

# 보물 제1167호 청주 운천동 출토 통일신라 범종의 형태와 보존과학적 특성 고찰

김현정 · 김수기  
(국립청주박물관,  
용인대학교 문화재보존학과)

## I. 머리말

## II. 통일신라 범종의 형태적 특징

- 통일신라 범종의 도상분석
- 운천동 종의 형태적 특징과 제작 시기의 추정

## III. 통일신라 범종의 자연과학적 특성

- 조성 성분 분석
- 납동위원소비 분석
- 고찰

## IV. 맺음말

현재 통일신라 범종은 한국에 6점, 일본에 5점, 기타 2점 등 총 13점이 알려져 있으며, 이중 3점은 형태추정이 불가능하다. 따라서 형태추정이 가능한 10점을 이용하여 범종의 형식을 구분하고, 이중 운천동 종의 조사 자료를 토대로 기존에 과학적 조사가 이루어진 통일신라 청동범종과의 연계성을 찾아보고 조성비를 중심으로 한 제작기술의 접근을 시도해 보았다.

통일신라 범종의 도상분석은 2가지 형식으로 나누었는데, I 형식은 좌우대칭 비천과 정형성의 문양 배치구조를 갖는 전기종의 모습이며, II 형식은 좌우비대칭 비천과 비정형성의 문양 배치구조를 띠는 후기종의 모습이다. 특히 운천동(雲泉洞) 종은 9세기의 고묘지(光明寺) 종과 매우 흡사한 문양형태를 보이는 후기 종으로, 통일신라 주악비천에서 전혀 보이지 않았던 종직(縱笛)을 연주하고 있는 것이 특이할 만하다.

통일신라 범종은 대부분 합금배합구성이 Cu-Sn, Cu-Sn-Pb으로 이루어져 있으며, 8세기와 9세기에 걸쳐 구리, 주석, 납을 골고루 사용하여 주종(鑄鐘)하였고, 고대 중국 『주례(周禮)』 「고공기(考工記)」의 청동합금비와 근접하게 나타났다. 특히 운천동 종은 Cu-Sn-Pb-As 구성을 이루고 있으며 통일신라 범종에서 자주 사용되지 않은 As가 검출되어 이에 대한 관련 자료를 제시하였다. As는 Pb사용 성격과 유사하나 재질의 특성상 고온에서 쉽게 휘발되기 때문에 사용상에 어려움이 있으나, 제품을 단단하게 하여 오래 사용할 수 있는 장점이 있다. Pb는 주물의 유동성을 좋게 하여 문양을 잘 표현하게 하고, As는 제품의 강도를 높여줄 수 있다.

납동위원소비 분석결과 구체적 산지추정은 어려웠으나 시료의 분석결과를 통하여 종 제작에 있어 한 광상의 재료를 사용했다는 근거를 제시할 수 있었다.

주제어 : 통일신라, 동종, 범종, 제작기술, 원료산지, 문양배치, 운천동

## I. 머리말

오래 전부터 우리나라는 광석을 제련하고 다양한 도구들을 만들어 사용하면서 수준 높은 금속기 제작기술을 축척해왔다. 특히 고대 청동기 시대의 제작기술은 거푸집제작, 문양설계 등을 통하여 주물·합금기술이 매우 과학적이고 뛰어났다는 것을 알 수 있게 하는데, 뒤이어 철기시대에도 청동기 제작기술은 그대로 전하여져 원삼국시대와 삼국시대에도 많은 청동제품이 제작된다. 이러한 청동제작의 오랜 경험은 유지·발전되면서 다양한 도구와 생활용기의 제작으로 이어지며, 문화적·종교적으로 황금기를 이루었던 통일신라시대에 대형 동종을 성공적으로 주조할 수 있는 토대를 마련하게 된다.

종에 대한 연구는 문헌자료를 통하여 각 시대별 양식과 특징들이 비교적 구체적으로 잘 파악되고 있다. 그러나 고대 종의 재질에 대한 검토는 자료의 부족과 연구대상 선정의 어려움이 있어 조성 재료나 원료수급지 등 종제작과 관련된 의문점에는 접근이 어려운 실정이다.

따라서 본 연구에서는 기존에 연구된 종의 분석 자료를 토대로 최근 보존처리가 완료된 운천동종을 통하여 통일신라 범종의 제작기술에 접근해 보고자 하였다. 범종의 주요문양을 도식화하여 도상분석을 통한 형식을 분류하였으며 운천동 종의 제작시기를 추정해 보았다. 또 자연과학적 분석 조사를 통하여 통일신라 범종 제작 시 사용된 재료와 사용목적 등 청동범종을 비교하면서 분석해 보았으며, 납동위원소비로 광상을 비교하면서 원료의 입수경로를 살펴보고자 하였다.

## II. 통일신라 범종의 형태적 특징

### 1. 통일신라 범종의 도상분석

청동범종은 통일신라시대에 비교적 크기가 큰 청동 종이 다양하게 제작되었으며 <표 1>과 같이 총 13점이 기록이나 유물로 남아 있다. 이중 10점은 형태추정이 가능하고 나머지 3점은 망실되어 전혀 상태를 알 수 없는 종이다. 따라서 형태추정이 가능한 10점을 이용하여 문양과 배치구조를 비교하여 통일신라 범종의 변화를 통한 운천동 종의 시대적 위치를 파악하고자 한다.

<표 2>는 <표 1>의 보존상태를 도표로 나타낸 것으로, 형태가 잘 남아있는 완형의 청동범종이 7점이며 탁본자료나 파종과 같은 종편이 6점이다. 완형의 종은 한국에 3점, 일본에 4점이 있으며

7점 모두 지정문화재로 등록되어 있다. 이중 상원사 종, 봉덕사 종은 보존처리 및 분석결과가 보고된 바 있으며, 운천동 종은 국내에 완형으로 남은 통일신라 범종 3점 중 조사·보고되지 않은 유일한 한점으로 범종연구에 있어서 매우 중요한 자료로 판단된다.

표 1. 현존하는 통일신라 범종

N O	명칭	제작시기		소장처	형태·지정	기타
		년도	중국연호			
1	상원사 종 (上院寺鐘)	725년(성덕왕24년)	개원13년 을축 (開元13年 乙丑)	韓 오대산 상원사	국보 제36호	-
2	무진사 종 (無盡寺鐘)	745년(경덕왕4년)	천보4재 을유 (天寶4載 乙酉)	日 국립도쿄박물관	탁본자료	국부판번궁사종 (國付八幡宮寺鐘)
3	인양사 종 (仁陽寺鐘)	771년(혜공왕7년)	대력6년 신해 (大曆6年 辛亥)	기타 -	기록	평정양평(坪井良平) 조선종(曹仙鐘)
4	봉덕사 종 (奉德寺鐘)	771년(혜공왕7년)	대력6년 신해 (大曆6年 辛亥)	韓 국립경주박물관	국보 제29호	성덕대왕신종 (聖德大王神鐘)
5	운주지 종 (雲樹寺鐘)	8세기	-	日 운주지 소장	일본국가지정 중요문화재	도근현 안래시 청정정 운수사 (島根縣 安來市 清井町 雲樹寺)
6	원주 동종편 (原州 銅鐘片)	8세기	-	韓 동국대박물관	동종편	강원도 원주
7	선림원 종 (禪林院 鐘)	804년(애장왕5년)	정원20년 갑신 (貞元20年 甲申)	韓 국립춘천박물관	파종	강원도 명주군 신서면 미천리 선림원사지
8	실상사 종 (實相寺鐘)	9세기	-	韓 동국대박물관	파종	전북 남원군 산내면 실상사
9	연지사 종 (蓮池寺鐘)	833년(흥덕왕8년)	태화7년 계축 (太和7年 癸丑)	日 조구진자 소장	일본국보	북정현 돈하시 상궁신사 (福井縣 敦賀市 尙宮神社)
10	궁흥사 종 (窮興寺鐘)	856년(문성왕18년)	대중10년 병자 (大中10年 丙子)	기타 -	망실	명치유 신폐불 동란시 망실
11	고묘지 종 (光明寺鐘)	9세기	-	日 고묘지 소장	일본국가지정 중요문화재	도근현 대원군 가무정 광명사 (島根縣 大原郡 加茂町 光明寺)
12	운천동 종 (雲泉洞鐘)	9세기	-	韓 국립청주박물관	보물 제1167호	충청북도 청주시 운천동
13	송산촌대사 종 (松山村大寺鐘)	904년(효공왕8년)	천복4년 갑자 (天福4年 甲子)	日 우지진구 소장 (宇佐神宮 所藏)	일본국보	대분현 우좌시 풍전 우좌신궁 (大分縣 宇佐市 豊前 宇佐神宮)

□ 현재 존재(10점), ■ 형태 없음(3점)

표 2. 통일신라 범종의 보존상태별 구분

형태 추정 여부		한 국	일 본	기 타	계
가 능 (10점)	완형	3 (국보2,보물1)	4 (국보2,중요2)	-	7
	파종	2	-	-	2
	종편	1	-	-	1
불가능 (3점)	탁본	-	1	-	1
	망실	-	-	1	1
	기록만 잔존	-	-	1	1
계		6	5	2	13

본 연구에서는 앞으로 서술하고자 하는 종의 명칭 기준을 사찰명(寺刹名)을 기준으로 하였고(예: 성덕대왕신종은 봉덕시종으로), 발굴된 유물은 출토지 또는 사지(寺址)를 기준으로 명명하였다. 따라서 청주 운천동에서 출토된 동종은 명문상의 기록도 없는 관계로 출토지를 기준으로 한 ‘운천동종(雲川洞鐘)’으로 서술하고자 한다.

형태추정이 가능한 10점의 동종을 가지고 횡단면 구조로 종의 주요문양을 배치하였고 이를 <그림 1, 2>에 나타내었다. 그 결과 배치구조가 규칙성을 띄면서 일정한 변화가 있는 것을 알 수 있었는데, 2구1조 비천을 가진 동종에서 3가지, 1구1조 비천을 가진 동종에서 3가지로 총 6가지의 형식으로 분류가 가능하였다.

