

문학석사 학위논문

조선초기 총통의 화학조성과 구조분석

경주대학교 대학원

문화재학과

김 해 솔

2019년 12월

조선초기 총통의 화학조성과 구조분석

지도교수 도 진 영

이 논문을 석사학위 논문으로 제출함

2019년 12월

경주대학교 대학원

문화재학과

김 해 솔

김해솔의 석사학위논문을 인준함

심사위원장 강봉원 강봉원

심사위원 장영수 장영수

심사위원 조진영 조진영

경주대학교 대학원

2019년 12월

<목 차>

<사진목차>	5
<그림목차>	6
<표 목 차>	7
국문초록	8
I. 서론	10
1. 연구배경	12
2. 선행연구고찰	14
3. 연구목적	17
II. 연구대상	18
1. 사전총통	24
2. 팔전총통	25
3. 삼총통	26
III. 연구방법	33
1. 에너지분산형X선형광분석(Energy Dispersive X-ray fluorescence) ...	33
2. 컴퓨터단층촬영(Computed Tomography)	37
IV. 연구결과	41
1. 에너지분산형X선형광분석(Energy Dispersive X-ray fluorescence) ...	41
2. 컴퓨터단층촬영(Computed Tomography)	46
V. 고찰	58
1. 에너지분산형X선형광분석(Energy Dispersive X-ray fluorescence) ...	58
2. 컴퓨터단층촬영(Computed Tomography)	67
VI. 결론	71
참고문헌	75

<사진목차>

- <사진 1> 연구대상유물 1-사전총통 - 출처: 국립진주박물관
- <사진 2> 연구대상유물 4-팔전총통 - 출처: 국립진주박물관
- <사진 3> 연구대상유물 6-삼총통 - 출처: 국립진주박물관
- <사진 4> 연구대상유물 3-사전총통 - 출처: 국립진주박물관
- <사진 5> 연구대상유물 58-삼총통 - 출처: 국립진주박물관
- <사진 6> 연구대상유물 63-삼총통 - 출처: 국립진주박물관
- <사진 7> 1-사전총통의 컴퓨터단층촬영 종단면상 - 출처: 국립진주박물관
- <사진 8> 2-사전총통의 컴퓨터단층촬영 종단면상 - 출처: 국립진주박물관
- <사진 9> 3-팔전총통의 컴퓨터단층촬영 종단면상 - 출처: 국립진주박물관
- <사진 10> 4-팔전총통의 컴퓨터단층촬영 종단면상 - 출처: 국립진주박물관
- <사진 11> 6-삼총통의 컴퓨터단층촬영 종단면상 - 출처: 국립진주박물관
- <사진 12> 56-삼총통의 컴퓨터단층촬영 종단면상 - 출처: 국립진주박물관
- <사진 13> 58-삼총통의 컴퓨터단층촬영 종단면상 - 출처: 국립진주박물관
- <사진 14> 59-삼총통의 컴퓨터단층촬영 종단면상 - 출처: 국립진주박물관
- <사진 15> 62-삼총통의 컴퓨터단층촬영 종단면상 - 출처: 국립진주박물관
- <사진 16> 63-삼총통의 컴퓨터단층촬영 종단면상 - 출처: 국립진주박물관
- <사진 17> 총열이 파손된 연구대상 57-삼총통 - 출처: 국립진주박물관

<그림목차>

<그림 1> 조선초기 총통의 일반적 형태 - 출처: 동아시아 7년전쟁 임진왜란

<그림 2> 소형·대형화기 분류법에 따른 총통의 크기비교

<그림 3> Cu-Sn-Pb 삼원계 도표의 활용사례

- 출처: 국립춘천박물관 소장품 조사연구보고서 I 선립원종·염거화상탑지

<그림 4> 『국조오례의』의 기록을 바탕으로 박제광이 제시한 총통 내부구조의 발달과정

- 출처: 화염조선

<그림 5> 조선초기 총통의 Cu-Sn-Pb 삼원계 도표

<그림 6> 조선초기 총통과 고려말 ~조선초 주조유물의 Cu-Sn-Pb 삼원계 도표

<그림 7> 조선초기 총통과 고려말 ~조선초 주조유물의 Cu-Sn-Pb 삼원계 도표 Cu 75% 이상 구간

<그림 8> 조선초기 총통과 고려말 ~조선초 주조유물의 경향성 비교

<그림 9> Cu-Sn 함량에 따른 기계적 성질의 변화 - 출처: 문화재를 보는 과학의 눈

<그림 10> 조선초기 총통과 승자총통의 Cu-Sn-Pb 삼원계 도표

<그림 11> 조선초기 총통과 승자총통의 Cu-Sn-Pb 삼원계 도표 Cu 75% 이상 구간

<그림 12> 조선초기 총통과 승자총통의 경향성 비교

<그림 13> 총통의 주조 틀 단면 추정도

<표 목 차>

- <표 1> 문헌에 기록된 총통의 종류
- <표 2> 화약무기에 대한 과학적 연구사례
- <표 3> 시대별 총통의 형태 변화 - 사진출처: 국립진주박물관
- <표 4> 연구대상유물 목록 - 사진출처: 국립진주박물관
- <표 5> 연구대상유물의 형태와 화학조성 분석 위치
- <표 6> 화학조성 비교대상 1 - 고려말 ~ 조선초 주조유물 목록
- <표 7> 화학조성 비교대상 2 - 승자총통 목록
- <표 8> 『국조오례의』에 기록된 총통의 내부구조 제원
- <표 9> 조선초기 총통의 화학조성 분석결과
- <표 10> 고려말 ~ 조선초 주조유물의 화학조성(비교군)
- <표 11> 승자총통의 화학조성(비교군)

조선초기 총통의 화학조성과 구조분석

김 해 솔

경주대학교 대학원

문화재학과

지도교수 도 진 영

(초록)

총통이란 유통식(有筒式)·지화식(指火式) 화약무기로 고려말 처음 제작되어 조선중기 조총이 등장하기 전까지 사용된 우리나라 화약무기의 원형이다. 하지만 현재까지의 총통에 관한 연구는 문헌자료를 바탕으로 한 연구와, 조선중기 총통의 과학적 분석사례에 국한되어 있었다. 본 연구에서는 학계에서 기존에 다루지 않은 조선초기 총통에 대한 특성을 파악하기 위해 화학조성 분석과 구조분석을 실시하였다. 화학조성 분석결과를 동시대 주물제품의 분석사례와 비교하여 조선초기 화약무기의 화학조성 특징을 파악하였으며, 조선중기 승자총통의 분석사례와 비교하여 시대흐름에 따른 화학조성의 변화여부를 관찰하였다. 또한 구조분석을 통해 조선초기 총통의 제작기술상의 특징을 파악하고 『국조오례의』에 기록된 내용과 비교하였다.

분석결과 조선초기 총통은 동시대 주조유물에 비해 상대적으로 적은 10%전후의 Sn함량을 가지는 것으로 확인되었다. Cu-Sn합금은 Sn의 비율 16%이상부터 인장강도가 줄어드는 특성을 갖는다. 따라서 총통은 경도와 인장강도를 모두 확보하기 위해 Sn의 비율을 16%미만 10%전후로 의도한 것으로 볼 수 있다. 한편 주물의 유동성과 경도에 영향을 주는 Pb함량의 경우 동시대 주조유물과 유의미한 차이를 보이지 않았으며, 이는 일반적으로 주조를 하기 위한 Pb의 비율 외에 추가

적인 변화를 주지는 않은 것으로 판단된다. 조선중기 승자총통과의 비교에서는 화학조성상의 유의미한 차이점이 발견되지 않았다. 이는 외부 총열이 길어지고 탄환을 병용하는 총으로 발전하는 과정에서 총통의 재료적 변화는 없었다는 것을 보여준다.

구조분석 결과의 경우 『국조오례의』에 기록된 격목부의 내부구조가 실제 유물에서 나타나지 않는다는 발견을 하였다. 『국조오례의』에는 격목부 부분에서 격목을 고정하기 위한별도 구조가 있는 것으로 기록되었으나, 이번 내부구조분석을 통해 조선초기 총통에서 격목형 내부구조는 문헌상에 등장하지만 실제 제작과정에서는 적용되지 않은 것으로 확인되었다. 이러한 차이가 발생한 원인은 제작과정과 활용과정에서의 편의를 위한 것으로 추정된다. 제작과정에서는 코어를 만들고 분리해내는 과정에서의 편리함을 주었을 것이고, 활용과정에서는 격목의 크기오차를 어느 정도 상쇄해주는 효과를 주었을 것으로 추정된다. 또한 구조분석을 실시한 10점의 총통 모두 형틀받침쇠를 사용한 흔적이 나타나지 않았다. 이로 인해 7점의 총통에서 총열내외부가 평행하지 않아 기벽의 두께가 일정하지 않은 것이 확인되었다. 일정하지 않은 기벽두께는 사격과정에서 사용자가 의도한 방향과 발사체가 날아가는 방향이 일치하지 않는 결과를 초래하며, 내부 화약폭발과정에서 상대적으로 취약한 부분을 만든다. 이러한 결함을 통해 당시 화약무기 제작기술상의 한계를 확인할 수 있었다.

I. 서론

총통이란 고려 말부터 조선시대에 걸쳐 사용된 화약무기를 이르는 단어로서, 청동 혹은 철로 제작하며, 기능에 따라 손잡이를 쏘기 위한 병부(柄部)와 화약이 들어가는 약실부(약통부, 藥筒部), 화약과 발사체를 분리하고 힘을 전달하는 격목을 넣는 격목부(激木部), 총신(銃身)의 역할을 하는 부리부로 구성되어 있다<그림 1>¹⁾.



<그림 1> 조선초기 총통의 일반적 형태 - 출처: 동아시아 7년전쟁 임진왜란

우리나라의 총통은 유통식(有筒式)·지화식(指火式) 화기이다. 유통식이란 원통형 구조로 내부의 화약폭발을 통해 발사체를 날리는 구조를 말하며, 화약과 발사체를 총구를 통해 장입(裝入)하는 구조이다. 지화식이란 화약의 점화 방식의 일종으로 심지에 손으로 불씨를 붙이는 방법을 말한다. 지화식 화약무기는 가장 원시적인 형태의 화약무기로 이후 화승식(火繩式) 화약무기를 거쳐 수석식(燧石式) 화약무기로 발전하게 된다.

현재까지의 화약무기에 관한 연구는 군사전문가들의 문헌기록상의 화약무기 변천과정과 무기사적 의의, 조선 화약무기의 우수성을 증명하기 위한 연구가 주를 이루고 있다. 과학적 분석사례 또한 승자총통 등 조선중기유물에 한정되어있다. 따라서 현재까지의 연구자료 만으로는 우리나라의 화약무기의 전반에 걸친 기술체계에 대해서 파악하는 것은 어려운 실정이다.

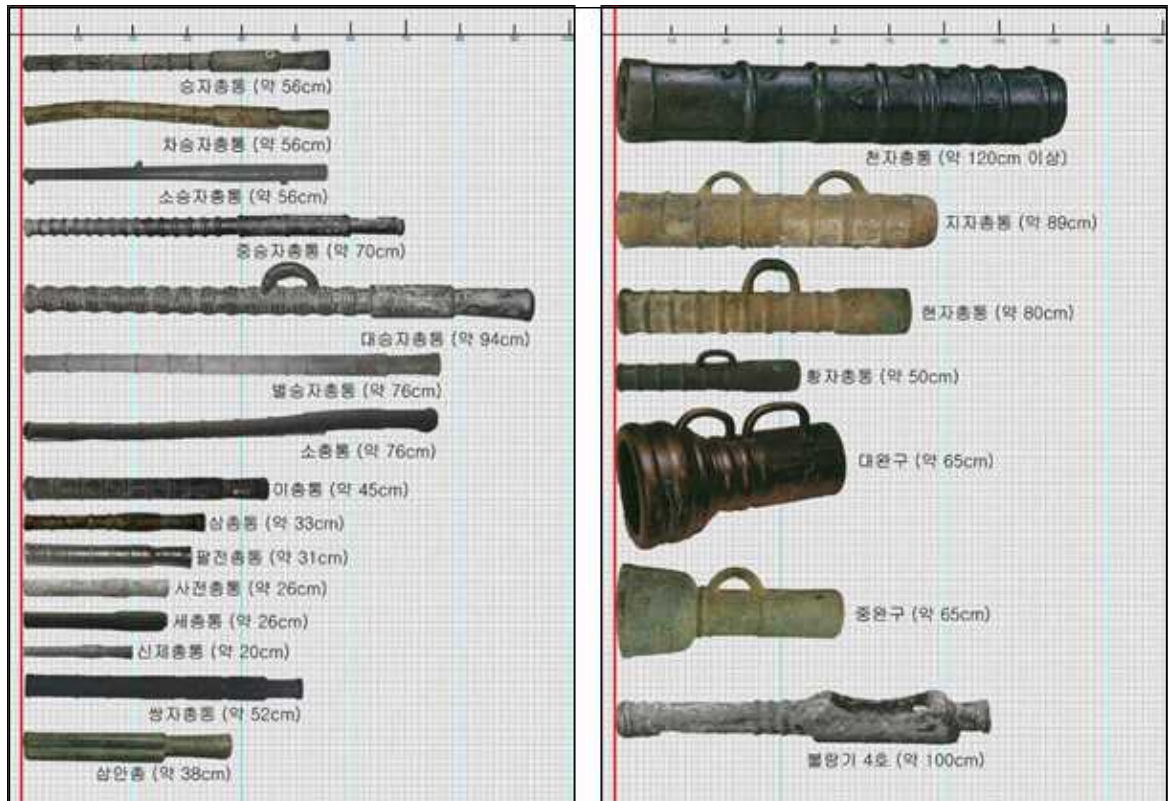
본 연구에서는 선행연구사례에서 다루지 않은 조선초기에 제작된 총통(銃筒) 63점(사

1) 국립진주박물관 (2019). 동아시아 7년전쟁 임진왜란. 진주:국립진주박물관, p.123.

전총통·四箭銃筒 3점, 팔전총통·八箭銃筒 2점, 삼총통·三銃筒 58점)에 대한 화학조성 분석과 구조분석을 실시하였다. 화학조성 분석결과를 기존에 발표된 동시대 주물제품의 분석사례와 조선중기 승자총통의 분석사례와 비교하여 조선초기 총통의 특성을 알아보고자 하며, 구조분석 결과를 통해 조선초기 총통의 제작기술상의 특징을 파악하고 『국조오례의』에 기록된 내용과 비교하였다.

이를 통해 화약무기의 일반적 특징과 조선초기 총통만의 경향성을 파악하여 화약무기의 변천에 따른 변화를 유추하고자 한다. 나아가 본 연구를 통해 화약무기에 대한 조사방법론을 정립하여 조선시대 화약무기 기술체계에 대한 전반적 이해에 도움이 되고자 한다.

기존에 총통을 분류하는 방법은 소형화기와 대형화기의 구분으로 구분하는 것이었다 <그림 2>. 이러한 기존의 분류방식대로 소형화기와 대형화기를 구분하여 크기를 비교한 것이다. 그림에서 보는바와 같이 이러한 분류는 소형과 대형에 대한 크기의 기준이 모호하며, 소형화기에 속하는 별승자총통 등 일부가 대형화기에 속하는 완구류 혹은 황자총통보다 길기 때문에 분류에 혼돈을 야기할 수 있다고 판단하였다. 이러한 연유로 본 연구에서는 화약무기의 분류를 현대적인 무기 구분에 따라 개인화기와 공용화기로 구분하고자 한다. 실전하는 유물 중 천자총통·지자총통·현자총통·황자총통 등은 동차와 같은 이동장치를 이용하며, 개인이 조작하기 어려운 형태와 무게이기 때문에 공용화기로 구분하였다. 반면 승자총통과 기타 승자계총통·사전총통·팔전총통·삼총통 등은 병부가 있어 현대의 소총과 같이 개인이 들고 운용할 수 있는 형태이기 때문에 개인화기로 분류하였다. 본 연구에서는 개인화기로 분류한 유물에 대한 기초조사를 진행하므로, 고려 말부터 임진왜란 시기까지의 개인화기를 총칭하는 단어로서 ‘총통’을 사용하고자 한다.



<그림 2> 소형 · 대형화기 분류법에 따른 총통의 크기비교

1. 연구배경

문헌상으로 확인되는 최초의 총통에 대한 기록은 『고려사』에서 찾을 수 있다. 1356년(공민왕 5) 9월 '승문관에 모여 서북면 방어무기를 검열하고 총통을 쏘았다.'고 최초로 언급²⁾되며, 1377년(우왕 3) 10월 '처음으로 화통도감(火筒都監)을 설치했다.'는 기록³⁾이 나온다. 『조선왕조실록』에 기록된 최무선의 졸기(卒記)⁴⁾에는 '최무선이 이원이라는 중국인으로 부터 염초(KNO₃)의 제조기술을 취득한 뒤 화약의 자체제조에 성공하였고, 이후 조정에 건의하여 화약국(火藥局)을 설치하고 화약과 화약무기의 제조 업무를 주관했

2) 『高麗史』 卷 81. “九月 宰樞會崇文館, 閱西北面防禦兵仗. 放銃筒于南岡, 箭及順天寺南, 墜地沒羽.”.

3) 『高麗史』 卷 81. “十月 始置火桶都監.”.

4) 『太祖實錄』 卷 7. 太祖 4年 4月 19日 壬午. “檢校參贊門下府事崔茂宣卒...후략”.

다.’ 라고 기록되어 있다. 이러한 기록을 토대로 최무선이 화약을 도입한 고려말 시기부터 총통을 자체 제작한 것으로 추정 가능성이 가능하다.

조선이 건국된 후에는 1415년(태종 15) ‘군기감의 화포가 1만자루 가량’이라는 기록⁵⁾이 있으며, 1417년(태종 17) 화약감조청을 세운다. 1448(세종 30)년에는 『총통등록』⁶⁾을 편찬하여 화기 제조의 표준을 만들었으며, 1474년(성종 5)편찬된 『국조오례의』에는 당시 화약무기의 형태와 제원이 기록되어 있다. 현재 『총통등록』의 전본(傳本)이 남아있지 않은 상태에서 조선초기 화약무기의 형태를 확인 할 수 있는 기록물로서의 가치가 있다. 1635년(인조 13) 이서가 쓴 화포식의 한글 번역본인 『화포식언해』에는 조선중기에 사용된 화약무기들의 종류와 장약법 등이 수록되어 있으며 1813년(순조 13)간행된 『용원필비』에는 화약무기의 규격, 사정거리, 화약 사용량 등의 제원과 화약무기의 사용법이 기록되어 있다. <표 1>에서 보듯 승자계총통은 『화포식언해』에서 처음 등장했다가 『용원필비』에는 등장하지 않는다. 또한 『용원필비』에는 조총이 기록되어 있고, 모든 소형의 총통이 수록되어 있지 않다. 이를 통해 임진왜란을 전후하여 승자계총통이 등장했고 그 후 조총이 유입되며 개인화기로서의 총통의 쓰임은 사라져 갔음을 알 수 있다. 1867년(고종 4)년에 편찬된 『훈국신조기계도설』에는 조선후기 화약무기를 만드는 금형틀에 대한 그림과 사용법이 기록되어 있어, 당시대 화약무기 제작방법을 추정할 수 있도록 해준다.

