살펴본 청동기 다섯 점에는 우리나라에 방짜기술이 유입되는 시기와 완성된 기술로서 정착하기까지의 발전과정을 추정함에 필요한 정보가 담겨있다. 우선 표 1의 4번에 보인 청동 접시에 새겨진 “辛審(?)東宮洗宅”라는 명문을 근거로 이 유물의 제작시기를 추정할 경우 752-759년 또는 776년-9세기 중엽의 두 가지 가능성이 제기된다 [8]. 이 유물의 사용자가 당시 지배계층에 속하였던 점을 고려하면 이의 제작에 당시 통일신라를 대표하는 기술이 적용된 것으로 보아 무방할 것이다. 앞서 제시한 바와 같이 이 유물에는 Sn함량이 23.4%에 이르는 고주석 청동합금이 사용되었으며, 주조공정이 완료된 후 담금질 처리가 가해진 것으로 드러났다. 합금의 주석함량을 이처럼 높게 하면서 As나 Pb와 같은 여타의 합금원소를 첨가하지 않았다는 점과 제작이 완료되는 시점에 담금질 처리가 수행되었다는 점에서 이 유물은 방짜유기에 가깝다. 그러나 두드림 작업이 수행되지 않았다는 점과 Sn함량이 22%를 상회한다는 점 그리고 담금질 처리 온도가 550 °C 근방으로 700 °C에서 멀리 떨어져있었다는 점에서 이 유물제작에 적용된 기술을 완성된 방짜기술로 보기는 어렵다. 그럼에도 불구하고 이 유물을 방짜기술이 개발되는 단계의 제품으로 보는 것은 종래의 청동기에 비하여 Sn함량이 획기적으로 높아졌다는 사실과 담금질 처리가 시도되었다는 점에 근거한다. 청동합금에 Sn함량을 높일 경우 소재의 강도가 증가하며 주조성이 향상되는 반면 합금제작에 드는 비용이 증가하며 재료의 취성이 증가하는 단점이 발생한다. 그러므로 유물제작에 주석함량을 높였다는 것은 이에 수반되는 기술적 및 경제적 장단점에 대한 이해가 있었으며, 기술개발 정도에 따라 궁극적으로는 득보다 실이 크다는 사실을 알고 있었음을 의미한다. 예를 들어 Sn함량을 높임으로써 강도를 개선하여 유물제작에 드는 소재를 절약할 수 있다면 도리어 제품의 단가를 낮출 수 있게 된다. 이것이 가능하려면 Sn함량을 높일 경우 취성이 높아지는 단점을 극복할 수 있는 기술 개발이 선행되어야 한다. 이 유물에 담금질 처리가 가해진 것은 열처리를 통하여 이러한 단점이 극복될 수 있다는 사실을 당대의 기술자들이 부분적으로나마 인식한 결과로 보아야 할 것이다.

표 1의 2번 및 3번의 청동 뒤꽂이 또한 몇 가지 측면에서 방짜기술이 개발되는 단계를 대변하는 제품으로 볼 수 있다. 2번 유물의 Sn함량 21.4%는 방짜용 합금으로 보아 무방하며 여기에 As나 Pb이 첨가되지 않았다는 점에서 더더욱 그러하

다. 그러나 이 유물의 제작에 주조공정이 적용되었을 뿐 두드림 공정이 생략되었다는 점과 미세조직 내에 취성이 강한 델타상이 존재한다는 점은 완성된 방짜기술에 이르기까지 선결되어야 할 문제점이 남아있었음을 의미한다. 한편 3번 유물에서 확인되는 550 °C 부근에서 가해진 담금질 처리의 흔적은 열처리를 통하여 얻을 수 있는 긍정적인 효과를 부분적으로 인식하고 있었음을 의미하는 것으로 불완전하나마 방짜기술을 염두에 둔 시도로 볼 수 있다. 그러나 이 유물의 Sn함량 12.0%는 방짜합금에 비하여 현저히 낮은 뿐 아니라 여기에 As와 Pb이 첨가된 점 또한 방짜합금에서는 볼 수 없는 것이다. 특히 소량이지만 Pb이 포함된 청동합금을 사용하였다는 것은 방짜기술의 주요 특성 가운데 하나인 두드림 공정을 애초부터 염두에 두지 않은 결과로 볼 수 있다.

이상에서 살펴본 유물은 모두 방짜기술이 개발되는 과정에서 제작된 것으로 방짜기술의 특성을 일부 지니고 있으나 완성된 기술과는 상당한 거리에 있는 제품에 해당한다. 이들이 출토맥락이나 형태학적 측면에서 통일신라의 유물로 판단됨에 따라 본 연구의 결과에 근거할 경우 방짜기술은 이 당시 개발 과정에 있었다는 결론에 도달하게 된다. 반면 고려시대에 제작된 표 1의 5번 유물인 순가락에는 주석함량 22%인 청동합금이 소재로 사용되었으며, 이의 제작과정에는 고온에서의 두드림 작업과 700 °C 부근에서의 담금질 처리가 차례로 수행된 것으로 밝혀졌다. 이 기술은 완성된 방짜기술과 정확하게 일치하는 것으로 이 유물이 앞서 살펴본 통일신라의 청동유물과 같은 곳에서 출토된 점을 고려할 때 경주지역의 방짜기술은 통일신라에서 고려에 이르는 어느 시기에 완성된 것으로 보아야 할 것이다.

