천마총 출토 철부(鐵釜)의 제작기법 및 보존처리

이승렬¹ | 신용비 | 정원섭*
국립경주박물관 보존과학실, *부산대학교 재료공학과

Study on the Manufacturing techniques & Conservation of Iron Pot from Cheonmachong Ancient Tomb

Seung Ryul Lee¹ | Yong bi Shin | Won Seob Jung*

Conservation laboratory, Gyeongju National Museum, 780-150, Gyeongju, Korea

*Department of Material Engineering, Pusan National University, 609-735, Busan, Korea

¹Corresponding Author: femc14@korea.kr, +82-54-740-7612

초 록 천마총(황남동 제 155호 고분)에서 출토된 철부(鐵釜)의 제작기법 및 보존처리에 대하여 연구하고자 하였다. 철부의 제작기법을 조사하기 위하여 유물 중 일부를 채취하여 마운팅 후 연마하고, etching을 실시하여 금속조직을 관찰하였고, 비금속개재물부분은 SEM-EDS로 분석을 실시하였다. 금속학적 조직검사와 SEM-EDS분석 결과 철 솥은 백주철 조직이 관찰되었고, 주조 후 상온에서 서서히 건조시킨 것으로 보이며, 취성을 개선하기 위해 별다른 열처리를 시도한 흔적은 보이지 않는다. 몸통 중심부의 폭3cm 두께 1.5cm 전(鑢)이 확인됨에 따라서 가로식 거푸집을 활용한 이분제작기법을 사용하여 주조한 것으로 추정된다. 이처럼 백주철 조직과 가로식 거푸집을 활용한 제작기법은 비슷한 시기인 식리총과 황남대총에서 출토된 철 솥에서도 나타나는 것으로, 당시 주조품의 생산기술이 동일하였음을 알 수 있었다. 보존처리는 크게 처리전조사, 이물질제거, 탈염처리, 강화처리, 접합·복원, 색맞춤의 순서로 진행하였으며, 처리과정 중 필요에 따라 세척 및 건조를 실시하였다. 강화처리는 유물의 크기로 인하여 진공함침에 어려움이 있었으므로, 저농도의 Paraloid NAD-10을 2-3차례 붓으로 도포하였고, 보존처리가 완료된 후 15wt.% Paraloid NAD-10용액으로 표면을 재강화하였다. 파손부위의 복원은 섬유강화플라스틱 수지(POLYCOAT FH-245, 몰드 적층용)를 사용하여 파손 부위와 유사한 형태의 모형을 만든 후 접합하여 복원하였다. 이번 연구를 통하여 철제유물의 보존처리뿐만 아니라 5-6세기 주조 철솥의 제작기법에 대한 자료를 축적함으로써 향후 보다 나은 연구를 위한 발판으로 활용되었으면 한다.

중심어: 천마총, 철부, 철부, 철솥, 철정, 보존처리, 금속조직, 제작기법

ABSTRACT It's shown how to proceed the study on Manufacturing techniques & Conservation to the Iron Pot from Cheonmachong Ancient Tomb(the 155th Tomb in Hwangnam-dong). In order to investigate manufacturing techniques of the Iron Pot, some parts of the relic were gathered. After mounting, polishing and etching on the relic, analyzing the metal microstructure was conducted. Also it's conducted a SEM-EDS analysis on the nonmetallic inclusion. White iron structure was observed in the metallurgical structure inspection, SEM-EDS analysis. It seems to be dried slowly at room temperature after casting, doesn't look as particular heat treatment to improve brittleness. It is estimated that it's as the handle seam side were verified about 3cm inch wide, 1.5 thick in center of body, so 2 separate half-completed products was cast with width-type mould. The manufacturing techniques Using white cast iron structure, width-type mould are observable to the Iron Pot excavated from Sikrichong Ancient Tomb & Hwangnamdaechong grand Ancient Tomb

around those were constructed the same time. It's able to recognize that it's almost identical manufacturing techniques at that time. Conservation is generically following those are survey of pretreatment, foreign material removal, stabilization, restoration and color matching in the order. cleaning & drying were added to the process as occasion demands. The strengthening treatment were difficult with artifact's volume, low concentration Paraloid NAD-10 solution was spread two or three times with a brush, surface hardening also came up with 15 wt. % Paraloid NAD-10 solution after the conservation was complete. There were connection & restoration for the restoration to the damage after modeling forms that it's similar to damaged parts by using the Fiber Reinforced Plastic resins(POLYCOAT FH-245, mold laminated type). Throughout this research, capitalizing on accumulations of measurements about the production technique of Iron Pot in the time of the fifth and 6th centuries is no less important than the Iron artifact's conservation for a better study in the future.

Key Words: Cheonmachong Ancient Tomb, Iron Pot, Conservation, Metal organization, Manufacturing techniques

1. 서 론

국립경주박물관에서는 신라능묘 특별전의 일환으로 “천마, 다시 날다”를 주제로 하여, 1973년에 발굴된 천마총(황남동 제 155호 고분) 출토품을 전시하였다. 5세기 말~6세기 초에 축조된 것으로 여겨지는 천마총은 적석목곽분으로써 봉분의 지름이 47m, 높이가 12.7m에 달하며, 나무 덧널과 부장 궤에서 다양한 종류의 유물들이 출토되었다. 전시대상품 중 천마총에서 출토된 철 술을 대상으로 보존처리를 실시하게 되었으며, 총 4점의 유물 중 상태가 양호한 1점만을 보존처리하여 전시하였다. 철 술은 청동정이나 청동초두 등과 마찬가지로 특별한 의미가 부여되어 있는 부장품의 하나로, 음식을 조리하는 용도뿐 아니라 왕위 전승의 상징으로 국가, 왕위, 제업의 뜻을 지녀 신성시 여겨진 물건 중 하나이다(Jung, 2003). 이러한 철 술은 고신라 고분에서 많게는 4점부터 적게는 1점까지 부장되어 있었으며, 금관총·천마총 등의 왕릉급에는 4점이, 서봉총·식리총 등 왕족에게는 2점, 그리고 호우총이나 양산 부부총의 남편무덤 등의 귀족묘에는 각각 1점씩 부장되어 있었

