□ 연구노트

금속활자 밀랍주조법 주형재료: 유성 탄소의 복원실험 연구

조형진
강남대학교 인문학부

An Experimental Study for Restoration of Mould Material -Oil Carbon-for Metal Type Wax Casting Method

CHO Hyungjin
Division of Humanities
Kangnam University

ABSTRACT

This study applied empirical approach in order to restore mould material for metal type wax casting method.

(1) Matrix Material: wax, pine resin-added wax and paraffin were used.

(2) Mould Material: any sticky clay was acceptable as main material. Oil carbon was useful as the functional material, and its adding proportion was 20 percent.

(3) Component of Alloy, Pouring Quantity and Method: it was possible to make an alloy of copper with 55 through 70 percent. The amount of metal poured was a very small

quantity of around 200 grams, and conventional pouring method was also applicable.

(4) Number of Character Strokes: it was not specifically related to the success of casting method.

(5) Success and Contraction Rate of Casting: the success rate of casting was 0.40%, and its contraction rate was 95.14%.

Key words : wax casting method, mould material, clay, oil carbon

1. 서 론

본 연구는 밀랍주조법에서 사용할 주형 재료의 적합성 여부를 실험적 방법으로 연구한 것이다. 지금까지 고려시대의 금속활자 주조 방법, 특히 사찰에서 사용한 것으로 보이는 밀랍주조법에 관한 연구는 필자에 의하여 처음 시도된 주형재료: 탄분(炭粉)[1]・흑연[2]・탄분+지섬유(紙纖維)의 복원실험 연구[3] 등이 있다. 이는 밀랍주조법의 주형재료를 실험적 방법으로 연구한 것으로, 밀랍주조법의 구체적인 주조 과정을 추적하여 복원하기 위한 첫 과정이다.

본 연구는 앞의 실험이 성공적인 결과로 확인되기는 하였으나, 밀랍주조법에 사용되었을 가능성이 있는 또 다른 주형재료를 복원하기 위하여, 탄분・흑연・탄분+지섬유의 복원실험 연구에 이은 연속 실험이다. 이러한 실험이 축적되면 고려시대 금속활자 주조의 진실에 한 걸음 더 다가갈 수 있을 것으로 기대된다.

따라서 연구의 기본 과정은 앞의 복원실험 연구와 대동소이하며, 다만 차이점이라면 유성 탄소(油性 炭素)를 사용한 점이다. 이러한 과정으로 진행한 실험 결과는 다음과 같다.

---

1) 曺炯鎭, “金屬活字 蜜蠟鑄造法 鑄型材料: 炭粉의 復原實驗 硏究”, 『書誌學硏究』 제30집 (2005), 183-221쪽.
2) 曺炯鎭, “金屬活字 蜜蠟鑄造法 鑄型材料: 黑鉛의 復原實驗 硏究”, 『書誌學硏究』 제31집 (2005), 33-56쪽.
3) 曺炯鎭, “金屬活字 蜜蠟鑄造法 鑄型材料: 炭粉+紙纖維의 復原實驗 硏究”, 『書誌學硏究』 제32집 (2005), 107-130쪽.

2. 자본(字本)과 어미자의 준비

1) 자본의 선정

밀랍주조법은 활자의 주조보다는 청동기물을 주조하기 위한 방법이다. 활자와 같은 극소형의 주물은 임시로 또는 예외적으로 주조하기 위하여 응용된 것으로 짐작된다. 따라서 주형의 재료가 주조에 적합한가만을 측정하기 위해서는 아무 형태의 어미 모형이라도 무방하다. 그러나 굳이 활자 형태로 실험한 이유는 본 연구의 궁극적인 목표가 고려시대 사주 활자의 주조과정을 복원하기 위한 것이므로 활자 형태의 어미자로 실험하였다.

자본은 문자의 크기와 서체를 고려하되, 앞의 실험에서와 마찬가지로 밀랍주조법의 유일한 실물인『직지』에서 추출하였다. 여기에는 실험 결과를 비교하기 위하여 필획이 많은 문자와 적은 문자, 그리고 대자와 소자가 각각 <표 1>과 같이 포함되어 있다.

〈표 1〉 추출 자본

자본의 크기와 서체	·『직지』에서 자본을 추출하였으므로 문자면의 크기와 서체는『직지』를 따른다.
자본의 필획 수와 추출 위치	· 대자① 10획 이내의 “見(제34엽하 3-14)” · 대자② 11～15획의 “動(제34엽하 6-14)” · 대자③ 16획 이상의 “轉(제34엽하 6-15)” · 소자① 10획 이내의 “化(제34엽하 5-10)” · 소자② 11획 이상의 “善(제34엽하 7-18)”

2) 어미자의 조각 요령

다음에는 어미자의 높이와 조각 요령을 정한다.

(1) 어미자의 높이

어미자의 높이는 주조 후에 곧 수축률이 반영된 활자의 높이로 나타므로, 활자의 높이를 고려하여 미리 결정하여야 한다. 대체로 조임식 조판법을 사용하는 활자는 높이가 높고, 부착식 조판법의 활자는 낮다.