<표 1> 문헌에 기록된 총통의 종류

『세종실록』 (1448)	『국조오례의』 (1474)	『화포식언해』 (1635)	『용원필비』 (1813)
지자화포 · 현자화포 · 황자포 · 사전화포 · 세화포 · 이총통 · 삼총통 · 팔전총통 · 사전총통 · 세총통	총통완구 · 일총통 · 이총통 · 삼총통 · 팔전총통 · 사전총통 · 사전장총통 · 세총통 · 신제총통	천자총통 · 지자총통 · 현자총통 · 황자총통 · 별황자총통 · 승자총통 · 차승자총통 · 소승자총통 · 우자총통 · 주자총통 · 홍자총통 · 황자총통 · 일자총통 · 월자총통 · 영자총통 · 측자총통	천자총통 · 지자총통 · 현자총통 · 황자총통

5) 『太宗實錄』 卷 30. 太宗 15年 7月 16日 辛亥. “軍器監火燭雖已至萬餘柄”.

6) 『世宗實錄』 卷 121. 世宗 30年 9月 13日 丙申. “賜《銃筒謄錄》于諸道節制使處置使, 諭曰...후략”.

2. 선행연구고찰

개인화기에 대한 연구사례는 허선도가 1969년 「한국화기발달사」⁷⁾를 발표한 것을 시작으로 한다. 이 연구는 화약무기와 화약에 전체 분야에 대한 최초의 연구사례로 조선시대 화기의 변천과정을 중점적으로 다루었다. 채연석은 1981년 「한국초기 화기연구」⁸⁾와 1995년 「화약병기의 위력」⁹⁾을 발표하였다. 그는 해당연구에서 『신기비결』·『화포식언해』 등에 기록된 화약무기와 화약의 제원을 바탕으로 복원실험을 진행하였다. 하지만 화약무기의 재료성분을 고려하지 않고 형태를 구현하는데 그쳤으며, 화약의 재료순도를 고려하지 않고 실험에 임하였다는 한계점이 있다. 이강칠¹⁰⁾·박석황¹¹⁾·박제광¹²⁾·이내주¹³⁾ 등의 연구자들은 고려부터 조선시대의 기록을 중심으로 화약무기의 통사적 정리를 하였으며 이를 바탕으로 1994년 국방군사연구소에서 『한국무기발달사』를 출간하였다.

화약무기에 대한 과학적 연구사례로는 1994년 강대일 등이 발표한 「여천 해저 인양 총통의 과학적 연구」¹⁴⁾에서 지자총통등 11건에 대한 유도결합플라즈마분광분석(ICP)을 실시한 것이 최초의 사례이다. 1996년 국보 제274호로 지정된 귀함별황자총통의 진위감별건으로 국내 지정문화재 화약무기류의 화학조성분석이 있었던 것으로 확인되며, 이후 1999년 정광용 등이 발표한 「용인 임진산성 출토 철제유물의 금속학적 관찰」¹⁵⁾에서 탄환 1점에 대한 조직분석이 있었다. 이재성의 2005년 발표한 「승자총통에 대한 과학적 연구」¹⁶⁾와 2011년 「군기시터 유적 출토 금속 화기류 제작기술 분석」¹⁷⁾에서는 승자총통 등 18건에 대한 화학조성분석과 조직분석(SEM-EDS)을 실시하였으며, 곽홍인 등이

7) 허선도 (1969). 한국화기발달사. 서울: 육군사관학교 군사박물관.

8) 채연석 (1981). 한국초기 화기연구. 서울: 일지사.

9) 채연석 (1995). 화약병기의 위력. 한국사시민강좌, 16, p. 44-61.

10) 이강칠 (2004). 한국의화포; 지화식에서 화승식으로. 서울: 동재.

11) 박석황 (1995). 임진왜란기 조선군의 화약병기에 대한 일고찰, 서울: 국방과학연구소.

12) 박제광 (2009). 화염조선; 전통비밀병기의 과학적 재발견, 서울: 글항아리.

13) 이내주 (2013). 한국무기의 역사, 서울: 살림.

14) 강대일, 김선덕, 황진주, 안희균, 임선기 (1994). 여천 해저 인양 총통의 과학적 연구. 문화재, 15, p. 33-51.

15) 정광용, 최광진, 박장식, 백종오, 김웅신 (1999). 용인 임진산성 출토 철제유물의 금속학적 관찰. 용인 임진산성 긴급발굴조사보고서, p. 333-348.

16) 이재성, 전익환, 이영은, 백지혜, 박지선 (2005). 승자총통에 대한 과학적 연구. 육군박물관 학예지, 12, p. 141-170

17) 이재성, 백승희 (2011). 군기시터 유적 출토 금속 화기류 제작기술 분석. 서울 군기시터 유적 발굴조사 보고서, p. 443-462

2006년 발표한 「창녕 화왕산성 출토 비격진천뢰의 보존」¹⁸⁾에서는 CT촬영을 통해 유물의 내부구조를 확인하였으며, 이는 현재까지 화약무기류에 대해 내부구조 관찰을 실시한 유일한 사례이다. 오일환 등이 2016년 발표한 「경희대학교 중앙박물관 소장 승자총통의 과학적 연구」¹⁹⁾에서는 승자총통 3건의 화학조성분석이 실시되었다.

18) 곽홍인, 황정순, 유혜선, 정광용 (2006). 창녕 화왕산성 출토 비격진천뢰의 보존, 박물관 보존과학, 7, pp. 25-31.

19) 오일환, 정연중, 조남철, 강형태 (2016). 경희대학교 중앙박물관 소장 승자총통의 과학적 연구. 보존과학회지, 32(1), pp. 11-19.

<표 2> 화약무기에 대한 과학적 연구사례

화기류 문화재 성분 및 미세조직 분석 사례

연번	유물명	분석방법	미세조직	내부구조	제목	저자	발행년도
1	지자총통	ICP	O		여천해저인양총통의 과학적 연구	강대일 외	1994
2	현자총통	ICP	O				
3	승자총통	ICP	O				
4	별승자총통	ICP	O				
5	별승자총통	ICP	O				
6	별승자총통	ICP	O				
7	별승자총통	ICP	O				
8	별승자총통	ICP	O				
9	탄환	ICP	O				
10	탄환	ICP	O				
11	탄환	ICP	O				
12	탄환		O		용인 임진산성 출토 철제유물의 금속학적 관찰	정광용 외	1999
13	철제총통	ICP, C/S	O		경남 하동군 발견 철제무구류의 금속조직 조사 및 성분분석	유재은 외	2000
14	철제총통	ICP, C/S	O				
15	승자총통	SEM-EDS, ICP	O		승자총통에 대한 과학적 연구	이재성	2005
16	승자총통	SEM-EDS, ICP	O				
17	승자총통	SEM-EDS, ICP	O				
18	탄환	SEM-EDS, ICP	O				
19	비격진천뢰	SEM-EDS, CT	O	O	창녕 화왕산성 출토 비격진천뢰의 보존	곽홍인 외	2006
20	승자총통	SEM-EDS	O		군기시터 유적 출토 금속 화기류 제작기술 분석	이재성 외	2011
21	승자총통	SEM-EDS	O				
22	승자총통	SEM-EDS	O				
23	승자총통	SEM-EDS	O				
24	승자총통	SEM-EDS	O				
25	승자총통	SEM-EDS	O				
26	승자총통	SEM-EDS	O				
27	승자총통	SEM-EDS	O				
28	승자총통	SEM-EDS	O				
29	승자총통	SEM-EDS	O				
30	철제총통	SEM-EDS	O				
31	불랑기자포	SEM-EDS	O				
32	불랑기자포	SEM-EDS	O				
33	탄환	SEM-EDS	O				
34	승자총통	SEM, TIMS	O		경희대학교 중앙박물관 소장 승자총통의 과학적 연구	오일환 외	2016
35	승자총통	SEM, TIMS	O				
36	승자총통	SEM, TIMS	O				

※ ICP(Inductively Coupled Plasma, 유도결합플라즈마 발광 분광 분석), SEM-EDS(Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectrometer, 주사전자현미경-에너지분산형분광분석), TIMS(Thermal Ionization Mass Spectrometer, 열이온화질량분석), CT(Computed Tomography, 컴퓨터단층촬영), C/S(Carbon/Sulfur Determinator, 탄소/황 분석)

상술한 바와 같이 현재까지의 연구현황은 문헌자료를 기초로 한 군사전문가들의 문헌 기록상의 화약무기 변천과정과 무기사적 의의, 조선 화약무기의 우수성을 증명하기 위한

연구가 주를 이루고 있다. 과학적 분석사례는 <표 2>의 요약과 같이 36점이 있으며, 유도결합플라즈마분광분석과 조직분석이 주를 이루고 있다. 하지만 과학적 분석사례 역시 분석 대상물이 발사체와 승자총통류에 한정되어 있어 선행연구를 기반으로 조선시대 화약무기 전반에 걸친 기술체계를 이해하는 것에는 한계가 있는 실정이다.

3. 연구목적

앞서 말한 선행연구사례의 적은 분석 수량과 분석 대상의 시기가 한정적이라는 한계를 보완하기 위해 본 연구에서는 조선초기에 제작된 총통 63점 (사전총통 3점, 팔전총통 2점, 삼총통 58점)에 대한 화학조성 분석과 구조분석을 실시하였다. 조선초기 총통의 화학조성을 확인하고 이를 동시기에 제작된 일반 청동주조유물과의 비교해 총통이 갖는 화학조성 상의 특징이 있는지 확인하고자 하였다. 또한 선행연구에서 분석한 조선중기 승자총통과의 화학조성 분석을 통해 조선초기 총통만의 화학조성 특징이 있는지 알아보 고자 하였다. 구조분석은 그동안 확인되지 않은 총통의 내부구조를 확인하기 위해 실시 하였다. 내부구조의 확인은 기공의 양과 분포방향, 내부의 형태 등을 통해 조선초기 총 통의 제작기법상 특징을 유추할 수 있게 할 것으로 기대되며, 『국조오례의』에 기록된 조선초기 총통의 제원과의 비교를 통해 외관으로 확인 할 수 없었던 조선초기 총통만의 제작기술상 특징을 확인할 수 있을 것으로 예상된다.

본 연구를 통해 조선초기 총통의 화학조성 특징과 제작기법을 확인하여, 조선초기 총 통의 일반적인 특성을 정립할 수 있을 것으로 판단된다. 나아가 향후 고려 후기 총통부 터 승자총통 이후 개량된 소승자총통 등의 승자계총통까지 추가적인 연구를 함에 있어 이번 연구과정에서 사용한 조사연구 방법을 동일 적용할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 총통의 발전단계별 연구와 추후 새로 발견될 화약무기에 대한 연구에 있어 기초자료로 활용이 가능하여, 화약무기 전반의 화학조성과 내부구조와 같은 기술체계를 이해하는데 이바지하고자 한다. 또한 본 연구를 통해 축적된 데이터는 앞으로 신발견될 화약무기를 조사연구하기 위한 비교자료와 진위여부를 감별하는 데에도 활용이 가능할 것으로 예상 된다.

II. 연구대상

총통은 시대의 흐름에 따라 형태가 변화하며 네 개의 그룹으로 분류가 가능하다 <표 3>. 우선 홍무10년(1377)이라는 명문이 새겨져 있어 고려 말 제작된 것으로 추정되는 총통을 포함해 그 유물과 형태적 특징이 유사한 것 들이 있다. 이 추정 고려 말 총통류의 특징은 약실의 형태가 원형·타원형이며 죽절이 없다. 『조선왕조실록』 최무선의 졸기(卒記)²⁰⁾에 이장군포·삼장군포·화포·신포·화통 등의 이름이 등장한다.

『국조오례의』에 기록된 조선초기의 총통은 총신에 대나무 마디 모양의 죽절(竹節)이 관찰되며 약실외형이 일자형으로 바뀐다. 『국조오례의』에 기록된 이름 중, 이총통·삼총통·팔전총통·사전총통·세총통 등의 경우 17세기에 발간된 『화포식언해』에는 등장하지 않아 이 시기에만 사용한 것으로 추측이 가능하다.

임진왜란시기 주로 사용된 승자총통은 『화포식언해』에 제원이 남아있다. 승자총통은 기존의 개인화약무기보다 화살을 좀 더 멀리 보내기 위해 약실이 커지고 총신이 길어(약 56cm) 졌으며, 다량의 탄환(철환 15개)이 사용되기도 하였다.

소승자총통은 기존의 총통과 형태가 뚜렷하게 차이가 난다. 죽절이 없어지고 하부에 나무를 고정 시키기 위한 고리(목가, 木架)가 나타난다. 또한 가늠자와 가늠쇠가 나타나며 총구가 좁아진다. 이러한 형태의 변화는 화약무기 발달사에 있어 매우 중요한 변화로서, 이전까지의 총통은 병부에 끼운 나무를 겨드랑이 위치에 두고 다량의 화살이나 탄환을 지향사격을 하는 수준이었던 반면 소승자총통부터는 눈 옆에 총통을 붙이고 단발을 조준사격을 하는 것이 가능해진 것이다. 승자총통과 소승자총통의 형태 사이에는 별승자총통·소소승자총통과 같이 총신만 얇아진 것·가늠쇠만 있는 것·죽절이 없는 것·가늠자와 가늠쇠는 있지만 병부에 나무를 고정하는 것 등 여러 형태가 나타난다. 이는 조준사격을 위한 발전과정에서 다양한 시도가 있었음을 보여준다.

20) 『太祖實錄』卷 7. 太祖 4年 4月 19日 壬午. “檢校參贊門下府事崔茂宣卒...후략”.

<표 3> 시대별 총통의 형태 변화 - 사진출처: 국립진주박물관

고려말기 총통	조선초기 총통	승자총통	승자계총통
 국립청주박물관소장 총통	 국립진주박물관소장 사전총통	 국립중앙박물관소장 승자총통	 국립중앙박물관소장 소승자총통

현전하는 총통 유물은 대체로 종류가 명시된 명문이 존재하며 이를 통해 종류를 명확히 알 수 있는 총통 중에 대상을 선정하였다. 그 중 상기한 분류체계 내 조선초기에 해당하는 사전총통과 팔전총통, 삼총통을 대상으로 삼아 조사분석을 실시하였다. 조선초기 총통을 조사대상으로 선정한 이유는, 현재 확인된 유물 중 수량이 가장 많아 조사 분석 후 일정한 화학조성의 경향성을 파악하기가 용이하다고 판단하였다. 또한 컴퓨터단층촬영의 경우, 선행 분석사례가 부족하여, 분석과정상의 안전성 확보를 위해 상대적으로 작은 크기의 유물을 조사하였다. 본 연구는 고려 말부터 사용된 화약무기 전체의 조사연구

를 위한 시작점으로, 향후 연구 예정인 다른 시기의 화약무기 연구에서 동일하게 적용이 가능한 연구방법론을 확립하고자 하였다.

대상유물로 선정한 총통은 사전총통 · 팔전총통 · 삼총통 3종이다. 이들은 공통적으로 1474년 간행된 『국조오례의』에는 등장하지만, 1635년 『화포식언해』에는 등장하지 않는다. 따라서 위 총통들은 최소 17세기에는 사용되지 않은 조선 전기형 총통으로 분류가 가능하다.

본 연구에서는 조선초기에 제작된 것으로 추정되는 총통 3종 6건 63점(사전총통 3점, 팔전총통 2점, 삼총통 58점)에 대한 에너지분산형X선형광분석과 3종 6건 10점(사전총통 2점, 팔전총통 2점, 삼총통 6점)에 대한 컴퓨터단층촬영을 실시하였다. 대상유물의 목록은 <표 4>로 제시하였다. 화약무기의 경우 1992년 국보 제 274호로 지정되었다 모조품인 것이 밝혀져 1996년에 지정 해제된 귀함별황자총통의 경우와 같이 모조품의 제작이 많은 것으로 알려져 있다. 때문에 연구대상의 발견지와 입수경위를 함께 기록하여, 입수경위가 같은 품목이 일반적이지 않은 화학조성 또는 구조를 갖는지 여부를 함께 확인하고자 하였다.

<표 4> 연구 대상 유물 목록

연구 대상 유물 목록					
연번	명칭	재료성분분석	컴퓨터단층촬영	발견지	시기
1	사전총통	○	○	경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
2	사전총통	○	○	경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
3	사전총통	○		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
4	팔전총통	○	○	경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
5	팔전총통	○	○	경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
6	삼총통	○	○	경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
7	삼총통	○		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
8	삼총통	○		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
9	삼총통	○		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
10	삼총통	○		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
11	삼총통	○		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
12	삼총통	○		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
13	삼총통	○		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
14	삼총통	○		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
15	삼총통	○		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
16	삼총통	○		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
17	삼총통	○		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
18	삼총통	○		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
19	삼총통	○		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
20	삼총통	○		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
21	삼총통	○		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초

연구 대상 유물 목록					
연번	명칭	화학조성분석	컴퓨터단층촬영	발견지	시기
22	삼총통	O		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
23	삼총통	O		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
24	삼총통	O		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
25	삼총통	O		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
26	삼총통	O		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
27	삼총통	O		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
28	삼총통	O		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
29	삼총통	O		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
30	삼총통	O		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
31	삼총통	O		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
32	삼총통	O		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
33	삼총통	O		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
34	삼총통	O		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
35	삼총통	O		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
36	삼총통	O		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
37	삼총통	O		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
38	삼총통	O		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
39	삼총통	O		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
40	삼총통	O		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
41	삼총통	O		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
42	삼총통	O		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
43	삼총통	O		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초

연구 대상 유물 목록					
연번	명칭	화학조성분석	컴퓨터단층촬영	발견지	시기
44	삼충통	○		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
45	삼충통	○		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
46	삼충통	○		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
47	삼충통	○		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
48	삼충통	○		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
49	삼충통	○		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
50	삼충통	○		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
51	삼충통	○		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
52	삼충통	○		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
53	삼충통	○		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
54	삼충통	○		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
55	삼충통	○		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
56	삼충통	○	○	경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
57	삼충통	○		경상남도 하동군 고전면 고하리 574번지	조선초
58	삼충통	○	○	경상남도 창원시 진전면 이명리 現 경상남도 창원시 마산합포구 진전면 이명리	조선초
59	삼충통	○	○	경상남도 창원시 진전면 이명리 現 경상남도 창원시 마산합포구 진전면 이명리	조선초
60	삼충통	○		경상남도 창원시 진전면 이명리 現 경상남도 창원시 마산합포구 진전면 이명리	조선초
61	삼충통	○		경상남도 창원시 진전면 이명리 現 경상남도 창원시 마산합포구 진전면 이명리	조선초
62	삼충통	○	○	(정부 직할)부산시 동래군 기장면 서부리 現 부산광역시 기장읍 기장면 서부리	조선초
63	삼충통	○	○	전라남도 여천시 중흥동 중흥부두 앞 해상 現 전라남도 여수시 중흥동 중흥부두 앞 해상	조선초

1. 사전총통

사전총통은 『국조오례의』의 기록되어 있는 총통 종류 중 하나로, 화약폭발의 추진력을 이용해 화살을 4발 날리도록 고안된 무기이다. 총 3점을 분석대상으로 선정하였으며, 모두 경상남도 하동군 고전면 고하리에서 발견되었다. 이 장소는 경상남도 하동군 하동읍성이 있는 장소로, 1986년 4월 하동읍성 내에 거주중인 김종균씨가 대나무밭을 개간하기 위해 정지작업을 하던 중 발견되었다²¹⁾. 이후 1987년 국립문화재연구소에서 보존처리를 실시했으며 2012년 국립진주박물관 전시를 통해 대중에 처음 공개된 유물이다. 병부에 사전총통이라고 양각되어 있어 총의 종류를 알 수 있으며, 음각으로 사천(沙川)이라는 지명이 새겨져 있다.



