비파괴분석법을 활용한 통도사 동종 재질의 특성

임덕수, 김나영, 김규호
공주대학교 문화재보존과학과

Compositional Characteristics on Bronze Bell of Tongdo Temple by Non-destructive Analysis

Lim Duck-su , Kim Na-young , Kim Gyu-ho
Dept. of Cultural Heritage Conservation Science, Kongju National University, Kongju 314-701, Korea

Ⅰ. 서론

본 연구에서는 2006년 7월 25일부터 26일까지 2일간 통도사 현장에서 비파괴 분석 방법을 활용하여 동종 재질에 대한 표면조성을 조사하고 이를 기초로 복제 과정에 필요한 재료 선정 및 조성비 등을 제시해 보고자 하였다.

Ⅱ. 분석 대상

분석 대상으로 선정한 양산 통도사 동종은 조선 숙종 12년인 1686년 범종 장인인 사인 스님에 의해 제작된 높이 1465㎜, 지름 1070㎜, 두께 110㎜종으로 현존하는 동종 가운데 유일하게 몸통에 8괘 문양이 새겨진 데다 보살입상과 꽃무늬 등도 균형적으로 어우러지는 등 조형미가 빼어나 지난 2000년 보물 제11-6호로 지정되어 있다.

(a) 정면 (b) 후면 (c) 좌측면 (d) 우측면

Figure 1. 통도사 동종의 전체사진.

Ⅲ. 분석 방법

1) 색도 측정

색도계(Minolta, CR-300, Japan)를 이용하여 조성분석 위치를 측정하였다. 측정부분의 표면을 평편하게 하여 측정 광원이 새어 나오지 않게 하였으며 청동 표준시료의 색도 측정값과 비교하였다.

2) 조성분석

휴대용 형광X선분석기(Seiko, .SEA200, Japan)를 이용하여 현장에서 분석하였다. 분

석 조건은 Rh target, 관전압 50kV, 분석면적 2mm, 측정시간 100초로 Cu, Sn, Pb, Fe, Ni, Zn 6개 원소를 검출하였다. 현장에서 분석 장비에 대한 에너지, 강도 등을 교정하고 청동 표준시료를 이용하여 재현성을 확인한 다음 대상 문화재를 분석하였다.

Ⅳ. 분석 결과

1) 색도 측정

동종의 금속부 명도는 청동 표준시료보다 현저히 작게 나타나며 채도는 Cu 70~75%, Sn 25~20%의 청동 표준시료와 유사하게 나타난다. 이 결과 육안 관찰시 금속부로 보이는 부분도 일부 오염 및 부식이 존재하고 있는 것으로 확인된다. 또한 동종 전체에서 명도는 29.9~42.2로 금속부와 유사하게 나타났으며 채도 a*는 금속부에 비하여 [-]를 보이는데 이는 녹색의 경향으로 표면에 부식이 진행된 상태임을 말해준다.

2) 조성분석

동종의 금속부에 대한 XRF 조성분석 결과는 주성분 Cu : Sn : Pb의 함량 78.8 : 10.9 : 7.2로, 기타 Fe, Ni, Zn이 불순물로 나타났으며 용뉴부는 주성분이 79.8 : 6.0 : 10.3으로 용뉴를 별도 제작하여 동종 주조시 용착시켰을 가능성이 높다고 판단된다.

동종의 위치별 표면 주성분은 분석 위치에 따라 차이를 보이며 금속부와 비교하여 Cu 성분이 낮게 나타며 Pb, Fe 성분이 높게 나타난다.

Table 1. 통도사 동종의 측정 위치별 색도 및 조성 분석 결과

분석위치		색도			화학조성(%)					
		L*	a*	b*	Cu	Sn	Pb	Fe	Ni	Zn
금속부	평균	**32.40**	**1.36**	**8.37**	**78.8**	**10.9**	**7.2**	**1.1**	**1.0**	
	표준편차	1.27	2.00	1.54	1.7	1.4	1.3	0.64	0.11	0.67
용뉴	평균				**79.8**	**6.0**	**10.3**	**2.2**	**0.98**	**0.61**
	표준편차				4.3	1.01	3.6	0.85	0.11	0.08
천판	평균	**42.91**	**-3.99**	**7.37**	**71.4**	**11.8**	**7.7**	**7.9**	**0.73**	**0.52**
	표준편차	2.61	0.64	1.69	3.7	1.6	3.5	3.0	0.14	0.07
중대상상	평균	**32.64**	**-3.43**	**3.01**	**68.8**	**11.5**	**9.3**	**9.3**	**0.71**	**0.46**
	표준편차	2.55	0.86	1.15	1.6	1.1	1.1	2.2	0.13	0.07
중대상하	평균	**32.34**	**-3.43**	**3.58**	**65.5**	**10.6**	**10.8**	**12.0**	**0.64**	**0.44**
	표준편차	0.77	0.64	1.36	9.5	0.98	5.3	4.3	0.25	0.06
중대중상	평균	**31.74**	**-3.80**	**3.50**	**70.5**	**11.4**	**8.6**	**8.3**	**0.70**	**0.57**
	표준편차	1.77	1.65	0.94	4.5	2.5	1.3	4.7	0.13	0.09
중대중하	평균	**29.93**	**-2.61**	**4.28**	**66.2**	**9.6**	**10.5**	**12.2**	**1.0**	**0.40**
	표준편차	2.26	2.49	0.61	6.5	0.72	2.1	4.4	0.28	0.02
중대하상	평균	**31.10**	**-3.10**	**5.08**	**66.4**	**11.4**	**10.1**	**10.8**	**0.79**	
	표준편차	3.02	1.34	1.56	4.7	1.8	1.9	6.3	0.15	
중대하하	평균	**31.76**	**-3.43**	**5.84**	**66.8**	**11.1**	**10.6**	**10.1**	**0.79**	
	표준편차	1.37	0.53	0.53	11.5	1.3	3.9	10.4	0.24	

본 연구에서 활용한 형광X선분석법은 비파괴 분석법으로 시료 채취의 어려움이 있는 범종 연구에서 활용도가 높으며 검정 및 비교분석을 통하여 신뢰도를 높일 수 있다.

Ⅴ. 참고문헌

1. 국립경주박물관, 1999, 『 성덕대왕신종 종합조사보고서』
2. 권혁남외, 2005, 「보신각종의 비파괴 조사」, 『 박물관보존과학』, Vol. 6, p3-10, 국립중앙박물관.