다. 부장된 철 술은 출토 위치별로 그 형태가 조금씩 다른 것으로 관찰되며, 형태의 주된 차이는 신부(身分) 중앙에 둘러져있는 전(鑣)의 유무와 족(足)의 유무로 구별된다. 전(鑣)과 족(足)은 시대에 따른 유·무와 형태의 변화 등이 나타나며, 이는 시대 구분 뿐만 아니라 철 술의 주물시 거푸집의 형태변화와 같은 주조·제작기법에 대한 중요한 정보를 제공한다(Table 1). 또한 철 술의 형태에 따라서 불리는 용어도 다양한데, 임원경제지(林園經濟志) 담용지(譚用之) 취류팽약제기편(炊餽烹瀹諸器篇)에는 “옛날에는 다리가 있으면 기(鑄)라 하고 없으면 부(釜)라 하였다. 대구(大口)의 것은 부(釜), 소구의 것은 복(鑊)이라 한다.”라고 기록되어 있다. 그밖에 국립문화재연구소에서 출간된 한국고고학 사전에는 철 술을 형태에 따라 두 가지로 분류하고 있는데 하나는 다리가 3개이고, 술바닥이 비교적 편평하며, 주변이 직선형이고, 주둥이가 약간 넓게 퍼진 모양에 뚜껑이 술전보다 약간 크게 만들어진 것이며, 다른 하나는 다리가 없고, 술바닥이 둥근 편이며, 주둥이가 좁고 술전이 오므라든 것이다. 그리고 명확하게 구분은 하고 있지 않지만, 전자는 정(鼎)으로, 후자는 복(鑊)으로 설명하고 있다. 천마

Table 1. Type of iron Pot form tomb.

	Excavated number	Number of foot	Handle(鑣)	Embossed line	Period
Hwangnamda main chamber	1	0	none	2	5C~6C
echong attached chamber	3	-	exist	none	
Geumgwanchong	4	3	none	none	6C
Cheonmachong	4	0	exist	3	6C(early)
Sikrichong	1	3	exist	none	5C~6C
	1	0	exist	none	
Noseori acient tomb No.138	-	3	-	-	5C~6C

총에서 출토된 철 솥은 다리가 없으며 구연이 넓어 저부가 편구형인 점을 토대로 볼 때 기(鐃)나 정(鼎)을 사용하기에는 무리가 있었다. 따라서 위의 견해들과 더불어 천마총 발굴조사보고서에 기재된 내용을 참고하여, 천마총에서 출토된 철 솥에 대한 용어로 「철부(鐵釜)」를 사용하기로 하였다.

본 고에서는 천마총 출토 철부의 형태적 특징과 미세조직 관찰, SEM-EDS 등으로 제작기법을 유추해보고자 하였고, 이것을 바탕으로 유물의 상태를 관찰하고 분석함으로써 효과적인 보존처리 방향을 설정하고 복원작업을 진행함으로써 전시에서의 활용도를 높이고자 하였다.

2. 제작기법

본 고에서는 천마총 출토 철부의 효과적인 보존처리를 위해서 우선적으로 육안 및 X선 조사와 미세조직을 관찰함으로써 철부의 상태와 제작기법에 대해 연구하였다. 일반적으로 철 솥에 비해 청동으로 된 정(鼎)이 먼저 출현하게 되는데 이는 구리의 용융점이 철보다 낮아 다루기 좋았기 때문으로 여겨진다. 청동정과 철 솥의 형태는 많은 부분에서 흡사하기 때문에 동일한 방법으로 제작된 것으로 추정되며, 철 솥의 등장에도 불구하고 청동정의 출현이 같은 시기와 장소에서 등장함으로 미루어 볼 때, 이는 정이 가지고 있는 국가, 왕위, 제업과 같은 상징적인 의미를 지니고 있기 때문인 것으로 생각된다(Chong and Yun, 2005). 이러한 솥에 대한 역사적인 배경은 청동기시대부터 조선시대에 걸쳐 나타나는 문헌자료와 더불어 고고학계에서 이미 많은 부분 다루어졌으므로 생략하였다(Lee, 2002; Chong et al., 2003; Gang, 2005; Sul, 2013).

일반적으로 제작과정은 우선 솥의 속심과 외형거푸집을 제작하여 솥의 형태를 갖추고, 솥의 두께를 일정하게 유지시켜주기 위해 속심거푸집을 이용하여 주물사를 제작하며, 용광로에서 철을 녹여 쇳물을 만들고, 녹인 쇳물을 거푸집에 붓는 4단계의 공정이 이루어지게 된다(Chong and Yun, 2005). 위의 4단계의 공정을 제작기법적인 측면에서 본다면 거푸집과 주물사를 제작하는 것은 ‘철 솥의 형태를 결정짓는 과정’으로, 그리고 용광로에서 철을 녹여 쇳물을 만드는 작업과 쇳물을 거푸집에 부어 주물을 식히는 작업은 ‘철 소재에 대한 과정’으로 분류해볼 수 있다. ‘철 솥의 형태를 결정짓는 과정’은 거푸집 제작방법에 대한 것으로 해석할 수 있으며, 이것은 철 솥의 제작기법과 더불어 고고

학적 편년에 대한 중요한 정보를 제공해준다.