비천형태가 2구1조인 것은 I 형식으로 하여 다음과 같이 세분하였다.

- 1) I A는 2구의 비천이 일체형인 것
- 2) I B는 2구의 비천이 독립적으로 분리되어 각각 연화좌에 위치
- 3) I C는 2구의 비천이 일체형이되 각각 분리된 연화좌에 위치

비천형태가 1구1조인 것은 II 형식으로 하여 다음과 같이 세분하였다.

- 4) II A는 4개 연곽이 좌우전후에 있는 것
- 5) II B는 4개 연곽이 좌우전후에서 45°각도에 있으며 비천이 정좌우에서 약간 어긋나 있는 것
- 6) II C는 4개 연곽이 좌우전후에서 45°각도에 있으며 비천이 정좌우에 위치한 것.

이 분류방식은 통일신라 범종의 문양과 배치구조의 비교를 통하여 시대에 따라 일정한 변화양상을 알아보고 운천동 종의 제작시기를 살펴보기 위한 것이다. 우선 통일신라 범종에 나타난 비천상의 전체수량을 파악하고 비천상이 연주하는 악기의 변화를 살펴보았다. 비천의 개수는 I 형식은

좌우 총 4개, II형식은 총 2개가 되며 이를 <표 3>에 나타냈다. I과 II형식은 주로 요고비천을 공통적으로 표현하였으며, 그 외에 I형식은 생황, 공후, 횡적을, II형식은 종적과 비파를 연주하는 새로운 모습이 나타나고 있었다.

**표 3. 통일신라 범종에 나타나는 비천상의 종류와 개수**

비천 구분	주 약 상						공양상	계
	요 고	생 황	공 후	횡 적	종 적	비 파	향 로	
I (2구1조)	6	4	2	6	-	-	4	22
II (1구1조)	5	-	-	-	1	2	-	8
총수량(구)	11	4	2	6	1	2	4	30
백분율(%)	36.7	13.3	6.7	20.0	3.3	6.7	13.3	100
	26구 (86.7%)				운천동 종의 비천		13.3%	100%

<그림 1>은 I형식의 주요문양 배치 모식도로 상원사 종의 구조가 가장 기본으로 대부분 주악 비천상이고 봉덕사 종만이 공양비천상이다. 당좌는 용뉴를 기준으로 전후에 1구씩 있으며, 연곽은 좌우전후 45° 방향에 4개가 있다.

IA는 2구의 일체형 비천이 좌우대칭으로 놓여 있어 당좌, 비천상, 연곽이 매우 정연하고 규칙적인 배치구조를 갖는다. IB는 2구의 비천이 독립적으로 떨어져 1조를 이루며 좌우대칭으로 배치한다. IC는 IA와 유사하게 2구의 비천이 일체형을 이루나 각각의 연화좌 위에 올려져 한 쌍을 이루는 것이 다르다.

<그림 2>는 II형식으로 I형식보다 비천개수가 줄어든다. IIA는 용뉴의 전후좌우에 연곽이 있으며 당좌와 비천의 위치도 변형된 특이한 형태를 보이고 있다. IIB는 다시 통일신라 범종의 기본 구조로 되돌아오긴 하였으나 비천의 위치는 정확히 좌우에 위치하지 않고 약간 앞이나 뒤로 어긋나 배치된다. IIC는 I형식과 같이 안정된 모습을 나타내고 있다.

I형식의 종은 쌍비천이 서로를 바라보고 있고, II형식은 단비천의 몸이 정면으로 향하지 않고 한쪽으로 약간 돌려져 있는 모습이다. 이 중 운천동 종은 양쪽 비천이 모두 후당좌를 향하고 있으며 고모지 종은 전당좌를 향하고 있는 것을 알 수 있다.

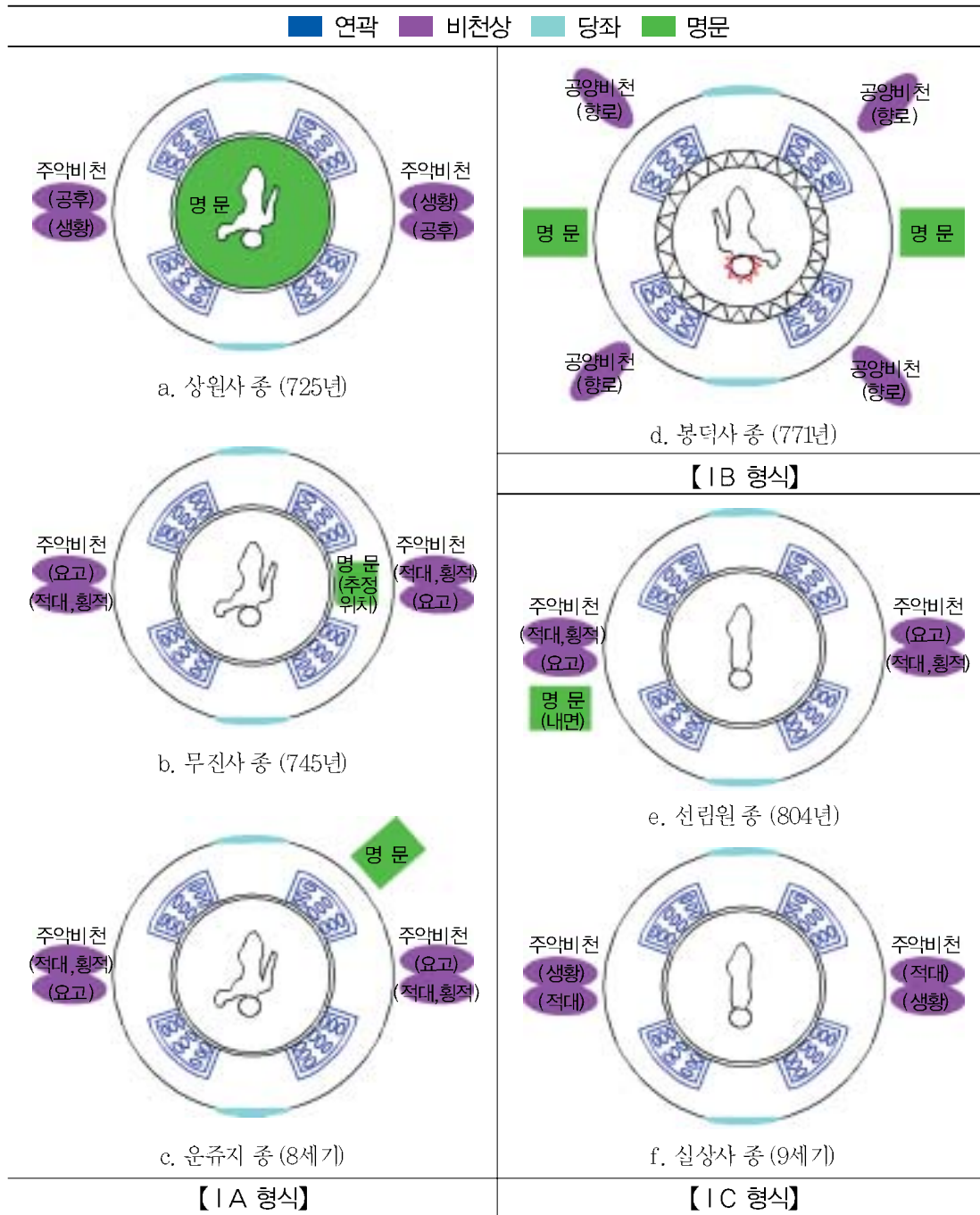


그림 1. I 형식 주요 문양배치

〈표 4〉는 〈그림 1, 2〉의 주요문양 배치구조를 형식별로 구분하여 도표로 작성한 것이다. 주불 접합선은 봉덕사종을 포함하여 4점에 보이고, 천판은 명문을 새기거나 용뉴를 연화문으로 화려하게

표 4. 통일신라 범종의 주요문양 및 형태분석표

(● 있음, ✕ 없음, - 고름)

구분	I 형식						II 형식			
	A		B	C		A	B	C		
	상원사 종 (725년)	무진사 종 (745년)	운주지 종 (8세기)	봉덕사 종 (771년)	선림원 종 (804년)	실상사 종 (9세기)	연지사 종 (833년)	고묘지 종 (9세기)	운천동 종 (9세기)	송신촌대사 종 (904년)
보 존 상 태	원형	망실(딱본)	원형	원형	파중	파중	원형	원형	원형	원형
명 문	진판	연곽사이	종신(2면)	종신(3,7면)	내면	✕	종신(2면)	종신(2,8면)	✕	종신
주물접합선	✕	-	✕	●	✕	✕	●	●	●	●
손 방 향	좌후우전	좌후우전	좌후우전	좌전우후	좌후우전	-	-	-	좌전우후	-
연화문좌	✕	-	✕	●	✕	✕	●	✕	✕	✕
연녀형태	용기녀	-	평녀	평녀	용기녀	-	평녀	평녀	용기녀	용기녀
특 징	주악비친	주악비친	주악비친	공양비친	주악비친	주악비친	주악비친	주악비친	주악비친	주악비친
형 태	쌍비친	쌍비친	쌍비친	쌍비친	쌍비친	쌍비친	단비친	단비친	단비친	단비친
연 화 좌	✕	✕	✕	●	●	●	✕	✕	✕	✕
앞은모슴	궤좌형	궤좌형	궤좌형	궤좌형	궤좌형	궤좌형	궤좌형	궤좌형	궤좌형	궤좌형
좌 비 친	공후/생황	요고/횡적	횡적/요고	향로/향로	횡적/요고	생황/횡적	요고(8면)	요고	비파	요고
우 비 친	공후/생황	요고/횡적	횡적/요고	향로/향로	횡적/요고	생황/횡적	요고(4면)	비파	중적	요고
대칭여부	대칭	대칭	대칭	대칭	대칭	대칭	대칭	비대칭	비대칭	대칭
* 위 치	1면,5면	1면,5면	1면,5면	1면,5면	1면,5면	1면,5면	2면,6면	1면,5면	1면,5면	1면,5면
형 태	원형	원형	연화문	연화문	원형	원형	연화문	원형	원형	원형
연 묘	8엽	-	8엽	8엽	8엽	8엽	8엽	15엽	12엽	7엽

\* 위치는 범종의 외면은 8분할 하였을 경우 전 면은 1면으로 하여 시계방향으로 회전시킨 방향에서의 배치위치를 말한다



돌린 것도 있고, 두개의 돌대선을 외곽으로 돌려 간소하게 마무리한 것도 있다. 용뉴의 양발방향은 왼쪽은 뒤로 오른쪽은 앞으로 빼는 좌후우전(左後右前)이 4점, 반대로 좌전우후(左前右後)는 2점, 방향을 알 수 없는 것이 4점이다.

