

납환의 제작방법 및 납동위원소비 특성 연구

김소진^a · 황진주^a · 한우림^a · 이은우^b · 임석규^c · 정연중^d

^a국립문화재연구소 보존과학연구실 · ^b국립중앙문화재연구소 · ^c불교문화재연구소 · ^d한국기초과학지원연구원

••

Corresponding Author : Jeong, Youn Joong, E-mail : hero0123@kbsi.re.kr

국/문/초/록

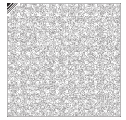
전국 사찰이나 폐사지의 탑주변에서 납으로 만들어진 납환(납구슬)이 약 30여 점 이상 출토되었고, 납환의 제작 시기 및 제작목적에 대해서는 아직 밝혀지지 않았다. 이번 연구에서는 납환 11점에 대한 성분분석 및 납동위원소비 분석을 통해 제작방법 및 동위원소적인 특성을 밝히고자 하였다.

납환은 반구형의 주형 2개를 이용하여 제작되었으며, 납 농도는 96%이상의 높은 순도를 보여준다. 11개 납환은 크기, 성분 및 구조방법 등에서 유사한 경향성을 보였다. 납동위원소비 분석결과에 따른 원료물질의 산지는 한반도 영역 외 지역으로 추정된다. 또한 납동위원소비 분석 자료에 의해 11개의 납환은 2개의 그룹으로 나뉘어지는데, 이를 원료 물질의 혼합과 연관시킨다면 그룹별 제작시기 또는 장소의 차이로 인해 발생한 것으로 추정된다.

이번 연구결과를 기초자료로 하여 추가적인 납환의 과학적인 분석과 문헌사학적인 연구를 병행한다면 납환의 제작방법이나 제작목적에 밝히는 연구에 크게 기여할 것으로 생각된다.

주제어 납, 납환, 제작방법, 산지추정, 납동위원소비

투고일자 : 2014. 09. 12 | 심사일자 : 2014. 10. 15 | 게재확정일자 : 2014. 10. 27



서론

전국의 사찰이나 폐사지에서 출토된 납환은 현재까지 약 30여점이며,¹⁾ 모양과 무게가 흡사하고 발견된 곳이 불교 건축물이라는 공통점을 가지고 있다. 납환의 제작목적 및 제작 시기에 대해서는 다양한 견해가 존재하는데, 납환이 불교유적지의 탑 주변에서 출토된다는 점을 통해 보주(寶珠) 또는 사리장엄구라는 의견이 있다. 하지만 일반적으로 보주는 금, 은, 유리와 같이 진귀한 것으로 만들었다는 점에서 값이 싼 납과는 많은 차이가 있다. 또한 나쁜 기운이 접근하지 못하도록 건물의 기단 등에 묻었던 예물인 진단구(眞檀具)나 지진구(地鎭具)로 보는 견해가 있다. 하지만 미륵사지 서탑 및 불국사 석가탑 등 기존에 출토되었던 진단구나 지진구로 추정되는 유물과 비슷한 형태가 아니라는 점에서 차이가 있다. 납환 중 일부는 교란층에서 출토되어 일제의 소행 또는 최근 매납한 것이라는 추정도 있다.

납환의 제작시기에 대해서도 많은 의견이 제시되는데, 경기도박물관에서는 납환의 대부분이 고려시대에 창건된 사찰이나 석조물에서 출토되고 있어 고려시대 것으로 보인다고 하였으며, 여주 고달사지 부도의 납환의 제작시기는 그 탑이 만들어진 신라시대 말까지 올라갈 것으로 보았다. 불교문화재연구소는 포천의 선적사지나 군위의 인각사지 출토 납환의 제작연대를 조선시대로 추정하였으나, 납환의 제작시기를 파악할 수 있는 공반유물이 발견되지 않아 그 근거 또한 미약하다(법보신문 2011).

본 연구에서는 군위 인각사지, 포천 선적사지, 부여 군수리사지, 경주 사천왕사지 및 남산 삼릉계 등에서 출토된 11점의 납환을 대상으로 성분분석 및 납동위원소비 분석을 실시하여, 납환의 제작방법, 원료의 산지 추정 및 출토지와 생산지와의 상호 관련성에 대해 확인하고자 하였다.