철 솥은 전과 족의 유·무에 따라서 외형거푸집을 2~3분할로 제작하게 되며, 분할된 거푸집을 사용하여 주조할 경우 거푸집 경계가 되는 주형의 틈새에 용탕이 들어가 돌대가 나타나게 되는데 이것을 용입(metal penetration) 또는 분할선이라고 한다. 즉 분할선의 방향은 곧 거푸집의 사용방향과 같은 의미로 해석이 가능하며, 분할선의 개수에 따라서 외형거푸집의 갯수와 주조기법에 대한 정보를 제공하기 때문에 제작기법에 있어서 매우 중요한 자료로 활용될 수 있다.

설준원의 “고대 무쇠 솥 제작기술에 대한 연구”에는 거푸집 방식과 형태변화의 변천을 3단계로 설정하고 있으며, 제1기의 경우 세로식 거푸집형식, 제2기의 경우 가로식 거푸집형식, 제3기에는 가로식 거푸집형식에 상하 거푸집에 음각을 하여 전을 나타내는 형식을 제시하고 있다.(Sul, 2013) 경주 사라리유적II 보고서에 의하면 철복의 외면에 종방향으로 길게 돌기형상이 나타나 있어 용범을 절반씩 제작한 후 합치는 방법으로 주물을 제작하였다는 내용이 기술되어 있으며(Yeongnam Institute of Cultural Properties, 2001), 식리총(노동동 126호분) 출토 철 솥은 전과 족이 달린 것으로 나타났다. 사라리 유적의 경우 청동기시대에서 원삼국시대에 걸쳐 나타나는 복합유적으로 경주지역에서도 철 솥의 형태변화가 세로식 거푸집형식에서 가로식 거푸집형식으로의 변화가 나타났음을 알 수 있다. 이러한 철 솥의 외형적인 형태변화는 철 솥의 이용에 있어서 편의성 제공기능과 함께 솥의 내용물에 열을 효과적으로 전달해 주기 위한 효율성에 대한 기능성도 있어 철 솥 제작시 사용 용도를 고려하여 제작하였음을 알 수 있다. 특히 전의 경우 이동성과 안착성 뿐만 아니라 주조시 거푸집의 사용으로 나타나는 분할선을 은폐하는 효과에 대해서도 제시하였다(Sul, 2013).

‘철 소재에 대한 과정’은 솥의 내구성과 함께 품질을 좌우하는 중요한 공정으로, 철을 제련·가공하는 기술에 대한 중요한 정보를 내포하고 있다. 철 소재는 탄소함량에 따라서 순철과 강철, 주철로 구분되어 진다. 순철의 경우 탄소함량이 0.02% 미만으로 용융점이 1539℃에 이르기 때문에 초기철기시대에는 널리 사용되지 못하였다. 그러나 주철의 경우 탄소함량 4.3%에 이르면 용융점이 1148℃로 낮아지기 때문에 초기철기시대에도 주물을 통한 복잡한 형상으로도 성형이 가능하였다. 철 솥의 경우 주로 주철을 근간으로 제작된 것이기 때문에 3~4세기의 이른 시기에도

출현한 것으로 보인다. 또한, 삼국사기에 의하면 철유전(鐵鑛典)에서 철기와 유기류를 제조하도록 국가차원에서 철을 관장하였다고 기록된 바, 비슷한 형태와 용도를 가지는 철 술의 생산과 제작은 국가주도하에 방법적인 면에 있어서 동일한 것으로 해석된다.

본 고에서는 천마총 출토 철부의 외형적 형태와 더불어 소재가 되는 철의 미세조직을 관찰함으로써 철부의 제작 기법에 대해서 연구하고자 하였으며, 이러한 자료들을 토대로 효과적인 보존처리 방안을 제시하여 전시에 활용하고자 하였다.

2.1. 조사 및 분석방법

2.1.1. X선 조사

X-ray 장비를 활용하여 유물에 대해 제작기법을 조사하였다. X-ray촬영은 Hard X-ray(Gilardoni MHF300D, Max: 300kV, 6mA)를 사용하였으며 촬영조건은 150kV, 3mA, 40sec로 하였다. 필름 현상은 암실에서“현상→정지→정착→수세”의 과정으로 수동 현상하였다.

2.1.2. 미세조직 분석

미세조직 분석을 위하여 철부의 편 중 금속심이 잘 남아 있는 부분과 부식으로 인해 파손된 저부 부근의 시편을 선정하여 광학현미경과 주사전자현미경으로 금속의 조직 및 성분을 분석하고자 하였다. 먼저 수습된 시편을 지름 30mm의 mounting holder안에 시편을 고정시키고, Struers社의 Epofix 수지를 이용하여 진공함침기안에서 수지속의 기포를 제거하면서 경화시켰다.

Mounting이 완료된 시편은 연마지 #600, #800, #1200으로 1차 연마한 후 3μm와 1μm의 연마제와 연마천을 이용하여 광택연마를 실시하였다. 광택연마 후 금속 표면의 부식을 방지하기 위하여 ethyl alcohol(99.99%)로 세척하여 건조시킨 후 3% Nital (HNO₃ 3ml : ethyl alcohol 97ml) 용액으로 10초간 Etching 한 후 세척하고, 광학현미경(Nikon Eclipse LV150)으로 50배~500배의 배율로 관찰한 뒤 I-solution Delta Lite Image analyzer program을 이용하여 영상을 촬영하였다. 조직관찰 후 비금속개재물 등의 성분분석을 위하여 시료표면을 gold coating하여 주사전자현미경(FE-SEM with EBSD, SUPRA40 VP)으로 미세조직관찰과 EDS성분분석을 실시하였다.

2.2. 조사 및 분석 결과

2.2.1. X선 조사결과

천마총 출토 철부는 폭3cm 두께 1.5cm 가량의 전이 동체부 중앙에 둘러져 있었고, X선 조사 결과 Figure 1과 같은 형상으로 나타났으며, 파손부위를 제외한 대부분의 경우 금속심이 두껍게 남아있는 것으로 확인되었다.