『직지』활자는 부착식 방법으로 조판하였던 것으로 추론되었으므로 그 높이는 그다지 높지 않았을 것으로 판단된다. 따라서 이번 실험에서는 탄분 실험에서와 마찬가지로 부착식 활자의 최대치에 가까운 4mm로 하였다.

(2) 어미자의 조각 요령

어미자 조각 요령의 핵심은 산의 각도와 깊이다. 필획을 만드는 산의 각도는 앞의 실험에서와 마찬가지로 85～90°정도를 유지하였다.

산의 깊이 역시 앞의 실험에서와 마찬가지로 1～1.5mm 정도로 하였다.

기타의 조각 요령으로는 문자가 문자면에 가득 차도록 조각하였다. 이상을 정리하면 <표 2>와 같다.

〈표 2〉 어미자의 조각 요령

어미자의 높이	· 높이는 4mm로 한다.
어미자의 조각 요령	· 산의 각도는 85～90° 정도를 유지한다. · 산의 깊이는 1～1.5mm 정도로 한다. · 문자가 문자면에 가득 차도록 조각한다.

3) 어미자의 재료

어미자의 재료는 고려시대에 사용했을 법한 재료 중에서 선택한다.

(1) 밀 랍

가장 기본적인 재료다. 토종 꿀벌의 집을 채취하여 꿀을 여과하고 난 찌꺼기를 정제하여 얻은 황랍을 사용하였다.

(2) 우 지

밀랍의 양이 부족할 경우 보조 재료로 우지를 첨가하여 사용한다. 본 실험에서는 밀랍 60%에 우지를 40%의 비율로 혼합하여 사용하였다.

(3) 송 지

송진이다. 밀랍의 강도와 점도를 높이기 위하여 첨가한다. 송지의 단점인 가소성을 높이기 위하여 식물유를 약간 첨가한다. 본 실험에서는 밀랍 65%・송지 30%・콩기름 5%의 비율로 혼합하여 사용하였다.

(4) 식물유

밀랍의 유연성을 높이기 위하여 식물유를 첨가한다. 본 실험에서는 100% 콩기름을 밀랍 80%와 콩기름 20%의 비율로 사용하였다.

(5) 파라핀(paraffin)

밀랍과의 실험결과를 비교하기 위하여 공업용 파라핀을 어미자의 재료로 선택하였다. 결과가 같다면 향후의 밀랍주조에서는 파라핀을 손쉽게 사용할 수 있기 때문이다.

〈표 3〉 어미자의 성분별 함유율

1	밀랍 100%
2	밀랍 60% + 우지 40%
3	밀랍 65% + 송지 30% + 콩기름 5%
4	밀랍 80% + 콩기름 20%
5	파라핀 100%

4) 어미자의 조각

(1) 어미자판 제작

문자를 편리하게 조각하기 위하여 우선 어미자의 재료를 판으로 제작하였다. 어미자판의 폭은 문자의 폭과 같거나 0.5mm 정도 여유 있게 하고, 두께는 활자의

높이인 4mm로 하였다.

(2) 자본 붙이기

자본을 어미자판에 뒤집어서 올려놓고, 금속 막대를 달구어서 자본의 뒷면을 조심스레 훑어줌으로써 어미자판의 표면을 순간적으로 녹이는 방법으로 자본을 붙였다.

(3) 어미자 조각

비교 분석을 위하여 밀랍・파라핀은 5개의 문자를 각각 5자씩, 우지・송지・식물유를 각각 첨가한 밀랍은 5개의 문자를 각각 8자씩 조각하여 모두 170자를 조각하였다.

조각은 조각 요령에 따라서 충실하게 조각하였다. 필획을 다 조각한 후 여백 부분과 측면을 정리하였다.

(4) 실리콘 주형 제작

이렇게 하여 조각된 170개의 어미자로 실험에 직접 사용될 어미자의 대량생산을 위한 실리콘 주형을 제작하였다.

(5) 어미자 주조

실험에 직접 사용한 어미자는 실리콘 주형에서 부어낸 어미자로 하였다. 주형의 어미자 틀에 해당 밀랍 재료를 녹여서 여유 있게 부어 채운다. 재료가 식기를 기다렸다가 완전히 굳기 전에 넘친 부분을 깎아낸 후, 완전히 식으면 어미자를 꺼내어 사용할 수 있도록 하였다.

(6) 어미자 날인

조각과 주조 두 방법의 어미자가 완성되면 흑색 유성 스탬프로 자적(<표 8> 참조)을 날인하여 실험 후의 금속활자와 비교할 수 있도록 하였다.

3. 주형의 원재료와 조제

1) 주형의 원재료

주형의 원재료는 크게 주재료와 기능성 재료로 구분된다. 주재료는 자연 점토와 인공 점토의 두 가지로 구분하여 준비하였다. 본 실험은 어떤 성질이나 기능의 점토가 활자 주조에 적합한가를 밝히기 위한 것이므로, 성분이 확인된 점토를 사용하였다.