분석대상 및 연구방법

1. 분석대상

연구에 사용된 납환은 군위 인각사지 1점, 포천 선적사지 1점, 부여 군수리사지 6점, 경주 사천왕사지 1점 및 경주 남산 삼릉계 2점 등 총 11점이다. 군위 인각사지에서 출토된 납환은 4차 가람층에서 총 2점이 출토되었다(불교문화재연구소 2010). 포천 선적사지 납환은 총 4점이 승탑재 아래에서 발견되었으며, 납환과 함께 분청자기편이 출토되어 조선 전기까지도 중창이 이루어졌던 것으로 판단된다(문화재청 2010). 부여 군수리사지는 백제 사비기(A.D. 538-660)의 사찰터로, 목탑지 심초석 상부 지표면 가까이에서 납환 6점이 수습되었으며, 이 납환들은 최근 매납된 것으로 추정된다고 보고하고 있다(국립부여문화재연구소 2005). 경주 사천왕사지의 납환은 총 2점이 출토되었으며, 금당지 중심의 방형 지대석 남편의 퇴적도에서 금동연화문장식판과 함께 발견되었다(국립경주문화재연구소 2012). 경주 남산 삼릉계 석불좌상의 뒤편에서는 표토가 약간 덮힌 풍화암반층 위에서 납환 2점이 출토되었다(국립경주문화재연구소 2010).

2. 분석방법

분석을 위한 납환 11점의 물리적 특성과 분석방법을 <표 1>에 나타냈다. 출토 납환 시료 중 입자의 형태로 채취된 시료는 미세조직, 성분분석 및 납동위원소비 분석에 사용하였으며, 분말상으로 확보한 시료는 납동위원소비 분석만 실시하였다. 미세조직 관찰을 위해 에폭시수지로 마운팅한 후, 연마지 및 광택지를 이용하여 관찰면을 경면으로 연마하였으며, Glycerol 에칭액(84ml glycerol, 8ml glacial acetic acid, 8ml

1) 포천 선적사지 4점, 춘천 월송리 삼층석탑 1점, 흥천 물걸리사지 1점, 흥천 과석리 삼층석탑 1점, 흥천 희망리 삼층석탑 1점, 구미 대둔사 2점, 군위 인각사지 2점, 성주 심원사 4점, 대구 대건사지 3점, 경주 정혜사지 2점, 경주 사천왕사지 2점, 경주 남산 삼릉계 2점, 익산 송림사 3점, 서산 문수사 6점, 부여 군수리사지 6점, 안성 죽산리 삼층석탑 2점, 여주 고달사지 삼층석탑 2점 등.

【 표 1 】 납환의 물리적 특성 및 분석방법

	출토지	시료번호	직경(cm)	무게(g)	비중(g/)	분석방법
1	군위 인각사지	LBG 1	6.4	1,772	11.10	OM, ICP-MS, TIMS
2	포천 선적사지	LBP 1	6.5	1,570	11.12	OM, ICP-MS, TIMS
3	부여 군수리사지	LBB 1-1	6.6	1,770	-	TIMS
4	부여 군수리사지	LBB 1-2	6.4	1,790	-	TIMS
5	부여 군수리사지	LBB 1-3	6.6	1,790	-	TIMS
6	부여 군수리사지	LBB 1-4	6.4	1,770	-	TIMS
7	부여 군수리사지	LBB 1-5	6.6	1,780	-	TIMS
8	부여 군수리사지	LBB 1-6	6.5	1,780	-	TIMS
9	경주 사천왕사지	LBG 2	6.5	1,568	-	TIMS
10	경주 남산 삼릉계	LBG 3-1	6.6	1,565	-	TIMS
11	경주 남산 삼릉계	LBG 3-2	6.6	1,565	-	TIMS

nitric acid)을 이용하여 10분간 에칭하였다. 전처리된 시편의 미세조직은 광학현미경(Optical Microscope, Carl Zeiss, Axiotech 100HD/Progress 3012, Germany)을 통해 관찰하였으며, 성분분석은 왕수(HCl 및 HNO₃)에 시편을 용해한 뒤, 유도결합플라즈마질량분석기(Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer, ELAN DRC-e, Perkin-Elmer, America)를 이용하여 10개의 성분원소(Pb, Fe, Sn, Sb, Co, Ni, Cu, Zn, As, Ag)를 검출하였다. 납동위원소비 분석은 시료를 완전히 용해한 후 음이온 교환수지(anion resin: AG 1X-8 chloride form, 100~200#)를 사용하여 순도 높은 납(Pb)을 추출하여 실시하였다. 분리된 납은 Re single filament에 얹어 한국기초과학지원연구원의 열이온화질량분석기(Thermal Ionization Mass Spectrometer, Isoprobe-T, IsotopX, England)로 1,200℃ 내에서 분석하였으며, 외부보정을 위한 NBS 981 시료도 같이 분석하였다.