<사진 1> 연구대상유물 1-사전총통 - 출처: 국립진주박물관

연구대상유물 사전총통은 보존처리 과정에서 강화처리를 하여 표면이 코팅되어 있다 <사진 1>. Tenorite(흑동광, CuO)로 추정되는 검정색 부식물로 덮여있으며 일부 Malachite(공작석, $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$)로 보이는 녹색 부식물이 관찰된다. 2-사전총통의 경우 양각된 명문 주변으로 부식되지 않은 표면이 관찰된다. 3점 모두 화학조성분석을 실시했

21) 경상문화재연구원. (2016). 하동읍성 복원종합계획에 따른 3차 학술발굴조사, p.24

으며, 1, 2-사전총통 두 점은 컴퓨터단층촬영을 실시하였다.

2. 팔전총통

팔전총통은 사전총통과 마찬가지로 화살다발을 날리도록 고안된 총통이며, 『국조오례의』에만 그 이름과 제원이 등장한다. 본 연구에서 다룬 팔전총통은 총 2점이며 앞서 소개한 사전총통과 입수경위가 같은 유물이다. 팔전총통의 표면은 <사진 2>에서 보는 바와 같이 Tenorite(흑동광, CuO)로 추정되는 검정색 부식물과 Cuprite(적동석, Cu_2O)로 보이는 적갈색부식물, 녹색의 Malachite(공작석, $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$)부식물이 섞여 관찰된다. 1987년 국립문화재연구소에서 보존처리를 실시했으며 강화제 코팅이 되어있다. 화학조성 분석과 컴퓨터단층촬영을 진행했다. 병부에 팔전총통이라고 양각되어 있으며, 사전총통과 마찬가지로 사천 지명이 음각되어 있다.



<사진 2> 연구대상유물 4-팔전총통 - 출처: 국립진주박물관

3. 삼충통

삼충통은 앞서 소개한 사전충통 · 팔전충통과는 달리 일충통·이충통과 이어지는 크기 순으로 나눈 충통 종류의 세 번째 이다. 『국조오례의』의 기록에 의하면 사전충통·팔전충통과 같이 화살을 날리는 충통이며 상대적으로 충신의 폭이 좁고 길이가 30cm가량으로 더 길다. 본 연구에서는 총 58점의 삼충통을 분석하였으며 이들은 입수경위에 따라 크게 네 분류가 가능하다.

6-삼충통 부터 57-삼충통 까지 52점은 사전충통·팔전충통과 같이 하동읍성지에서 발견된 유물이다. 58-삼충통 부터 61-삼충통 4점은 경상남도 창원시 진전면 이명리(현 경상남도 창원시 마산합포구 진전면 이명리)에서 발견된 것으로 알려져 있으며, 1969년 신고하여 국립경주박물관에서 관리하고 있었다. 62-삼충통의 경우 1972년 부산직할시 동래군 기장면 서부리(현 부산광역시 기장읍 기장면 서부리)에서 23점이 발굴되었다고 전해진다. 하지만 당시 발굴기록 등이 전하지 않아 발견품으로 보는 것이 타당한 것으로 추정된다. 마지막으로 63-삼충통의 경우 해저에서 인양된 충통이다. 전라남도 여천시(현 여수시) 중흥동 중흥부두 앞 해상 1km지점에서 발견되었다.



<사진 3> 연구대상유물 6-삼충통 - 출처: 국립진주박물관

표면이 코팅처리 되어 있으며 이는 사전충통·팔전충통과 함께 1987년 국립문화재연구소에서 보존처리를 하면서 표면강화를 한 흔적이다. 표면은 대체로 Tenorite(흑동광,

CuO) 또는 Malachite(공작석, $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$), Cuprite(적동석, Cu_2O)로 추정되는 부식물로 덮여있어 검붉거나 녹색을 띤다. 병부에 삼충통이라고 양각되어 있어 유물의 분류가 가능했으며, 일부 점열문이 관찰된다. 6-삼충통과 56-삼충통은 컴퓨터단층촬영을 하여 내부구조를 확인했으며, 52점은 화학조성분석을 진행했다.



<사진 4> 연구대상유물 58-삼충통 - 출처: 국립진주박물관

경상남도 창원시 마산합포구 진전면 이명리에서 발견된 것으로 알려진 연구대상 7, 8, 9, 10-삼충통<사진 4>의 경우 하동읍성에서 발견된 충통류와 달리 보존처리가 진행되지 않은 상태이다. Malachite(공작석, $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$)로 추정되는 부식물층 위로 토양이 묻혀 고착되어 있다. 충통의 크기제원과 병부 양각의 흔적을 통해 삼충통인 것을 확인하였다. 4점은 화학조성분석을 실시했으며 58, 59-삼충통은 내부구조분석을 실시하였다.



<사진 5> 연구대상유물 62-삼충통 - 출처: 국립진주박물관

연구대상유물 62-삼충통<사진 5>는 발굴품으로 추정되는 유물이다. 표면은 청색의 부식물로 뒤덮여 있으며 병부에 ‘삼충통’이라는 명문이 있다. 화학조성분석과 내부구조분석을 진행하였다.

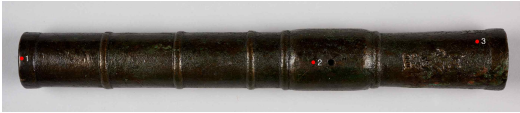


<사진 6> 연구대상유물 63-삼충통 - 출처: 국립진주박물관

63-삼충통<사진 6>의 경우 유일하게 해저에서 인양된 삼충통이다. 병부에 ‘삼충통’이라고 양각되어 있으며 특이하게 총신에 선각으로 명문이 남아있다. 표면은 적갈색 부식물로 덮여있으며 비교적 부식상태가 양호하다. 내부구조분석과 화학조성분석을 하였다.

본 연구에서 분석한 연구대상유물의 형태와 특징을 알 수 있도록 사진을 제시하였다 <표 5>. 각각의 연구대상유물에 화학조성분석일 실시한 위치를 표시하여 해당 데이터가 제시하는 화학조성이 어느 위치를 통해 획득한 정보인지 알 수 있도록 하였다.

<표 5> 연구대상유물의 형태 및 화학조성 분석위치 - 사진출처: 국립진주박물관

	
연구대상유물 1-사전총통	연구대상유물 2-사전총통
	
연구대상유물 3-사전총통	연구대상유물 4-팔전총통
	
연구대상유물 5-팔전총통	연구대상유물 6-삼총통
	
연구대상유물 7-삼총통	연구대상유물 8-삼총통
	
연구대상유물 9-삼총통	연구대상유물 10-삼총통
	
연구대상유물 11-삼총통	연구대상유물 12-삼총통
	
연구대상유물 13-삼총통	연구대상유물 14-삼총통
	
연구대상유물 15-삼총통	연구대상유물 16-삼총통

	
연구대상유물 17-삼총통	연구대상유물 18-삼총통
	
연구대상유물 19-삼총통	연구대상유물 20-삼총통
	
연구대상유물 21-삼총통	연구대상유물 22-삼총통
	
연구대상유물 23-삼총통	연구대상유물 24-삼총통
	
연구대상유물 25-삼총통	연구대상유물 26-삼총통
	
연구대상유물 27-삼총통	연구대상유물 28-삼총통
	
연구대상유물 29-삼총통	연구대상유물 30-삼총통
	
연구대상유물 31-삼총통	연구대상유물 32-삼총통

	
연구대상유물 33-삼총통	연구대상유물 34-삼총통
	
연구대상유물 35-삼총통	연구대상유물 36-삼총통
	
연구대상유물 37-삼총통	연구대상유물 38-삼총통
	
연구대상유물 39-삼총통	연구대상유물 40-삼총통
	
연구대상유물 41-삼총통	연구대상유물 42-삼총통
	
연구대상유물 43-삼총통	연구대상유물 44-삼총통
	
연구대상유물 45-삼총통	연구대상유물 46-삼총통
	
연구대상유물 47-삼총통	연구대상유물 48-삼총통

	
연구대상유물 49-삼총통	연구대상유물 50-삼총통
	
연구대상유물 51-삼총통	연구대상유물 52-삼총통
	
연구대상유물 53-삼총통	연구대상유물 54-삼총통
	
연구대상유물 55-삼총통	연구대상유물 56-삼총통
	
연구대상유물 57-삼총통	연구대상유물 58-삼총통
	
연구대상유물 59-삼총통	연구대상유물 60-삼총통
	
연구대상유물 61-삼총통	연구대상유물 62-삼총통
	
연구대상유물 63-삼총통	

Ⅲ. 연구방법

1. 에너지분산형X선형광분석(Energy Dispersive X-ray fluorescence, ED-XRF)

대상물의 시료를 채취할 수 없었으므로 비파괴로 표면에 X선을 조사하여 화학조성을 확인할 수 있는 에너지분산형X선형광분석법(이하 ED-XRF)을 사용하였다.

X선형광분석이란 시료에 X선을 조사하는 과정에서 발생하는 형광X선을 검출하여 정성·정량을 분석하는 방법이다. 형광X선의 검출방법에 따라 WD(Wavelength Dispersive, 파장분산형)와 ED(Energy Dispersive, 에너지분산형)로 구분되며 본 연구에서 사용한 방법의 경우 시료의 전처리과정이 없어 유물표면에 직접조사가 가능하며, 분석시간이 짧아 유물의 손상을 최소화 할 수 있다는 장점이 있기 때문에 유물의 보호차원에서 해당 분석방법을 선정하였다. 다만 ED-XRF는 선행연구자료에서 선택한 ICP(Inductively Coupled Plasma), TMS(Thermal Ionization Mass Spectrometer)에 비하여 분해능이 떨어지고 성분의 정량분석이 어렵다. 또한 본 연구에 사용한 ED-XRF 장비는 Na이하 원소를 검출해내는 분해능이 없다. XRF는 검출된 데이터를 바탕으로 100%로 환산한 정규화(normalization)를 하기 때문에 해당분석법으로 정확한 성분비를 확인하는 것은 불가능하다.

본 연구에서 선정한 분석대상유물의 경우 표면이 부식층으로 덮여있으며, 그 위로 강화제가 코팅되어 있거나 흙 등의 이물질로 덮여있어 분석이 제한적인 면도 있다. 그럼에도 불구하고 유물에 손상을 야기할 수 있기 때문에 표면코팅을 제거하거나, 부식층을 제거하여 소지금속을 드러내어 분석을 실시하지 않았다. 따라서 분석 포인트 선정과정에서 소지금속이 드러난 부분을 측정하거나 최대한 흙, 부식물 등의 이물질이 적은 지점을 선정하여 각 유물 별로 1-3포인트를 측정하였다. 각 포인트 별로 3회 측정하여 평균값을 산출하여 데이터의 신뢰도를 높이고자 하였다<표 5>.

분석결과는 파괴분석법을 사용한 분석 자료에 비해 Cu의 함량이 낮게 나올 것으로 예상하며 이는 청동부식과정에서 Cu가 상대적으로 빠르게 이탈되기 때문일 것으로 예상된다. 분석방법의 특성상 분석결과를 토대로 미세한 화학조성간의 차이를 논하는 것은 한계가 있을 것으로 보이지만, 특정 금속의 합금 여부와 같은 정성에 대한 판단과 각 분석

대상간의 성분비 특성을 통해 일정한 경향성을 파악 할 수 있을 것으로 판단된다. 분석 대상의 형태, 시대별 화학조성의 경향성이 유의미한 차이를 보인다면, 같은 특성을 갖는 그룹을 만들어 그룹별 분류가 가능할 것으로 예상된다.

본 논문에서는 총통 3종 6건 63점에 대한 화학조성분석을 실시하였다. 앞서 서술하였듯 ED-XRF(Bruker, S1 TITAN)를 사용하였으며, 50keV로 5초간 조사하여 데이터를 획득하였다. 획득한 데이터는 기존의 분석자료 중 고려말 ~ 조선초의 청동제 주조유물과 비교하여<표 6>²²⁾ 화약무기만의 화학조성 특성에 대해 알아보고, 조선중기에 주로 사용된 승자총통 8점에 대한 분석결과와 비교를<표 7>²³⁾ 통해 화약무기의 시대에 따른 화학조성의 변화양상을 관찰하고자 한다. 비교 대상 청동제 주조유물의 경우 비교군의 종류와 수량을 확보하기 위해 고려말 제품을 추가하여 비교하였다. 비교방법은 Cu-Sn-Pb 3원계 그래프를 활용하였다. Cu-Sn-Pb는 Cu순금속, Sn순금속, Pb순금속을 각 꼭지점으로 하는 삼각형 위에 화학조성 분석결과를 매핑하여 비교하는 방법으로, 각 성분의 비율에 따라 삼각형 위에서의 위치가 달라진다. 연구대상군과 비교군을 하나의 도표상에 매핑할 경우 Cu-Sn-Pb 화학조성비율로 인한 경향성을 한 눈에 파악하기 용이하다고 판단하였다<그림 3>²⁴⁾. 본 연구에서 진행하는 분석법을 통해 미량원소에 대한 고찰을 시도하는 것은 무리가 있다고 판단하였기 때문에 동합금의 주요원소의 비율을 통해 경향성을 파악하여 그룹을 만들고 그룹간의 비교를 통해 결론을 얻어내고자 한다.

22) 황진주 (2009). 우리나라 청동문화재의 주성분 조성분포 연구. 박사학위논문. 명지대학교 문화예술대학원.

송혜련 (2009). 달성 본리리 출토 청동합의 금속학적 연구. 석사학위논문. 용인대학교 예술대학원.

노유중 (2012). 충청지역 조선시대 청동제품에 대한 자연과학적 특성 평가. 석사학위논문. 공주대학교 대학원.

김우현 (2008). 중부내륙지역 출토 동경·동제병의 금속학적 연구. 석사학위논문. 한서대학교 예술대학원.

최미라, 조남철, 김동민, 윤선영 (2013). 성남 관교 출토 청동보살상의 제작기법 및 납 원료의 산지추정. 보존과학회지, 29(3), p. 231-241.

23) 강대일, 김선덕, 황진주, 안희균, 임선기 (1994). 여천 해저 인양 총통의 과학적 연구. 문화재, 15, p. 33-51.

이재성, 전익환, 이영은, 백지혜, 박지선 (2005). 승자총통에 대한 과학적 연구. 육군박물관 학예지, 12, p. 141-170

이재성, 백승희 (2011). 군기시터 유적 출토 금속 화기류 제작기술 분석. 서울 군기시터 유적 발굴조사 보고서, p. 443-462

오일환, 정연중, 조남철, 강형태 (2016). 경희대학교 중앙박물관 소장 승자총통의 과학적 연구. 보존과학회지, 32(1), p. 11-19.

24) 허일권, 안송이 (2014). 선림원종의 재료성분. 국립춘천박물관 소장품 조사연구보고서 I 선림원종·염거화상탑지, 춘천:국립춘천박물관, p. 73.