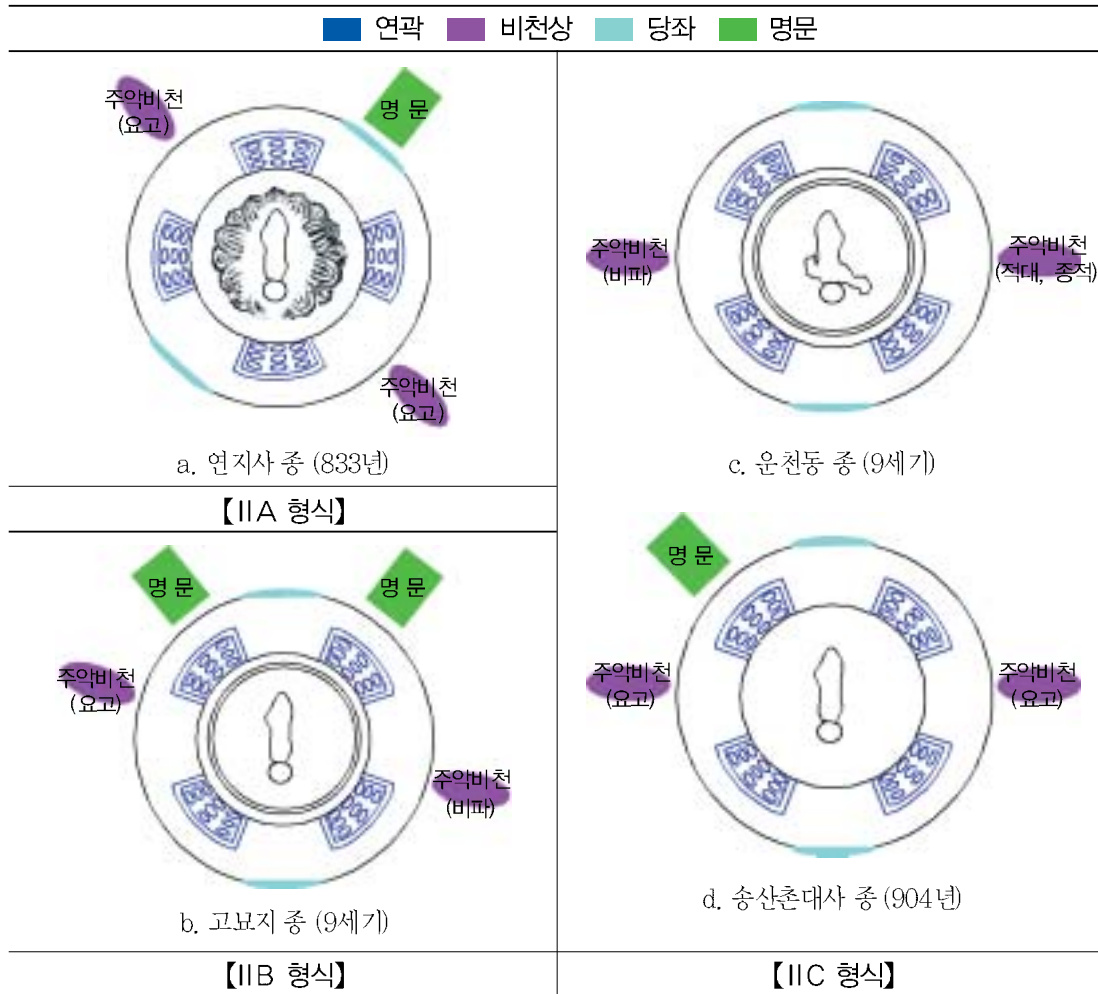


그림 2 II형식 주요 문양배치

## 2. 운천동 종의 형태적 특징과 제작시기의 추정

운천동 종은 충청북도 청주시 운천동 신축가옥 담장공사 중에 발견되었는데 동종 안에 금고(己丑銘 金鼓), 향로, 유제발, 금동보살입상 등이 일괄로 들어 있었다. 특히 금고에는 '句(回)陽寺' 라는 명문이 새겨져 있어 당시의 동종 소장처를 추정할 수 있다(김영배 1970).

운천동 종은 상부에 용뉴(龍紐), 음통(音筒), 천판(天板)이, 종신부에는 상대(上帶), 연곽(蓮廓), 비천(飛天), 당좌(撞座), 하대(下帶)를 모두 갖춘 통일신라 범종으로 <그림 3, 4>와 같다. 주요문양의 배치는 상부에서 하부방향으로 살펴보면 다음과 같다.

운천동 종의 전체모습을 <그림 3>에 나타내었다. 용뉴는 천판에 입을 댄 듯이 올려져 있고 용의 원다리는 발목부분부터 결손되어 있으며, 음통은 상부가 결손되어 일부만 남아 있고 내부가 비어 있으며 용뉴와 밀착되어 있다. 천판은 외곽테두리에 2줄의 돌대선이 돌아가고 안쪽으로 음통과 용뉴가 위치하며 용뉴를 중심으로 각각 천판좌우에 2개의 주불구 흔적이 남아있다. 용뉴를 기준으로 전후좌우 45° 위치에 돌출된 용기형의 연뢰(蓮蕾)가 있는 4개의 연곽이 규칙적으로 배치되었으며, 전후에는 당초문으로 둘러싸인 12엽 연화문 당좌가, 좌우에는 악기를 연주하는 비천상이 각각 1구씩 위치해 있다. 문양은 비천상을 비롯한 연곽대, 당좌 등 범종의 크기에 비하여 매우 낮게 부조되어 있다.



그림 3. 운천동 종의 전체사진

상대와 하대는 소문대(素紋帶)로 처리하였고 상대 아래로 연곽이 있으며 연곽테두리의 3면(縱帶2, 橫帶1)은 보주형 연화문, 도식화된 당초문, 연주문대로 둘러싸인 반원권(半圓圈) 안에 요고를 치는 비천상이 4개의 연곽에 모두 새겨져 있다. 돌출된 연뢰는 연화문 연화좌(蓮華坐) 위에 올려져 있으며 연곽 안에는 가로와 세로가 3열 3행을 이루어 9개씩 총 36개로 구성되어 있다. 이중 연곽3과 연곽4의 연뢰가 3개씩 결손되어 현재 총 30개만 남아 있는 상태이다.

종신의 좌우에 있는 주악비천상은 도식화된 구름 위에서 다리를 뒤로 휘날리며 우비천은 종적을, 좌비천은 비파를 연주하고 있다. 특히 종적을 붙고 있는 우비천 부분이 약간 안쪽으로 찌그러져 들어간 상태이며 다른 면과 비교하여 단면두께도 얇은 편이다.

〈그림 4〉는 우비천의 모습이다. 〈그림 4-a〉를 보면 비천상 바로 아래에 주불 접합선이 굵게 있으며, 종신은 전체적으로 가질 흔적과 같은 횡선이 여러 줄 보인다. 〈그림 4-b와 c〉는 오른손은 가슴위에 외손은 복부위에 따로따로 놓여진 채 종적을 연주하고 있는 모습을 표현한 것을 알 수 있다. 종신에는 주종당시 문양틀의 배치를 위해 사용된 것으로 보이는 종횡의 굵은 선이 규칙적으로 그려져 있다.

이와 같이 운천동 종은 문양배치, 비천상, 연주형태 등을 통하여 통일신라양식의 특징을 나타내고 있다. 기존 통일신라 범종과 다른 점이 있다면 소문대로 처리한 상하대, 연곽문양에 비하여 매우 돌출되어 표현된 용기형 연뢰, 비파와 종적의 2종 악기를 연주하는 비천상이라 할 수 있는데, 특히 종신부의 우비천 부분의 횡단면이 약간 찌그러져 있으며 다른 부분에 비해 두께가 매우 얇다는 것이 이 종의 제작특징이라 볼 수 있다.



a. 전체



b. 세부사진



c. b의 탁본사진

그림 4. 우비천 모습

최웅천(2003)은 통일신라 범종을 비천상의 모습과 변화에 따라 전기와 후기로 구분하였다. 전기는 전형적인 통일신라 양식으로 2구의 비천상이 한조가 되어 종신부 좌우에 각각 배치되고 그 시기는 8세기에서 9세기 초로 하였다. 후기는 악기를 연주하는 단독비천상이 나타나기 시작하며 그 시기는 9세기 전반에서 10세기 전반으로 보고 있다. 이 시기구분에 따르면 I형식의 배치구조는 통일신라 전기와, II형식은 후기와 일치하고 있다. 전기종은 문양이 전체적으로 섬세하고 배치구조가 정형화된 모습을 보이며, 후기 종은 전기종의 기본 구조는 따르지만 부분적으로 변형된 비정형의 모습을 나타낸다.