천왕사지 및 경주 삼릉계에서 출토된 11점의 납환의 육안 관찰 결과, 모두 주조방법을 추정하게 하는 2~3mm 두께의 황방향의 세선 및 상부에 주탕구로 추정되는 직경 1.3~1.5cm의 원형의 흔적을 확인할 수 있었다(사진 1). 이를 통해 납환은 반구형의 주형 2개를 붙여 구형의 주형을 만든 후, 상부에 용탕을 주입하는 주탕구를 만들어 제작했음을 추정할 수 있다.

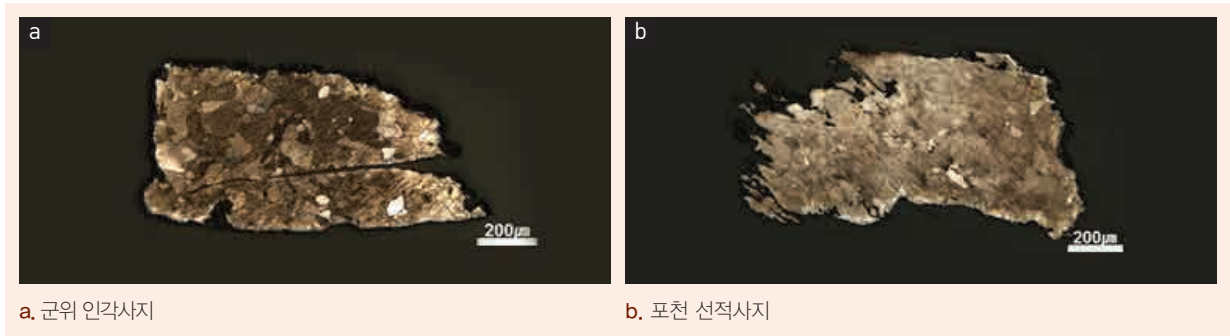
결과 및 고찰

1. 납환의 미세조직 및 성분분석 결과

군위 인각사지, 포천 선적사지, 부여 군수리사지, 경주 사



【 사진 1 】 납환의 현황



【 사진 2 】 납환의 미세조직

【 표 2 】 납환의 성분분석 결과

	wt%	ppm								
	Pb	Fe	Sn	Sb	Co	Ni	Cu	Zn	As	Ag
LBG 1	98.2	2,060	150	350	tr	60	350	310	980	50
LBP 1	96.6	2,180	120	1,770	tr	tr	630	1,510	830	50

출토된 납환 중 균위 인각사지 및 포천 선적사지 납환 2점의 미세조직을 관찰한 결과, 합금되지 않은 단일금속의 조직이 나타나며 주조 이후 가공 및 성형이 가해진 흔적을 확인할 수 없었다(사진 2).

습식분석을 통해 균위 인각사지와 포천 선적사지에서 출토된 납환의 성분을 분석한 결과는 <표 2>와 같다. 균위 인각사지 출토 납환의 경우 98.2%의 Pb(납)으로 구성되어 있으며, Fe(철)을 비롯한 미량성분은 2% 내외임을 확인할 수 있다. 포천 선적사지 출토 납환은 96.6%의 Pb로 구성되어 있으며, 미량원소의 함량에서는 균위 인각사지와 유사하나, Sb와 Zn의 경우 1,770과 1,510ppm으로 약 5배 정도 높은 값을 보였다. 출토 납환의 높은 순도로 보아 여러 번의 제련 및 정련 과정을 거쳐 생산된 것으로 추정되나 다양한 납 원료가 혼합되어 제작된 경우도 고려해야 한다.

