

普信閣鐘의 非破壞調査

權赫男[†] · 俞惠仙

國立中央博物館 保存科學室

Nondestructive Analysis on the bell of Boshin-gak

Hyuknam Kwon[†], Heisun Yu

Conservation Science Lab., The National Museum of Korea

요약 국립중앙박물관의 이전에 따른 보물 제2호 보신각종 이전을 준비하는 과정에서 사전조사를 통해 종의 안전성을 점검하기 위해 ^{60}Co 에 의한 γ -선 투과조사를 실시하여 현재 존재하고 있는 내부균열 및 주조결함 등을 조사하였다. 또한 엑스선형광분석법을 이용하여 종의 재질조사를 실시하였다. 그 결과 가로방향으로 65.2%, 세로방향으로 62.5%에 해당하는 균열이 존재하고 있는 것을 확인하였으며 그 깊이는 5cm 내외인 것으로 조사되었다. 또한 성분분석 결과 구리가 89~92%, 주석이 7.5~10.5%이고 불순물로 보이는 납은 0.1~0.3%이며 철, 망간 등은 0.1% 미만으로 매우 적은 양이 함유되어 있다.

Abstract In the course of preparing for the transfer of the Boshin-gak Bell, which was designated as Treasure No. 2, due to the transfer of the National Museum of Korea, the current internal cracks and defects in the founding of the bell were examined in order to verify its solidity through γ -ray penetration via ^{60}Co . The bell's compositions were also examined with x-ray fluorescence spectroscopy. The result showed that the bell had 65.2% cracks when viewed from the horizontal direction and 62.5% cracks when viewed from the vertical direction. The cracks had approximately 5cm depth. In addition, the result of examining the composition of the bell revealed that it was made of 89~92% copper and 7.5~10.5% tin as well as traces of impurities including 0.1~0.3% lead and not more than 0.1% iron, manganese, etc.

[†] Corresponding author : Conservation Science Lab., The National Museum of Korea
Tel : 02) 2077-9424 | Fax : 02) 2077-9449 | E-mail : kwonhn@museum.go.kr

I. 서론

1979년 보신각을 서울시의 도로확장공사로 증건하던 중에 보신각종의 균열이 처음으로 발견되어 신문에 보도되었다. 이 종의 균열에 대한 조사는 1980년대 초반 액체 침투 및 초음파에 의해 균열의 전파된 상태를 조사하였고 크랙의 깊이를 0.01mm의 피아노선을 사용하여 측정된 바 있으며 이 때 타종에 의한 응력과 진동 그리고 중량(19.66톤)을 조사하였다.

그 결과, 종의 균열은 하단부 780~1,330mm 사이에 형으로 3,760mm에 달하는 균열이 존재하고 있으며(종의 둘레를 6,032mm(내경 1,918mm)로 볼 때 62%), 최대 깊이는 최대 70mm로 조사되었다. 또한 하단부 200mm의 높이부터 종방향으로 1,990mm의 균열 존재하고 있으며(용뉴를 제외한 전체 높이 288cm의 70%), 깊이는 최대 40mm에 이르는 것으로 밝혀졌다(한국중연구, 1988).

종신에 균열이 생겨 더 이상 타종할 수 없게 되면서 보신각종을 새로이 중주하자는 여론이 일기 시작하여, 1984년 보신각종 중주위원회가 발족되었고, 1985년 위원회가 주관하여 국민들의 성금으로 새 종을 주조하여 서울시에 기증하였다. 새로운 종을 타종하게 되면서 보신각종은 국립중앙박물관에 이관하여 보존 관리되어 현재에 이르고 있다.

국립중앙박물관은 2005년 10월 28일 용산 새 국립중앙박물관 개관을 위해 2004년 12월 20일 보신각종을 이전하였다. 이전을 준비하면서 보신각종이 현재 어느 정도의 균열이 존재하며 1979년 발견 당시와 어느 정도의 차이가 있는지를 알아보기 위해 ^{60}Co 에 의한 투과조사를 실시하게 되었다. 또한 XRF를 이용한 종의 성분을 조사하였다.