운천동 종은 이러한 후기의 비정형적인 구조로 인하여 발견당시 고려시대로 추정되었다가 황수영(1972)에 의하여 다시 9세기로 재편년 되었다. 즉, 운천동 종은 통일신라 전기종의 형태적인 특징은 그대로 따랐으나 문양에 있어 후기양식의 변형된 모습이 일부 비취지고 있으며 전기보다 약식화된 후기종임을 알 수 있다. 따라서 <그림 2>에 나타난 4점의 형식에 따른다면 운천동 종은 9세기의 고묘지 종과 904년 송산촌대사 종의 중간적인 형식을 나타내고 있어 그 제작시기는 9세기 후반으로 추정된다.

### Ⅲ. 통일신라 범종의 자연과학적 특성

본 연구에서는 최근 조사된 운천동 종을 이용하여 조성비 분석과 납동위원소비를 통하여 사용 원료와 산지를 추정해보고 다른 청동유물과 유사관계를 비교검토하였다.

범종의 과학적 조사는 선림원종과 실상사종이 파종으로 발견되면서 최주(1986), 맹선재(1975) 등에 의한 성분분석을 시작으로, 염영하(1978)에 의하여 상원사 동종의 보존과학적인 수리 등 과학적인 조사가 이루어진 바 있다. 그 후 1999년 국립경주박물관에서 『성덕대왕신종(聖德大王神鐘)』 종합보고서를 통해 미술사적, 자연과학적인 종합적 접근이 시도되었고, 2000년 국립문화재연구소에서는 다카하라 히미코(高原日美子)가 기증한 고려범종인 '낙수정 종'에 대하여 자연과학적 조사와 보존처리결과를 보고하였다.

#### 1. 조성 성분 분석

##### 1) 조성 성분의 개요

고대범종은 수많은 자연광석의 다양한 원소들 중에서 특정한 몇 가지 성분만을 이용하여 제작되었는데 주로 구리와 주석의 합금을 기본으로 하여 소량의 납과 비소가 첨가되었으며, 기타 철, 아연, 니켈 등 여러 미량성분이 함유되어 있다. 이 장에서는 청동 범종 제작에 사용된 성분 특성을 살펴보고, 특히 다른 청동유물에서 잘 검출되지 않았던 비소에 대해서는 구체적으로 알아보려고 한다.

주석(朱錫, Sn)은 구리와 합금하여 녹는점을 낮추어 주조를 용이하게 해준다. 구리의 녹는점은 1,084°C이지만 주석이 15%가 첨가되면 960°C, 25% 첨가되면 800°C로 낮아진다. 또한 주석함량에 따라 청동의 기계적 성질이 변하는데, 주석양이 많을수록 경도(硬度, HB)는 계속 증가하나 인장강도(引張強度)는 22%일 때, 연신율(延伸率)은 4%일 때 최대치를 나타낸다.

종을 제작할 때, 주석함량이 많아지면 경도는 높아지고 종소리도 맑아지나 그 양이 적으면 경도가 작아지고 종소리도 탁해진다. 종은 종소리 향상과 높은 강도, 경도를 필요로 하나 주석이 20% 이상 되면 취성(脆性)이 생겨 타종 등 규칙적으로 반복되는 충격에 따른 피로(疲勞)에 약하여 파손되기 쉽다. 그리고 주불이 응고할 때 편석이 나타나므로 재질의 균일성을 갖기 어려워지는 단

점도 있다(염영하 1984). 이론상으로는 10% 정도의 합금이 강도가 우수하고, 내식성, 내마모성, 내침식성이 좋으며 표면의 색상도 좋다.

**납(鉛, Pb)**은 청동주물에 있어서 용융온도를 낮추어 주조성을 용이하게 향상시켜 제품의 제작에 있어 완성도를 높일 수 있다는 것이 가장 큰 장점이다. 청동에 납을 첨가하면 주석 함량으로 높아진 경도와 인장강도는 떨어지지만 대신 연신율은 높일 수 있다. 이러한 절삭성(切削性)이 좋은 청동으로 그릇을 만들면 표면마무리 할 때 가질 작업이 원활하게 이루어진다. 또한 고가의 주석을 대체할 수 있어 경제적으로 유익하여 주석대신 납의 사용이 종종 나타나기도 한다.

그러나 납은 구리나 주석과 함께 합금되지 않고 응고되면서 금속조직 구석구석에 작은 공모양의 편석을 이루는데, 이러한 납공(lead globules)의 분포는 직경 30~200 $\mu\text{m}$ 의 입자크기로 불규칙하게 형성되며 청동의 질을 떨어뜨릴 수 있다(Davide A. Scott 2002).

종의 제작에 있어서도 납은 쇳물의 팽창과 수축을 조절하고 문양을 미세하게 나타내는데 도움을 주어 높게 도드라진 문양과 세밀한 표현을 잘 나타내기에 좋다. 그러나 납의 증가는 조직 내의 편석을 형성하기 쉽고 종소리를 감소시키는 작용을 하므로 적당량 이상의 사용은 억제하고 있다.

**비소(砒素, As)**는 우리나라 고대유물에 자주 보이는 성분은 아니지만, 서양에서는 비소-구리로 이루어진 동기시대(銅期時代)가 있었으며 비소사용에 대한 다양한 분석자료가 보고되고 있다.

Rapp, G., Jr(1986)은 '고대 서양에서 우연적이든지 아니면 의도적이든지 비소를 함유한 황금색의 구리합금인 비소구리(arsenic copper, Cu-As)가 합금역사상 최초였으며 이 합금은 우수한 경화재질을 가진다고 하였다.' 고 하였고, 최주(2000)는 '서양 동기시대의 동은 너무 연하여 용도에 제한이 있었고 따라서 구리-비소(Cu-As), 구리-안티몬(Cu-Sb) 등을 가공·경화하여 경도를 높여 사용하다가 비소나 안티몬 대신에 주석을 첨가함으로써 비로써 청동기시대에 진입하게 된 것이다.' 고 하였다.

비소는 강한 열에서 고체에서 기체로 바로 승화되고 냉각 시에도 액화과정 없이 기체에서 결정성 고체로 변화한다. 따라서 비소나 그 산화물이 주물에 녹아 있다가 응고할 때 쉽게 휘발될 수 있기 때문에 수축공을 형성하고 주물에 안 좋은 영향을 줄 수 있긴 하나, 청동제품 등 고온에서 강도를 증가시키는 특정합금으로 사용되기도 한다. 비소는 합금첨가제로 구리에 넣으면 내열성이 증가하고, 납에 첨가하면 경도가 증가하는 특징을 보인다.

비소의 산화물인 비상(砒霜,  $\text{As}_2\text{O}_3$ )은 약재로도 사용되었는데 17세기에 중국의 학자 송응성의 『천공개물』에 '구리에 비상(砒霜) 등의 약을 넣어 제련하면 백동(白銅)이 된다' 고 하였고, 최주(1997)는 '구리와 비상 이외의 어떤 원료를 넣었는지 명백하지 않으나 백동은 구리와 비소 합금일 수도 있다' 고 하였다. 즉 니켈 대신에 비소를 사용했을 가능성을 열어 놓았다.

최주(1983)는 '불순물인 비소, 비스머스 등과 함께 인의 함량을 극히 미량으로 억제할 수 있었다는 것은 당시 고도의 정련기술을 뜻한다고 생각할 수 있다' 고 하였다. 이는 비소의 취급이 어려워

그 양을 조절하는 것에 있어서는 고도의 기술이 필요하다는 것을 알 수 있게 한다. 조선시대 19세기 초 오주 이규경(李圭景, 1788~?)이 우리의 고유기술을 고증하여 펴쳐낸 「오주서종박물고변(五洲書種博物考辨)」에 ‘비석(砒石)이나 비상(砒霜)과 함께 제련하면 백동을 얻을 수 있으나 단조하기 어렵고, 주조하더라도 결함이 많아 씩 권할 만한 것이 못되고, 이 방법은 원래 중국의 제법이다’고 기록하기도 한다(최주 1999).

이러한 문헌자료들은 운천동 종의 제작 이후인 조선시대의 것이 대부분이지만, 재료선정을 통한 전통적인 합금기술을 알 수 있게 하는 중요한 자료로 남아있다. 범종에서 비소의 검출은 주요 성분으로 취급되지는 않으나 그 함량이 1% 이상으로 매우 의미가 있으며 비교연구가 이루어져야 할 것이다.

그 외에 청동유물에 사용되는 광석들은 최소한 2~3가지 이상의 다른 원소를 불순물로 포함하고 있어 순수광석은 찾아보기 힘들다.

## 2) 조성 성분 분석 결과

구리와 주석의 합금으로 이루어진 청동은 제련 시 다양한 금속 혹은 비금속을 함유하고 있으며 그 함량이 1% 미만인 경우는 불순물로 볼 수 있으나(R. F. Tylecote 1986), 1~2% 이상의 경우는 불순물로 취급되기에는 적지 않은 양으로 성분 함유 그 자체에 의미가 있다고 볼 수 있다. 최근까지 국내에서 분석된 범종의 조성비율 <표 5>에 정리하였다. 한국범종은 <표 5>와 같이 상원사 종, 봉덕사 종, 운천동 종, 낙수정 종 등 4점만이 완형의 상태로 남아 있으며 나머지는 화재 등으로 인하여 파손되거나 손상된 것이다.

통일신라 범종은 <표 5>와 같이 Cu-Sn, Cu-Sn-Pb의 합금유형을 기본으로 하고 있으며 비소가 함유된 Cu-Sn-Pb-As도 볼 수 있는데, 이러한 성분유형을 정리하여 <표 6>에 나타내었다.