2. 납동위원소비 분석 결과

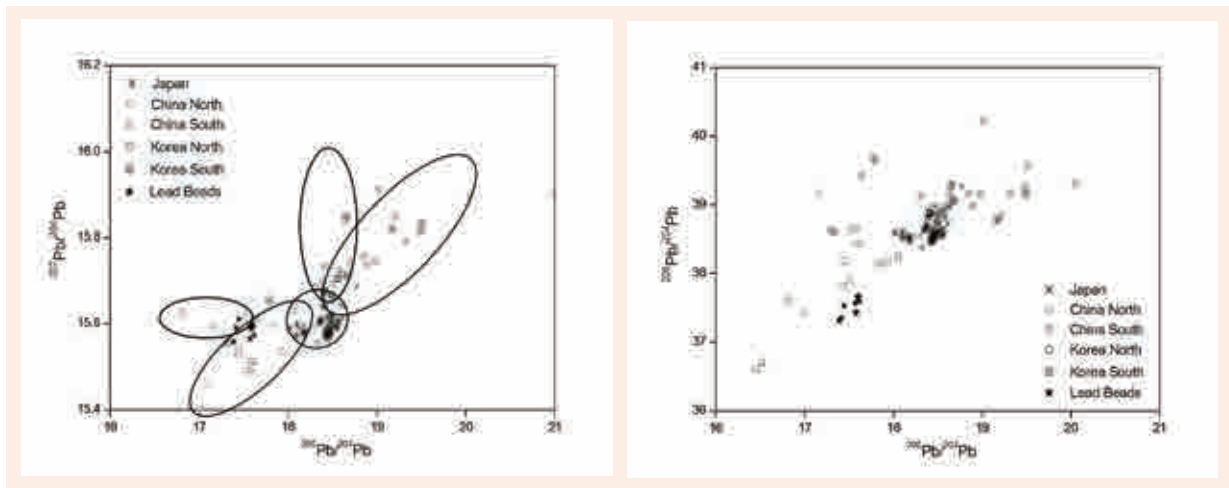
출토 납환 11점에 대한 납동위원소비 분석결과를 <표 3>에 나타냈다. 분석된 납환 중 균위 인각사지 시료의 납동위원소비는 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17.385$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.558$ 그

리고 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=37.312$ 로 가장 낮은 값을 보여주었다. 반면 포천 선적사지와 부여 군수리사지 시료들은 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17.571\sim 17.615$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.573\sim 15.596$ 그리고 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=37.425\sim 37.673$ 으로 다른 지역 출토시료들에 비해 높은 값을 보여주었다.

한반도 및 동북아지역 출토 청동유물에 대한 유물의 기원지 또는 생산지 추정연구는 1980년대 일본의 馬淵久夫(1985)가 발표한 동북아지역(한국·중국·일본)의 방연석 광산에 대한 납동위원소비 분석자료를 많이 사용하고 있다. 사찰 출토 납환의 생산지 추정을 위해 먼저 기존에 사용하였던 기초자료를 이용하여 납동위원소비 분석결과를 도시해 보았다. 馬淵久夫(1985)에 의한 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 와 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ vs $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 의 도표에 도시한 결과 한국북부 지역과 중국 북부지역에 포함됨을 확인할 수 있다(그림 1). 이 도표를 이용한다면 한국 북부지역 또는 중국 북부지역의 원료를 수입하여 제작하거나, 그곳에서 제작된 납환을 이용한 것으로 추정이 가능하다. 그러나 馬淵久夫(1985)의 기초 자료는 동북아지역 분류를 위한 기초자료의 수가 미비하여 정확한 산지를 추정하기에는 무리가 있다. 또한 한반도 출토 유물에 대한 한반도내 영역별 추정이 먼저 수행되고 동

【 표 3 】 납환의 납동위원소비 분석 결과

시료명	납동위원소비				
	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
LBG 1	17,385	15,558	37,312	0,8949	2,1461
LBP 1	17,615	15,573	37,599	0,8841	2,1343
LBB 1-1	17,575	15,596	37,439	0,8874	2,1300
LBB 1-2	17,571	15,565	37,570	0,8859	2,1383
LBB 1-3	17,601	15,595	37,654	0,8860	2,1393
LBB 1-4	17,603	15,598	37,673	0,8861	2,1403
LBB 1-5	17,580	15,588	37,425	0,8867	2,1289
LBB 1-6	17,594	15,592	37,651	0,8863	2,1402
LBG 2	17,412	15,590	37,348	0,8954	2,1451
LBG 3-1	17,468	15,667	37,678	0,8696	2,1567
LBG 3-2	17,410	15,577	37,382	0,8947	2,1470