II. 보신각종

높이 3.647m, 입지름 2.228m, 무게 23.9톤¹⁾인 보물 제2호 보신각종은 1468년(세조 14년) 4월에 주조된 것으로 원래 송의문 안의 정릉사에 있었으나, 정릉사가 폐사되자 원각사로 옮겨다가, 이 절도 폐사되어 남대문에

옮겨 걸려고 하다가 채 걸어놓지 못하고 임진왜란을 겪게 되었으며 난이 끝난 후인 광해 11년(1619년)에 종각 네거리로 옮기게 되었다. 이 종을 걸었던 종각은 제26대 고종 6년(1869년) 9월에 불탄 것을 다시 지었고, 고종 32년(1895년)에 보신각이라는 현판을 걸게 된 후부터 종명을 보신각종이라 하게 되어 그 명칭이 현재에 이르고 있다. 종로에 있는 종각에 걸린 후 파루(상오 4시)에 33번, 인정(하오 10시)에 28번 타종하여 시각을 알려주는데 쓰였고, 해방후에는 새해 제야종으로서 33번, 3.1절과 8.15 광복절을 기념하기 위하여 33번 타종하였다.

보신각종은 현존하는 종 가운데 성덕대왕신종 다음으로 크며, 종의 정상부는 반구형처럼 둥글고 그 중앙에는 쌍룡으로 된 용뉴(龍鈕)가 있다. 종신(鐘身)은 3개의 굽은 띠에 의해 상하단으로 나뉘었고, 상단에는 다른 조선시대 종에서 흔히 보이는 보살입상의 윤곽이 보일 뿐 당좌(撞座)는 없다. 종신에 있는 '성화4년'(成化四年)으로 시작되는 명문에 의해 종의 주조 연대를 알 수 있으며 제작에 참여한 사람 및 장인도 기록하였다. 반구형의 정상부, 띠장식에 의해 상하단으로 분리된 종신, 당좌의 소멸 등은 조선 초기 동종의 특징이며, 조선 초기의 동종연구에 귀중한 자료이다.

III. ^{60}Co 에 의한 투과조사

전자기파에는 파장이 짧은 γ -선부터 X-선, 자외선, 가시광선, 적외선으로 파장이 길어지며 방사선 조사에 이용되는 것은 γ -선과 X-선이고 조사시 사진용 필름을 감광시켜 균열, 부식정도, 이물질 판별 등 보존처리에 필요한 사항과 내부구조, 문양, 명문 등 제작 방법을 알 수 있으며 문화재의 투과조사에도 이 두 가지가 이용된다. 이 중 γ -선은 다른 전자기파와 같은 성질을 가지고 있으며 파장이 매우 짧아(0.07~ 1×10^{10} cm) X-선에 비해 에너지가 크므로 X-선보다 투과력이 훨씬 강하기 때문에 X-선으로 투과가 어려운 밀도가 크거나 두께가 두꺼운 금속이나 두꺼운 석재 등에 이용된다.

γ -선 조사에 이용되는 방사선편출종을 Table 1.에 나타내었다.

1) 이전과정 중 보신각종을 들어올릴 때 크레인(DEMAG AC395)에 장착된 장비로 확인된 무게임.

Table 1. Physical properties of nuclides

Nuclide	Half life	Disintegration	Reaction	Energy
⁶⁰ Co	5.26year	β^-	$^{60}\text{Co} \rightarrow ^{60}\text{Ni} + e + \gamma$	1.25MeV
¹³⁷ Cs	30year	β^-	$^{137}\text{Cs} \rightarrow ^{137}\text{Ba} + e + \gamma$	0.66MeV
¹⁹² Ir	74.2day	β^- , Electron Capture	$^{192}\text{Ir} \rightarrow ^{192}\text{Pt} + e + \gamma$	0.35MeV
²²⁶ Ra	1,620year	α , γ	$^{226}\text{Ra} \rightarrow ^{222}\text{Rn} \dots ^{206}\text{Pb}$	0.24~2020MeV

Table 2. Characteristic of disintegration mechanism

Disintegration Mechanism	ΔA (atomic mass number)	ΔZ (atomic number)	Emission
α decay	- 4	- 2	α -ray γ -ray
β^- decay	N	+ 1	β^- -ray Neutrino($\bar{\nu}$) γ -ray
β^+ decay	N	- 1	β^+ -ray Neutrino(ν) γ -ray Annihilation γ -ray
electron capture	N	- 1	γ -ray Neutrino(ν) Characteristic X-ray Auger electron
Nuclear isomer Transition	N	N	γ -ray
Internal Conversion	N	N	K, L electron Characteristic X-ray Auger electron

방사선을 에너지에 따라 분류하면 전파, 마이크로파, 적외선, 가시광선, 자외선은 비이온화 방사선이고 X-선, α 선, β 선, γ 선, 중성자선, 우주선은 이온화 방사선이다. 또한 형태에 따라 분류하면 X-선, γ 선은 전자과방사선이고 α 선, β 선, 중성자선, 우주선은 입자방사선이다. 감마선은 일반적으로 α 붕괴 또는 β 붕괴 후, 원자핵이 여기상태이면 기저상태로 되면서 γ 선을 방출한다. 주로 사용되는 ⁶⁰Co은 β^- 붕괴를 하면서 γ 선을 방출한다(Table 2).