표 6. 시대별 청동범종의 조성성분 유형

시 대		조성비	Cu-Sn	Cu-Sn-Pb	Cu-Sn-Pb-As	기타
신라	8세기		1	2	-	
	9세기		1	1	1	
고 려			2	2	-	1
조 선			1	-	-	
계			5	3	1	1

표 5. 국내 고대종의 성분조성 비교표

(0.01미만에서 반올림)

구분	유물명	시기	Cu	Sn	Pb	Zn	As	Fe	Sb	Ni	Bi	Co	Ag	기타	합계	조사년도	출토 및 소장	비고(출전)
1	상원사 종	725년	83.87	13.26	2.12	0.32	-	-	-	-	-	-	0.23	-	99.80	1979.12	오대산 상원사	염영하(1984)
2	봉덕사 종	771년	86.07	12.83	0.22	-	0.14	0.16	0.04	0.06	-	-	-	-	99.53	2004	경주박물관	강형태외(2004)
3	원주 동종편	8세기	71.02	14.80	2.12	0.01	0.26	0.28	0.21	0.22	-	-	0.59	Al:0.01	89.52	1986	강원도 원주시	최 주(1975)
4	선림원 종	9C	87.70	8.76	1.64	0.01	0.01	0.16	0.25	0.07	0.12	-	0.39	S015, Au:004	99.30	1975.12	강원도 명주군	염영하(1984)
5	실상사 종	9C	76.07	17.76	0.34	0.21	0.15	0.48	0.05	0.05	-	-	0.15	Al:0.01	95.27	1986	전북 남원시	최 주(1975)
6	운천동 종	9C	82.23	12.83	1.80	0.06	1.44	0.11	-	0.04	-	0.02	0.33	-	98.87	2005	충북 청주시	김원정(2006)
7	미륵사지 종편1	고려추정	98.50	-	0.35	0.01	-	0.02	0.14	0.03	-	0.00	0.19	-	99.22	1997	익산 미륵사지	하일권외(2005)
8	미륵사지 종편2	고려추정	73.40	12.20	15.50	0.01	0.29	0.11	0.14	0.03	-	0.01	0.09	-	101.78	2006.4	익산 미륵사지	
9	법화사지 종편1	고려추정	82.10	11.30	0.67	-	-	0.15	0.42	0.09	-	0.01	0.23	-	94.97	2006.4	완도 법화사지	강형태외(2005)
10	법화사지 종편2	고려추정	82.40	12.30	0.50	-	-	0.14	0.40	0.04	-	0.02	0.22	-	96.02	2006.4	완도 법화사지	
11	진 낙수정 종	10C	83.30	13.40	1.40	0.01	0.73	0.32	0.18	0.11	-	0.01	0.22	-	99.67	2000	다케하라 기증	황진주(2005)
12	낙산사 종	1469년	81.80	15.80	0.07	0.01	0.04	0.10	-	0.07	-	0.00	0.32	-	98.21	2005	강원도 양양군	황진주외(2005)



고려~조선시대 청동 범종에서는 Cu-Sn, Cu-Sn-Pb 유형만이 확인되고 있다. 즉, Cu-Sn-Pb-As 유형은 통일신라시대 운천동 종에서 확인되어 주목되는데, As의 구성비는 1.44%로 다른 종에 비해 2배에서 심지어 100배에 이르는 양이다. 범화사종과 낙산사종은 화재 등으로 인하여 유물이 소실된 상태이며 유물의 원형이 남아 원형의 동종으로 분석된 결과라면 제작당시 매우 정련된 재료를 사용한 Cu-Sn 합금비로 볼 수 있다.

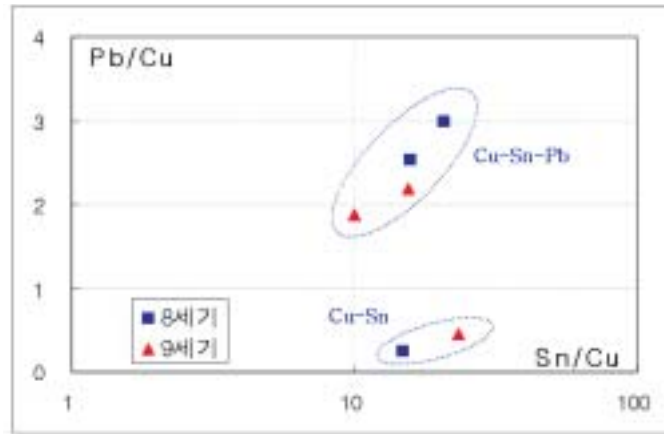


그림 5. 원형의 통일신라 범종 Sn/Cu와 Pb/Cu의 함수그래프

통일신라 범종을 8세기와 9세기로 나누어 Sn/Cu와 Pb/Cu에 대한 로그함수그래프를 작성하여 <그림 5>에 나타내었다. <그림 5>에서 2점의 Cu-Sn과 4점의 Cu-Sn-Pb이 그룹을 이루고 있는데, 8세기와 9세기 전반에 걸쳐 이 배합비가 골고루 사용되어졌음을 말해주고 있다.

〈그림 6〉은 통일신라 범종의 조성비를 Cu-Sn-Pb의 삼원그래프에 대입하여 비교한 것이다. 〈그림 6〉에 따르면 조성비에 따른 제작 시 주조온도를 알 수 있는데, 완형인 상원사 종, 봉덕사 종, 운천동 종 등 조성비와 비례하여 950~1,000°C에서, 주석함량이 다소 높게 검출된 실상사 종과 원주출토 종은 900~950°C에서, 구리함량이 높은 선림원종은 1,000~1,050°C 정도에서 주조되었음을 알 수 있다.

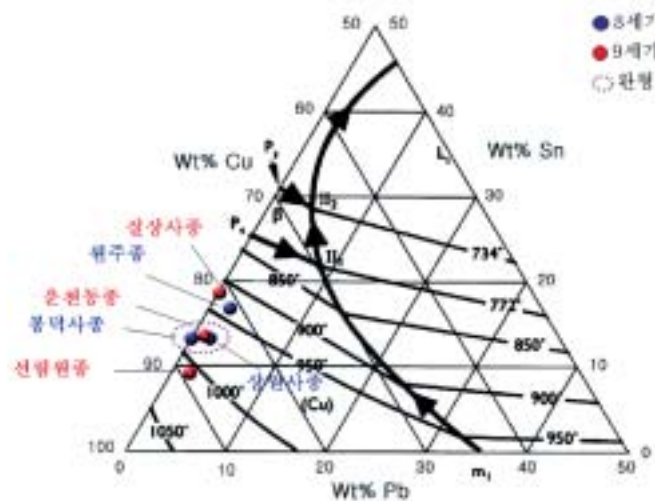


그림 6. 삼원그래프를 이용한 통일신라 종의 조성분포

고대 중국 춘추시대(B.C. 770~475)말 『주례(周禮)』 「고공기(考工記)」는 당시 수공업 기술에 대하여 청동의 용도에 따른 주석함량을 금지육제(金之六劑)에 규정해 놓고 청동제품의 용도별 합금 비율을 정하였다. 이렇게 청동기에 따른 성분 비율을 규정한 것은 중국이 처음으로 이 기준은 서양의 청동유물 자료에서도 사용되고 있다.

표 7. 중국(中國) 『주례(周禮)』 고공기(考工記)의 금지육제(金之六劑) (염영하 1991)

구 분	합 금 비		백분율(%)		용 도
	Cu	Sn	Cu	Sn	
종정지제(鐘鼎之劑)	6	1	85.7	14.3	때렸을 때 청명한 소리가 나며 충격에 강한 정도와 강도 필요
부근지제(斧斤之劑)	5	1	83.3	16.7	찌르고 자르는 것이 주 목적으로 높은 경도가 필요
과극지제(戈戟之劑)	4	1	80.0	20.0	
대인지제(大刃之劑)	3	1	75.0	25.0	
삭살지제(削殺矢之劑)	5	2	71.4	28.6	베고 자르며 살생용 화살로 사용
감수지제(鑿鑿之劑)	2	1	67.0	33.0	거울로써 사물을 잘 비추고 표면이 고르고 색상과 광택이 밝음

〈표 7〉은 금지육제를 정리한 것으로 『주례』 「고공기」에 따르면 ‘중은 금(金) 6에 석(錫) 1을 합금하면 아름다운 소리를 내는 동종이 된다’ 고 하였다. 여기서 金은 재료로 사용된 금속을 말하며 즉, 청동의 재료인 구리를 뜻한다(최주 2000).

분석된 중은 구리와 주석만으로 구성된 것은 아니지만 이 두 원소만을 이용하여 종정지제에 적당한 비율을 갖추었는지를 〈표 8〉에 나타내었다. Cu와 Sn은 〈표 5〉에 정리한 Cu와 Sn 성분만으로 비교한 결과 〈표 8〉에서와 같이 파종인 것과 완형인 것이 확연한 차이가 있는 것을 알 수 있었다. 완형으로 남아있는 범종은 종정지제에 비교적 적합한 것과 달리 파종편은 그렇지 않음을 알 수 있었다. 특히 〈표 8〉의 8과 10과 같이 종편만 남아있는 경우의 분석결과는 주종당시 원래의 배합성분일 가능성도 있으나 화재 등 외적요인으로 재용·용되면서 변성되었을 가능성도 배제할 수 없다.

**표 8. 〈표 5〉의 청동범종에 대한 종정지제 기준 적합여부**

구분	유 물 명	시 기	구리 : 주석	Sn/Cu	적합여부
1	상원사종	8C	6.33 : 1	15.81	○
2	봉덕사종	8C	6.71 : 1	14.91	○
3	원주동종편	8C	4.80 : 1	20.84	×
4	선림원종	9C	10.01 : 1	9.99	×
5	실상사종	9C	4.28 : 1	23.35	×
6	운천동종	9C	6.41 : 1	15.61	○
7	미륵사지 동종편1	고려추정	-	-	×
8	미륵사지 동종편2	고려추정	6.02 : 1	16.62	○
9	법화사지 동종편1	고려추정	7.27 : 1	13.76	×
10	법화사지 동종편2	고려추정	6.70 : 1	14.93	○
11	낙수정 범종	고려	6.22 : 1	16.09	○
12	낙산사 동종	조선	5.18 : 1	19.32	×

(○적합, × 미적합)

운천동 종의 화학적 조성비를 보면 구리와 주석, 납의 함량이 다른 종과 유사하나 비소성분이 1% 이상의 적지 않은 양이 검출되었다. 따라서 운천동 종에 나타난 비소성분에 대한 연관성을 찾으려고 하였으나 범종에는 검출사례가 없는 바, 국내 청동유물 중 비소를 함유하고 있는 유물과 조성비를 비교하여 〈표 9〉에 나타내었다.