<표 6> 화학조성 비교대상 1 - 고려말~조선초 주조유물 목록

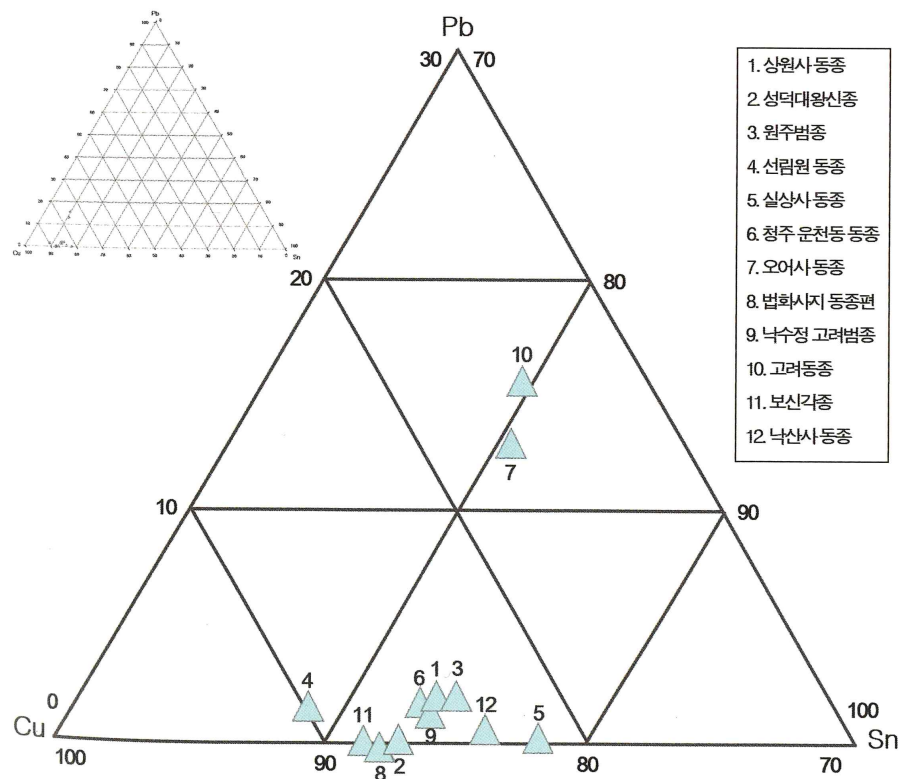
에너지분산형X선형광분석 비교 대상유물 목록 1

연번	유물명	시기	출토(발견)지
1	청동합	고려말~조선초	경상북도 상주시 청리면
2	청동합	고려말~조선초	충청북도 청주시 청원군 오창읍
3	청동합	고려말~조선초	충청북도 청주시 청원군 오창읍
4	청동합	조선초	충청북도 청주시 흥덕구 가경동
5	청동합	조선초	충청북도 청주시 흥덕구 가경동
6	청동합	조선초	충청북도 청주시 흥덕구 가경동
7	청동합	조선초	충청북도 청주시 흥덕구 가경동
8	청동합	조선초	충청북도 청주시 흥덕구 가경동
9	청동합	조선초	충청북도 청주시 흥덕구 가경동
10	청동합	조선초	충청북도 청주시 흥덕구 가경동
11	청동합	조선	대구광역시 달성군 논공읍 본리리
12	청동합	조선	충청남도 천안시 서북구 차암동
13	청동합	조선	충청남도 공주시 이인면 신영리
14	청동배	조선	경기도 평택시 공군작전사령부
15	청동병	고려	충청북도 청주시 흥덕구 오송읍 만수리
16	청동병	고려	충청북도 청주시 흥덕구 오송읍 만수리
17	청동병	고려	충청북도 청주시 흥덕구 오송읍 만수리
18	청동병	고려	경기도 안성시 서운면 신능리
19	청동경	고려	충청북도 청주시 서원구 산남동
20	청동경	고려	충청북도 청주시 서원구 산남동
21	청동경	고려	충청북도 음성군 금왕읍 각회리
22	청동경	고려	경기도 안성시 서운면 신능리
23	청동보살상	고려말~조선초	경기도 성남시 판교동
24	청동보살상	고려말~조선초	경기도 성남시 판교동

<표 7> 화학조성 비교대상 2 - 승자총통 목록

에너지분산형X선형광분석 비교 대상유물 목록 2

연번	유물명	출토(발견)지
1	승자총통	전라남도 여수시 앞바다
2	승자총통	경기도 양평군 양근리 연안김씨 묘
3	승자총통	경기도 양평군 양근리 연안김씨 묘
4	승자총통	경기도 양평군 양근리 연안김씨 묘
5	승자총통	서울특별시 종로구 군기시터
6	승자총통	미상
7	승자총통	미상
8	승자총통	미상



<그림 3> Cu-Sn-Pb 삼원계 도표의 활용사례

- 출처: 국립춘천박물관 소장품 조사연구보고서 I 선림원종·염거화상탑지

2. 컴퓨터단층촬영(Computed Tomography)

컴퓨터단층촬영(Computed Tomography, 이하 CT)은 X선을 여러 각도에서 피사체에 투영하고 이를 컴퓨터로 재구성하여 피사체 내부 단면의 모습을 화상으로 처리하는 기법이다. 종래의 X선 장치로는 얻을 수 없었던 피사체의 상태를 단층상으로 얻을 수 있게 되어 정확한 상태 파악에 도움이 되는 영상장치의 일종이다²⁵⁾. 획득한 3차원 상을 통해 내부를 관찰하는 것이 가능하기 때문에 의료·문화재 분야에서 널리 활용되고 있다. 본 연구에서는 조선초기 총통의 내부구조를 확인하기 위해 위 분석방법을 사용하였다.

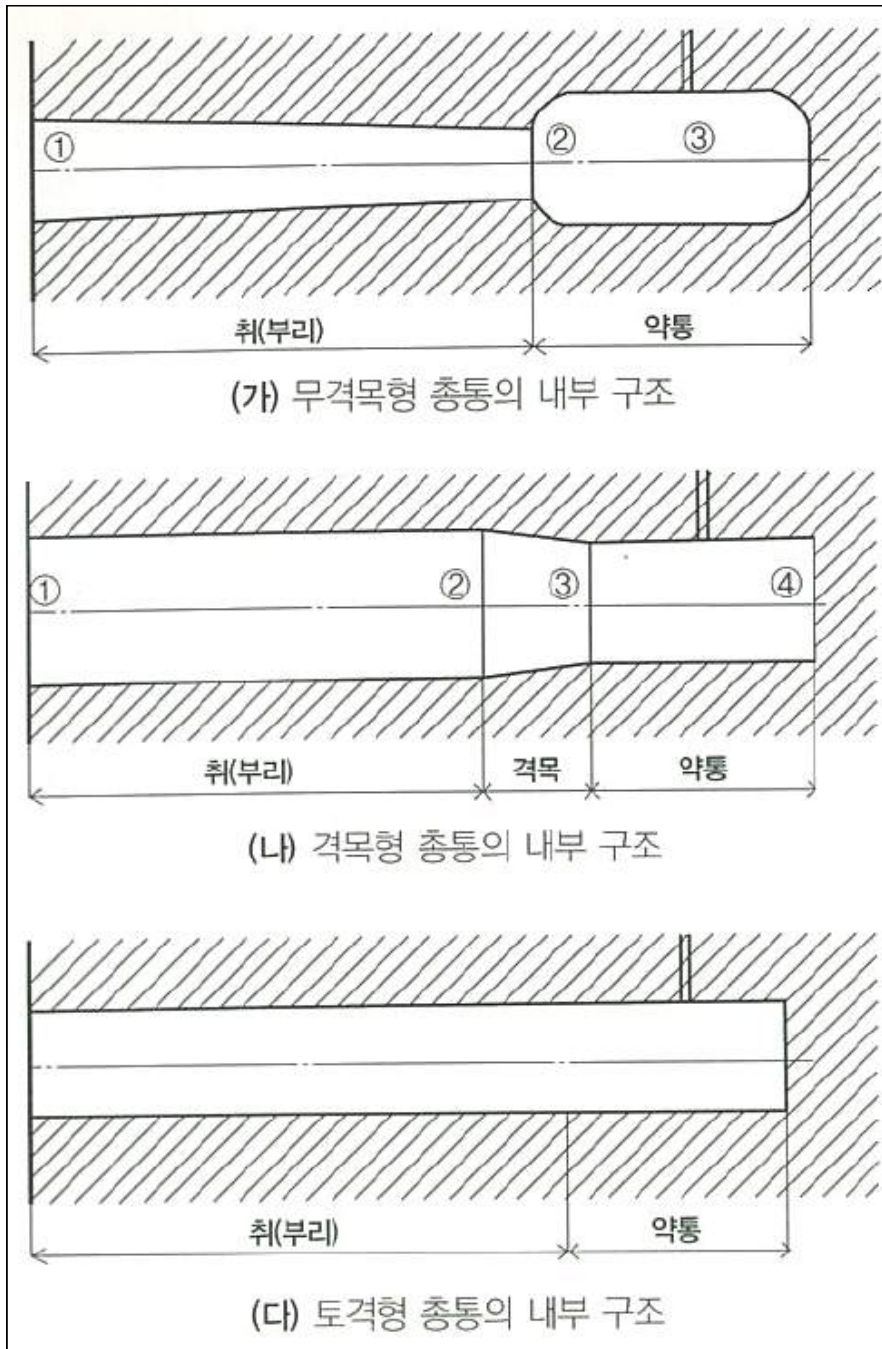
조선초기 문헌인 『국조오례의』에 기록된 총통의 제원에는 한 가지 특이점이 관찰된다. 바로 격목부의 존재로서 총통 내부에 총신과 약실 사이에 구경이 좁아지는 구간이 존재한다는 기록이다. <표 8>은 『국조오례의』에 기록된 화약무기의 기초제원 중 총통 내부의 폭을 표로 요약한 것이다. 공통적으로 총열(부리)부터 격목부의 바깥쪽(격목통 내상경)까지 폭이 일정하며, 격목부 안쪽(격목통내하경)은 약통부의 내경과 일치한다. 이는 격목부까지 일직선으로 뻗은 총구내부가 격목부에서 좁아지고 다시 약실까지 일자로 뻗어있는 것을 의미한다. 박제광 등의 선행연구자들은 이러한 문헌상 기록을 토대로 이러한 내부 구조를 가지는 총통을 격목형 총통이라 명명²⁶⁾하였다<그림 4>. 격목을 사용하기 위해 내부에 의도적인 단차를 주는 형태는 중국에서 나타나지 않으므로, 조선만의 독창적인 기술로 보았으며, 격목형 총통을 기준으로 총통의 발전과정을 설명하였다. 화약을 장전하는 약실과 발사체 사이 격목을 박는 공간을 별도로 설계한 것으로 볼 수 있다. 이를 토대로 박제광 등의 연구자의 선행연구에서는 격목형 내부구조라 칭하고 이는 중국의 화약무기에서 발견되지 않는 조선만의 독자적인 제작기술이며, 총통의 격목부의 형태가 시대의 흐름에 따라 무격목형·격목형·토격형으로 발달해 왔다고 보았다. 하지만 문헌상으로 기록된 격목부의 형태를 실물로 확인할 수 있는 실측방법을 시도한 사례는 없었다.

25) 김영환 (2010). CT(Computed Tomography)의 기본원리. WITH CAP(Companion Animal Practice), 8(1), p. 23

26) 박제광 (2009). 화염조선; 전통비밀병기의 과학적 재발견, 서울: 글항아리, p. 22.

<표 8> 『국조오례의』에 기록된 총통의 내부구조 제원

국조오례의 군례 병기도설				
단위 : cm				
	약통	격목통		부리
명칭	내경	내하경	내상경	내경
세총통	1	0.75	0.81	0.81
일총통	6.12	6.12	6.51	6.51
이총통	2.33	2.33	2.54	2.54
삼총통	1.51	1.51	1.6	1.6
팔전총통	2.63	2.63	2.84	2.84
사전총통	2.06	2.06	2.12	2.12
사전장총통	2.24	2.24	2.33	2.33



<그림 4> 『국조오례의』의 기록을 바탕으로 박제광이 제시한 총통 내부구조의 발달과정 - 출처: 화염조선

따라서 본 연구에서는 조선초기 추정 총통 3종 6건 10점에 대한 CT촬영(CT Modular, YXLON, DEU)을 실시하여 총통의 내부구조를 확인하고, 정확한 내부 실측 자료를 획득하고자 하였다. 또한 『국조오례의』의 내용과 비교하여 당대의 무기제작기술에 대한 고찰을 시도하였다. CT의 촬영조건은 500kV, 1.4mA, 700W로 촬영하였으며, 초점크기는 0.7mm 튜브를 사용하였다. 총통 한 점당 2048장의 단층영상을 촬영하여 데이터를 생성하여 만든 영상으로 분석을 실시하였다.

IV. 연구결과

1. 에너지분산형X선형광분석(Energy Dispersive X-ray fluorescence, ED-XRF)

본 논문의 분석대상 총통은 모두 Cu-Sn-Pb 삼원계 합금으로 확인되었으며, 동합금에 많이 사용되는 아연(Zn)은 검출되지 않았다. 분석 지점 중 일부는 일반적인 합금비율 범주를 크게 벗어나게 측정되었다. 이는 흙 등의 이물질로 인한 문제이거나 앞서 언급한 부식산화물 층을 측정하는 분석방법상의 한계로 추정된다. 따라서 각 분석대상의 분석지점별 결과를 확인하고 비교를 위한 데이터를 선별해 내하고자 한다.

경상남도 하동군 고전면 고하리에서 발견한 사전총통 3점(연구대상유물 - 1 ~ 3)은 모두 80% 이상의 Cu 비율을 보였다. 또한 6~8% 사이의 Sn 비율과 0~6% 사이의 Pb 비율을 나타내었다.

팔전총통 2점(연구대상유물 - 4 ~ 5)의 경우 80%이상의 Cu함량과 8%미만의 Sn, 6%미만의 Pb비율을 나타내었다. 입수경위가 같은 사전총통과 화학조성이 비슷한 것을 확인할 수 있었다.

연구대상유물-6부터 57까지의 삼총통은 앞서 살펴본 사전총통·팔전총통과 발견지가 같은 유물로 75%이상의 Cu와 15%미만의 Sn비율을 나타낸 유물이 다수였다. 연구대상유물-7, 8, 9, 12, 23, 24, 30, 37, 38, 42 삼총통의 경우 Cu의 비율이 75% 미만으로 나타났다으며, 이로 인해 상대적으로 Sn과 Pb의 성분비가 높게 측정되었다. 이러한 결과 값의 원인은 실제 성분함량이 다르기 때문이 아닌 표면 부식물을 측정하는 분석방법의 한계로 보인다.

창원시 진전면 이명리에서 발견된 삼총통(연구대상유물 - 58 ~ 61)의 경우 보존처리가 되어있지 않은 표면의 상태로 인해 측정에 어려움이 있었다. 측정할 수 있는 면을 확보하기 위해 수회 재촬영을 하였으나, 표면이물질이 고착되어 있어 다른 대상품에 비해 결과 값의 편차가 컸다. 연구대상유물-58과 59의 경우 Cu가 70%미만으로 검출되어 상대적으로 Sn과 Pb의 비율이 높게 보였으며, 60과 61의 경우 70%이상의 Cu비율, 16%미만의 Sn 비율과 4~6%의 Pb비율을 나타내었다.

62-삼총통은 총열과 약실, 병부까지 세 개점을 측정하였으며, 평균적으로 80%가량의

Cu함량과 10%미만의 Sn비율을 보였다.

해저에서 인양된 63-삼충통의 경우에도 총구와 총열, 병부까지 세 개점을 측정하였으며, 90%이상의 Cu비율을 보였다. 상대적으로 Sn과 Pb의 비율은 각각 5%, 3% 미만으로 관찰되었다.

충통의 화학조성 분석결과를 각 유물별로 평균한 결과값은 <표 8>과 같다. 분석결과는 대체로 90~99%의 합계 값을 나타내었다. 3개의 주요 성분을 제외한 미량원소의 검출은 일부 분석지점에서 이종부식 또는 토양이물질로 인해 측정되는 철(Fe)성분이 가장 많았다. 이러한 측정오차를 감안하여 분석 결과를 해석하면 일반적으로 80%이상의 Cu함량과 10%전후의 Sn, 6%전후의 Pb비율을 나타냄을 확인하였다. 이를 토대로 Cu-Sn-Pb 삼원계 도표를 작성하였다<그림 5>.

<표 9> 조선초기 총통의 화학조성 분석결과

화학조성 분석결과

단위: wt%

연번	명칭	Cu	Sn	Pb	합계
1	사전총통	82.63	7.86	5.56	96.05
2	사전총통	83.13	10.03	4.30	97.46
3	사전총통	80.10	16.36	1.35	97.81
4	팔전총통	91.56	2.73	4.73	99.02
5	팔전총통	83.70	7.80	5.36	96.86
6	삼총통	81.70	7.53	6.70	95.93
7	삼총통	84.20	10.93	1.93	97.06
8	삼총통	67.43	15.16	15.23	97.82
9	삼총통	87.50	10.06	0.00	97.56
10	삼총통	88.63	9.00	1.26	98.89
11	삼총통	87.03	7.96	3.96	98.95
12	삼총통	78.13	12.86	6.26	97.25
13	삼총통	81.66	9.16	6.86	97.68
14	삼총통	82.80	11.13	4.60	98.53
15	삼총통	83.93	9.16	5.16	98.25
16	삼총통	81.20	9.93	6.66	97.79
17	삼총통	87.46	8.93	2.36	98.75
18	삼총통	72.16	8.46	10.33	90.95
19	삼총통	87.53	7.50	3.16	98.19
20	삼총통	81.56	7.86	9.40	98.82
21	삼총통	82.40	8.90	7.06	98.36

화학조성 분석결과

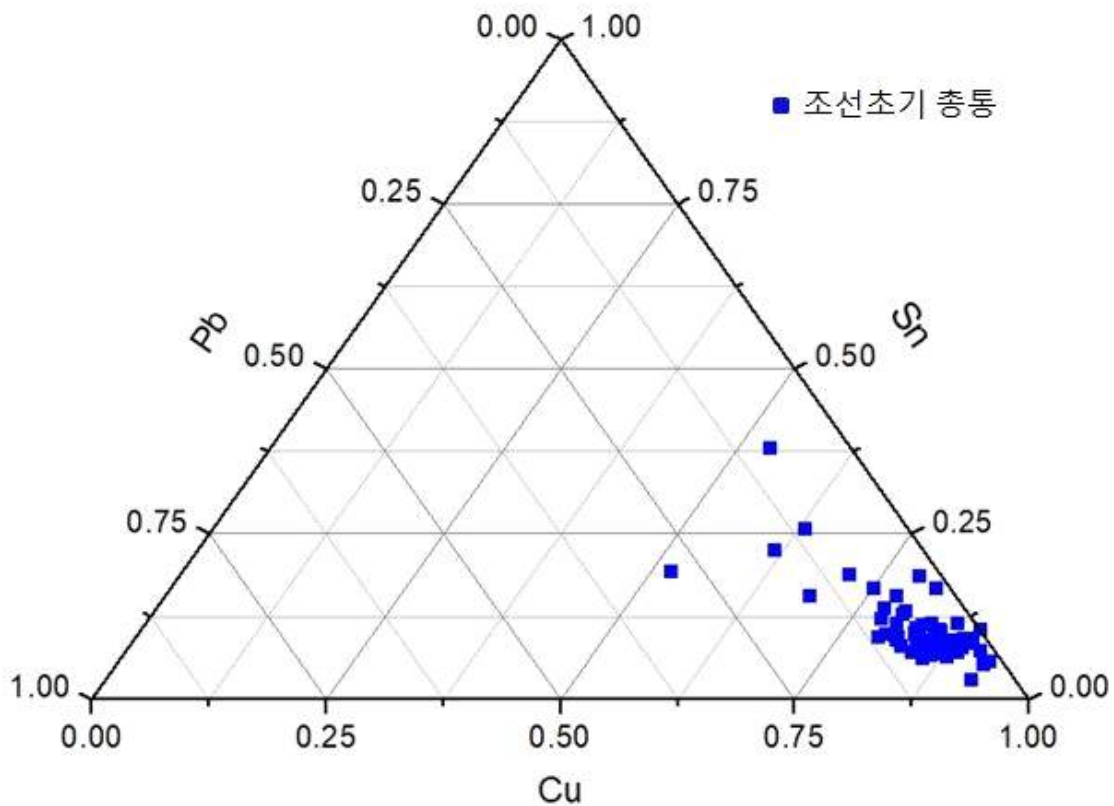
단위: wt%

연번	명칭	Cu	Sn	Pb	합계
22	삼총통	76.06	6.26	3.73	86.05
23	삼총통	49.60	18.16	27.20	94.96
24	삼총통	83.16	8.56	4.86	96.58
25	삼총통	89.90	7.03	1.40	98.33
26	삼총통	86.86	6.13	5.53	98.52
27	삼총통	78.13	6.46	8.33	92.92
28	삼총통	82.46	6.90	5.76	95.12
29	삼총통	77.53	11.93	9.56	99.02
30	삼총통	62.33	25.20	10.93	98.46
31	삼총통	81.43	9.66	6.96	98.05
32	삼총통	84.76	8.80	6.13	99.69
33	삼총통	83.13	5.76	8.00	96.89
34	삼총통	79.00	12.60	6.93	98.53
35	삼총통	81.03	10.10	6.16	97.29
36	삼총통	78.50	11.10	8.23	97.83
37	삼총통	83.66	7.10	3.20	93.96
38	삼총통	84.73	6.56	5.96	97.25
39	삼총통	81.13	4.93	1.13	87.19
40	삼총통	86.23	8.60	3.53	98.36
41	삼총통	84.33	6.93	4.56	95.82
42	삼총통	59.86	21.86	15.26	96.98