금속내부에 관찰되는 다수의 원형 기포들과 균열의 양상은 주조품의 특성을 잘 제시하고 있으며, 땀질이나 용접 등의 흔적은 관찰되지 않았다. 따라서 거꾸집을 사용하여 원형의 제품을 제작한 것으로 관찰되며, 신부 중앙의 전을 기점으로 가로식 2분할 거꾸집을 사용한 것으로 보인다.

전의 경우 상·하 거꾸집의 접합부분에 음각하여 나타난 것으로 보이며, 견부에 3줄의 돌대와 저부에 원형돌기가 관찰되므로, 상·하부 거꾸집에 해당 부위를 음각하여 주조한 것으로 보인다. 천마총과 비슷한 시기인 식리총 및 황남대총에서 출토된 철 술 역시 전의 폭에는 차이가 있지만 전으로 인해 분할선이 은폐되었다는 점을 토대로 볼 때, 동일한 방식의 가로식 거꾸집을 사용한 것으로 추정된다. 따라서 5C~6C에 출토되는 신라시대 철 술의 경우, 가로식 거꾸집을 활용한 제작기법이 널리 활용된 것으로 추정된다. 다만, 천마총의 경우 족이 없으며 저부가 편구형에 원형돌기만이 존재하는 것으로 보아 가로식 2분할 거꾸집을 사용한 것으로 생각되나, 황남대총의 경우 3개의 족이 존재하기 때문에 같은 가로식 거꾸집을 사용하더라도 저부의 경우 족에 따른 영향으로 거꾸집의 수량에서 차이가 있을 것이라 판단된다.

Figure 1. X-ray

2.2.2. 미세조직 분석결과

Figure 2는 철부의 미세조직을 보여주는 광학현미경 사진으로 탄소함량 4.3%에는 미치지 못하는 아공정 조성 주철조직이 관찰된다. 오스테나이트 수지상정이 냉각 도중 pearlite로 변태되면서 수지상정 간극 사이에 ledeburite 공

정이 함께 나타나고 있다. 전형적인 백주철 조직으로 주조 후 취성을 감소시키고 연성을 증가시키기 위한 추가적인 열처리는 하지 않은 것으로 보인다. 이는 무구류나 농구류 등과는 달리 외부 충격에 노출될 가능성이 낮은 편이기 때문에 별다른 열처리 없이 주조 후 공기 중에 냉각시킨 것으

(A)

(B)

Figure 2. Microstructure of iron pot. (A), (B).

Figure 3. SEM image and EDS analysis result of the iron pot.

로 생각된다(Park *et al.*, 1996; Jung and Kim, 1999). 이러한 백주철 조직은 비슷한 시기의 황남대총에서 출토된 철정의 미세조직과 유사한 것으로 나타났다(Park, 2004).

시료 일부에는 불순개재물의 존재가 확인되며, SEM-EDS로 성분분석을 실시한 결과 Si, Al, Ca, K, S 등의 원소가 검출되었으며, 주로 Si와 Al의 함량이 높으며 Ca, K 등의 함량은 상대적으로 낮게 측정되었다. 보통 Ca의 존재는 용융 시 탈탄을 위해 CaCO_3 가 주성분인 석회석이나 조개껍질 등을 첨가함으로써 발생하게 되는데 분석으로 나타난 Ca의 결과값은 매우 소량이며, 철부의 경우 주조품으로써 탄소함량이 높아 인위적으로 Ca를 첨가할 필요성이 없는 점을 토대로 본다면, 철 소재나 노벽 등에서 일부 유입된 것으로 판단되며, 인위적으로 첨가하지 않은 것으로 보인다. 따라서 분석결과 불순개재물은 산화물 형태의 SiO_2 , Al_2O_3 와 일부 미량의 황화물인 CaS 등으로 구성된 유리질 슬래그로 추정된다(Figure 3).

3. 보존처리

제작기법 관찰 결과를 토대로 처리방법을 설정하고 보존처리를 실시하였다. 분석결과 철부의 경우, 가로식거푸집의 이분제작기법을 활용한 주조품으로 전형적인 백주철 조직을 나타내고 있었다. 또한 철 소재 내부의 존재하고 있는 다수의 주물공과 주조품의 대표적인 부식현상인 공식(孔蝕) 등으로 인해 부스러짐이 발생하고 있었으며, 특히

파손된 저부 부근에 집중적으로 나타나고 있었다. 또한 파손부위가 구연에서 시작하여 견부를 거쳐 저부에 이르면 서 점차적으로 넓어져 저부의 경우 30~40%가량이 파손되어 있었고, 전의 경우에도 균열이 심하였다. 철부의 외형적 형태가 가지는 고고학적 의미가 크기 때문에 전시를 위해서는 진행되는 부식을 방지하고, 내·외부를 강화하여 균

Table 2. Reagents used for conservation treatment.

Process	Materials and Analysis equipment
Desalination	0.1M NaHCO_3 + Na_2CO_3 (Sodium Sesquicarbonate) DIONEX ICS-1000
Condolidation	Paraloid NAD-10
Bonding	Loctite 401, Epoxy Devcon 5min Epoxy SV427:HV427
Restoration	tin foil, silicone rubber(KE1402), Plaster Polycoat (FH-245), Talc
Coloring	acrylic paint with air-blower

Table 3. Instruments used for conservation treatment.

Process	Materials and Analysis equipment
Investigation for iron pot	Cannon 5D markII, Hard X-ray (Gilardoni MHF-300D)
Cleaning	dental tools, sand blaster Portable sand blaster

Table 4. The properties of POLYCOAT (FH-245).

