

聖德大王神鍾의 科學分析

강형태 · 유혜선 · 권혁남 · 김종오

국립중앙박물관 보존과학실

Scientific Analysis of Divine Bell of King Seongdeok

Hyung-tae Kang, hei-sun Yu, Hyuk-nam Kwon and Jong-oh Kim

Conservation Science Laboratory, National Museum of Korea

Abstract

The Divine Bell of King Seongdeok was completed in 771 A.D. It is a true masterpiece both grand in its size and style, illustrating the essence of the Korean bronze culture. However, there are no remaining records about its casting: where the raw material came from, how the material were mixed and how the bell was cast. The absence of such records has limited the understanding of the bell. This article contains analysis of three samples collected from a protruding part inside of the bell during a safety test for the bell by the Gyeongju National Museum. The main issues are the compounding ratio of raw material, the original metal structure on the casting time and the place where the raw material came from.

성덕대왕신종은 서기 771년에 완성되었으며 규모에 있어서나 예술적인 수준에 있어서 탁월한 걸작품으로서 우리 청동문화의 정수이다. 그러나 성덕대왕신종을 주조하기 위해 어디에서 원료를 입수하여 어떻게 배합하고 주조했는지에 대한 사료가 남아있지 않아 성덕대왕신종을 깊이 있게 이해하는데 한계가 있다. 본 연구는 국립경주박물관에서 성덕대왕신종에 대한 안전진단의 일환으로 점검 과정 중 신종 내부에 돌출된 부분에서 채취한 시료 3점의 분석결과를 정리한 것이다. 성덕대왕신종을 제작하기 위한 원료의 배합비, 주조 당시의 금

속조직, 원료의 산지 등에 중점을 두고 조사하였다.

1. 성분조성

ICP를 이용하여 정량분석을 실시한 결과 Cu와 Sn이 86.1% 및 12.8%로 주성분을 이루고 있으며 Pb 등이 미량 함유되어 있다. 불순물의 함량이 낮은 것으로 보아 매우 정제된 동을 사용한 것으로 보인다.

[Table 1] Chemical Compositions of Three Samples
Collected from inside of the Bell

No.	Cu	Sn	Pb	Zn	Fe	Ag	Ni	As	Sb	Co	Total
5	84.4	14.4	0.29	tr	0.16	0.20	0.06	0.18	0.05	0.02	99.8
7	85.4	12.1	0.16	tr	0.15	0.15	0.06	0.11	0.05	0.02	98.2
12	88.4	12.0	0.21	tr	0.18	0.12	0.06	0.14	0.03	0.03	101.2
Ave.	86.1	12.8	0.22	-	0.16	0.17	0.06	0.14	0.04	0.02	99.7

2. 미세조직

주석의 함량이 12.8%의 Cu-Sn 합금의 경우 용융온도가 980℃이고, 완전히 응고하는 온도는 799℃이다. 매우 천천히 응고할 경우 ε상이 나타나나 냉각속도가 빠른 주조의 경우 최종 응고조직에서 δ상이 석출한다. 신종의 미세조직에서도 주조로 제작될 때 전형적으로 나타나는 δ상이 나타나고 있다.

3. 원료의 산지추정

청동기의 납 함량이 1% 이하로서 미량이면 그 납은 광석(구리 또는 주석)에서 불순물로 함유된 것이므로 이때의 납동위원소비는 광석의 산지와 관련 있다는 것을 의미한다. 시료 3점의 각 납동위원소비 분석결과를 표 3에 나타내었다.

[Table 2] Lead Isotope Ratios and Discriminant Scores of Three Samples of the Bell

시료 번호	명 칭	시료위치 (높이:cm)	납동위원소비					판별점수	
			206/204	207/204	208/204	207/206	208/206	DS ₁	DS ₂
5	성덕대왕신종	중(180)	19.961	15.898	39.234	0.796	1.966	-3.041	1.358
7	성덕대왕신종	중(204)	20.118	15.917	39.314	0.791	1.954	-3.314	1.467
12	성덕대왕신종	상(270)	20.294	15.943	39.396	0.786	1.941	-3.599	1.614

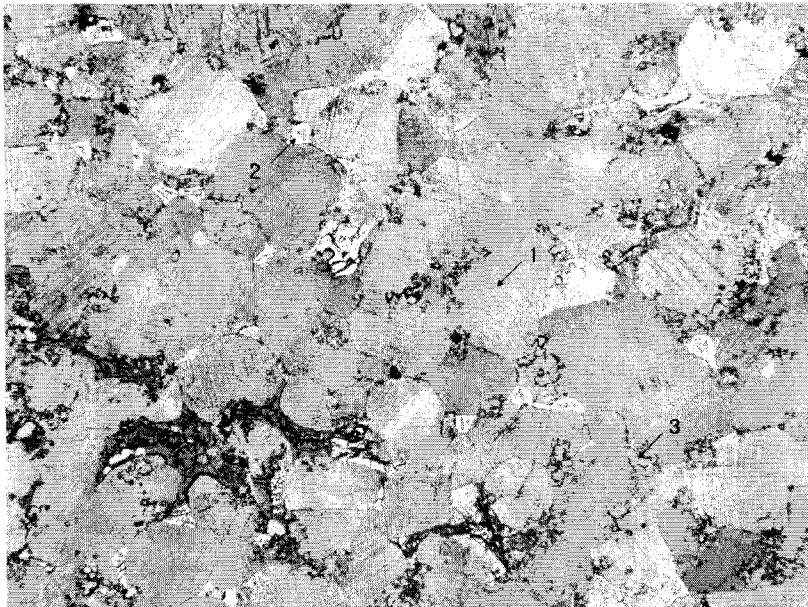
산지추정을 위해 도식-A($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ vs $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$), 도식-B($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) 및 판별식분석(SLDA)을 수행하였다. 성덕대왕신종 시료는 모두 한국남부 지역 방연석에 속한다는 것을 알 수 있으며 세 방법에 의한 산지추정 결과는 모두 일치하였다. 또한 그 위치가 조밀하여 모두 동일한 광석을 사용한 것으로 판단된다.