화학조성 분석결과

단위: wt%

연번	명칭	Cu	Sn	Pb	합계
43	삼총통	80.96	10.36	6.43	97.75
44	삼총통	79.26	9.13	8.93	97.32
45	삼총통	73.43	12.93	8.06	94.42
46	삼총통	81.66	8.33	7.36	97.35
47	삼총통	59.70	11.80	4.83	76.33
48	삼총통	79.26	9.43	10.20	98.89
49	삼총통	49.30	11.53	1.53	62.36
50	삼총통	81.10	7.63	2.03	90.76
51	삼총통	83.86	6.60	7.70	98.16
52	삼총통	84.16	6.36	7.13	97.65
53	삼총통	83.96	6.33	7.63	97.92
54	삼총통	79.06	8.40	9.46	96.92
55	삼총통	58.03	7.76	3.93	69.72
56	삼총통	83.00	6.46	3.76	93.22
57	삼총통	83.56	8.90	4.83	97.29
58	삼총통	50.86	35.96	8.10	94.92
59	삼총통	67.20	17.50	9.03	93.73
60	삼총통	71.56	15.70	7.73	94.99
61	삼총통	82.90	9.93	4.06	96.89
62	삼총통	79.30	9.33	9.26	97.89
63	삼총통	91.50	4.93	2.26	98.69



<그림 5> 조선초기 총통의 Cu-Sn-Pb 삼원계 도표

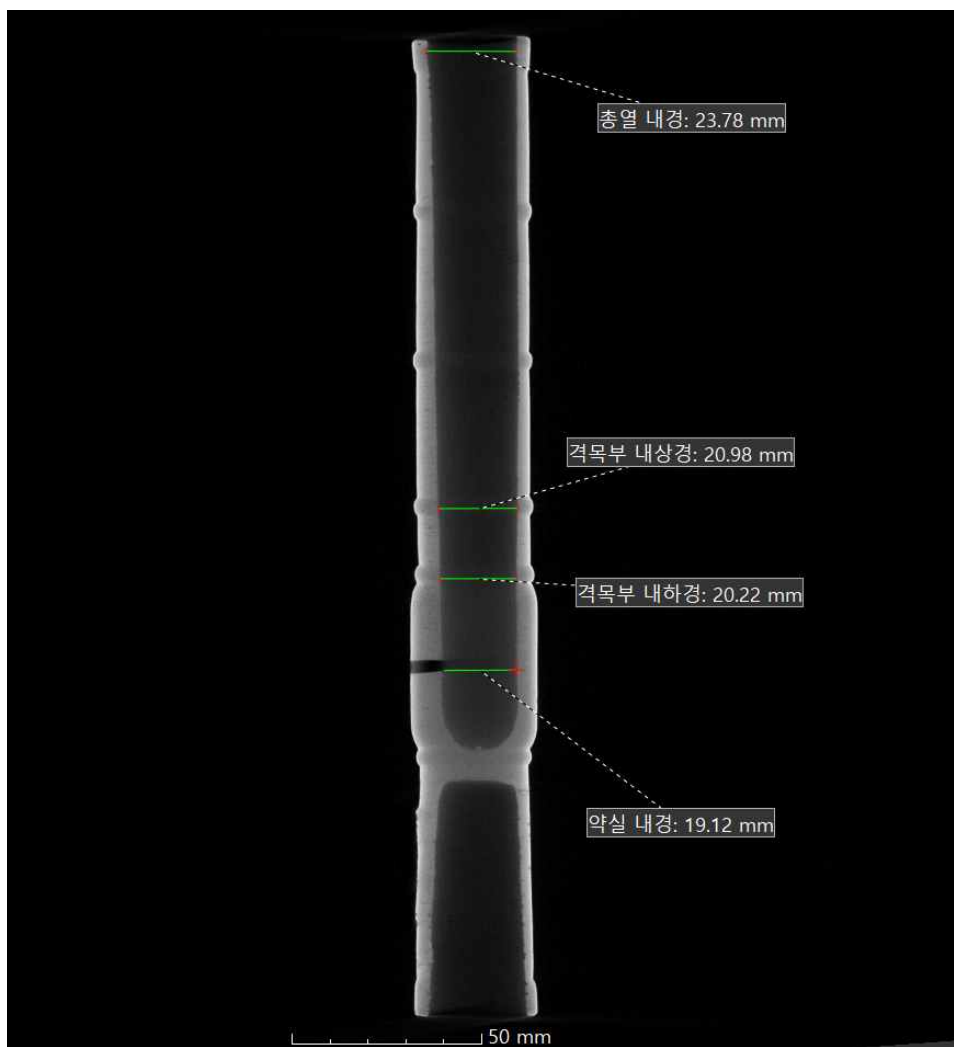
결과 조선초기 총통의 성분조성은 그래프 Cu 75% 이상 구간 내에 Sn 15% 미만 구간에 주로 분포함을 확인할 수 있었으며, 해당 구간 내에서 일정한 군집을 이루는 것을 확인하였다.

2. 컴퓨터단층촬영(Computed Tomography)

총 10점을 CT촬영하여 내부구조를 확인하였으며, 종단면상에 나타나는 주조기법상의 특징을 위주로 살펴보았다. 또한 『국조오례의』에 기록된 격목부 내부의 형태와 비교하

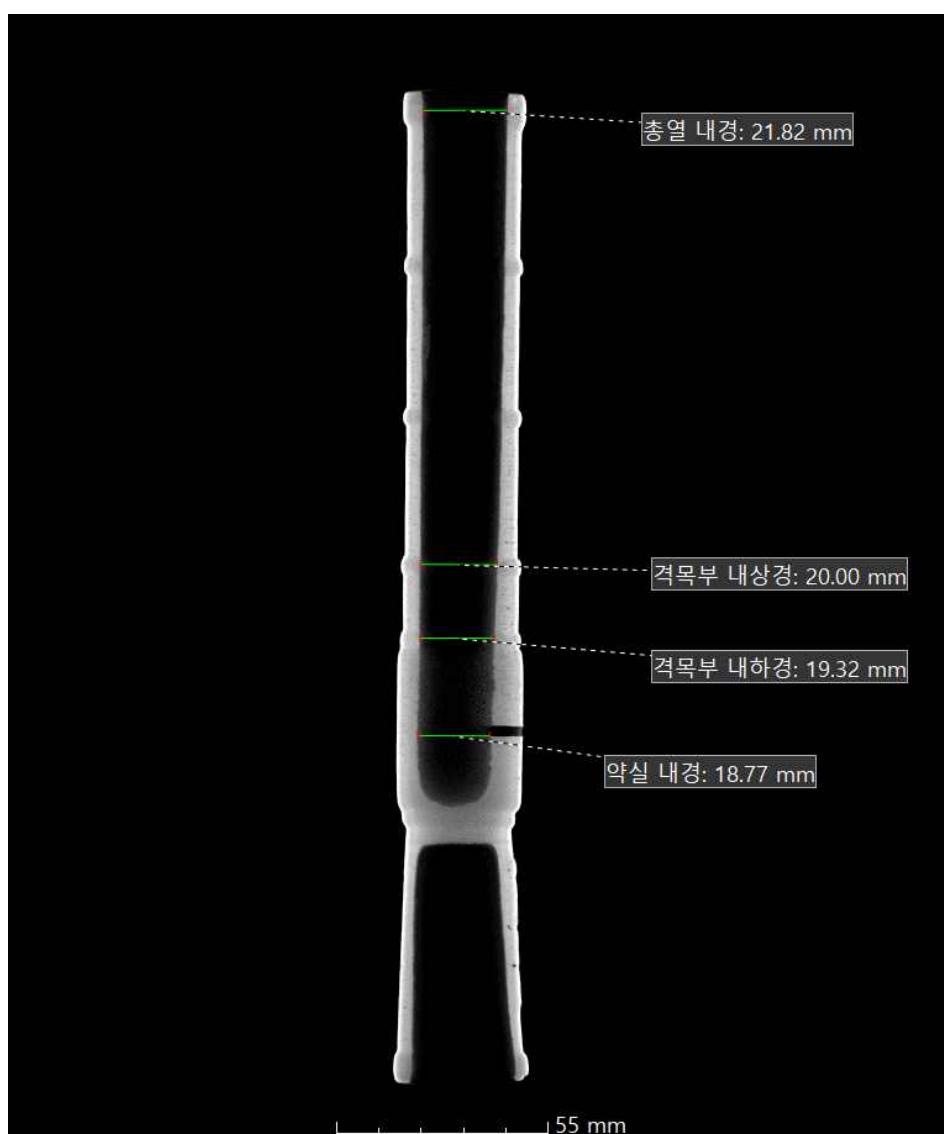
기 위해, 문헌에 기록된 부위와 동일한 자리를 실측하여 내부 폭을 측정하였다.

<사진 7>의 1-사전총통의 내부구조를 보면 총열내부가 정중앙에 위치하지 않은 점이 관찰되며, 이로 인해 기벽에 두께가 일정하지 않음을 알 수 있다. 총구의 폭은 23.78 mm이며 격목부 상단의 폭은 20.98 mm로 줄어들었다. 격목부 하단의 폭은 20.22 mm이고 약실의 폭은 19.12 mm로 측정되어 점점 좁아지는 형태로, 『국조오례의』에 기록된 격목부의 형태는 관찰할 수 없었다.



<사진 7> 1-사전총통의 컴퓨터단층촬영 종단면상 - 출처: 국립진주박물관

<사진 8>의 2-사전총통의 경우 1-사전총통보다 심하게 총열내부가 한 방향으로 치우친 것이 보인다. 총구의 폭 21.82 mm, 격목부 상단의 폭 20.00 mm, 격목부 하단의 폭 19.32 mm, 약실의 폭 18.77 mm로 2-사전총통 또한 『국조오례의』에 기록된 격목부의 형태 없이 완만하게 폭이 줄어드는 것을 알 수 있다.



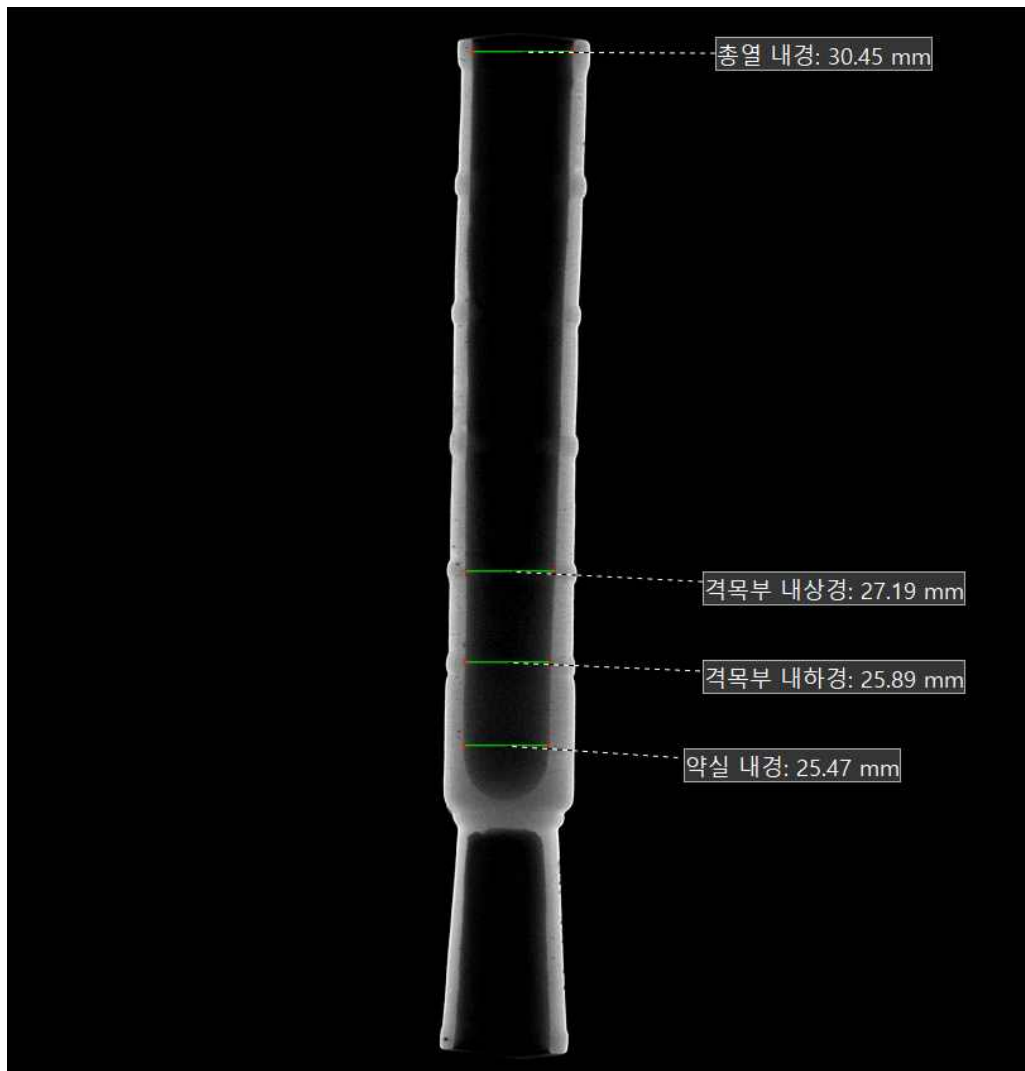
<사진 8> 2-사전총통의 컴퓨터단층촬영 종단면상 - 출처: 국립진주박물관

<사진 9>는 3-팔전총통의 종단면상이다. 표면에 다수의 기공이 관찰되며, 총열 내부
 는 상대적으로 대칭이 맞게 구조되었다. 내부 폭의 변화는 총구 폭 30.79 mm, 격목부
 상단 폭 27.27 mm, 격목부 하단 폭 26.74 mm, 약실 폭 26.22 mm로 확인되었다. 3-팔전
 총통 역시 내부 폭이 완만하게 줄어드는 형태를 하고 있다.



<사진 9> 3-팔전총통의 컴퓨터단층촬영 종단면상 - 출처: 국립진주박물관

4-팔전총통<사진 10>은 표면에 기공이 관찰되며, 총열 내부는 상대적으로 대칭이 맞게 구조되었다. 내부 폭의 변화는 총구 폭 30.45 mm, 격목부 상단 폭 27.19 mm, 격목부 하단 폭 25.89 mm, 약실 폭 25.47 mm로 확인되었다. 4-팔전총통 역시 내부 폭이 완만하게 줄어드는 형태를 하고 있다.



<사진 10> 4-팔전총통의 컴퓨터단층촬영 종단면상 - 출처: 국립진주박물관

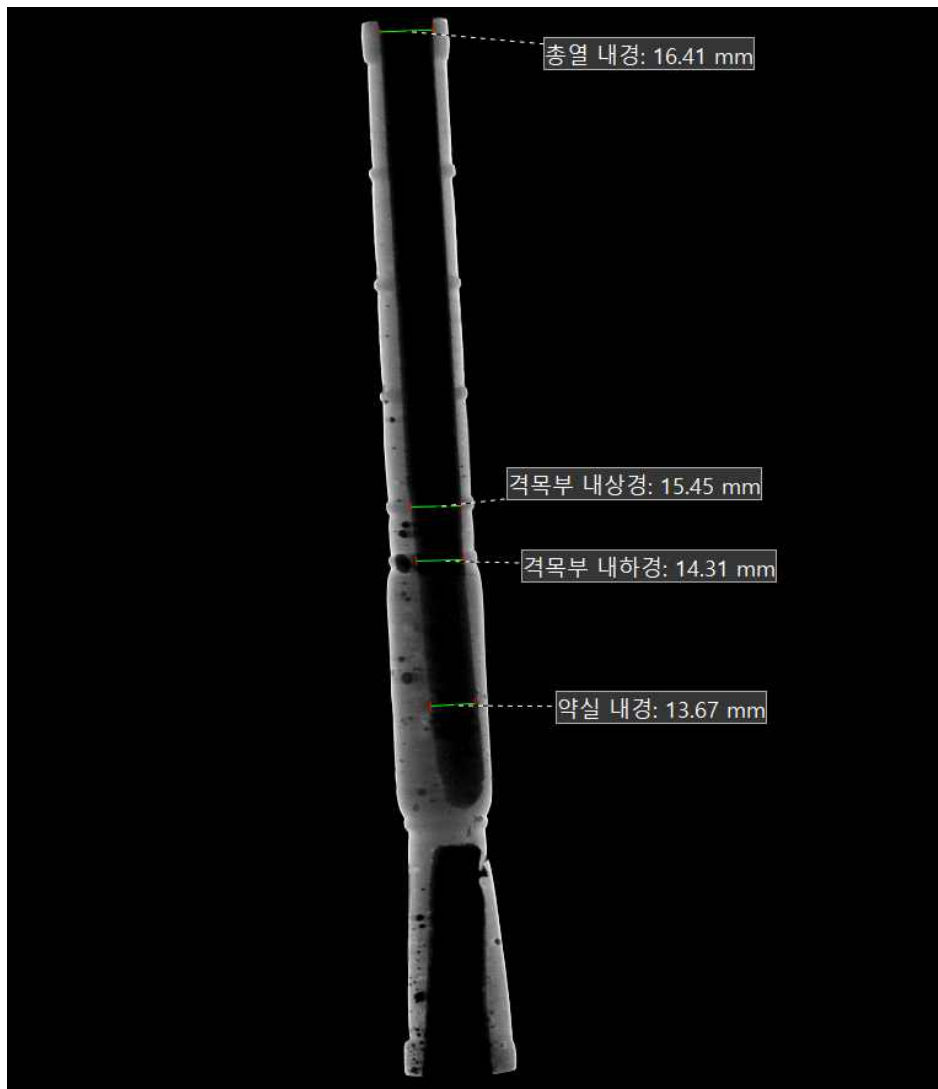
6-삼총통<사진 11>은 종단면상에서 다수의 기공이 관찰되며 병부에 주물이 차지 않은 것을 볼 수 있다. 총열 내부는 상대적으로 평형하게 주조되었으며, 내부 폭의 변화는 총구 폭 19.39 mm, 격목부 상단 폭 17.80 mm, 격목부 하단 폭 16.98 mm, 약실 폭 16.33 mm로 확인되었다. 내부 폭이 완만하게 줄어드는 형태를 하고 있는 것으로 확인되었다.