지금까지 한반도 출토 청동기를 대상으로 하는 금속학적 연구결과에 의하면 한국의 청동기 기술은 방짜기술의 성립과 더불어 청동합금의 화학조성과 제작기법 면에서 청동기의 최초 유입에 버금가는 심각한 변화를 맞이하게 되었다는 결론에 이르게 된다 [6,9]. 이러한 기술이 언제 어디서 개발되었는지는 분명하지 않으나 이 기술이 실행된 흔적은 인도의 경우 적어도 기원전 5세기 또는 그 이전의 유물에서 확인되고 있음에 비하여 [10,11] 중국에서 방짜기술이 사용된 예는 흔하지 않다. 우리나라에 이 기술이 전래된 시기와 경로 또한 확실하지 않으나 신라의 삼국통일을 전후한 시기에 도입되어 늦어도 고려시대에 이르러서는 널리 사용되었던 것으로 추정된다 [12-14]. 우리나라의 청동기에서 방짜유기가 차지하는 비중을 감안할 때 방짜기술의 도입 경로와 시기와 발전 과정에는 당대의 국제교류는 물론 사회상황을 파악함에 필

요한 정보가 담겨있을 가능성이 크므로 향후 이에 대한 깊이 있는 연구가 필요하다.

5. 결 론

본 연구에서는 국립경주박물관 남측 확장부지 내 유적(2차)지에서 발굴한 청동기 다섯 점에 대한 금속학적 분석실험을 수행하였다. 그 결과 고려시대에 제작된 것으로 판단되는 청동 손가락에서는 “Sn함량 22%의 청동합금-고온에서의 두드림 작업- 700 °C 부근에서의 담금질 처리”로 대표되는 완성된 형태의 방짜기술이 확인되었다. 이에 비하여 통일신라시대의 유물로 추정되는 나머지 네 점의 유물 중 세 점에서는 방짜기술과 유사하나 완성된 방짜기술과는 상당한 거리에 있는 미완의 기술이 적용된 것으로 밝혀졌다. 이는 우리나라의 방짜기술이 통일신라 또는 그 이전에 유입되어 오랜 기간의 개발과정을 거쳐 점진적으로 완성된 것으로 고려시대에 이르러서야 비로소 완성단계에 도달하였음을 의미한다. 그러므로 한반도의 방짜기술은 기술자의 이주와 같은 특별한 상황에서 완성된 형태로 유입된 것이 아니라, 구전이나 비전문가의 증언 등과 같은 간접적인 경로를 통하여 유입되어 상당 기간의 시행착오를 거쳐 완성된 것으로 보아야할 것이다.

감사의 글

이 연구는 한국연구재단의 연구비 지원으로(NRF-2013R1A1A2059128) 수행되었다.

REFERENCES

1. D. A. Scott, *Metallography and Microstructure of Ancient and Historic Metals*, The Getty Conservation Institute, p.90-129, Tien Wah Press, Ltd., Singapore (1991).
2. J. S. Park, *J. Kor. Soc. Heat Treatment* **17**, 189 (2004).
3. J. S. Park, C. W. Park and K. J. Lee, *Mater. Charact.* **60**, 1268 (2009).
4. H. T. Kang, H. S. Yu, S. Y. Moon and H. N. Kwon, *Conservation Science in Museum* **2**, 57 (2000).
5. Y. D. Jung and J. S. Park, *J. Kor. Inst. Met & Mater.* **43**, 80 (2005).
6. J. S. Park and B. R. Gordon, *J. Archaeol. Sci.* **34**, 1991 (2007).
7. Foundation of Silla Cultural Heritage Research Institute, *Relics of Silla Capital II-Inwang-dong, Gyeongju*, Excavation Report (2014).
8. Foundation of Silla Cultural Heritage Research Institute, *Excavation (II) of the construction site for National Gyeongju Museum*, Preliminary Excavation Report (2012).
9. J. Choi, *Proceedings of BUMA IV*, Shimane, Japan (1996).
10. J. S. Park and S. Shinde, *J. Archaeol. Sci.* **40**, 3811 (2013).
11. S. Srinivasan, *J. Metals* **50.7**, 44 (1998).
12. A. S. Melikian-Chirvani, *Metropolitan Museum J.* **9**, 123 (1974).
13. M. Chikashige, *J. Chemical Society* **117**, 917 (1920).
14. W. F. Collins, *J. Inst. Met.* **XLV** 23 (1931).