IV. 조사방법

보신각종(Photo. 1)은 보물 제2호로 대형의 동주조품

이므로 비파괴 조사를 원칙으로 수행하였으며, 조사는 내부 균열을 조사하기 위한 ⁶⁰Co에 의한 투과조사와 XRF를 이용한 성분분석 두 가지를 실시하였다.

1. ⁶⁰Co에 의한 투과조사

보신각종 전체에 대하여 ⁶⁰Co에 의한 γ -ray 조사를 실시하여 종에 존재하는 균열 및 내부구조를 조사하였다. 외부 전시물이므로 일반인이 통행하지 않는 19:00~06:00에 실시하였고 실시하기 전, 실시할 때 출입자를 완전 통제하였다. 또한 조사를 실시할 때 주변의 방사선 노출량을 측정하여 안전에 이상이 없는지 확인하였다.



Photo. 1. The bell of Boshin-gak with letters done in lead

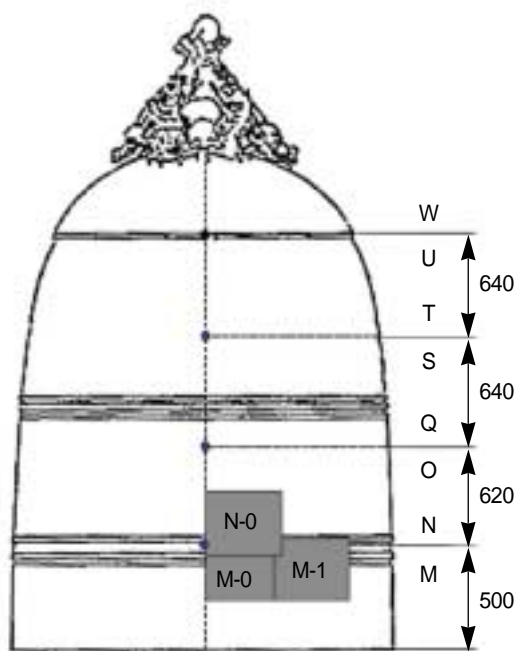


Figure 1. Sketch showing positions of film and source of radiation.



Photo. 2. Marking by lead letters



Photo. 3. Photograph of the Boshin-gak bell showing of films



Photo. 4. X-ray fluorescence spectroscopy



Photo. 5. X-ray fluorescence spectroscopy image

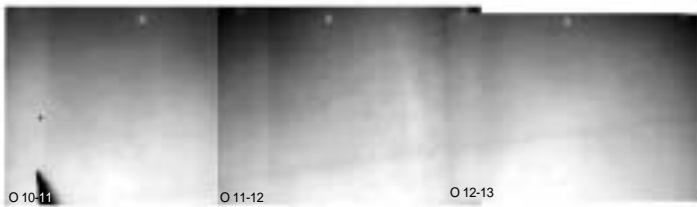


Photo. 6. Horizontal crack from the north (1meter from bottom)