Conditions		POLYCOAT (FH-245)		
Liquid (Before hardening)	Property	measure	standard	
	Appearance	-	opaqueness	
	Viscosity	25℃ poise	5.0 ~ 6.0	
	Thixotropic Index	-	2.5 ~ 3.0	
	GT	25℃, Min	14 ~ 22	
Solid (After hardening)	Property	measure	measured value	
			template	laminated plate
	Barcol hardness	-	43	48
	Heat distortion temp	℃	68	-
	Absorptance	%	0.2	0.17
	Tensile strength	kgf/mm ²	6.5	12.7
	Elongation	%	2.3	-
	Tensile modulus	kgf/mm ²	360	750
	Flexural strength	kgf/mm ²	12.0	19.5
	Flexural modulus	kgf/mm ²	330	700
	Compressive strength	kgf/mm ²	12.0	15.4

열로 인한 파손을 막고, 외형을 복원하는 것이 시급하였다. 저부는 30~40% 가량이 파손되었으므로 최대한 남은 편(片)등을 찾아서 접합함으로써, 복원부위를 최소화시켰으며, 복원재료는 유물과의 중량을 고려하고, 표면질감을 잘 표현할 수 있는 재료를 선택하였다.

3.1. 보존처리 사용재료 및 장비

각 과정별 사용재료와 장비는 아래와 같으며, 일부 재료에 대한 설명을 서술하였다(Table 2, 3).

3.1.1. POLYCOAT (FH-245 몰드적층용)

파손된 철부의 복원에 사용될 재료는 Fiber-Reinforced Plastics (이하 FRP)로 합성수지 속에 섬유강화재를 혼입시켜 기계적 강도를 향상시킨 섬유강화플라스틱이다. F.R.P 수지 중 몰드 적층용 수지인 FH-245는 이액형 수지로 고강도이며, 수축율이 작고 발열경화에 의한 백화현상이 없어 복원시 주재료로 활용하였다(Table 4).

3.1.2. 실리콘

복원 작업에 사용된 실리콘은 ShinEtsu Silicone 社에서 판매하는 고강도 복제용(축합Type)인 KE-1402(주제)와 CAT-1402(경화제)를 사용하였다. 배합비율은 10:1이며, 경화시간을 촉진시키기 위하여 촉진제인 CAT-RS를 사용하거나 경화제를 7% 증량하여 사용하면 경화시간의 단축이 가능하다. 경화시간 단축 시 다량의 기포가 발생 할 수 있으므로 주의 하여야 한다. KE-1402는 이액형으로 대형 미술공예품이나 FRP장식품 등에 사용되고 있는 제품으로 대상 표면을 섬세하게 재현할 수 있기 때문에 복잡하고 정밀한 작업에 많이 사용된다. 제품에 대상 정보는 Table 5와 같으며, 복원시 유물의 표면질감을 효과적으로 재현하기 위하여 사용하였다.

3.1.3. 석고

석고는 이수석고($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)를 소성하여 반수석고($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$)로 변형하여 얻어지는 것인데 반수석고가 다시 물 분자와 결합하면 열을 내면서 반응하여 경화가 일어나게 된다. 종류로는 섬유상이 병행집합체를 이룬 섬유석고와 세립의 치밀한 집합체를 이룬 설화석고가 있다. 설화석고는 주로 도자기용 형제 및 모형용 형틀에 사용되는 것으로 조각용으로 사용된다.

복제시 사용되는 석고는 소석고로 설화석고를 원료로

Table 5. The properties of silicone rubber (KE-1402).

	Product	KE-1402
	Hardening Mechanism	Condensation
Before hardening	Appearance Color	White
	Viscosity	70Pa · S
	Working time at 23℃	80min
	Hardener rate	CAT-1402 10.0%
	Hinder hardening	none
After hardening	Test sample hardening time(hour/℃)	72/23
	Appearance Color	Pink
	Specific gravity at 23℃	1.10
	Hardness durometer	33-A
	Tensile strength	4.5MPa
	Elongation at cutting	300%
	Internal tearing strength	18
	Contraction percentage	0.5
	Workable temperature	-60~+250℃
	Hardening at the depths	Exist
	Special feature	Standard high intensity

하며, 1급~A, B, 2, 3등급으로 나뉘며, 3등급으로 갈수록 저급품이고 견고성이 떨어진다. 즉, 고급품으로 갈수록 정도와 백색도가 뛰어나며, 혼합하는 물의 온도에 따라 경화 시간과 용해도가 달라진다. 또한, 물의 양에 따라서도 경화 속도와 인장, 압축강도 등이 달라지므로 작업의 성격에 따라 잘 조절하여야 한다(Kim, 2005; Choi, 2012).

본 연구에서 석고는 재료의 특성상 가공이 용이하며, 경화시간이 빠르고, 작업성이 좋아 철부의 완형을 재현하기 위하여 사용하였고, 주물시 실리콘형틀이 뒤틀리지 않게 석고로 내·외곽틀을 제작하는 것에도 사용하였다.

3.2. 보존처리과정

보존처리과정은 크게 처리전조사, 이물질제거, 탈염처리, 강화처리, 접합·복원, 색맞춤의 순서로 진행하였다.

3.2.1. 처리전조사

천마총에서 출토된 철부는 총 4점으로 발굴 수습 후 철부는 솜으로 채워진 나무상자 안에 파손된 채 보관되어 있었으며, 이 중 상태가 양호한 1점을 선정하여 보존처리하여 전시하였고, 나머지 3점에 대해서는 복제하여 대체 전시품으로 활용하였다.