표 9. 비소를 함유하고 있는 국내 청동유물

구분	Cu	Sn	Pb	Zn	As	출토지	
세형동검	1	84.7	8.0	5.2	-	1.4	황주군 천주리
	2	79.0	8.5	11.0	-	1.2	황주군 청룡리
	3	77.6	8.0	11.0	-	1.0	평양 낙랑7호
장식품 등 (2000)	원판형 동기	57.7	25.0	7.0	1.0	5.0	북청군 토성
	금동귀걸이	94.4	-	0.1	-	12.0	평양시 송석리
	청동단추	76.0	15.0	7.0	-	1.0	평양시 용곡리
청동괴 (2001)	시편 1	94.4	0.9	-	-	1.5	부여 능산리 절터
	시편 2	83.9	0.2	1.9	-	11.4	
	시편 4	83.8	10.1	4.4	-	1.0	
운천동 종 (2005)	상(45cm)	80.7	13.6	2.4	0.1	1.6	청주 운천동
	중(27cm)	82.6	12.2	1.9	0.1	1.2	
	하(2cm)	83.4	12.7	1.1	0.1	1.6	

〈표 9〉는 국내 청동유물 중 비소함량이 1% 이상인 유물 중에서 구리, 주석, 납, 아연, 비소에 대한 성분을 나타낸 것이다. 운천동 종은 내면의 상 중 하 세 지점을 분석한 결과 비교적 비슷한 수치가 나왔으며 이 결과만으로도 범종 전체에 비소가 골고루 분포되었음을 알 수 있다.

남한 출토품과 제작시기의 차이가 있으나 북한 출토품인 세형동검과 원판형동기, 금동귀걸이, 청동단추(B.C. 26세기, 북한) 등은 비교적 높은 비소함량을 나타내고 있었다. 〈그림 7〉은 〈표 9〉를 바탕으로 Cu와 As의 성분비를 이원그래프로 표시한 것이다. 대부분이 구리함량이 75~85% 인 경우 1%이상의 비소를 포함하고 있었다.

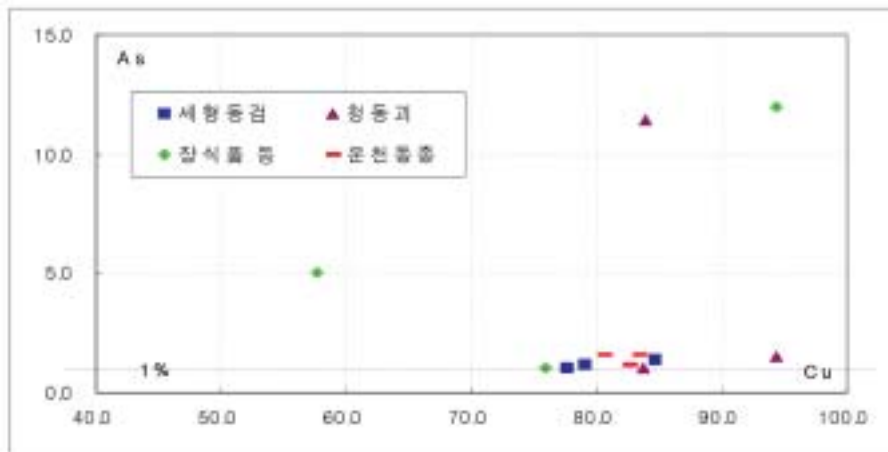


그림 7. 〈표 9〉의 Cu와 As 조성비 이원그래프

## 2. 납동위원소비 분석

### 1) 납동위원소비 분석 개요

납동위원소비법(TIMs)은 1960년대 미국 코닝 유리박물관의 브릴(Brill)에 의하여 청동기와 고대 유리의 원료산지를 추정하는데 최초로 사용하였다. 1970년대 후반 일본에서는 청동기류에 전한 경과 후한경을 식별하였고, 그 후 동경국립문화재연구소에서 동경, 동탁, 청동이기(靑銅異器) 등 일본과 한국유물에 대하여 체계적으로 조사한 바 있다. 한편 한국에서는 최주가 대구(帶鉤), 호우총 및 은령총 출토유물, 신라종, 고려불상 등을 일본에 보내어 납동위원소비를 측정하는 것이 최초이며, 그 후 국내 기술로 미륵사출토 유리, 세형동검을 측정하여 상용화시켰다(최주 1992). 최근에는 강형태에 의해 납동위원소비법이 다양한 청동유물의 분석에 사용되면서 활발한 연구가 진행되고 있다(강형태 외 2006). 중국은 1960년대부터 납에 대하여 동위원소를 분석하였으나 고고유물에 사용한 것은 1980년대 후반에 이르러 비롯된다.

일반적으로 납동위원소비는 구리광석이나 주석광석의 산지와 관련이 있다는 것을 뜻한다. 구리, 주석, 납은 닮은 성질이 있어 비슷한 장소에서 산출되며 동광석이 있는 곳이면 가까운 곳에 납광산이 존재할 가능성이 큰 것으로 보고 있다(平尾良光 1987).

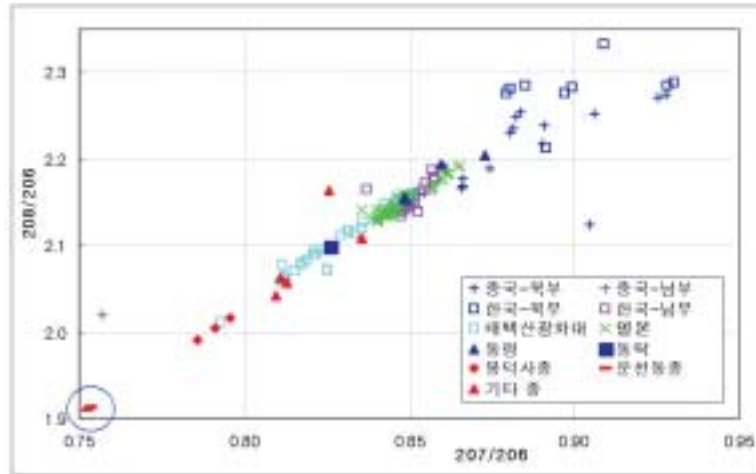
납은 화학적 성질이 같은 204, 206, 207, 208인 4가지 질량수의 동위원소를 가지고 있다. 방연광의 납동위원소비를 구해보면 지역별 결집화가 뚜렷이 구별되는데, 본 고에서는 한국남부, 한국북부, 태백산 광화대, 중국남부, 중국북부, 일본 등 6개의 군집으로 분류하여 그래프를 작성하였다. 납광상의 형성이 오래될수록  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 와  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 의 값은 커지게 되고,  $^{204}\text{Pb}$ 는 그 양이 극히 적어 측정치의 신뢰성이 떨어지며 흔히  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 와  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 을 이용하여 나타내는 경우가 많다. 납동위원소비 그래프는 X-Y축 기준을 ①( $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ )와 ( $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ), ②( $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ )와 ( $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ), ③( $\text{DS}_{1j}$ )와 ( $\text{DS}_{2j}$ ) 등 3가지 유형으로 작성할 수 있으며, 여기서  $\text{DS}_{1j}$ ,  $\text{DS}_{2j}$ 는 선형 판별분석법(SLDA)으로 구해진 판별함수(Discriminant score)를 나타낸 것이다.

그러나 최주(2000)는 납동위원소비는 어디까지나 산지의 가능성을 제시한 것이지 산지를 확정 지을 수는 없으며, 중국의 방연광 측정치 가운데 우리나라의 것과 겹치는 것도 있어 이를 가려내자면 고고학적 자료와의 면밀한 분석이 필요하고 하였다. 최근 국내에 청동유물의 납성분을 이용한 산지추정이 여러 차례 이루어지고 있어 분석된 자료를 집계하고 통일신라 범종과 비교분석해 보았다.

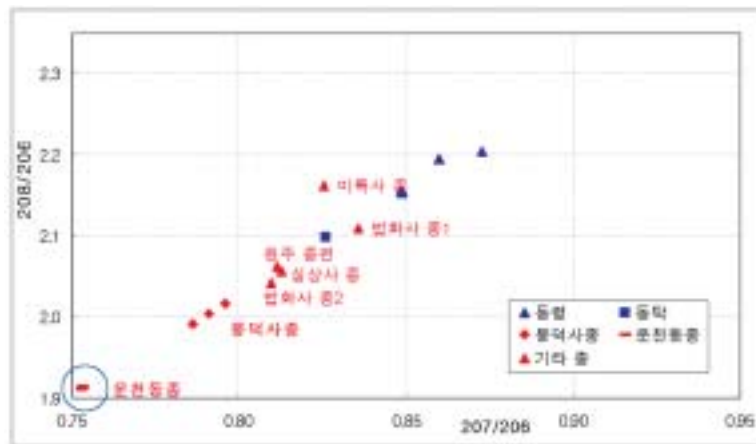
## 2) 납광상 비교 추정

납광상비교는 1) 동령, 동탁, 동중 등 소리나는 청동유물, 2) 충청권 출토 청동유물, 3) 동일시기 청동유물, 4) 국내출토 청동유물 등으로 나누어 비교해 보았다.

소리 나는 청동기 중 동령, 동탁, 동중은 <그림 8>에서와 같이 전체적으로 한국 남부와 태백산 광화대를 연결하며 이어져 있었다. 동중은 실상사, 법화사, 원주출토 종이 근거리에 위치하며 봉덕사종은 약간 떨어져 있지만 태백산광화대에 인접해 있음을 알 수 있다. 그러나 운천동 종은 봉덕사종보다 더 멀리 떨어져 납광상과 다른 곳에 위치해 있는데, 이에 운천동 종과 유사 산지의 유물을 알아보기 위해 충청권역의 유물을 대상으로 납동위원소를 비교분석해 보았다.