기능성 재료는 주형 재료의 부족한 성질을 갖추기 위하여 반드시 첨가해야 한다. 이는 점토 내에서 공극을 형성함으로써 금속 용액을 주입할 때 발생하는 가스를 흡입하는 기능을 가지고 있어야 한다. 본 실험에서는 유성 탄소를 사용하였다.

(ㄱ) 황 토

생활 주변에서 쉽게 구할 수 있는 자연 점토다. 본 실험에서는 이천시 백사면 야산의 붉은 황토를 선택하였다.

자연 상태의 황토를 물에 풀어서 불순물을 제거한 후, 황토물을 깨끗한 수조에 침전시킨다. 침전 상태에 따라서 윗부분의 맑은 물을 제거하여 수분의 함량을 점차 낮춘다. 수분이 거의 제거되면 점성이 강한 황토 진흙이 되는데, 이렇게 되기까지는 약 7일 정도 소요되었다. 이 황토는 사질 성분과 점토질 성분을 모두 다분히 함유하고 있다.

(ㄴ) 백 토

백자토라고도 한다. 백자를 굽는데 사용하기 위하여 인공적으로 조제한 점토다. 소성 후에는 백색으로 변하지만, 소성 전에는 흑색 내지는 회색을 띄고 있다. 점토 내에 불순물은 거의 없다.

(ㄷ) 청 토

청자토라고도 한다. 청자를 굽기 위한 인공 점토다. 소성 전에는 연한 갈색을

띄고 있다. 점토 내에 불순물은 거의 없다.

(ㄹ) 내화토

여러 종류의 사질 점토를 혼합하여 조제한 잡토 성격의 인공 점토다. 이에는 화강암이 부식되어 된 마사토・풍암이 풍화된 점토・규석이 많이 포함된 점토 등이 있다. 소성 후에 단단히 굳어지는 성질을 가지고 있는데, 알루미나 또는 규석 등 유기물의 결정체가 많이 포함되어 있기 때문이다.

(ㅁ) 유성 탄소(oil carbon)

유성 탄소를 굳이 실험한 이유는 점토나 기타의 기능성 재료가 수용성임에 반하여, 물에 섞이지 않는 유성의 기능성 재료는 어떠한 결과가 나타날지를 분석하기 위함이다.

유성 탄소는 비금속의 화학 물질 군에 속하며 아세틸렌 블랙 등의 동의어를 가지고 있는 그을음이다. 흑색을 띄고 있으며, 냄새는 없고, 분말 상태의 고체로 물에 용해되지 않는 유성이다. 발암성 의심 물질로 알려져 있다. 본 실험에서는 Korea Carbon Black Co.의 HIBLACK 을 사용하였다. 이는 99.5%의 순도를 보이고 있다.

2) 주형 재료의 조제

이상의 주재료와 기능성 재료를 혼합하여 주형의 재료를 조제한다. 이 주형의 재료는 지금까지 금속활자장에 의하여 편법으로 이용되어 온 치과 주조용 석고계 매몰재를 대신하여 고려시대에 사용했을 전통 재료를 찾아야 하는 과제로 본 연구의 핵심 부분이다. 따라서 다양한 주재료와 기능성 재료를 개발하여 실험해야 했으며 실험의 종류도 다양하고 많았다.

주형의 재료가 갖추어야 할 조건은 ① 우수한 통기성, ② 소성 시 불균열성, ③ 우수한 부착성, ④ 수축의 균일성 등이 있다. 이러한 조건을 갖춘 주형 재료를 찾기 위하여 본 실험에서는 주재료 4종과 기능성 재료 1종을 각각 혼합하여 조건이 다른 4종의 주형 재료를 조제하였다.

(ㄱ) 황토 계열 주형 재료의 조제

수비된 황토와 기능성 재료의 중량을 정확하게 측정하여 반죽하였다. 실험의 정확도를 위하여 조그마한 덩어리까지 곱게 풀어서 반죽하여야 한다. 본 실험에서는 유성 탄소 20%를 혼합하여 조제하였다. 비록 앞의 탄분 실험에서 10%가 가능하다는 사실을 확인하였으나, 유성 탄소 20%는 필자의 실험적 감각으로 예상하여 설정한 최소치다. 기능성 재료의 첨가율은 최대치에 가까울수록 금속용액의 주입 성공률이 높으나, 그 최소치를 추출하는 것이 더 의미가 크므로 예상되는 최소치로 실험하였다.

(ㄴ) 백토 계열 주형 재료의 조제

백토를 사용하여 황토 계열의 주형 재료를 조제하는 것과 같은 방법으로 조제하였다.

(ㄷ) 청토 계열 주형 재료의 조제

청토를 사용하여 황토나 백토 계열의 주형 재료를 조제하는 것과 같은 방법으로 조제하였다.

(ㄹ) 내화토 계열 주형 재료의 조제

내화토를 사용하여 앞의 경우와 같은 방법으로 조제하였다.