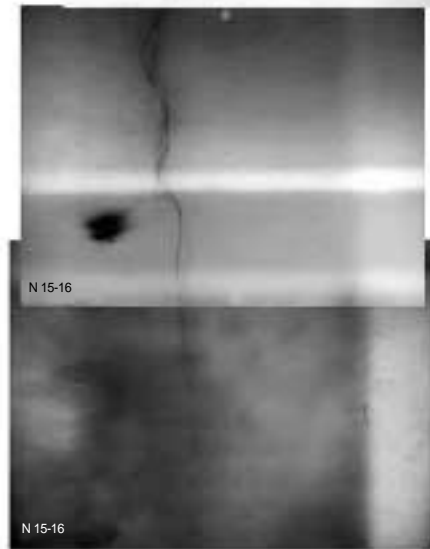


Photo. 7. Vertical crack from the west

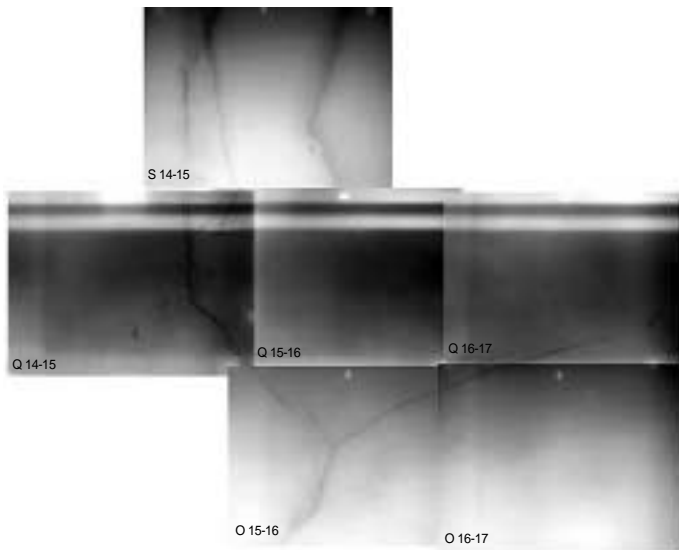


Photo. 8. Crack on the top of Photo 7



Photo. 9. Internal view of the cracks

아래부터 M, N, O, Q, S, T, U, W로 표시하였으며 남 쪽에서 반시계방향으로 0부터 1, 2 순으로 숫자를 부여 하였다.

2. X-선형광분석(XRF)

보신각종(보물 제2호)의 청동소지에 대한 XRF(엑스선 형광)분석을 실시하였다(Photo. 4, 5). 분석은 현재 종이 위치하고 있는 방향에 따라서 동(east ; E), 서(west ; W), 남(south ; S) 및 북(north ; N)측으로 구분하여 실시하였고, 각 면의 분석위치는 Photo. 11~14에 나타내 었다.

분석에 사용된 이동형 X선-형광분석기는 ArtTAX μ XRF spectrometer로 이용하여 비파괴 분석을 수행하였 으며, 이때 사용한 콜리메이터의 직경은 600 μ m이었고,

조사방법은 Figure 1.과 같이 납글자와 필름을 거치하 였으며 ^{60}Co source는 일정 높이를 설정하여 내부에서 조 사하였다(Photo. 2, 3). 납글자는 필름을 구분하기 위해

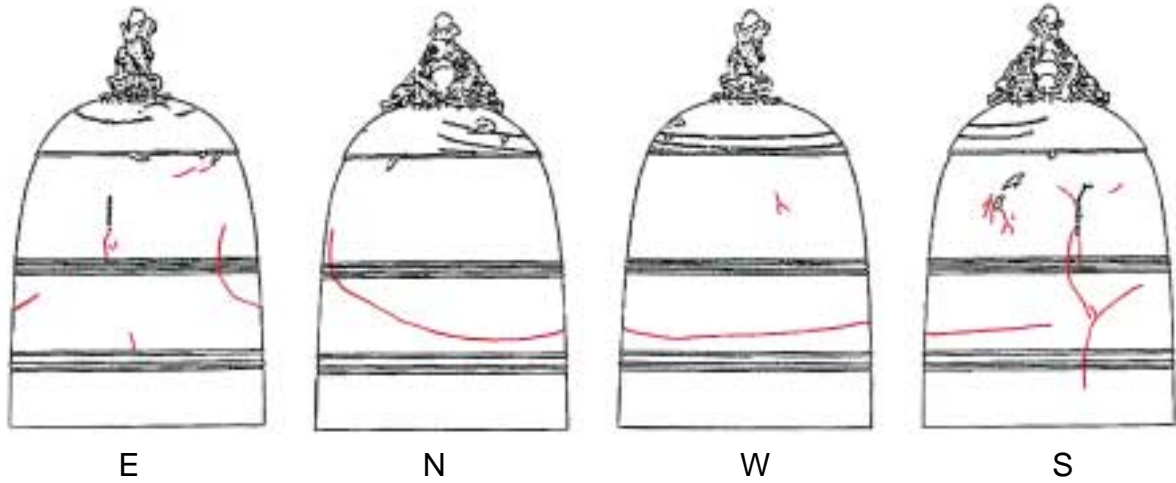


Figure 2. Schematic diagram of cracks in the Boshingak Bell.