<사진 11> 5-삼총통의 컴퓨터단층촬영 종단면상 - 출처: 국립진주박물관

<사진 12>는 56-삼총통의 종단면상이다. 내부에 다량의 기포가 관찰되며 총열 내부가

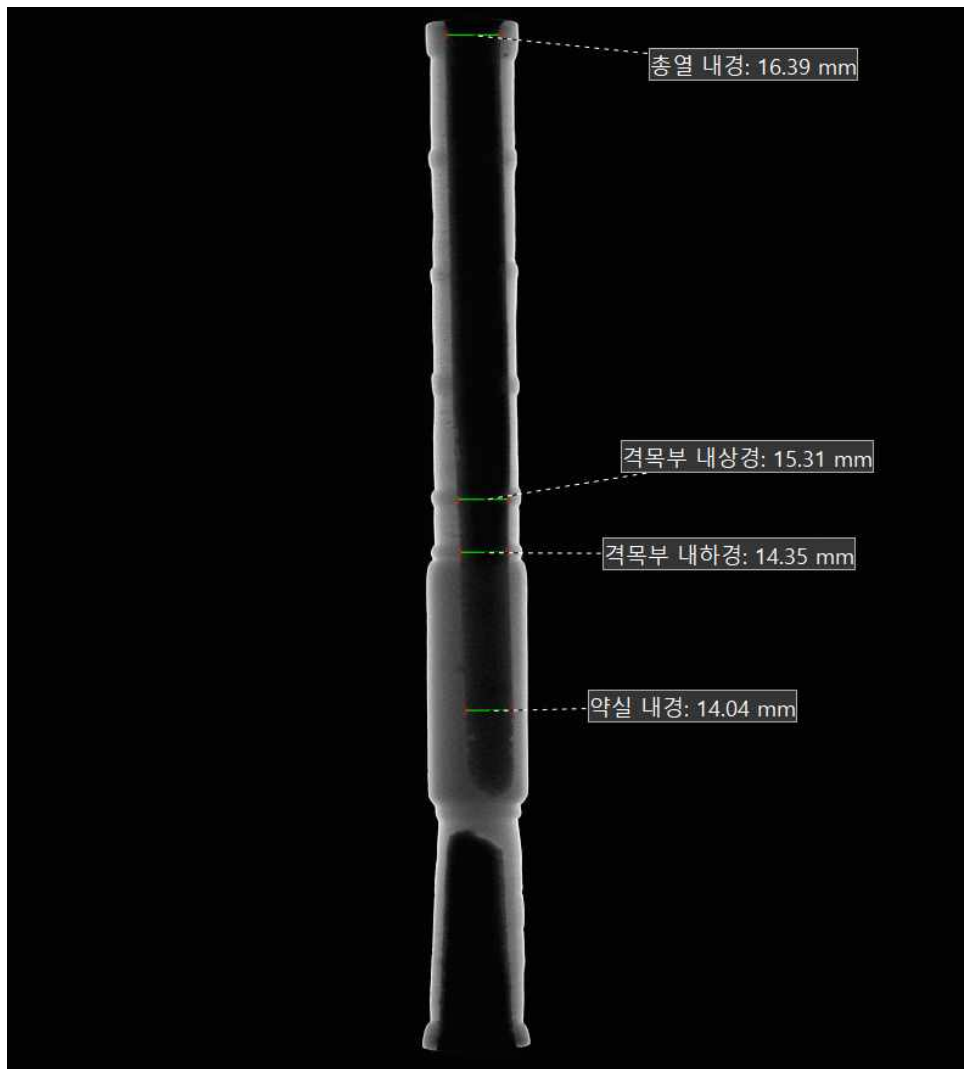
한쪽으로 기울어있다. 또한 병부는 내부기벽의 두께가 일정하지 않은 것이 관찰된다. 총구의 폭은 16.41 mm이며 격목부 상단의 폭은 15.45 mm로 줄어들었다. 격목부 하단의 폭은 14.31 mm이고 약실의 폭은 13.67 mm로 측정되어 『국조오례의』에 기록된 격목부의 형태는 관찰할 수 없었다.



<사진 12> 56-삼총통의 컴퓨터단층촬영 종단면상 - 출처: 국립진주박물관

<사진 13>은 58-삼총통의 종단면상이다. 총열 내부가 한쪽으로 기울어 전체 기벽의

두께가 불균일한 것이 확인된다. 또한 병부 역시 기벽의 두께가 일정하지 않은 것이 관찰된다. 총구의 폭은 16.39 mm이며 격목부 상단의 폭은 15.31 mm로 줄어들었다. 격목부 하단의 폭은 14.35 mm이고 약실의 폭은 14.04 mm로 확인되었다. 발견지가 다른 삼총통에서도 『국조오례의』에 기록된 격목부의 형태가 없는 것이 확인되었다.



<사진 13> 58-삼총통의 컴퓨터단층촬영 종단면상 - 출처: 국립진주박물관

59-삼총통<사진 14>는 58-삼총통과 함께 경남 창원시 진전면 이명리에서 발견된 유

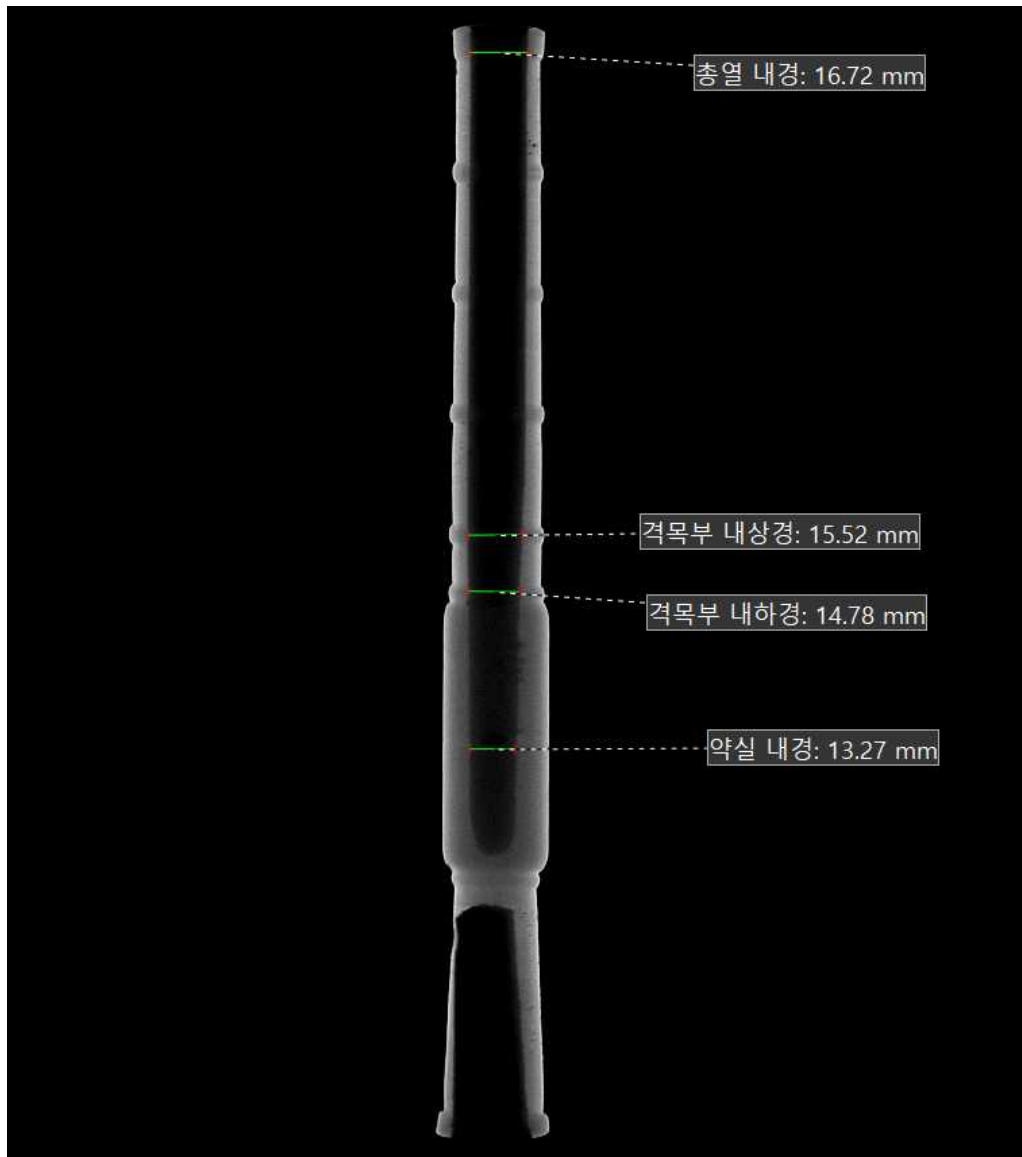
물이다. 이 또한 총열 내부가 한쪽으로 기울어 있으며 이로 인해 약실 한쪽이 얇은 것이 보인다. 또한 내부에 다수의 기공이 관찰된다. 총구 폭은 17.47 mm, 격목부 상단 폭 15.55 mm, 격목부 하단 폭 14.56 mm, 약실 폭 13.62 mm로 격목부의 형태 없이 완만히 줄어드는 것을 확인할 수 있었다.



<사진 14> 59-삼총통의 컴퓨터단층촬영 종단면상 - 출처: 국립진주박물관

62-삼총통<사진 15>는 現 부산광역시 기장읍에서 출토된 유물이다. 병부 안쪽 기벽이

치우쳐있는 것이 보이며 약실 주변으로 다량의 기공이 관찰된다. 총구 폭은 16.72 mm, 격목부 상단 폭 15.52 mm, 격목부 하단 폭 14.78 mm, 약실 폭 13.27 mm로 확인되었으며, 출토품에서도 격목부의 형태가 없는 것을 확인하였다.



<사진 15> 62-삼총통의 컴퓨터단층촬영 종단면상 - 출처: 국립진주박물관

63-삼총통<사진 16>은 전라남도 여수시 앞바다에서 인양된 유물이다. 이 경우에도 총

열 내부가 평행하지 않은 것이 확인되었으며, 내부에 다량의 기공이 발견되었다. 총구 폭은 17.57 mm, 격목부 상단 폭 15.83 mm, 격목부 하단 폭 15.43 mm, 약실 폭 15.24 mm로 각각 측정 되었다. 『국조오례의』에 기록된 내부구조는 없는 것으로 확인되었다.



<사진 16> 63-삼총통의 컴퓨터단층촬영 종단면상 - 출처: 국립진주박물관
CT를 통해 내부구조를 살펴 본 결과 모든 총통의 총구입구부터 약실 저벽까지 내경

이 완만히 줄어드는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 특징적인 부분은 총열 기벽의 두께가 일정하지 않으며 총열 내외부가 평행하지 않은 유물이 다수 관찰된다는 점이었다. 단층상을 검토한 결과 내부에 core를 지지하는 구조물(型持, chaplet) 또는 구조물의 흔적이 관찰되지 않았으며 이로 인하여 생긴 주조 결함으로 판단된다.

V. 고찰

1. 에너지분산형X선형광분석(Energy Dispersive X-ray fluorescence, ED-XRF)

총통의 화학조성 분석결과를 바탕으로 총통의 일반적인 특성과 조선초기 총통만의 경향성을 파악하기 위한 비교 분석을 실시하였다. 이를 고려말 ~ 조선초 주조 유물<표 10>과의 비교를 통해 동시기 일반 주조 유물과 총통사이의 화학조성 차이를 알아보았으며, 조선중기 승자총통<표 11>과의 비교를 통해 총통의 발전과정에 따른 화학조성의 변화여부를 알아보았다. 비교방법은 Cu-Sn-Pb 성분비를 삼원계 도표로 나타내어 조선초기 총통의 Cu-Sn-Pb 삼원계 도표<그림 6>과 비교하였다.

<표 10> 고려말 ~ 조선초 주조유물의 화학조성(비교군)

비교대상유물의 화학조성 1

연번	유물명	분석법	화학조성 (wt%)		
			Cu	Sn	Pb
1	청동합	ICP-AES	72.40	23.60	0.02
2	청동합	ICP-AES	77.50	7.80	15.10
3	청동합	ICP-AES	75.80	7.00	7.90
4	청동합	ICP-AES	704.00	17.60	0.14
5	청동합	ICP-AES	70.50	20.10	0.09
6	청동합	ICP-AES	73.00	18.30	0.12
7	청동합	ICP-AES	73.20	19.50	0.09
8	청동합	ICP-AES	71.70	18.20	0.08
9	청동합	ICP-AES	73.40	17.10	0.11
10	청동합	ICP-AES	70.40	10.80	8.19
11	청동합	SEM-EDS	86.82	10.11	3.07
12	청동합	ICP-AES	74.98	23.61	0.06
13	청동합	ICP-AES	74.14	12.01	4.50
14	청동배	ICP-AES	79.75	10.00	5.13
15	청동병	ICP-AES	67.83	7.68	6.60
16	청동병	ICP-AES	71.90	10.17	10.86
17	청동병	ICP-AES	71.38	9.23	8.48
18	청동병	ICP-AES	74.89	7.73	5.21
19	청동경	ICP-AES	76.23	9.58	12.24
20	청동경	ICP-AES	68.32	9.14	8.87
21	청동경	ICP-AES	80.47	9.04	6.43
22	청동경	ICP-AES	77.55	9.41	8.62
23	청동보살상	ICP-AES	70.00	11.30	6.50
24	청동보살상	ICP-AES	71.80	7.80	3.00

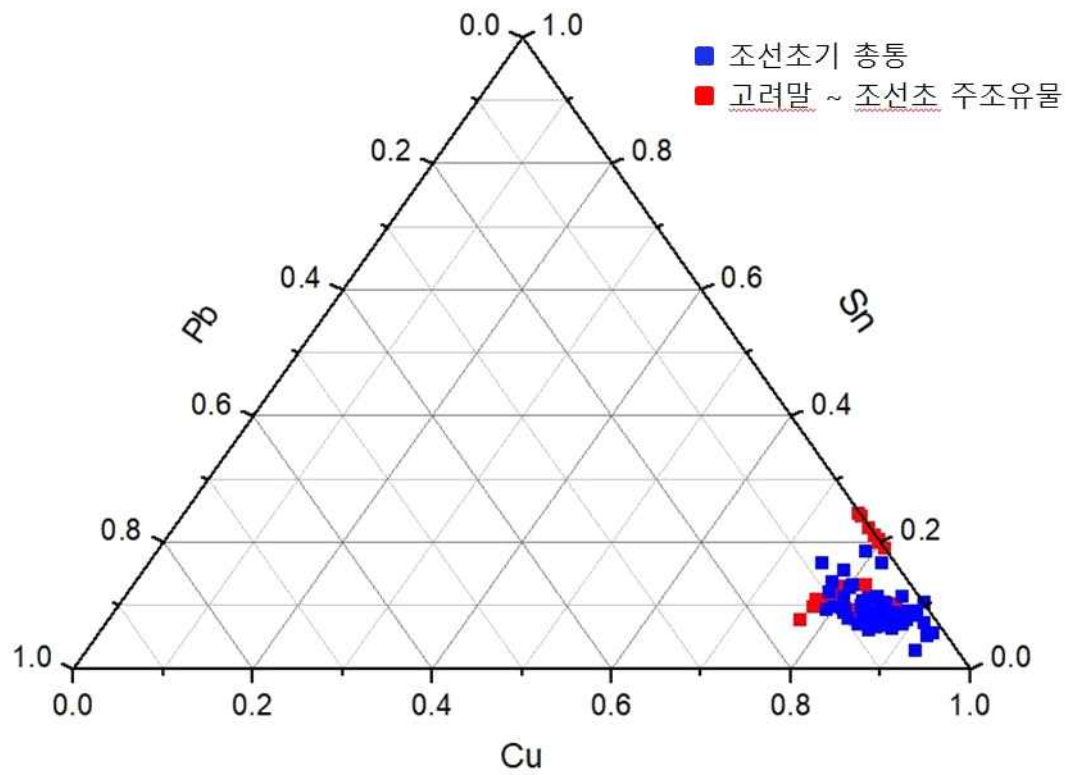
<표 11> 승자총통의 화학조성(비교군)

비교대상유물의 화학조성 2

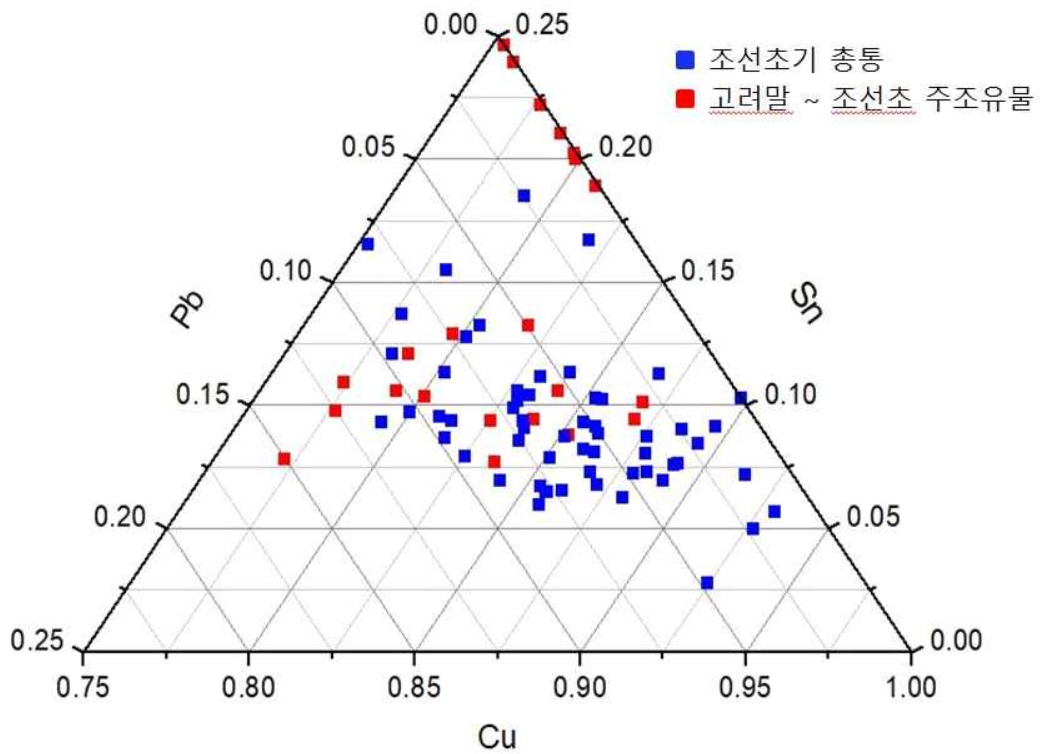
연번	유물명	분석법	화학조성 (wt%)		
			Cu	Sn	Pb
1	승자총통	ICP-AES	93.00	5.00	5.00
2	승자총통	SEM-EDS	92.68	2.92	2.98
3	승자총통	SEM-EDS	93.36	2.33	2.66
4	승자총통	SEM-EDS	93.67	2.16	2.90
5	승자총통	SEM-EDS	92.32	5.48	1.34
6	승자총통	TIMS	82.30	10.50	3.28
7	승자총통	TIMS	83.20	11.10	3.25
8	승자총통	TIMS	81.10	10.40	5.37

<그림 6>은 조선초기 총통과 고려말 ~ 조선초 주조유물의 Cu-Sn-Pb 성분비를 하나의 삼원계 도표로 나타낸 것이다. 두 그룹 모두 Cu 75%이상 구간에서 일정한 군집을 이루는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 당시의 동합금 유물은 일반적으로 75%이상의 Cu함량을 가진다는 사실을 알 수 있으나 두 그룹간의 차별성을 확인하기는 어려웠다.