이상의 주형 재료를 조제할 때 주의할 점은 다음과 같다.

(가) 재료를 균일하게 혼합하여야 한다. 이를 위하여 2～3회의 여과 과정이 필요하였다.

(나) 반죽의 농도가 적합하여야 한다. 반죽의 농도는 주형틀 안에 충진할 때 기포가 생기지 않거나, 반죽 내의 기포가 약간 흔들면 표면 위로 올라와서 제거될 수 있거나, 어미자의 미세한 필획 사이에도 채워질 수 있으면 적합하다. 본 실험에서 주형 재료에 대한 물의 비율은 54.43%～58.62%였다.

반죽이 진하면 기포가 쉽게 형성되어 실패할 확률이 높다. 반죽이 묽으면 건조시간이 길어지며, 건조 수축률이 커서 어미자가 주형 재료 밖으로 노출되기도 하고, 어미자의 노출을 방지하기 위하여 주형 재료를 많이 채워야 하는 불편이 따른다.

〈표 4〉 주형 재료의 혼합 비율과 수분 함유율

주재료(%) / 기능성재료(%)	(ㄱ) 황토		(ㄴ) 백토		(ㄷ) 청토		(ㄹ) 내화토	
(ㅁ) 유성 탄소	80 / 20	44.44	80 / 20	44.44	80 / 20	41.38	80 / 20	45.57
	수분	55.56	수분	55.56	수분	58.62	수분	54.43

4. 주형과 활자의 제작

1) 주형의 제작

(1) 어미자군의 성형

주형(鑄型)을 제작하기 위하여 고무 받침・밀랍 주봉・밀랍 가지봉 및 실험용 어미자로 어미자군을 성형하였다. 고무 받침은 주형틀과 아귀가 꼭 맞는 내경 60mm짜리를 사용하였다. 밀랍 주봉은 직경 9mm짜리를 55mm 정도의 길이로 재단하였다. 밀랍 가지봉은 길이 10mm를 사용하되 굵기는 직경 2mm의 균일한 것과 양단의 직경이 3mm와 1.5mm로 깔때기 모양인 것의 2종류를 사용하였다. 깔때기 모양의 가지봉은 굵은 부분이 밀랍 주봉에 연결되도록 하였다.

어미자군 성형의 구체적인 방법은 고무 받침의 중앙에 밀랍 주봉을 끼워서 세운다. 어미자와 밀랍 가지봉을 가볍게 녹여 붙인다. 이것을 다시 밀랍 주봉에 45° 각도로 비스듬히 녹여 붙인다. 이 때 어미자의 문자면이 3개는 위쪽으로, 2개는 아래쪽으로 각각 향하게 하여 실험 결과를 비교할 수 있도록 하였다. 이와 같은 방법으로 하나의 주형에 5개의 문자를 5개씩 25개의 어미자를 붙여서 어미자군을 완성하였다.

이 어미자군을 36개를 준비하였다. 즉 어미자의 재료 5종 × 주형의 주재료 4종 × 주형의 기능성 재료 1종 × 금속 재료 3종(밀랍・파라핀), 일부는 1종(우지・송지・식물유) × 주조 활자의 수량(금속 주입량) 25개 1종 × 실험 문자 수량 5자 1종 = 36개다.

(2) 주형틀의 손질

주형 재료를 충진하기 위하여 주형틀을 손질하여야 한다. 주형틀은 직경 60mm, 내경 56mm, 높이 120mm의 금속 원통에 직경 9mm의 구멍을 6줄로 4개씩 24개를 측면에 뚫어서 제작하였다.

이 주형틀의 측면에 낸 구멍은 주형 재료의 건조를 촉진하기 위한 것이다. 그러나 주형 재료를 충진할 때에는 재료가 흘러나오므로 두터운 광목을 미리 감아서 사용할 수 있도록 준비하여야 한다. 본 실험에서는 광목을 90mm × 800mm로 재단하여 약 3회전 정도 감았다. 이 때 주의할 점은 주형 재료를 다져도 위나 아래로 새지 않을 만큼 광목을 꽉 조이도록 감아야 한다.

주형의 재료는 건조 시, 포함된 물의 양만큼 수축된다. 따라서 수축률을 미리 측정하여 건조 후에도 어미자가 노출되지 않도록 주형의 재료를 충분히 부어 넣어야 했다. 주형 재료를 충분히 부어 넣으려면 주형틀의 상단에 플라스틱 피대를 감아서 높이를 임시로 높여야 했다. 본 실험에서는 130mm 폭의 피대를 사용하여 120mm 정도를 높였다. 이러한 과정을 거쳐서 주형틀의 준비가 완료된다.

(3) 주형 재료의 충진

(가) 주형틀 씌우기: 고무 받침 위의 어미자군에 주형틀을 씌웠다. 이 과정에서 어미자와 주형틀이 접촉하면서 어미자가 떨어지는 경우가 많으므로 숙련된 기술이 필요하였다.