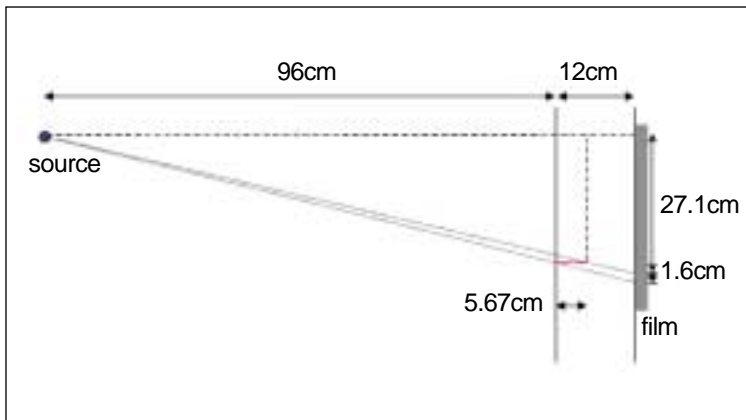


Figure 3. Schematic diagram of crack depth measurement using the width of cracks displayed on film.

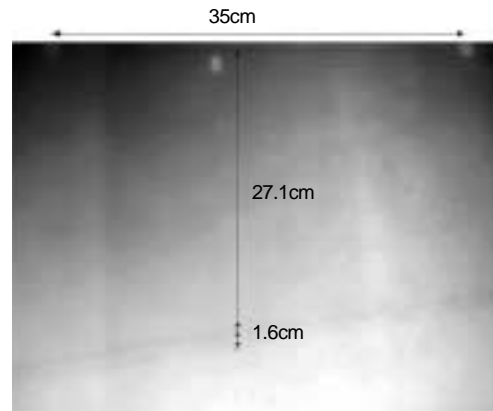


Photo 10. Cracks displayed on film (O 11~12)

source와 시료의 거리는 4mm, 전압은 50kV, 전류는 700 μ A이었다. 측정시간은 200~2000초 사이의 범위였다.

V. 결과 및 고찰

1. ^{60}Co 에 의한 투과조사

^{60}Co 에 의한 투과조사를 실시한 결과를 Photo. 6~10에 나타내었으며 종의 도면에 균열의 위치를 표시하면 Figure 2와 같다. 하단부로부터 90cm~140cm 사이에 가로로 약 450cm에 걸쳐 균열이 존재하고 있으며 종의 둘레

를 690.5cm(내경 191.8cm + 14cm \times 2)로 볼 때 65.2%의 길이에 해당한다. 또한 하단부 40cm의 높이부터 세로로 약 180cm의 균열 존재이 존재하고 있으며 용뉴를 제외한 전체 높이 288cm의 62.5%에 해당한다. 필름에 나타난 균열의 폭을 통해 균열의 깊이를 수학적으로 계산해 본 결과 대략 5.7cm에 달한 것으로 조사되었으며 종의 두께 12cm 중 47%에 해당한다(Figure 3.). 용뉴부분과 종신 최하단의 균열여부는 두께가 불균일하고 두꺼워서 확인하지 못하였다.

하단부분은 대체로 구조 상태가 양호하나 중간부분부터 수축공과 기공, 개재물 등이 존재하고 특히 상단에는 많은 부분에 수축공이 존재하고 있다. 하단의 두께가 32



Photo. 11. Analysis point from the east



Photo. 12. Analysis point from the west



Photo. 13. Analysis point from the south



Photo. 14. Analysis point from the north

cm로 이 부분의 큰 하중 때문에 중간부분에 존재하고 있던 수축공에서부터 균열이 생성된 것으로 보인다. 균열의 끝부분이 수축공과 연결되고 중간부분부터 상부 전체적으로 수축공이 다량 존재하므로 충격 등에 의해 균열이 더 진행될 수 있을 것으로 판단된다.

결론적으로 종을 타종시 균열이 커질 우려가 클 뿐 아니라 종각에 매다는 것 자체만으로도 균열이 전파될 수 있으며 또한 이전시 충격에 의한 파손이 발생할 수 있고 용뉴를 들어 올리는 것도 문제가 발생할 수 있다.

80년대 초반 액상침투 및 초음파에 의한 조사와의 차이

는 없는 것으로 보이나 조사방법에 차이가 있어서 정확하게 설명할 수는 없다.