< 참 고 문 헌 >

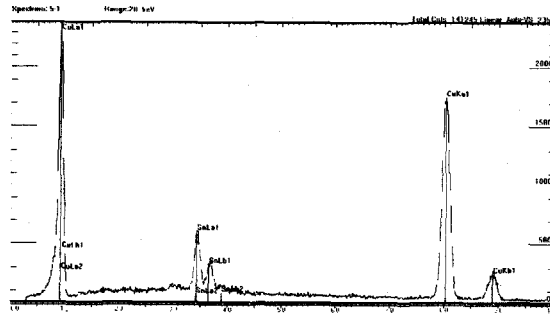
1. 성덕대왕신종 종합논고집, 국립경주박물관, 1999.
2. 성덕대왕신종 종합조사보고서, 국립경주박물관, 1999.
3. 포항산업과학연구원, 성덕대왕신종의 구조상태 및 환경변화에 따른 보존상태 진단, 1997.
4. 최주, 한국의 야금사, 재료마당 제13권 2호, 2000.



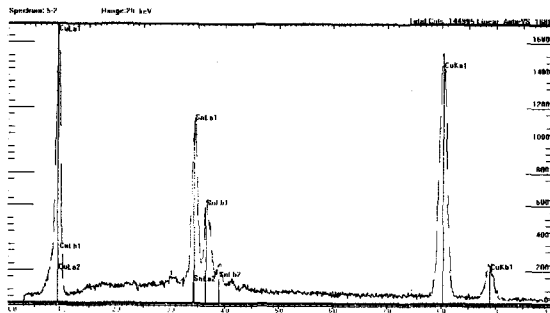
[Fig. 1] The view of the Divine Bell of King Seongdeok.



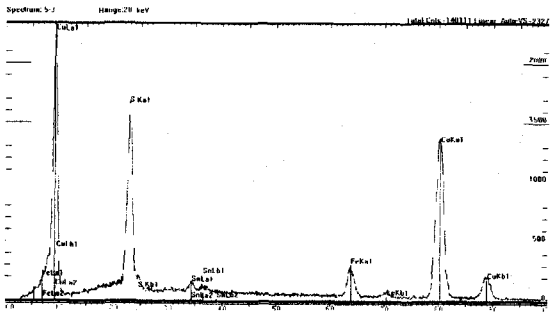
[Fig. 2] Microstructure $\times 100$ (No.5)



b. a Phase (No.1)

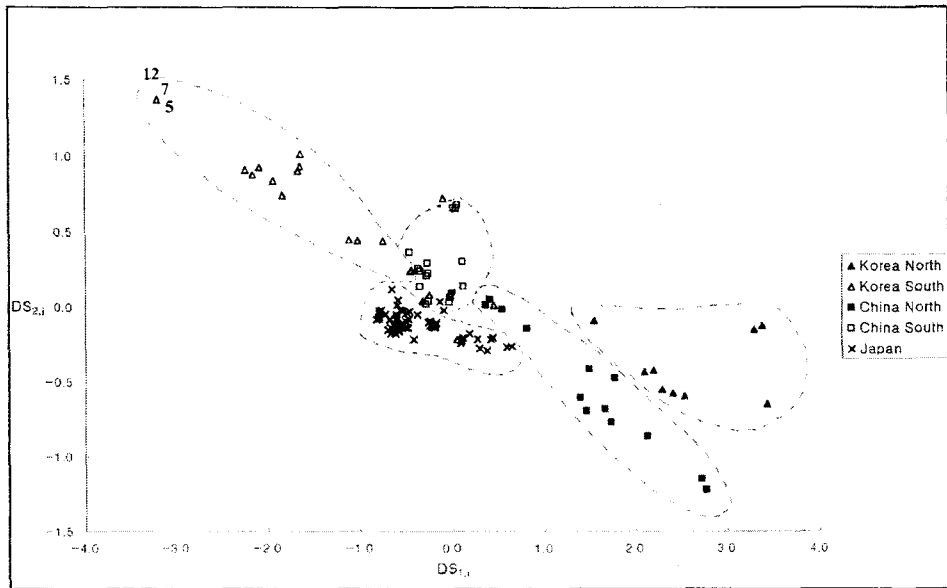


c. δ Phase (No.2)



d. Sulfide (No.3)

[Fig. 3] Microstructure and SEM/EDS analysis of sample no. 5 of the bell



[Fig. 4] SLDA result of three samples (no.5,7 and 12) for the Divine Bell of King Seongdeok.