처리전 조사에서는 발굴조사 보고서를 토대로 발굴 당

시의 자료를 수집하였고, 철 솥과 관련된 여러편의 선행 논문들을 찾아서 참조하였다. 관찰결과 파손된 철부는 너비 약 50cm, 높이 약 33~34cm이며, 구연의 직경이 33cm 두께는 평균 1.5cm 였다. 형태는 동체가 불룩한 편구형이며, 동체의 외측에 폭 3cm의 전(顛)을 돌렸으며, 견부에는 3줄의 돌대가 확인된다. 구연은 동체에서 6cm가량 직립하였으며, 저부의 중앙은 파손되어 원형돌기의 존재를 확인할 수 없었다(Figure 4). 그러나 발굴조사보고서에 따르면“구조시에 생기는 원형돌기가 남아있다”고 기재되어 있으며, 발굴 당시 출토 철 솥의 형태가 도면으로 기록되어 있어 원형돌기의 존재를 알 수 있었다(文化財管理局, 1973), (Figure 5). 또한, 다른 3점의 철부에서 원형돌기가 잇따라 확인됨에 따라 저부 복원 시 중요한 자료로 활용하였다. 구연부에는 약 1cm정도 균열 발생하였고, 이를 기점으로 상부에서 저부까지 파손되었으며, 파손부위의 편으로 추정되는 다수의 잔편들이 함께 관찰됨에 따라서 접합하여 원형으로의 복원이 요구된다. 동체부에서 저부로 내려가는 곡률이 파손된 부위를 중심으로 갑자기 편평해지는 점으로 볼 때, 적석(積石)의 하중으로 인해 일그러짐이 발생한 것으로 보인다. 특히 응력(stress)이 집중되는 곳에 균열이 발생하여

저부를 중심으로 파손이 발생한 것으로 추정된다.

철부의 내·외부 표면에는 흙과 goethite 등으로 추정되는 부식산화물이 적갈색과 황갈색을 띠고 있었으며, 내벽은 구연부를 중심으로 전형적인 주조품의 부식형태인 녹혹이 전체적으로 발생하였다. 저부는 수직방향의 균열이 확인되었고 파손부위 근처를 제외한 철부의 금속심은 대체적으로 잘 남아있는 것으로 보인다. 그러나 균열부위를 중심으로 지속적인 편이 박락이 진행되고 있으므로 빠른 처리가 요구되었다(Figure 6).

3.2.2. 이물질제거

인수 당시 철부의 내·외부에는 다량의 흙과 함께 부식생성물이 존재하고 있었다. 저부는 파손·유실된 부위 주변으로 심한 균열이 발생하여 보존처리 중 2차 파손이 우려되었다. 따라서 빠른 접합을 위해 접합면이 작은 부분은 순간접착제(Loctite 401)를 사용하였고 편이 크고 접합면이 넓어 강도 보강이 필요한 곳은 5분경화용 Epoxy계 수지(Devcon)를 사용하여 임시로 접합하였다. 이물질제거 전에 붓과 Air-blower를 사용하여 1차적인 건식세척을 하였으며, 그 후 동체는 Air-compressor에 휴대용 sand

Figure 4. Before conservation treatment. Top (A), Side (B), Between side and bottom

Figure 5. Drawings from Excavation report.

Figure 6. Crack of the broken part.

blaster (in glass powder)를 장착하여 고착된 흙과 부식생성물을 제거하였다. 파손된 편(片)의 경우, 메스와 니퍼를 사용하여 고착된 흙과 부식산화물을 1차적으로 제거한 후 sand blaster를 사용하여 magnetite층이 들어나게끔 표면을 정리하였다(Figure 7).

3.2.3. 탈염처리

X선 촬영 결과 유물 내부에 상당량의 금속심이 남아있는 것으로 확인되었으며, 염분으로 인해 부식이 발생되지

않도록 탈염처리를 하였다. 유물 내부에는 주물공과 균열 등이 상당부분 존재하였기 때문에 탈염처리는 비교적 안정적이면서도 효과적인 0.1M Sodium Sesquicarbonate ($\text{NaHCO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$, 이하 S.S.C) 수용액을 사용하여 상온에서 유물을 침적시켰다. 탈염용액의 교체는 증류수의 양과 약품의 양을 고려하여 주 1~2회 교체하였고, 용액교체 시 유물표면에 잔존하는 약품의 제거를 위하여 증류수로 충분히 세척하였다. 약 4주에 걸쳐 탈염처리를 하였고, 이온분석기(DIONEX 社, ICS-1000)를 사용하여 탈염용액

Figure 7. Cleaning of the iron pot. Using a dental tools (A), sand blaster (B), Portable sand blaster (C), (D).

Table 6. The chromatography data of Chloride Ion.

Sample	Sample Name	Ret. Time (min)	Area ($\mu\text{S} \cdot \text{min}$)	Height (μS)	Amount (ppm)	Plates (EP)
iron pot	1 week	4.110	0.1288	0.65	1.6347	3133
	2 week	4.297	0.0840	0.39	1.0659	2935
	3 week	4.120	0.0797	0.39	1.0120	3216
	4 week	4.110	0.0435	0.22	0.5522	3115

의 Cl⁻이온 농도를 측정하였다. 이온의 농도가 10ppm이하로 떨어진 후 잔존하는 S.S.C 약품의 제거를 위해 주 2~3회씩 4주간 중화처리를 한 후 열풍건조기에서 105℃로 8시간 이상 충분히 건조하였다(Table 6).

3.2.4. 강화처리

강화제로 Paraloid NAD-10를 사용하여 강화를 하였으며, 유물의 크기로 인하여 진공함침이 어려웠으므로 저농도(5wt.%)의 Paraloid NAD-10(in Naphtha) 용액을 붓을 사용하여 표면에 3회 도포 후, 상온에서 자연건조하고 10 wt.% Paraloid NAD-10용액으로 재 도포하였다.