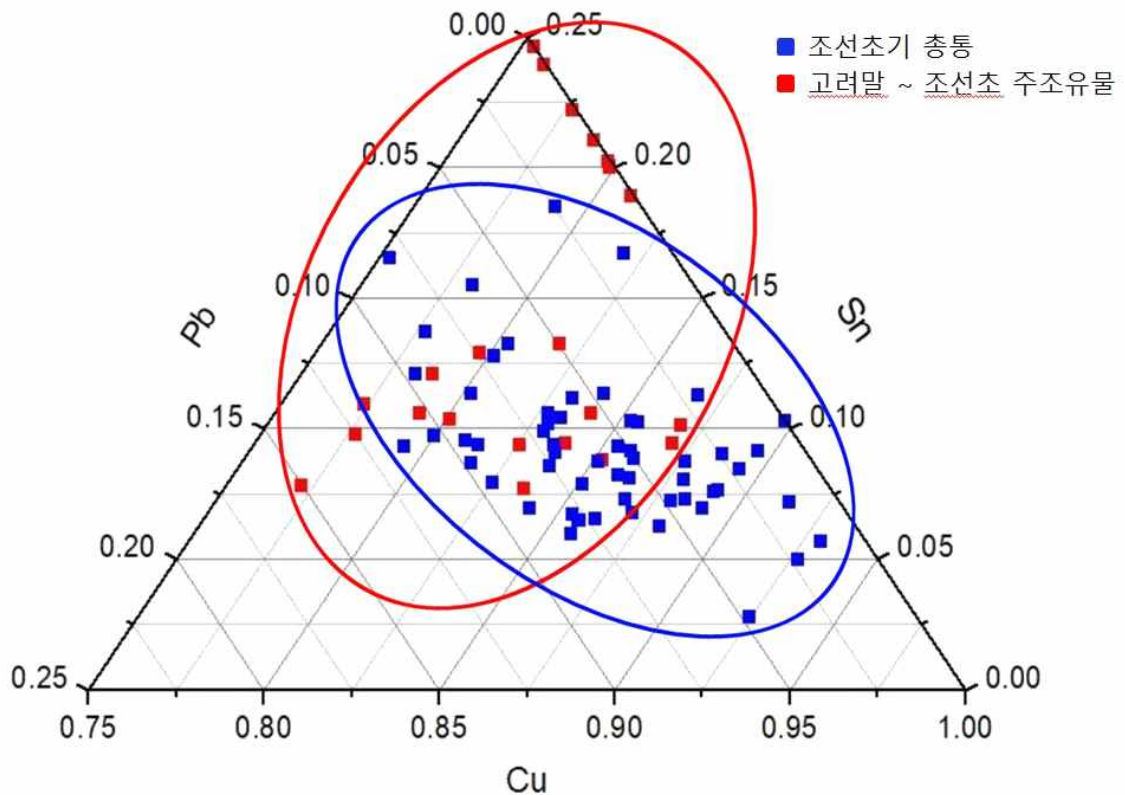
<그림 7>은 조선초기 총통과 고려말 ~ 조선초 주조유물의 Cu-Sn-Pb 삼원계 도표 중 Cu 75% 이상 구간을 확대한 표이다. 성분비를 하나의 삼원계 도표 조선초기 총통과 고려말 ~ 조선초 주조유물의 그룹은 대체로 겹쳐지는 군집을 보였다. 다만 Sn 15% 미만 구간에서 총통은 분포가 많은 반면 다른 주조유물은 Sn 15%구간의 분포가 현저히 적은 것을 볼 수 있었다. XRF의 분해능과 유물의 표면상태를 고려하였을 때 절대적인 수치를 비교하는 것은 무의미 하지만, 조선초기 총통이 상대적으로 낮은 Sn구간에서 그룹이 지어지는 것을 확인할 수 있었다<그림 8>.



<그림 6> 조선초기 총통과 고려말 ~ 조선초 주조유물의 Cu-Sn-Pb 삼원계 도표



<그림 7> 조선초기 총통과 고려말 ~ 조선초 주조유물의 Cu-Sn-Pb 삼원계 도표 Cu 75% 이상 구간



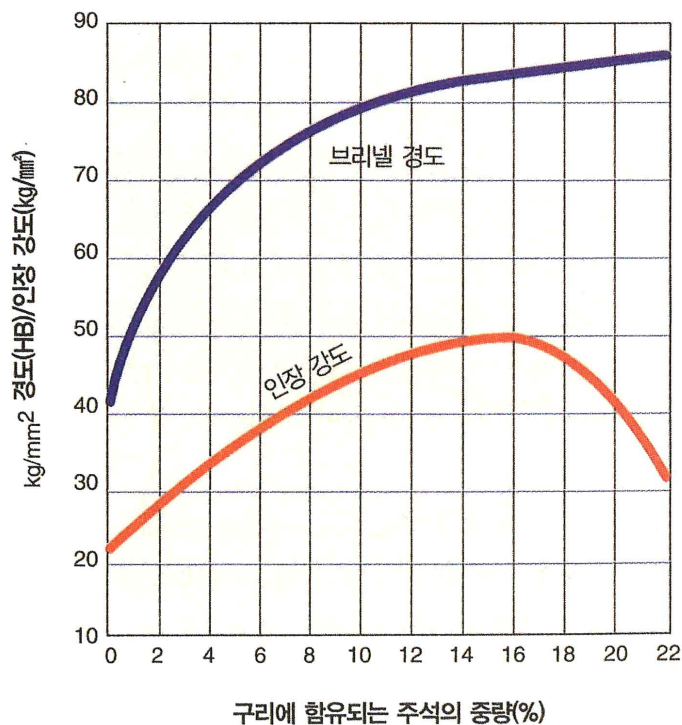
<그림 8> 조선초기 총통과 고려말 ~ 조선초 주조유물의 경향성 비교

이러한 차이는 Cu-Sn합금에서 Sn함량에 따라 기계적 성질이 변하기 때문에 의도한 것으로 추정 가능성이 있다. Cu-Sn합금은 Sn함량 따라 경도와 인장강도가 변화하는 기계적 성질을 갖는다. <그림 9>²⁷⁾는 Cu-Sn합의 비율에 따른 기계적 성질 변화를 나타낸 표이다. 보는 바와 같이 Sn의 함량이 높아질수록 경도는 계속해서 증가한다. 반면 인장강도는 16%를 기점으로 줄어드는 특성을 갖는다. 경도는 증가하는데 반해 인장강도가 감소한다는 것은 외부 충격에 의해 파손될 확률이 증가한 다는 것을 의미한다. 한편 총통은 화약의 폭발을 이용해 발사체를 날려 적을 살상하는 무기이다. 때문에 화약폭발이라는 힘이 기물에 꾸준히 가해지게 된다. 만약, 총통의 인장강도가 낮아서 화약폭발과정

27) 히라오 요시미즈 (2001). 문화재를 보는 과학의 눈. 서울:학연문화사, p.38

에서 기물이 파손된다면 사용자를 다치게 하는 위험한 장비가 된다. Cu-Sn 합금은 Sn 15%이상의 합금비율에서 파손의 가능성이 증가하기 때문에 총통은 다른 청동 주조유물에 비해 의도적으로 Sn함량을 낮게 한 것으로 보인다. 분석결과를 살펴보면 10% 전후의 Sn함량을 나타내는 분석점이 가장 많았다.

한편 동합금에서 Pb는 함량이 높아질수록 강도를 약하게 한다. 대신 Pb함량이 높으면 주물의 유동성이 좋아지기 때문에 주물의 성형에 용이하다. 조선초기 총통의 Pb함량은 다른 주조유물과 비교하여 유의미한 차이를 보이지 않았다. 주조품을 만드는데 사용되는 일반적인 Pb함량을 사용한 것으로 풀이할 수 있다.



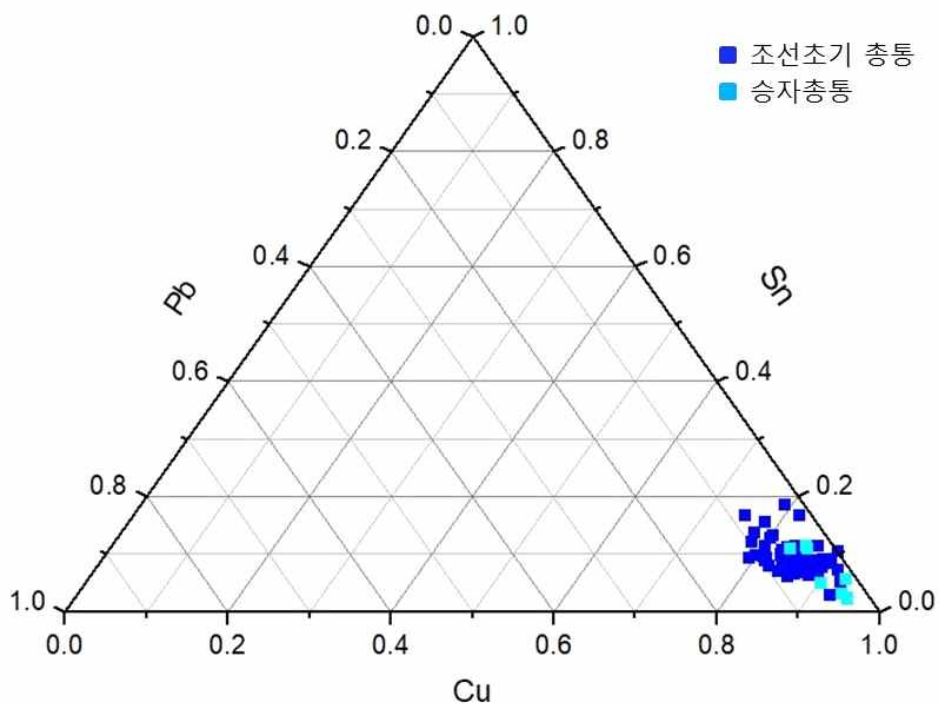
<그림 9> Cu-Sn 함량에 따른 기계적 성질의 변화

- 출처: 문화재를보는 과학의 눈

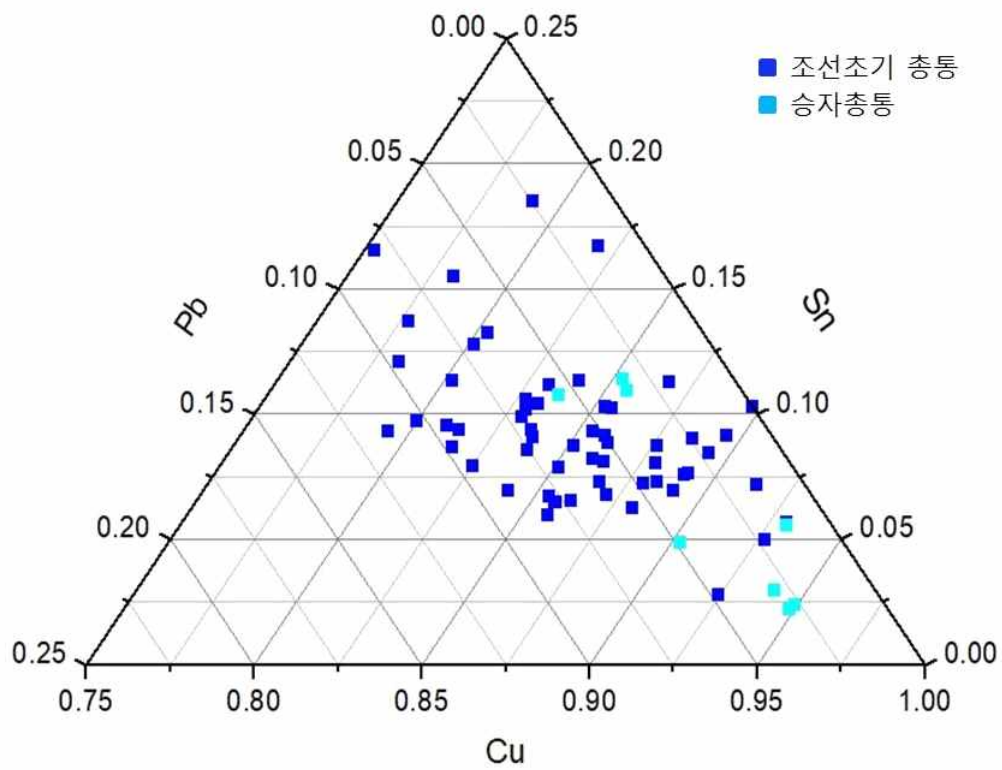
한편 조선초기 총통과 선행연구에서 분석한 승자총통자료를 하나의 Cu-Sn-Pb 삼원계 도표에 나타낸 결과는 다음과 같다<그림 10>.

두 그룹 모두 앞선 비교분석결과와 마찬가지로 Cu 75% 이상 구간에서 일정한 군집을

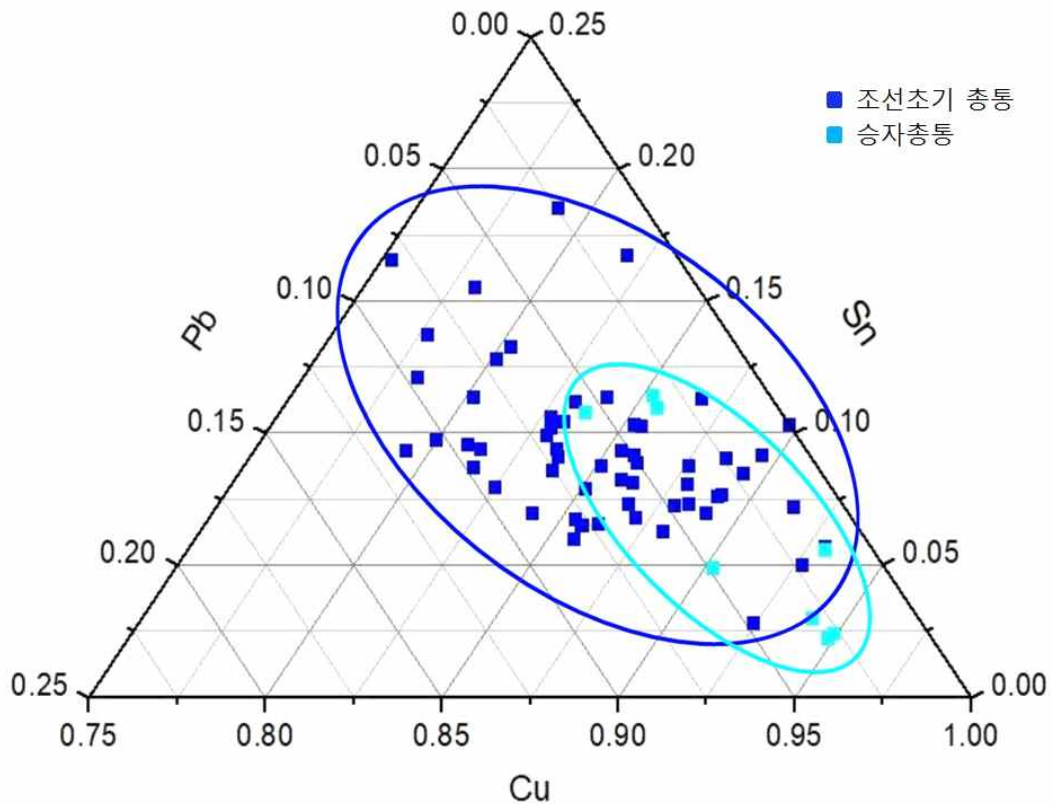
이루는 것을 확인했다. Cu 75% 이상 구간을 확대하여 보면 큰 차이는 없으나 승자총통 그룹이 더 높은 Cu함량을 보이는 것을 확인할 수 있다<그림 11>. 하지만 이러한 차이는 분석방법에서 오는 한계로 추정된다. 앞서 서술하였듯이 본 연구에서 사용한 분석방법(ED-XRF)은 유물의 표면을 직접 조사하기 때문에 대부분 부식층위를 측정하게 되어 Cu가 상대적으로 낮게 측정될 수 있다. 반면 선행연구에서 사용한 분석방법(ICP, TIMS)은 유물로부터 시료를 획득하여 분석하는 방법이므로 소지금속의 보다 정확한 화학조성을 알 수 있는 장점이 있다. 따라서 삼원계 도표상에서 나타나는 두 그룹의 경향성 차이는 분석방법의 분해능 차이를 감안하여 해석할 필요가 있다<그림 12>. 본 연구에서는 조선초기 총통 그룹과 승자총통 그룹의 경향성이 유의미한 차이를 갖지 않는다고 해석하였다. 따라서 조선초기에서 승자총통을 사용한 시기까지는 화학조성의 큰 변화 없이 형태 위주의 발전을 해온 것으로 판단된다.



<그림 10> 조선초기 총통과 승자총통의 Cu-Sn-Pb 삼원계 도표



<그림 11> 조선초기 총통과 승자총통 Cu-Sn-Pb 삼원계 도표 Cu 75% 이상 구간



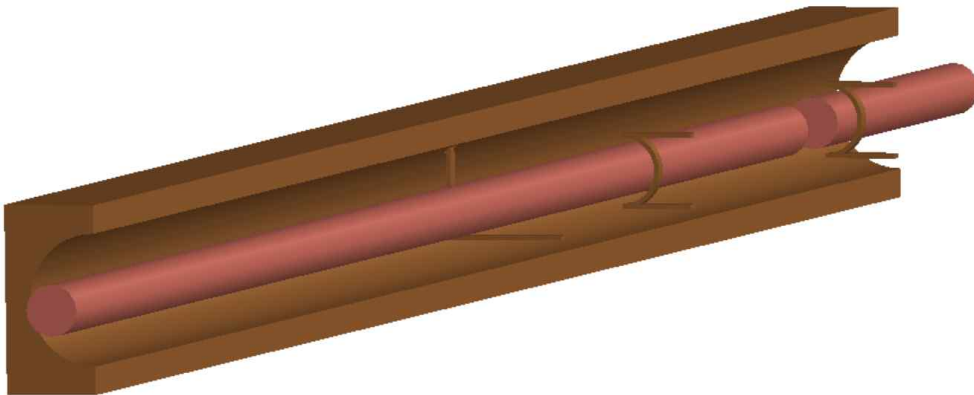
<그림 12> 조선평과 고구려종의 경향성 비교

2. 컴퓨터단층촬영(Computed Tomography)

CT를 통해 종통의 내부구조를 확인한 결과 중, 가장 핵심적인 부분은 격목부의 형태이다. 격목형의 내부구조는 국가에서 발행한 『국조오례의』에 기록되어 있기 때문에 그동안의 연구에서는 당연한 사실로 받아들여 왔다<표 7><그림 4>. 하지만 본 연구에서 실시한 CT촬영 결과 10점 모두 격목형 내부구조는 나타나지 않았다. 대신 종구부터 약 실 저벽까지 폭이 완만하게 줄어드는 형태를 보였다.