(나) 주형 재료의 충진: 주형 재료를 조그만 그릇에 적당량을 담아서 주형틀 안에 충진하였다. 주의할 점은 황토와 내화토 계열은 사질 성분이 쉽게 침전되므로 잘 혼합해 주어야 한다. 또한 기능성 재료가 물과 잘 혼합되지 않을 경우, 잘 혼합할 필요가 있다.

충진 요령은 탄분 실험과 같다. 이 충진 작업은 모두 2일이 소요되었다.

(4) 주형 재료의 건조

(가) 수분 제거: 통풍이 잘되는 실내에서 자연 건조시켰다. 본 실험에서 실내 기온은 22～28℃를, 습도는 40～75%를 유지하였다. 또 건조를 촉진하기 위하여 양방향에서 순차적으로 선풍기 바람을 불어넣기도 하였다.

(나) 기포 제거: 3～4일이 경과하면 고형 성분이 표면으로 노출되면서 상당히 수축되었다. 이즈음 주형 재료가 상당히 수축되기는 하였으나 아직은 유동성이 남아 있다. 이 때 예상하지 못했던 현상으로 주형 재료 내부에는 5～10mm 정도의 제법 큰 기포가 형성되어 있음을 발견하게 되었다. 이때 각각의 주형틀마다 약 20여 회씩 가볍게 다져서 기포를 제거하고 주형 재료를 가라앉혔다. 기포를 제거했을 경우, 이로 인한 수축률은 <표 5>와 같다.

〈표 5〉 주형 재료 내부의 기포 제거로 인한 수축률

주형 재료	황토 계열	백토 계열	청토 계열	내화토 계열
수축률 (%)	11.62～13.63	6.20～9.02	10.54～13.65	13.05～13.07

(다) 광목 제거: 다시 3～4일이 경과하여 주형 재료가 균열될 정도로 건조되면 주형틀을 감싼 광목을 벗겨냈다. 이 때 광목의 안쪽은 축축하게 젖어있으므로 건조를 촉진하기 위해서는 이를 벗겨내야 한다.

(라) 피대 제거: 다시 하루 정도 경과하여 주형틀 측면에 난 구멍 부분의 주형 재료가 건조되면 비닐 피대를 제거하였다. 이는 주형 재료의 높이가 주형틀보다 낮아지면 광목보다 먼저 벗겨낼 수 있다.

(마) 고무받침 제거: 다시 5～6일 정도 경과하여 주형 재료가 거의 건조되면, 본래의 자기 색깔을 나타내기 시작하였다. 이처럼 수분이 거의 탈취된 것이 확인되면 고무 받침을 제거하여 완전 건조를 촉진하였다.

고무 받침을 벗길 때 황토 계열의 재료는 작은 파편이나 가루 형태로 약간씩 부서져 나왔다. 이는 건조 문제라기보다는 재료 자체의 점성이 약하여 나타난 것으로 보인다. 백토 계열의 재료는 10～50mm의 제법 큰 파편으로 부서지기도 하였다. 따라서 주형 재료가 완전히 건조된 후 고무 받침을 벗기는 것이 성공률을 높이는 중요한 요소임을 알 수 있다.

(바) 완전 건조: 충분히 건조시켜서 수분을 완전히 제거하였다. 주형 재료가 완전히 건조되면 수직과 수평 방향으로 수축 현상이 나타났다. 그 결과 주형 재료가 주형틀 안에 잘 남아있을 수 있도록 주의할 필요가 있었다. 본 실험에서는 주형 재료의 표면이 건조된 상태에서 고무 받침을 벗긴 결과, 주형 재료의 내부는 충분히 건조되지 않은 까닭에 여러 개가 부서지는 결과를 초래하였다.

이렇게 하여 흥건한 수분이 빠지고 주형 재료가 아직 유동성을 가지고 있을 때 기포를 제거하고 나면, 유동성이 없어진 후의 수분이 있던 자리가 건조되면서 공극으로 형성되어 보조 재료와 함께 금속 용액 주입 시 발생하는 가스를 흡수하는 기능을 하는 것으로 보인다.

본 실험에서 백토와 청토 계열의 재료는 건조를 촉진하기 위하여 충분히 건조되지 않은 상태에서 고무 받침을 벗긴 결과, 무수한 균열과 그로 인한 파편 탈락으로 인하여 금속용액을 주입해 보지도 못하고 실패한 경우가 있었다. 이점에서 주형 재료를 충분히 건조시킨 후 고무 받침을 제거하여야 했다. 또한 기능성 재료인 탄소가 유성의 구조로 물에 용해되지 않는 특성을 가지고 있어서 점토와 완전히 융합할 수 없는 점도 건조 과정에서 주형의 파손율이 높은 원인으로 보였다. 이 같은 경우가 <표 6>과 같이 모두 14개나 되었다.

실험을 시도한 36개의 주형에서 진도에 따라 나타난 상황은 <표 6>과 같다.