2. XRF 분석결과

보신각종의 소지에 대한 XRF분석 위치를 Photo. 11~14에, 그리고 결과를 Table 3에 나타내었다. 결과에 의하면 종의 각 방향에 따라서 주성분의 함량에 차이를 보이고 있는 것을 알 수 있다. 특히 동(E)측의 경우 구리가 77.4~85.0%와 주석이 14.3~24.0%로서 다른 방향

Table 3. Composition of the bell of Boshin-gak

element(%)			Cu	Sn	Pb	Fe	Mn	Ni	Ag	비 고
sample no.	& position									
1	East	E-body1	77.4	21.2	0.2	<0.1	<0.1	0.2	0.8	종신
2		E-body2	74.6	24.0	0.3	<0.1	<0.1	0.3	0.8	종신
3		E-hade1	85.0	14.3	0.1	<0.1	<0.1	0.2	0.8	하대
4		E-hade2	78.8	20.1	0.2	<0.1	<0.1	0.3	0.6	하대
5	West	W-body1	86.4	12.9	0.1	<0.1	<0.1	0.2	0.3	종신
6		W-body2	89.6	9.8	0.1	<0.1	<0.1	0.2	0.3	종신
7		W-body3	88.8	10.5	0.1	<0.1	<0.1	0.2	0.3	종신
8	South	S-body1	90.1	9.2	0.1	<0.1	<0.1	0.2	0.3	종신
9		S-body2	90.2	9.2	0.1	<0.1	<0.1	0.2	0.3	종신
10		S-hade1	91.2	8.2	0.1	<0.1	<0.1	0.2	0.3	하대
11		S-hade2	91.6	7.7	0.1	<0.1	<0.1	0.2	0.3	하대
12		S-hade3	90.3	8.8	0.2	<0.1	<0.1	0.2	0.5	하대
13		S-hade4	90.7	8.7	0.1	<0.1	<0.1	0.2	0.3	하대
14	North	N-hade1	90.2	8.8	0.2	<0.1	<0.1	0.3	0.6	하대
15		N-hade2	91.6	7.5	0.1	<0.1	<0.1	0.3	0.5	하대
16		N-hade3	94.8	4.4	0.1	<0.1	<0.1	0.3	0.4	하대

의 소지와 비교하여 볼 때 큰 차이를 나타내고 있다. 즉, 서(W), 남(S) 및 북(N)쪽 방향의 경우는 시료 no. 5 및 16을 제외하면 구리가 89~92%, 주석이 7.5~10.5%로 비교적 균일한 함량분포를 보이고 있는 것을 알 수 있다. 한편 남의 경우는 모든 시료에서 0.1~0.3%의 낮은 함량 분포를 보이고 있으며, 철, 망간은 0.1% 미만의 매우 적은 양이 함유되어 있었다.

VI. 맺음말

국립중앙박물관의 이전에 따른 보신각종 이전을 준비하는 과정에서 사전조사를 통해 종의 안전성을 점검하기 위해 ⁶⁰Co를 이용하여 균열을 조사하였다. 조사결과 횡방향으로 65.2%에 해당하는 균열이 종방향으로 62.5% 존재하고 있는 것을 확인하였으며 그 깊이는 5cm 내외인 것으로 조사되었다.

이 균열은 32cm에 달하는 하단부의 두께와 중간부분부터 윗부분으로 존재하는 수축공과 기공 등에 의해 발생한 것으로 보이며 종을 타종시 균열이 커질 우려가 클 뿐 아

니라 종각에 매다는 것 자체만으로도 균열이 전파될 수 있으며 또한 이전시 충격에 의한 파손이 발생할 수 있고 용뉴를 들어 올리는 것도 문제가 발생할 수 있다.

XRF 분석 결과 대략 구리가 89~92%, 주석이 7.5~10.5%이고 불순물로 보이는 납은 0.1~0.3%이며 철, 망간 등은 0.1% 미만으로 매우 적은 양이 함유되어 있다. 다만 동측과 일부에서 성분의 차이가 나타나는데 주조시 여러 곳에서 용탕을 부면서 차이가 나타나는 것으로 보인다.

⁶⁰Co에 의한 비파괴조사는 유양원자(주)에서 실시하였다.

참고문헌

1. 염영하, 한국종연구(증보판), 한국정신문화연구원, 1988.