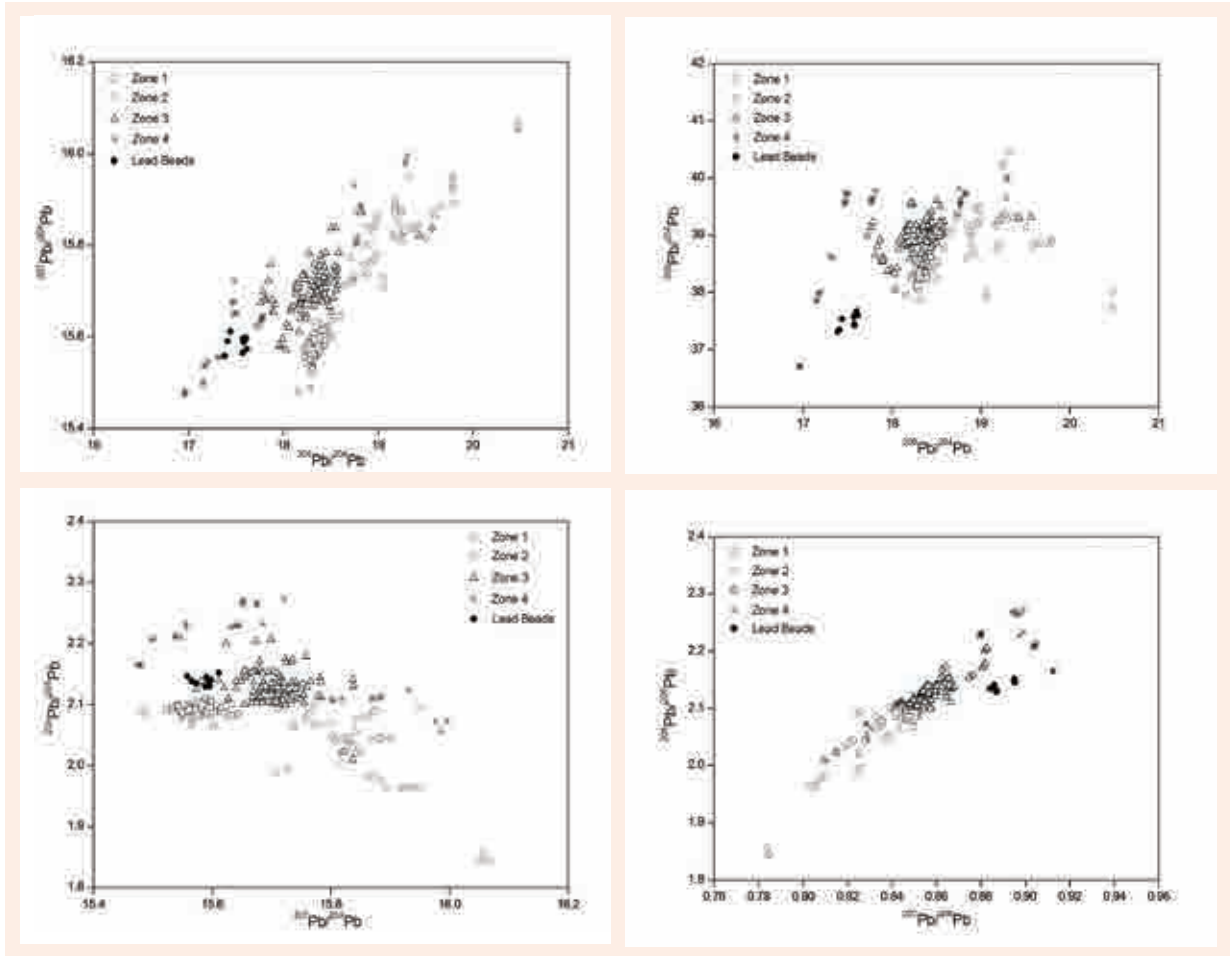


【 그림 1 】 납환의 납동위원소비 분포도 (馬淵久夫, 1985)