〈표 6〉 주형의 조건별 실험 상황표

주재료 / 기능성재료	(ㄱ) 황토			(ㄴ) 백토			(ㄷ) 청토			(ㄹ) 내화토		
(ㅁ) 유성 탄소	1A	1B	1C	1A	1B	1C	1A	1B	1C	1A	1B	1C
	주	주	주	주	건	건	주	건	건	주	주	건
	2A	3A	4A	2A	3A	4A	2A	3A	4A	2A	3A	4A
	주	주	소	건	건	건	건	주	건	주	주	건
	5A	5B	5C	5A	5B	5C	5A	5B	5C	5A	5B	5C
	주	소	주	건	건	주	주	주	건	주	주	주

표설명 1: “1”은 밀랍, “2”는 우지, “3”은 송지, “4”는 식물유, “5”는 파라핀을 이용한 어미자를 의미한다. “2”·“3”·“4”는 실험 규모의 방대함으로 인하여 “A”만을 실험하였다.

표설명 2: “A”는 구리 70% + 주석 30%의 청동1을, “B”는 구리 70% + 아연 30%의 황동을, “C”는 구리 55% + 주석 33% + 납 11% + 아연 1%의 청동2를 의미한다.

표설명 3: “건”은 주형 재료의 건조 과정에서 균열 등으로 파손되어 밀랍의 용출단계에까지도 진행하지 못한 채 실패한 경우로 모두 14개다.

표설명 4: “소”는 주형 재료를 완전히 건조시킨 후 금속 용액을 주입하기 전에 밀랍을 용출시키기 위하여 가열로에서 가열까지는 하였으나, 가열로 내에서 소성되는 과정에서 수축되면서 파손되어 금속 용액을 주입해보지 못한 채 실패한 경우로 모두 2개다.

표설명 5: “주”는 금속 용액을 주입한 경우로 모두 20개다. 이것이 본 연구의 주된 실험이다.

표설명 6: 이렇게 하여 전체 실험의 조건은 36종이다.

2) 금속 용액의 주입

(1) 합금 재료의 준비

합금 재료는 구리(Cu)・주석(Sn)・아연(Zn)・납(Pb)의 4종류를 사용하였다. 이는 동합금의 기본 재료다.

(A) 청동1

구리와 주석을 7:3으로 충분히 끓여서 바둑 형태로 식혀서 준비하였다. 구리와 주석을 처음 끓인 상태에서 바로 주형에 주입하지 않고 식혔다가 다시 녹여서 사용하여야 한다.

(B) 황동

구리와 아연 역시 같은 방법으로 7:3으로 혼합하여 바둑 형태로 만들어 두었다.

(C) 청동2

고려 활자로 전해지는 "복"자의 합금 성분과 비율[4]을 참고하여 준비하였다. 고려 "복"자는 구리 50.9%, 아연 0.7%, 주석 28.5%, 납 10.2%, 철 2.2%의 합금 비율을 보이고 있다. 이 중에서 철 2.2%는 불순물로 간주하여 본 실험에서는 무시하였다. 아연은 산화성이 강하여 부식이 빠른 특성을 가지고 있으므로 "복"자를 만들 당시에 포함된 비율은 더 높았을 것으로 판단된다. 따라서 본 실험에서는 1%를 첨가하였다. 그리하여 구리 55%, 주석 33%, 납 11%, 아연 1%의 비율로 합금하여 바둑 형태로 준비하였다.

합금을 하면서 주의할 점은 각 금속 용액이 같은 성분끼리 뭉치려는 성질이 있으므로 바둑 형태로 식히기 위하여 도가니에서 바가지로 뜰 때 금속 용액을 충분히 저어야 한다. 특히 아연은 용액 상태에서 구리보다 아래에 가라앉는 특성이 있다.

(2) 밀랍의 용출과 주형의 소성

금속 용액을 주입하기 위해서는 주형틀 안의 어미자군의 밀랍을 완벽하게 제거하여야 한다. 주형을 주입구가 아래로 향하도록 가열로에 쌓아 넣고 가열하여 밀

4) 손보기, 『한국의 고활자』(서울: 보진재, 1981), 68쪽.

랍 성분을 제거하였다.

처음에는 빠른 속도로 450℃까지 가열하여 밀랍 성분이 녹으면서 주형 재료에 적게 흡수되도록 하였다. 이 온도까지는 주형 재료가 균열되지 않는다. 대체로 30분 정도면 이 온도에 도달한다. 이 때 밀랍 성분의 대부분은 연소되나 일부는 주형 재료에 스며들어 남아있게 마련이다. 따라서 이를 완전히 제거하기 위하여 단계적으로 700℃까지 높였다. 이를 위하여 약 2시간 정도 소요되었다. 이 온도에서는 주형 재료가 균열될 수 있으므로 완만한 속도로 높여야 한다. 700℃에 도달하면 밀랍 성분이 거의 제거되어 금속 용액의 주입이 가능하다. 그러나 밀랍 성분을 완벽하게 제거하여야 성공률을 높일 수 있고, 금속 활자도 깨끗이 주조될 수 있다. 이를 위하여 700℃ 상태를 1시간 정도 유지하였다. 이렇게 금속 용액을 주입할 수 있는 상태에 이르기까지 약 4~5시간 정도 소요되었다. 준비가 끝나면 금속 용액을 주입한다.