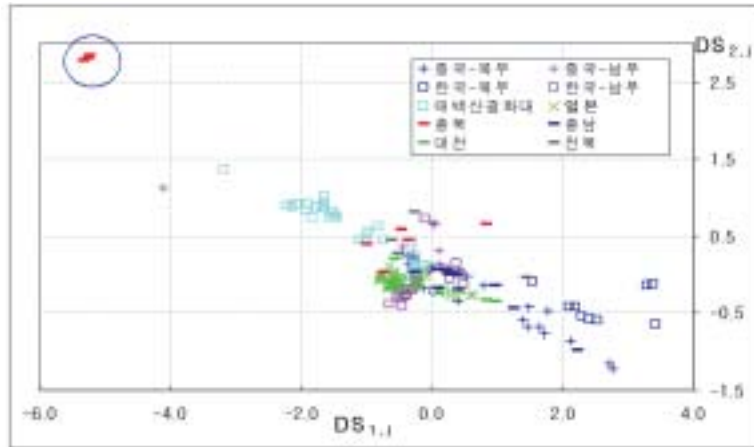
a. 동중, 동령, 동탁의 납광상 비교



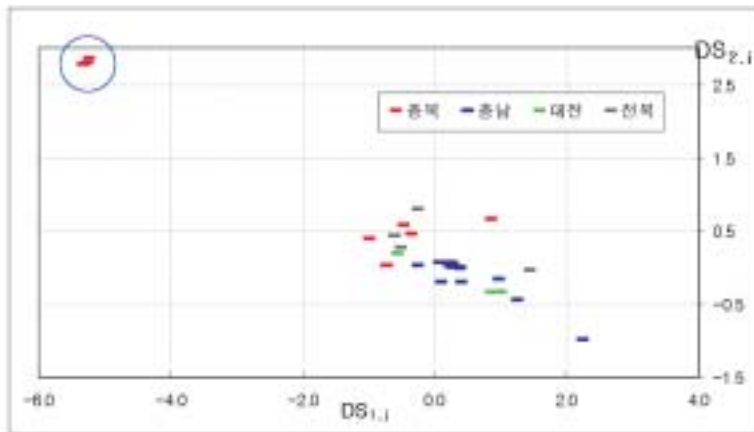
b. a 그래프에서 유물만 추출

그림 8. 동중, 동령, 동탁의 납광상 비교

〈그림 9〉는 운천동 종이 출토된 충청북도를 중심으로 충청남도, 대전시, 전라북도 출토 청동유물의 납동위원소 분석그래프이다. 〈그림 8〉과 같이 운천동 종만이 비교유물과 매우 다른 양상을 보이고 있는데 한국과 일본, 중국의 어떠한 광상데이터와 일치하거나 최소한 근접하지도 않았다. 결국 기존 청동광상자료가 대부분 유사한 분포를 보이는 것에 반해 운천동 종은 매우 특이한 결과를 보여주고 있다.



a. 선형판별분석



b. a그래프에서 유물만 추출

그림 9. 충청권 출토유물 납광상 비교

〈그림 10〉은 기원후 1세기부터 10세기에 걸치는 청동유물의 광상 유사성을 찾기 위한 그래프이다. 앞의 〈그림 8, 9〉에서 비교한 결과와 유사함을 알 수 있었다. 이 시기에 넓게 분산된 광상데이터에도 운천동 종은 포함되지 않았다. 그런데 주목할 점은 이처럼 기준광상에서 멀리 떨어진 몇 점의 유물이 추가로 발견된다는 것이다.

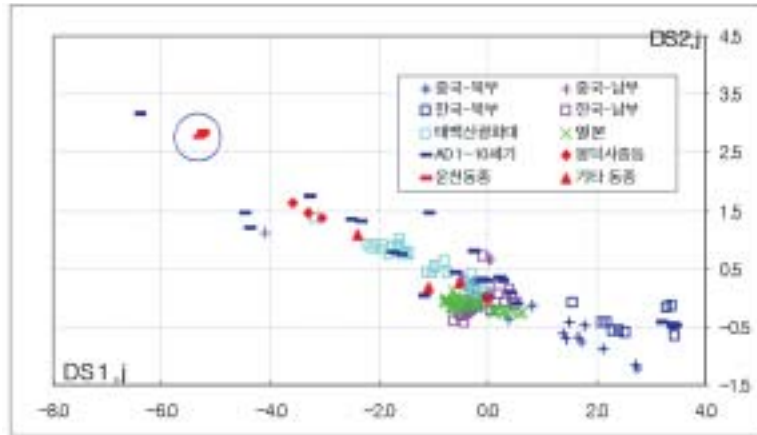


그림 10. 동일시기 유물과의 납광상 비교

〈그림 11〉은 국내 청동유물을 전체적으로 펼쳐놓은 그래프이다. 〈그림 10〉에서와 같이 운천동 종을 비롯하여 납광상데이터와 멀리 떨어져 있는 유물 4점을 추가적으로 찾아낼 수 있었다. 이들은 대전 탄방동 출토 동모(0.6818, 1.8282), 북한 낙랑토성 동제품(0.7511, 1.9592), 북한 낙랑토성 오수전(0.7632, 1.9242), 경주 동천동 유적 청동갑과편(靑銅甲片, 0.7342, 1.8137)이다.

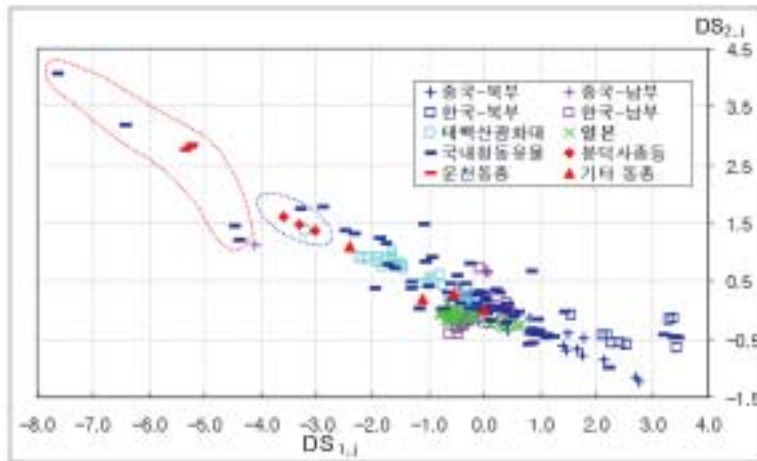


그림 11. 국내 청동유물과 납광상 비교

이 5점의 유물들은 다른 유물에 비해  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  수치가 높게 나타났으며 이것은 다른 광상들보다 훨씬 오래전에 형성된 것으로 판단된다. 따라서 운천동 종은 청동유물과는 다른 곳에서 산출된 오래된 광상의 원광석이 사용된 것으로 보이며 한곳의 재료를 사용했을 가능성이 높아졌다.



### 3. 고찰

지금까지 통일신라 범종의 보존과학적 자료를 통해서 재료적 특성을 살펴보았다.

분석결과, 범종은 주성분을 이루는 구리, 주석 이외에 납과 비소가 소량 함유되어 있는 것을 알 수 있었다. 주석은 구리와 합금에 있어 기계적 성질의 변화와 배합비에 따른 주불 온도를 조절할 수 있고, 납은 주조온도를 낮추고 주물의 흐름을 원활히 하여 문양을 성공적으로 표현해준다. 납은 구리나 주석과 고용되지 않고 편석을 일으켜 거의 순수한 납공을 생성하지만, 비소는 주석과 함께 구리와 고용체를 만드는데 의미가 크다. 납은 유물표면의 주조성을 좋게 하고 주조온도를 내려주지만, 비소는 주석과 같이 구리에 고용체를 형성하여 강도를 증가시켜줄 수 있다. 주석과 납은 녹는 점이 매우 낮아 청동합금의 주조온도를 낮추어 주조성을 좋게 하나 비소의 녹는점은 817°C인데다가 강한 환원성을 가지고 있어 고온에서 승화되는 등 변화될 우려가 있기 때문에 사용이 어려웠을 것이며 납과 주석처럼 사용량만큼 잔존하지 않았으리라고 판단된다.

운천동 종에서 소량 발견된 비소도 납함유와 유사하다고 볼 수 있다. 백동(백통)을 만들기 위해 구리에 비상 등을 섞는다는 중국 송응성의 『천공개물』의 기록은 고대에도 비상이나 비소를 이용한 합금원리나 사용용도에 대하여 이미 오랜 경험을 통하여 이해하고 있었던 것으로 보인다. 비소는 주석, 납, 아연처럼 청동의 주조온도를 낮춰주지는 못하지만 구리와 합금되어 함께 고용체를 이루며 재질의 강도를 강하게 하여 제품의 사용을 오래할 수 있게 해준다. 반면에 고온에서 쉽게 승화해 버리기 때문에 취급하기 까다롭고 잘못하면 주물에 결함을 일으킬 수 있는 단점도 있다. 그래서 많은 양을 지속적으로 사용하기는 어려웠으며 기술자의 제작경험이나 특수한 주문이 있었을 가능성도 배제할 수 없을 것이다.

고대의 우수한 청동제작기술은 범종과 같은 대형기물은 제작할 당시 광석을 바로 사용하기보다는 우선 계획적인 설계도에 의해 종의 재료를 선정하고 동괴나 주석괴와 같은 가공금속으로 주조하였고, 납이나 비소와 같이 1~2% 정도의 소량이 검출되는 것은 주조성과 우수한 제품을 제작하기 위한 합금재료로 사용되었던 것으로 보인다.