3.2.5. 접합·복원

유물을 접합·복원 재료는 유물의 하중을 지지하면서 강도를 가지고 경화속도가 빨라 작업시 형태가 변형되지 않는 5분경화제 Epoxy수지인 Devcon을 사용하였다. Devcon을 무기안료와 혼합하지 않고 사용할 경우 열화로 인한 황변현상이 발생되지만, 철부의 색맞춤을 위해 흑색과 적갈색 계통의 무기안료와 혼합하여 사용하므로 황변현상으로 인한 색상 차이가 거의 없는 것으로 판단되어 선택하였다(Amy Davidson, 2009). 접합은 대부분 Devcon에 무기안료를 혼합하여 접합하였고, 일부 균열부위가 넓은 곳에는

Epoxy계 수지인 SV427:HV427(혼합비1:1)에 무기안료를 첨가하여 접합하였다. 유물 저부는 면적 중 40% 정도가 파손되어 있었기 때문에 복원 전에 유물편을 최대한 접합한 후 복원하였고, 복원 시 일반적인 수지를 사용한 매움 방식의 복원보다 Molding과 Casting을 통해 모형으로 제작한 뒤 접합하여 복원하고자 하였다.

최대 복원 부위 모형의 제작은 실리콘(KE1402:Cat1402, ShinEtsu 社)을 사용하여, 유물 저부를 복제한 뒤 성형하여 접합하였고, 유물의 표면 질감과 굴곡을 최대한 유사하게 제작하였다.

모형 제작을 위해 유물표면을 얇은 주석박을 붙여서 실리콘으로부터 유물을 보호하였고, 실리콘 KE1402(주제): Cat1402(경화제)에 경화촉진제인 CAT-RS를 혼합한 뒤 수채화 붓을 사용하여 유물표면에 조심스럽게 발라주었다. 실리콘 내부에 기포가 많이 생성될 경우 찢어지기 쉽기 때문에 Air-Blower를 사용하여 기포를 제거하였다. 실리콘이 완전히 경화된 후 실리콘에 변형이 일어나지 않도록 석고를 사용하여 외곽틀을 만들고, 유물을 안전하게 탈형한 후 표면에 붙어있는 주석박을 제거하였다. 유물 표면의 굴곡이 드러난 실리콘 형틀을 활용하여 석고모형을 제작하였다(Figure 8).

완성된 석고모형을 상·하부로 분리하여 복원 작업을

Figure 8. process to make plaster replica. Preliminary joint (A), attached thin foil to the iron pot and broken pieces (B),(C) Brush faces of iron pot with silicone resins (D), silicone mold (E), use to silicone mold to make plaster replica (F).

하였다. 우선 석고모형에 실리콘을 2~3차례 도포하여 경화시킨 후 탕구(수지주입구)를 확보하고, 실리콘의 변형을 방지하기 위해 석고로 내·외틀을 제작하였다. 이 후 실리콘 내부의 석고모형을 제거하고, 폴리코트(FH-245)에 Talc와 무기안료를 혼합한 뒤 주형 내에 주입하였다. 하루 정도 경화시킨 후 탈형하여 만들어진 복제품을 상온에서 2~3일 간 충분히 경화·건조시킨 후 모터틀을 사용하여 파손부위 형태와 유사하게 성형을 하였다(Figure 9).

유물은 원형태가 변형되어 있기 때문에 복원시 완만한 굴곡을 그대로 적용하여 복원할 수 없었으므로, 유물편 중 일부를 선별하여 복제한 후 파손부위에 굴곡에 맞추어 조금씩 복원하였다.

유물과 복원부위의 중량 차이로 인하여 접합면에 균열이 발생하여 복원부가 탈락될 가능성이 있어 내부구조물을 이용한 강도의 보강이 필요하였다. 그러나 유물에 직접 내부구조물을 삽입하기 어려웠기 때문에 접합면 중 일부를 수지로 복원한 후 스테인레스 스틸봉을 삽입하여 보강하였다.

3.2.6. 색맞춤 및 전시활용

복원부 표면을 정리한 후 ShinHan Acrylic Colors를 사용하여 유물과 유사하게 색맞춤을 하였다. 유물 내부의 복원부에 대하여는 Air-Spray에 아크릴물감과 물을 혼합하여 분사하여 도포하였다(Figure 10). 색맞춤 후, 15wt.%

Figure 9. Process to make replica with polycoat resin. separated plaster model to the top and bottom (A), process to make mold (B), (C), put polycoat resin in the mold (D), working with a motor tool (E), (F).

Figure 10. After conservation treatment. Front side of the iron pot (A), Bottom (B), On display (C).

Paraloid NAD-10용액을 도포한 후 상온에서 3일간 건조하였다. 처리가 완료된 유물은 전시를 위해 함께 출토된 상면 토기뚜껑을 덮어 신라능묘 특별전3 천마총 “천마, 다시 날다”(전시기간: 2014.03.13. ~ 2014.06.22.)에 전시하였다(Figure 10).

4. 결 론

이상으로 천마총에서 출토된 철부에 대한 제작기법과 보존처리에 대해서 소개하였으며, 이를 요약하면 다음과 같다.

4.1. 제작기법

1. 출토 철부의 제작기법 연구와 보존처리는 4점 중 상태가 양호한 1점에 대하여 실시하였다. 형태관찰 결과 철부는 몸통부근의 폭3cm, 두께 1.3cm~1.5cm의 전(鑢)과 견부의 3줄의 돌대가 관찰되었으며, 저부는 파손이 심하여 원형돌기의 존재를 알 수 없으나 발굴조사보고서와 다른 3점의 철부에서 원형돌기의 존재와 형태를 발견할 수 있었다. 이로 인해 철부는 가로식 거푸집의 이분제작기법을 사용하여 제작된 것으로 판단된다. 동체와 저부의 파손이 30~40% 가량으로, 잔존하는 편(片)을 찾아 파손부위 일부를 접합하고, 20~30%가량은 복원을 통하여 철부의 형태를 복원하고자 하였다.