실제 실험에서는 가열 과정에서 주형 재료가 파손되어 실패한 경우가 2개에 이른다. 본 실험 결과 밀랍 성분은 500℃에서 이미 완전히 기화된 현상이 나타났다. 이는 어미자군을 용출할 때 주형 재료가 밀랍 성분을 흡수하는 양이 적다는 것을 의미한다.

(3) 금속 용액의 주입

금속 용액을 주입하기 위하여 바둑 형태로 합금하여 둔 것을 녹여서 주입할 준비를 하였다. ① 주형도 충분히 가열되어 있고 금속 용액도 충분히 끓었으면 ② 가열로에서 주형을 하나씩 꺼내어 뒤집어서 주입대 위에 놓았다. ③ 즉시 금속 용액을 주입하였다. ④ 1~2분이 경과하면 금속 용액이 굳기 시작하였다. ⑤ 굳으면 주입대에서 내려 놓았다. ⑥ 모든 주형에 주입이 끝나면, 주형이 식을 때까지 기다렸다가 다음 작업을 진행하였다. 이와 같은 방법으로 청동·황동 등을 차례로 주입하였다. 본 실험에서는 20개의 주형에 금속 용액을 모두 주입하였다.

균열이 심한 주형은 만일의 위험을 미연에 방지하기 위하여 석고로 균열 부분을 충진하여 실험을 진행하였다. 그 결과 금속 용액이 새는 현상을 방지할 수 있었고, 석고의 도움으로 활자가 완성된 경우도 적지 않았다. 그러나 주조 결과를 분석할 때에는 이같은 활자를 모두 실패로 간주하였다.

본 실험에서 금속 용액을 끓였을 때의 온도는 1300℃ 정도였고, 주입 시는 103

6～1281℃ 정도였다. 금속 용액을 주입할 시점에 온도를 약간 낮추는 이유는 금속 용액이 주형 안에서 계속 끓고 있으면 가스 발생량이 증가하여 실패할 가능성이 크기 때문이다. 본 실험에서의 주형의 온도는 550～630℃ 정도였다. 하나의 주형에 주입한 금속의 양은 대체로 180g 정도였다.

이미 탄분 실험[5]을 통하여 본 연구에서 개발한 점토 계열의 주형 재료는 금속 용액을 무리 없이 잘 받아들였고, 주입하는 방법은 재래식으로도 가능함을 알 수 있었다. 본 연구에서 개발한 주형 재료도 20개 모두 금속 용액을 무리 없이 잘 받아들였고, 주입하는 방법도 역시 재래식으로도 가능함을 알 수 있었다.

여기까지의 실험으로 본 연구가 의도했던 주형재료의 주조 적합성 여부는 100% 적합한 것으로 확인되었다. 다만 향후 이어질 후속 실험과 비교하기 위하여 주조물을 추출하고 그의 완성도를 분석하면 다음과 같다. 이와 같은 과정을 통하여 금속 용액의 주입을 완료하면 주형 내의 어미자 공간에 활자군이 완성되었다.

3) 활자의 추출과 자적의 인출

(1) 활자의 추출

① 금속 용액이 냉각되기를 기다렸다가 주형을 깨뜨려서 활자군을 꺼냈다. ② 활자군에 붙어있는 주형 재료를 솔로 털어냈다. ③ 활자를 하나씩 떼어내어 표면의 주형 재료 가루를 깨끗이 털어냈다. ④ 필획 사이의 주형 재료는 잘 털어지지 않으므로 물 속에서 깨끗이 씻어낸 후 ⑤ 물기를 닦아냈다. ⑥ 활자에 넌더리가 있으면 줄로 곱게 슬어냈다. ⑦ 활자의 문자면을 사포로 가볍게 갈아서 완성하였다.

(2) 자적(字跡)의 인출

(1) 성공률 측정: 본 실험은 고려 금속활자의 밀랍주조법을 복원하기 위한 1단계 실험으로서, 주조가 가능한 주형재료를 추적하는 점에 초점이 맞추어져 있다. 따라서 금속 용액이 주입되는가의 여부를 확인하면 연구 목적은 달성하는 셈이므로 활자의 주조 성공률은 사실상 큰 의미는 없다. 이 점에서는 이미 본 연구에서

5) 曺炯鎭, “炭粉의 復原實驗 硏究”.

제시한 주형 재료는 100% 주조가 가능하다는 사실이 확인되었다. 다만 금속 용액이 주입되어서 활자가 1자라도 주조되어야 주형재료의 가능성을 확인할 수 있으므로 2단계 실험에 대비하는 의미로 그 성공률을 측정하는 것일 뿐이다. 2단계 이후의 실험에서는 주조의 성공률에 초점이 맞춰질 것이다.