본 연구에서는 이러한 결과가 나온 원인을 두 가지로 추론하고자 한다. 우선은 제작과정에서의 실용성이다. 종통은 외형이 원통형으로 생겼으며 양쪽으로 깊은 구멍이 있는 구조로 단순화 할 수 있다. 이러한 형태를 주조하기 위해서는 외형을 잡기위한 틀과 내

부 빈 공간을 만들기 위한 코어(core)를 사용 했을 것으로 보인다<그림 13>. 코어의 재료는 현재 알 수 없지만, 어떠한 재료도 원기둥 형태로 성형하는 것이 격목형 구조를 설계하여 성형하는 것보다 간편하였을 것이다. 또한 코어의 재료가 이종의 금속 등, 주물에서 뽑아 제거해야하는 물질일 경우에는 격목형 구조에서 분리해 내는 것이 굉장히 힘든 과정이었을 것으로 추측된다. 이러한 제작공정상의 편의는 대량생산을 해야 하는 무기의 제작에 있어 중요한 요소로 작용했을 것으로 보인다.



<그림 13> 총통의 구조 틀 단면 추정도

또 하나의 추론은 총통을 사용하는 과정에서의 편의성이다. 조선초기의 총통은 화약과 발사체 사이에 격목이라는 부품을 사용한다. 화약의 폭발력을 발사체에 고르게 전달하기 위한 부품으로 나무를 깎아 만든다. 『국조오례의』에 기록된 격목형 내부구조는 이 격목이 총통 내부에 정확히 의도한 자리에 위치하도록 고안한 구조이다. 하지만 의도적으로 격목이 들어가는 자리를 설계했다면, 격목 또한 정확히 규격화 하여 사용해야 했을 것이다. 반면 내부구조가 점차적으로 좁아지는 형태라면 격목을 성형하는데 있어 크기오차가 발생하더라도 사용이 가능했을 것으로 추정된다. 의도한 위치보다 다르더라도 설치 자체는 가능한 구조이기 때문에 합리적인 선택으로 보인다.

따라서 본 연구에서는 조선초기 총통 내부에서 격목형 내부구조가 나타나지 않는 것이 주조가 실패한 기형이거나 선별한 유물에서만 보이는 특이점이 아닌 조선초기 총통의 일반적인 내부구조라고 추측한다.

한편 컴퓨터단층촬영결과 확인되는 다른 특징은 총열의 내부와 외부가 평행하지 않는 경우가 다수 관찰되는 점이었다. 또한 이로 인해 총열의 기벽 두께가 일정하지 않은 문제도 관찰되었다. 이로 인해 야기되는 문제는 두 가지가 있는데, 우선 발사체를 원하는 곳으로 보낼 수 없다는 점이다. 총통을 목표를 향해 겨냥하여 발사하였을 때 밖에서 보는 총열의 모습과 내부가 평행하지 않다면 발사체는 비뚤게 날아갈 수밖에 없는 구조적 결함이다. 또 한 가지는 불균일한 기벽의 두께로 인한 파손의 우려가 있다는 점이다. 총통은 내부에서 화약이 폭발하는 압력을 견뎌야 하는 구조물이기 때문에 어느 한 쪽의 기벽이 얇을 경우 상대적으로 취약한 부분이므로 그 부분부터 파손이 일어날 가능성이 있다. 본 연구에서 조사대상으로 선정한 57-삼총통의 경우에도 총열부의 기벽두께가 불균일하여 파손된 것으로 추정 된다<사진 17>.



<사진 17> 총열이 파손된 연구대상 57-삼총통 - 출처: 국립진주박물관

이와 연계하여 CT로 확인한 조선초기 총통의 특이사항으로 형틀받침쇠(形持, chaplet)를 사용하지 않았다는 점이다. 앞의 <그림 13>에서 보듯 내부 코어를 사용하는 주조 틀의 경우 코어를 지지하기 위한 지지대를 설치한다. 이러한 형틀받침쇠는 재료의 밀도차이나 형틀받침쇠 주변으로 관찰되는 주조결함으로 인해, CT·X-ray 등의 투과조사를 통

해 확인이 가능하다. 하지만 이번에 관찰한 10점의 총통에서 전부 형틀받침쇠를 사용한 흔적이 발견되지 않았으며, 7점의 총통에서 코어가 한 방향으로 치져 주조된 것을 볼 수 있었다. 아마도 당시에는 총통 주조과정에서 형틀받침쇠 사용이 일반적이지 않았고, 다수의 불량품이 제작되었던 것으로 추정된다.

VI. 결론

총통에 대한 선행연구는 문헌기록을 토대로 한 인문학적 접근이 주를 이루고 과학적 연구사례가 부족하였으며, 그 중에서도 조선초기의 총통은 과학적 분석사례가 전무하고 인문학적 연구사례도 소수인 분야였다. 본 연구에서는 그동안 연구되지 않은 조선초기 총통의 특성을 파악하기 위한 연구를 진행하고자 하였고, 연구 방법으로 화학조성 분석과 내부구조분석을 진행하였다. 화학조성 분석결과는 동시대 주조유물과 비교하여 총통이 갖는 일반적 특성을 파악하고, 조선중기의 승자총통과 비교하여 시대별 변화양상에 대해 파악하여 조선초기 총통만의 재료적 특성을 알고자 했다. 내부구조분석은 투과조사를 통해 총통의 단면을 확인하여 총통이 갖는 구조적 특징에 대해 알아보하고자 하였으며, 특히 『국조오례의』에 기록된 총통내부의 격목부 구조를 확인하고자 하였다.

연구결과 조선초기 총통은 동시대 주조유물에 비해 상대적으로 적은 10%전후의 Sn함량을 가지는 것을 확인 할 수 있었다. Cu-Sn합금은 Sn의 비율 16%이상부터 인장강도가 줄어드는 특성을 갖는다. 한편 총통은 내부에서 지속적인 화약폭발을 하는 장치로서, 인장강도가 적을 경우 파손의 우려가 있는 물건이다. 따라서 총통은 경도와 인장강도를 모두 확보하기 위해 Sn의 비율을 16%미만 10%전후로 의도한 것으로 볼 수 있다. 한편 Pb의 함량은 주물의 유동성과 경도에 영향을 준다. Pb의 함량이 높아지면 주조품의 성형에는 용이하지만 강도가 약해지게 된다. 총통의 Pb함량의 경우 동시대 주조유물과 유의미한 차이를 보이지 않았으며, 이는 일반적으로 주조를 하기 위한 Pb의 비율 외에 추가적인 변화를 주지는 않은 것으로 판단된다.

조선중기 승자총통과의 비교에서는 화학조성상의 유의미한 차이점이 발견되지 않았다. 이는 외부 총열이 길어지고 탄환을 병용하는 총으로 발전하는 과정에서 총통의 재료적 변화는 없었다는 것을 보여준다. 시대 흐름에 따른 재료특성의 변화양상은 향후 고려말 총통과 승자총통 이후의 총통의 화학조성 분석을 통해 연구해 나가야 할 것으로 보인다.

구조분석 결과의 경우 『국조오례의』에 기록된 격목부의 내부구조가 실제 유물에서 나타나지 않는다는 발견을 하였다. 『국조오례의』에는 격목부 부분에서 격목을 고정하기 위한별도 구조가 있는 것으로 기록되었으나, 실제 총통을 관찰한 결과 총구부터 약실까지의 구경이 점차 좁아지는 형태임을 확인할 수 있었다. 지금까지의 연구사례에서는

모두 문헌기록을 바탕으로 격목형 내부구조가 있다고 주장해왔으며, 이 구조가 조선 총통만의 독특한 양식인 것으로 연구되어 왔다. 하지만 이번 내부구조분석을 통해 조선초기 총통에서 격목형 내부구조는 문헌상에 등장하지만 실제 제작과정에서는 적용되지 않은 것으로 확인되었다. 이는 제작과정과 활용과정에서 편리함을 제공 했을 것으로 추정된다. 제작과정에서는 코어를 만들고 분리해내는 과정에서의 편리함을 주었을 것이고, 활용과정에서는 격목의 크기오차를 어느 정도 상쇄해주는 효과를 주었을 것으로 보인다. 이러한 이유로 실제 제작과정에서 내부 폭이 점차 줄어드는 형태로 구조한 것으로 추측한다.

구조분석을 통해 확인한 다른 특징으로는 형틀받침쇠를 사용하지 않았다는 점이다. 내부구조분석결과 7점의 총통에서 총열내외부가 평행하지 않은 점이 발견되었다. 또한 총열이 평행하지 않기 때문에 기벽의 두께가 일정하지 않은 것이 확인되었다. 이는 주조과정에서 코어를 지탱하기 위한 형틀받침쇠를 사용하지 않은 것이 원인으로 확인되었다. 주조과정에서 외틀 내부의 코어가 중앙에 위치하기 위해 형틀받침쇠를 사용하며 이는 투과조사를 통해 확인하는 것이 가능하다. 하지만 본 연구에서 실시한 CT촬영 결과 10점의 총통 모두 형틀받침쇠를 사용한 흔적이 나타나지 않았다. 이를 통해 조선초기 총통의 경우 코어를 지탱하기 위한 형틀받침쇠를 사용하지 않았다는 사실을 알 수 있었으며, 이는 총열의 내외부가 평행하게 맞지 않는 결과물을 만든 것으로 확인되었다. 총열의 내외부가 평행하지 않다는 것은 사격과정에서 사용자가 의도한 방향과 발사체가 날아가는 방향이 일치하지 않는 결과를 초래하며, 내부 화약폭발과정에서 상대적으로 취약한 부분이 생긴다는 것을 의미한다. 이러한 주조과정상의 결함은 형틀받침쇠를 사용하지 않을 경우 흔하게 발생할 수 있는 문제였을 것이며, 본 연구결과에서도 10점중 7점에서 코어가 한 방향으로 치진 것이 관찰되었다. 또한 분석대상 57-삼총통<사진 58>과 같이 기벽이 얇은 곳부터 파손이 되는 경우도 흔했을 것으로 추정된다. 이러한 결함은 당시 화약 무기 제작기술상의 한계로 보이며 추후 조선중기 총통과의 비교를 통해 제작기술의 발달과정을 추가 연구할 필요성이 있어 보인다.

본 연구에서는 연구대상을 조선초기 총통으로 한정지어 연구를 진행하였다. 이를 통해 조선초기 총통에 대한 특성을 확인할 수 있었지만, 화학조성분석과 구조분석 결과 모두 앞 뒤 시대의 자료를 추가 연구하여 비교할 과제 또한 남았다. 향후 고려후기 총통부터

승자총통 이후 개량된 소승자총통 등의 승자계총통까지 추가적인 연구를 통해 시기별 화학조성과 구조의 특성변화를 확인할 필요가 있을 것으로 판단된다. 또한 내부구조에 대한 추가 연구를 통해 총통의 제작기술에 대한 발전과정을 연구할 필요성도 확인되었다. 총통은 조선초기에 비해 후대로 갈수록 총열이 길어진다. 이는 화약무기의 사거리를 길게 하기 위한 발전과정인데, 총열이 길어지는 과정에서 형틀받침쇠를 사용하여 결함을 줄여나가는 시기를 확인하는 과정도 필요할 것으로 보인다.

본 연구를 통해 화약무기를 조사 연구하기 위한 기초적인 방법을 제시하였다고 생각한다. 이번 연구 과정에서 획득한 화약무기 조사 연구에 대한 방법과 경험을 바탕으로, 추가적인 연구를 진행하여 화약무기 전반에 대한 데이터베이스를 구축 할 예정이다. 그 결과물을 통해 화약무기의 시대별 경향성을 도출해내고, 시대별 자료의 비교연구로 화약무기 기술체계에 대한 종합적인 이해를 하고자 한다.

참고문헌

- 『高麗史』
『朝鮮王朝實錄 太祖實錄』
『朝鮮王朝實錄 太宗實錄』
『朝鮮王朝實錄 世宗實錄』
『國朝五禮儀』
李曙 (1635). 『火砲式諺解』
朴宗慶 (1813). 『戎垣必備』
- 경상문화재연구원 (2016). 하동읍성 복원종합계획에 따른 3차 학술발굴조사, 진주: 경상문화재연구원
국립진주박물관 (2019). 동아시아 7년전쟁 임진왜란, 진주: 국립진주박물관
- 강대일, 김선덕, 황진주, 안희균, 임선기 (1994). 여천 해저 인양 총통의 과학적 연구. 문화재, 15.
곽홍인, 황정순, 유혜선, 정광용 (2006). 창녕 화왕산성 출토 비격진천뢰의 보존, 박물관 보존과학, 7.
김우현 (2008). 중부내륙지역 출토 동경·동제병의 금속학적 연구. 석사학위논문. 한서대학교 예술대학원..
김영환 (2010). CT(Computed Tomography)의 기본원리. WITH CAP(Companion Animal Practice), 8(1).
노유중 (2012). 충청지역 조선시대 청동제품에 대한 자연과학적 특성 평가. 석사학위논문. 공주대학교 대학원.
박석황 (1995). 임진왜란기 조선군의 화약병기에 대한 일고찰, 서울: 국방과학연구소.
박제광 (2009). 화염조선;전통비밀병기의 과학적 재발견, 서울: 글항아리.
송혜련 (2009). 달성 본리리 출토 청동합의 금속학적 연구. 석사학위논문. 용인대학교 예술대학원.
오일환, 정연중, 조남철, 강형태 (2016). 경희대학교 중앙박물관 소장 승자총통의 과학적 연구. 보존과학회지, 32(1).
이강칠 (2004). 한국의화포;지화식에서 화승식으로. 서울: 동재.
이내주 (2013). 한국무기의 역사, 서울: 살림.
이재성, 백승희 (2011). 군기시터 유적 출토 금속 화기류 제작기술 분석. 서울 군기시터 유적 발굴조사 보고서.
이재성, 전익환, 이영은, 백지혜, 박지선 (2005). 승자총통에 대한 과학적 연구. 육군박물관 학예지, 12.
정광용, 최광진, 박장식, 백종오, 김웅신 (1999). 용인 임진산성 출토 철제유물의 금속학적 관찰. 용인 임진산성 긴급발굴조사보고서.
채연석 (1981). 한국초기 화기연구. 서울: 일지사.
(1995). 화약병기의 위력. 한국사시민강좌.
최미라, 조남철, 김동민, 윤선영 (2013). 성남 판교 출토 청동보살상의 제작기법 및 납 원료의 산지

- 추정. 보존과학회지, 29(3).
- 허선도 (1969). 한국화기발달사. 서울: 육군사관학교 군사박물관.
- 허일권, 안송이 (2014). 선림원종의 재료성분. 국립춘천박물관 소장품 조사연구보고서 I 선림원종·염거화상탑지, 춘천: 국립춘천박물관.
- 황진주 (2009). 우리나라 청동문화재의 주성분 조성분포 연구. 박사학위논문. 명지대학교 문화예술대학원.
- 히라오 요시미츠 (2001). 문화재를 보는 과학의 눈. 서울: 학연문화사.

Analysis of the Chemical Composition and Structure of Hand Cannon(*Chongtong*) in the Early Joseon Period

Kim Hae Sol

Department of Cultural Properties
The Graduate School
Gyeongju University

(Supervised by Professor Do Jin Young)

(Abstract)

Chongtong are tubular(有筒式)/hand-lit(指火式) firearms that were first manufactured in late-Goryeo period; they were the original form of firearms in Korea until the *Jochong*(Machlock muskets) appeared in the mid-Joseon period. However, current research on *chongtong* is limited to studies based on literature and cases of scientific analyses of *chongtong* of the mid-Joseon period. In order to identify the characteristics of *chongtong* in the early-Joseon period, which has not been covered in previous studies, this study conducted a chemical composition analysis and structural analysis on these weapons. We compared the chemical composition analysis results to analyses of cast-bronze items of the same period to identify the characteristics of the chemical composition of firearms in the early-Joseon period and to analyses of *Seungja-chongtong* from the mid-Joseon period to examine whether there were any changes in chemical composition over time. In addition, we identified

the characteristics of the manufacturing technology of *chongtong* in early Joseon and compared them to records in the *National Book on the Five Rituals*(國朝五禮儀).

The *chongtong* of early-Joseon were found to have a tin (Sn) content of around 10%, which is relatively low compared to casted artifacts from the same period. Copper-tin (Cu-Sn) alloys have decreased tensile strength when the ratio of tin exceeds 16%. Therefore, we can say that the ratio of tin being around 10%, below 16%, was intentional for securing the hardness and tensile strength of the *chongtong*. Meanwhile, the lead (Pb) content, which affects the liquidity and hardness of cast-iron, did not show a meaningful difference with casted artifacts from the same period, and we believe this shows that additional changes, such as changes in the lead ratio, were not made for general casting. We did not find meaningful differences in chemical composition in comparison to the *Seungja-chongtong* from the mid-Joseon period. This shows that there were no changes in materials in the process of development into guns with longer external barrels and to guns that could also use bullets.

Results of the structural analysis show that the internal structure of the *Gyeongmokbu* (front portion of the propellant case with a wooden attachment), which is recorded in the *National Book on the Five Rituals*, did not appear in actual relics. In the *National Book*, it is noted that there was a separate structure in the *gyeongmokbu* used to fix the position of the wooden attachment (*gyeongmok*), but through this internal structure analysis, we found that, while the *gyeongmok*-type internal structure appears in the literature, it was not applied in the actual manufacturing process. We presume that the reason such differences occurred was for convenience in the manufacturing and usage process. We estimate that, during the manufacturing process, making and separating the core would have been convenient, and in the usage process, doing so would have had the effect of somewhat offsetting errors in the size of the *gyeongmok*. In addition, there were no signs that chaplets were used in the 10 *chongtong* that went through structural analysis. In addition, we found that the inside and outside of the barrels of seven of the *chongtong* were not

parallel; the thickness of the arms' walls were inconsistent. Inconsistent wall thickness in the arms results in a situation where the direction of the projectile does not match the intended direction of the user during the firing process, and it also weakens the internal gunpowder explosion process. Through these flaws, we could see the limitations in firearm manufacturing skills at the time.