2. 미세조직 관찰 결과, 수지상정의 전형적인 백주철 조직이 관찰되며, 취성을 개선시키기 위한 별다른 열처리는 하지 않고, 상온에서 자연 냉각시킨 것으로 보인다. X선 조사 결과에서도 전형적인 주조품의 특성인 주물공이 관찰되어 주조를 통해 제작된 것으로 확인되었다. 철부 내부의 금속심은 상당량 잘 남아있는 것으로 관찰되었는데 이것은 백주철 조직의 특성상 취성이 있으나 단단하여 부식에는 잘 견디기 때문인 것으로 보인다. 신라 철기의 미세조직과 제작기법에 관한 선행연구들에 의하면 4세기~5세기에 이미 대규모 철기 생산기지와 더불어 탄소강에 대한 이해를 바탕으로 제작품의 용도에 따라 제강공정을 달리하였다고 보고 있으므로, 결국 천마총 출토 철부 역시 그 용도를 충분히 고려하여 제작하였음을 알 수 있다. 다만, 주물공과 균열 등이 다수 관찰되었고, 부식으로 인한 파손의 가능성이 있으므로 부식방지처리와 강화처리가 시급하였다.

3. 5~6세기에 출토된 주조 철술의 경우 형태와 미세조직 측면에서 유사한 결과를 나타내는 것으로 보아 동일한

제작기법을 사용한 것으로 보인다. 그러나 제작기법에 있어서 시기별·지역별에 따른 세부적인 비교분석 연구는 미흡하여 향후 출토 철 술의 지역별, 시기별에 따른 연구대상 유물의 확보와 관찰 등으로 분석 자료의 축적이 충분히 이루어진다면 출토 철 술의 제작기법에 대한 심도 깊은 비교 분석 연구를 할 수 있을 것으로 판단된다.

4.2. 보존처리

철부의 제작기법에 대한 연구 결과를 바탕으로 보존처리 방향을 설정하였다. 이물질제거는 각종 소도구와 이동식 sand blaster를 활용하여 흙과 고착된 부식산화물을 제거하였다. 탈염처리는 유물의 상태를 고려하여 비교적 안정적인 Sodium Sesquicarbonate법을 사용하기로 하였으며, 0.1M S.S.C 수용액에 유물을 침적하여 4주간 탈염 후 잔여약품 제거를 위해 4주간의 중화처리를 하였으며, 이후 105℃에서 8시간 이상 건조하였다. 강화처리는 Paraloid NAD-10 용액을 사용하였으며, 붓을 사용하여 저농도에서 고농도로 순차적으로 도포하였다. 접합에는 Epoxy계 수지인 Devcon과 SV427:HV427을 사용하였다. 파손되거나 결실된 저부의 복원은 발굴조사보고서에 기재된 도면과 남아있는 유물편의 형태를 참고하여 실리콘 수지인 KE1402와 석고를 이용하여 내·외곽형틀을 제작 후 유물과의 중량을 고려하여 폴리코트 (FH-245)수지에 Talc 및 무기안료를 혼합하여 저부를 복제하였다. 이후 유실부위의 형태에 맞춰 성형하고, 복원 모형과 복원부 사이에 내부구조물로 직경 0.5mm의 stainless steel 봉을 삽입하였다. 색맞춤은 아크릴물감을 사용하여 유물과 유사하게 채색하였다. 이후 보존처리가 완료된 유물을 전시케이스에 넣은 후 상면토기뚜껑을 덮어 전시에 활용하였다.

REFERENCES

- Amy Davidson., 2009, Why not 5minute Epoxy, American Museum of Natural History.
- Choi, J.S., 2012, Based on the tin foil casting method in the Beakje pottery replication, major of Cultural properties Graduate School of Culture of Cluture and art Dongguk University, 19-21. (in Korean)
- Chung, K.Y. and Kim, S.B., 1999, Study on the Manufacturing techniques of Gyeongju Ancient Iron. The Kyong ju mun hwa youn gu, 2, 1-24. (in Korean)

- Chong, T.C., Yun. Y.H., and Lee, G.R., 2003, Technology of cast iron pot, National Science Museum, 3-4, 52-53. (in Korean)
- Chong, T.C. and Yun. Y.H., 2005, Cast iron pot, Asias comparative folklore society, Vol.28, 13-54. (in Korean)
- Kang, B.K., 2005, A study on Cast bronze pot from unified shilla dynasty, Geumganggogo Vol.2. (in Korean with English abstract)
- Kim, B.S., 1145, Samguksagi, Book 39, jobji 8(Part). (in korean with Chinese)
- Kim, C.S. and Hwang, S.D., 2005, Reproduction of the relics using Liquid Silicone Rubber, Journal of Conservation Science, Vol.17, 97-98. (in Korean)
- Moon, S.Y., Jeon, I.H. and Yu, H., 2003, Scientific Analysis and conservation Treatment of the Kettle Excavated from Hwangnam-dong, Gyeongju, Conservation Science in Museum, Vol.4, 23. (in Korean)
- National Reserch Institute of Cultural Heritage, 2003, Dictionary of Korean archaeology, Hakyoun, Korea, 1045-1047. (in Korean)
- Park, I.M., Jung, W.S., and Choi, N.Y., 1999, Foundations and practical of casting iron, Sejongbooks, 2-34, 211-228. (in Korean)
- Park, J.S., and Jung, Y.D., 2004, Iron Technology of Silla as Observed in the Microstructure of a Sword and a Spear Excavated from the Hwangnam Great Tomb, Korean Journal of Metals and Materials, Vol.42, No.3, 307. (in Korean)
- Sul, J.W., 2013, Ancient cast iron pots for Research on production technology, Department of Culutral Anthropology Graduate School Yeungnam University, 39-41. (in Korean with English abstract)
- Seo, Y.G., Choseon Dynasty of Korea, Limwongyeongjeji, Damyoungji(Chapter), Chuiryupaengyakjeji(Part). (in Chinese)
- The cultural properties management bureau, 1973, Excavation report of Cheonmachong, 33-35, 153-154. (in Korean)
- Yeongnam Institute of Cultural Properties, 2001, The Ancient site at Sara-ri, Gyeongju, Vol.2. (in Korean)