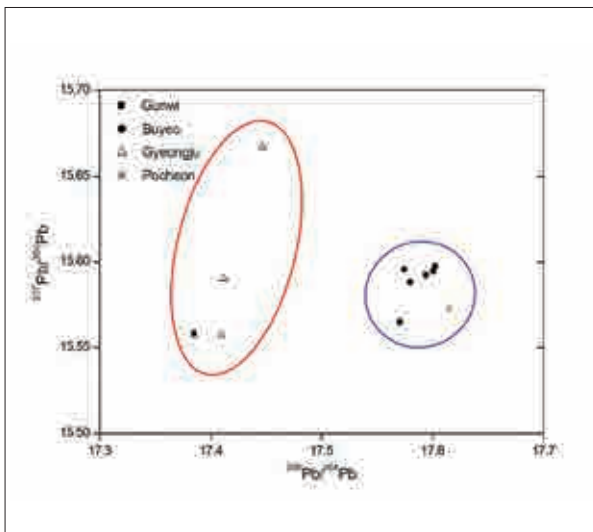
북아지역을 논의해할 필요가 있어, Jeong et al.(2012)이 발표한 한반도 남부지역 방연석광산의 납동위원소비 분포도 (Korea Peninsula lead isotope database(KOPLID))를 이용하여 생산지를 추정해 보았다(그림 2). 그림 2에 도시한 결과 중 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 에서는 zone 4의 영역에 도시되지만 다른 분포도에서는 한반도 영역 외에 도시되었다. 출토 납환이 한반도 영역별 분포도의 영역 외에 도시되는 이유는 납환의 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 동위원소비가 Jeong et al.(2012)의 방연석 납동위원소비 조성변화와 다르게 낮은 값을 보이기 때문이다.

사찰 출토 납환의 납동위원소비 분석을 통해 납환의 원료 물질은 한반도 이외의 영역에서 유래되었을 가능성이 있음을 알 수 있다. 특히 zone 4와 관련된 한반도 북부지역의 기초 자료가 확립된다면 보다 정확한 산지추정이 가능할 것으로 생각된다. 또 다른 추정은 원료물질의 혼합에 대한 가능성이다. 96%가 넘는 함량을 가진 납환의 제작에는 많은 납 원료를 필요로 하므로, 납의 혼합에 의해 순도를 높이는 과정에서 납동위원소비의 조성이 변화되었을 가능성도 존재한다.

출토 납환 11점의 납동위원소비 분석결과를 확대하여



【 그림 2 】 납환의 납동위원소비 분포도 (KOPLID; 2012)



【 그림 3 】 확대한 납환의 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 와 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 납동위원소비 분포도

살펴보면, 전반적으로 2개의 그룹으로 나뉘어 분포하고 있음을 알 수 있다(그림 3). 하나의 그룹은 경북 군위 인각사지, 경주 사천왕사지 그리고 남산 삼릉계에서 출토된 납환들로, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 와 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 동위원소비가 다른 납환시료들에 비해 상대적으로 낮게 나타났다. 다른 그룹은 충남 부여 군수리사지와 경기 포천 선적사지 출토 납환들로, 납동위원소비가 좁은 영역 내에서 분포하며 상대적으로 높은 납동위원소비를 보였다. 이렇게 다른 지역에서 출토된 유물의 분석된 납동위원소비가 그룹을 형성하는 것으로 보아 2가지의 추정이 가능하다. 첫 번째 납환의 제작에 필요한 납 원료의 산지가 유사하다는 것이다. 두 번째로는 납환의 제작에 다양한 산지의 납 원료가 혼합되었다면 이 때의 납

동위원소비는 제작시기 또는 제작장소(공방)가 같은 경우 일 것이다. 따라서 이번 연구에 사용된 출토 납환의 11점이 2개의 그룹으로 나뉘는 것으로 보아 각각의 그룹별로 각각 다른 시기와 다른 장소에서 납환이 제작되어 출토된 사찰로 유입되었을 가능성이 있다.