대형기물을 제작할 때에는 많은 양의 재료가 필요하므로 기존 제품들의 재사용도 있었을 것이다. 그러나 운천동 종의 경우, 분석된 상·중·하 3개소의 성분비는 비슷한 수치를 나타내고 있는데, 이것은 범종 전체적으로 주석·납·비소 성분이 골고루 분포되었음을 말해준다. 게다가 사용재료에 있어서도 한 광상의 광석을 사용했을 가능성을 제시해 주며, 원석(광석)사용이 아닌 미리 가공·정련된 재료를 사용했을 가능성이 높아 보인다. 운천동 종의 비소 1.44%는 약 1.6kg 정도가 유물에 함유되어 있다는 것인데, 비소의 특성상 쉽게 휘발되는 점을 감안한다면 제작당시 이보다 더 많은 양의 비소가 사용되었을 것으로 추정된다.

운천동 종의 납동위원소비는 이러한 사실을 뒷받침 준다. 시료의 분석결과 납광상이나 다른 청동

유물과 멀리 떨어져 있어 정확한 광상추정은 어려웠으나 한점으로 모이는 현상은 한광상의 재료를 사용한 것을 입증해 주는 것이다. 따라서 운천동 종의 비소함량과 납동위원소비는 적어도 한 광상에서 채취한 재료를 사용하였음을 반영해주는 결과라 할 수 있겠다.

운천동 종은 Cu-Sn-Pb-As로 구성되어 있으며 다른 종에서 나타나지 않는 비소성분을 사용함으로써 재료적인 측면에서 주석을 절약하고 반면 가공은 어려우나 사용에 있어 경도를 높이는 등 후기의 재료수급과 제작에 일시적인 변화가 있었던 것으로 판단된다(김현정 2006b). 그러나 운천동 종 한 점만으로 통일신라 후기종의 제작성격을 파악하기는 자료가 부족하므로 비슷한 시기의 다른 종의 보존과학적 분석조사가 이루어지면서 면밀한 비교검토가 이루어져야 할 것이다.

#### IV. 맺음말

청주 운천동 종을 통하여 살펴본 통일신라 범종 제작기술에 대하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 통일신라 범종의 형태적 특징에 따라 I형식과 II형식으로 구분하였다. I형식은 2구의 쌍비천이 용뉴를 기준으로 좌우대칭으로 각각 배치되고, II형식은 1구 단비천이 좌우에 각각 배치된다. 단비천의 형태는 좌우가 동일한 악기를 연주하는 대칭구조와 다른 악기를 연주하는 비대칭구조의 모습을 보이며 비대칭의 경우 비천상이 전당좌 또는 후당좌를 향하고 있는 모습이다. 운천동 종은 II형식으로 고묘지 소장 범종과 매우 흡사하며 문양은 상원사, 봉덕사 종에 비하면 매우 낮게 새겨져 있어 입체감이 떨어진다. 좌우에 배치된 비천의 모습도 일반적인 악기가 아닌 II형식에서만 보이는 비파와 적대를 연주하는 모습이 특이할 만하다. 이런 형태적 특징을 통하여 운천동 종은 9세기 후반에 제작된 것으로 추정된다.

둘째, 조성비는 현존하는 통일신라 범종 6점을 대상으로 비교한 결과, 주요 구성이 Cu-Sn, Cu-Sn-Pb, Cu-Sn-Pb-As의 3가지로 구분되었고, 구리와 주석을 주성분으로 하여 납의 사용이 8세기와 9세기에 걸쳐 골고루 사용되었다. 운천동 종은 Cu-Sn-Pb-As의 구조로 3지점 시료의 비소(As) 평균은 1.44%이며 지금까지 보고된 범종에 비하여 매우 높은 수치를 나타낸다. 비소는 주조 시 구리와 함께 고용체를 이루어 주석과 함께 재질의 강도를 높여주고 내구성을 좋게하는 성질이 있다.

셋째, 납동위원소비 분석결과, 대부분의 유물이 한국, 중국, 일본의 납광상 데이터 범주에 포함되거나 유사한 분포상으로 나타나는 반면, 운천동 종은 한국 광상의 기율기와 비슷한 연장선상에 놓여있긴 하나 다른 시료들과 매우 먼 거리에 떨어져 위치하였다. 따라서 정확한 산지추정의 접근은

어려웠으나 3지점의 시료가 분산되지 않고 한곳에 결집을 이루는 점과 비소함유가 비슷한 비율로 검출되는 것은 한광상의 재료를 사용했다는 것을 보여준다 하겠다.

결론적으로 고대의 대형 종을 제작할 때에도 광석사용이 아닌 가공된 재료, 즉 동괴, 주석괴, 납괴 등과 같이 정련된 재료를 사용하여 사전에 정확한 설계에 의해 적절한 배합비에 따라 주조되었던 것으로 보인다. 운천동 종 또한 이러한 설계와 제작의 과정을 거치면서 한 지역의 광장에서 채광된 원료를 이용하였고, 소량의 납과 비소를 사용함으로써 범종의 기능성과 내구성 등을 강화시켰던 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- 강형태·조남철·정광용, 2006, 「완도 범화사지 동종의 과학적 분석」 『제23회 학술대회 발표논문집』, 한국문화재보존과학회.
- 金永培, 1970, 「淸州 雲泉洞 出土 金銅菩薩立像과 銅鐘」 『考古美術』 제105호, pp.19~21.
- 김현정, 2006a, 「淸州 雲泉洞 出土 銅鐘의 과학적 보존을 통한 제작기술 연구」 『제9회 東垣學術全國大會』, 韓國考古美術研究所, pp.63~70.
- 김현정, 2006b, 「통일신라 청동범종의 제작기술 연구 -청주 운천동 종을 중심으로-」, 용인대학교 석사학위논문, p.33.
- 孟琰在, 1975, 「新羅梵鐘에 대한 金相學的 研究」 『金屬學會誌』 第13卷, pp.454~457.
- 宋應星 著·崔炷 譯, 1997, 『天工開物』, 傳統文化社, pp.176~188, 296~344.
- 廉永夏, 1978, 『梵鐘(No.1)』, 韓國梵鐘研究會, pp.25~65.
- 廉永夏, 1984, 『梵鐘(No.7)』, 韓國梵鐘研究會, pp.97~112.
- 廉永夏, 1984, 『韓國鐘 研究』, 韓國精神文化研究院, pp.85~131, 193.
- 廉永夏, 1991, 『韓國의 鐘』, 서울大學校出版部, pp.41~48.
- 崔應天, 2003, 『韓國梵鐘의 特性과 變遷, 하늘꽃으로 내리는 깨달음의 소리-韓國의 梵鐘 拓本展』, 直指聖寶博物館, pp.240~245.
- 崔 炷 외, 1986, 「옛 韓國靑銅器에 대한 小考」 『大韓金屬學會誌』 第24卷, pp.540~546.
- 崔 炷 외, 1992, 「韓國의 細形銅劍 및 銅鈴의 金屬學的 考察과 납 同位元素比法에 의한 原料產地 推定」 『先史와 古代』 3, 韓國古代學會, pp.189~213.
- 崔 炷·金秀哲, 1983, 「統一新羅時代 그릇에 대한 金屬學的 考察」 『美術資料』 제32호, pp.37~41.
- 崔 炷 외, 1992, 「한국 세형동검의 미세구조 및 원료산지 추정」 『한국분석과학회』, pp.191~197.
- 黃振周·韓旼洙, 2005, 「낙산사 동종의 성분분석 및 금속학적 고찰」 『보존과학연구』 제26권, pp.27~40.
- 平尾良光, 1987, 「東アジア鉛鑛石의 鉛同位體比どの 靑銅器關聯 中心に」 『考古學雜誌』 第73卷, pp.199~120.
- David A. Scott, 2002, Copper and bronze in art : corrosion, colorants, conservation, The J.Poul getty Trust, pp.3~5, 307~308, 327, 401~403, 418~421.
- David A. Scott, 1991, Metallography and Microstructure of Ancient and Historic Metals, The Getty Conservation Institute The J.Paul Getty Museum, pp.25~29, 77~85, 86~113, 121~136.

## Abstract

### A Review on Treasure No. 1167, Unified Silla Buddhist Bell from Uncheon-dong, Cheongju, about Its Form and Conservational Scientific Features

Kim Hyun-jeong · Kim Su-gi

(Cheong-ju National Museum, Yongin University Department of Cultural Properties)

At present, thirteen Buddhist bells of Unified Silla are known to the world: Six in Korea, five in Japan and two other bells, and three out of them are impossible to make out its original form. Therefore, we divided the form of Unified Silla Buddhist bells based on the ten other bells, and we tried out to prove the manufacturing technology by the comparison of the research material of Uncheon-dong bell and existing research materials of other bells, in other to find their linkage based on the alloy elemental composition.

We divided Unified Silla Buddhist bell into two types: Type I has symmetric apsaras and regular patterns on its face and it was made in early Silla period; type II has asymmetric apsaras and irregular pattern arrangement and made in late Silla period. In particular, Uncheon-dong Buddhist bells is very similar to Komyoji[光明寺] temple bell from ninth century in Japan. It is peculiar that the apsaras on Uncheon-dong bell play vertical music instruments that are never seen in Unified Silla Buddhist bell.

Most of Unified Silla Buddhist bell are compounded with Cu-Sn or Cu-Sn-Pb system. From eighth and ninth century, bells were cast with even composition of copper, tin and lead, and the bronze alloy ratio was similar to the record in Gogonggi[考工記], Jurye[周禮], a book from ancient China. Particularly, Uncheon-dong bell is in a rare case of Cu-Sn-Pb-As system. As had been rarely used in Unified Silla Buddhist bells, so we presented

the relative research materials.

As has the same nature as Pb. Because As easily volatilize at high temperature, it is hard to use. But it has its merit of solidity and durability. Pb enhances fluidity and thereby expresses the patterns more distinct; As makes the bell stronger.

The result of lead isotope ratio could not exactly reveal a concrete producing center. However, over the analysis of our samples, hereby we suggest Uncheon-dong bell was made of materials from just one ore deposit.

Keywords : Unified Silla Bronze Bell, Buddhist Bell, Manufacturing Technology, Material Producing Center, Pattern Arrangement, Uncheon-dong