납이 혼합되거나 재사용(재활용)이 많이 이뤄지는 경우, 미량원소와 납동위원소비가 균일해진다는 것은 기존의 연구자들에 의해 증명된 바 있다. 혼합 및 재사용된 유물의 정확한 산지추정은 불가능하나 이와 같이 제작시기 및 제작장소의 차이를 확인한다는 것은 다양한 시각의 해석이 가능하다는 점에서 의의가 있다.

결론

군위 인각사지, 포천 선적사지, 부여 군수리사지 및 경주 사천왕사지, 삼릉계에서 출토된 납환의 제작방법 및 납동위원소비의 특성에 대한 연구를 요약한 결과는 다음과 같다.

1. 출토된 납환은 반구형의 주형을 붙여 만든 구형의 주형을 사용하여 제작하였으며, 96%이상의 높은 순도를 가져 제작 시 다양한 원료물질의 납을 이용하였을 것으로 추정된다.
2. 출토 납환의 육안관찰, 미세조직 관찰 및 성분분석 결과를 통해 주조방법, 성분, 크기, 무게 등 상당부분이 유사함을 확인할 수 있다.
3. 납동위원소비 분석을 통한 산지추정 결과, 한반도 영역 이외 지역에 도시되어 정확한 산지를 추정할 수 없으나, 출토 납환의 납동위원소비가 2그룹으로 나뉘어져 제작 시기 또는 제작 장소가 서로 달랐음을 확인할 수 있다.

이번 연구결과를 기초자료로 하여 추가적인 납환의 과학적인 분석과 불교문화연구를 병행한다면 출토 납환의 제작방법이나 제작목적에 밝히는 연구에 크게 기여할 것으로 생각된다.



참고문헌

- 국립경주문화재연구소, 2012, 『사천왕사 I -금당지- 발굴보고서』
- 국립경주문화재연구소, 2010, 『경주 남산 삼릉계 석불좌상 보수 정비보고서』
- 국립문화재연구소, 2013, 『옹역연구개발과제 최종보고서-한반도 납동위원소 광역분포도 제작』
- 국립문화재연구소, 2012, 『미륵사지 석탑 기단부 발굴조사보고서』
- 국립부여문화재연구소, 2005, 『연보』
- 문화재청 · 불교문화재연구소, 2010, 『한국의 사지-서울 · 인천 · 경기』
- 불교문화재연구소, 2010, 『군위 인각사 2 · 3 · 4차 발굴보고서 I』
- 이재형, 2011, “탑 주변서 정체모를 납구슬 잇따라 출토”, “절터 납구슬들, 왜 만들어졌을까”, “미스터리 절터 납구슬 동일장소에서 만들어졌다”, 법보신문
- Mabuchi, H. et al., 1985, ‘The lead isotope systematics in Asia and near East’, *Grant Report to the Ministry of Education Science and Culture*, Japan
- Youn-Joong Jeong et al., 2012, ‘Regional variations in the lead isotopic composition of galena from southern Korea with implications for the discrimination of lead provenance’, *Journal of Asian Earth Sciences*

Manufacturing Technology and Provenance of the Lead Beads

Kim So-jin^a · Hwang Jin-ju^a · Han Woo-rim^a · Lee Eun-woo^b · Rim Seok-gyu^c · Jeong Youn-joong^{d*}

^a Conservation Science Division, National Research Institute of Cultural Heritage

^b Jungwon National Research Institute of Cultural Heritage

^c Research Institute of Buddhist Cultural Heritage

^d Korea Basic Science Institute

••

Corresponding Author : Jeong Youn-joong, E-mail : hero0123@kbsi.re.kr

Abstract

More than 30 lead beads have been excavated from buddhist temples and sites but the production times are unknown the origin. The aim of this study is to estimate manufacturing technique and provenance of 11 beads through the chemical composition and isotope analysis. Results shows that the lead beads are composed of high-purity lead and cast using for 2 semicircle moulds. Furthermore, 11 lead beads are similar in size, chemical composition and casting methods. Lead isotope analysis data suggest that the provenance of lead beads are not Korea peninsula. Also it is estimated that 11 lead beads were divided in 2 groups considering the time and places of production. The future works will be executed additional scientific analysis and historical background due to confirm the manufacturing system and provenance.

Key Words Lead, Lead Beads, Manufacturing Technology, Provenance, Lead Isotope



MUNHWAJAE

Korean Journal of Cultural Heritage Studies Vol. 47. No. 4