활자가 완성되면 이를 인출하여 자적을 확인함으로써 성공 여부를 판단하고, 성공률을 측정하였다. 본 실험을 통하여 성공적으로 주조해낸 각 조건별 활자의 수량은 <표 7>과 같다.

〈표 7〉 성공한 금속활자의 수량(각 공간의 실험 조건은 〈표 6〉과 같다.)

주재료 / 기능성재료	(ㄱ) 황토			(ㄴ) 백토			(ㄷ) 청토			(ㄹ) 내화토			소 계	총 계
(ㅁ) 유성 탄소	1	0	0	0			0			0	0		1	2
	0	0						0		0	0		0	
	0		0			0	1	0		0	0	0	1	
소 계	1	0	0				1			0	0	0	2	
총 계	1(50%)			0(0%)			1(50%)			0(0%)			(0.40%)	

본 실험에서 성공한 금속활자의 수량은 2개다. 이를 위하여 사용한 어미자의 수량은 주형 36개×어미자 25개 = 900개다. 따라서 전체적인 성공률은 2÷900 = 0.22%로 나타났다. 그러나 금속 용액을 주입한 20개에 대한 성공률은 2÷(20×25 = 500) = 0.40%로 나타났다. 각각의 조건별 성공 점유율을 보면 주재료의 경우 황토 계열과 청토 계열이 각각 50%로 같고, 백토와 내화토는 모두 0%로 나타났다. 금속의 종류에 대하여는 균등한 조건에서의 평가를 위하여 밀랍과 파라핀의 경우를 비교하면 청동1의 성공 점유율이 100%였고, 황동과 청동2는 0%로 나타났다. 어미자의 재료는 밀랍과 파라핀이 각각 50%를 차지하였고, 나머지 3종류는 0%로 나타났다.

이들 활자의 자적을 어미자의 자적과 비교하면 <표 8>과 같다. 어미자의 자적은 각각 2종씩만을 예시하였다. 예시된 성공사례의 자적을 자세히 살펴보면 필획이 끊어지는 현상과 문자 주위의 잡먹 현상을 발견할 수 있다. 이는 필자의 『직지』 분석에서도 발견할 수 있었다.

〈표 8〉 금속활자와 어미자의 자적

금속활자		어 미 자					
실험조건	성공사례	재 료	조 각				
			주 조				
1 ㄱ A	化	밀 랍	見	動	轉	善	化
5 ㄷ A	轉		見	動	轉	善	化
		우지참가	見	動	轉	善	化
			見	動	轉	善	化
		송지참가	見	動	轉	善	化
			見	動	轉	善	化
		식물 유첨가	見	動	轉	善	化
			見	動	轉	善	化
		파라핀	見	動	轉	善	化
			見	動	轉	善	化

<표 8>에서 예시하고 있는 성공한 금속활자의 문자별 수량과 분포율을 정리하면 <표 9>와 같다.

〈표 9〉 성공한 금속활자의 문자별 수량과 분포율

문 자	見	動	轉	善	化	합 계
수량(개)	0	0	1	0	1	2
분포율(%)	0	0	50	0	50	100

문자 필획의 다과에 의한 주조 성공률은 대·소자 모두 저조한 성공률로 인하여 결론을 귀납할 수 없었다. 대소 문자를 통틀어 밀도를 보면 化·見·動·轉·善 순으로 높아진다. 성공한 활자의 수량은 차례대로 1·0·0·1·0개로 필획의 다과와 주조의 성공률은 상관관계가 없다고 볼 수 있다.

(2) 수축률 측정: 자적의 크기를 측정할 수 있는 경우를 추출하여 어미자의 자적과 비교함으로써 수축률을 측정하였다. 실제 측정은 오차를 최소화하기 위하여 자적을 200%로 확대하여 길이(長)를 실측하였다. 실측의 대상과 수축률은 <표 10>과 같다. 이에서 보듯이 금속활자는 어미자보다 평균 95.14%로 수축되는 것으로 나타났다.

〈표 10〉 실측 대상 문자의 길이(200%)와 수축률

표 본	금속활자(mm)	어미자(조각)(mm)	수축률(%)	평균치(%)
1ㄱA化	15.3	15.8	96.84	95.14
5ㄷA轉	22.8	24.4	93.44	

5. 실험 결과의 분석

1) 실험 설정의 조건

고려시대에 사용했을 법한 금속활자 밀랍주조법을 추적하기 위하여 주조 과정상의 각 단계 별로 설정한 조건은 <표 11>과 같다.

〈표 11〉 실험 설정의 조건

1	어미자의 재료	① 밀랍 100%, ② 밀랍 60% + 우지 40%, ③ 밀랍 65% + 송지 30% + 콩기름 5%, ④ 밀랍 80% + 콩기름 20%, ⑤ 파라핀 100% 등 5종
2	주형의 주재료	① 황토, ② 백토, ③ 청토, ④ 내화토 등 4종
3	주형의 기능성 재료	① 유성 탄소 1종
4	금속의 재료	① 청동1(구리 70% + 주석 30%), ② 황동(구리 70% + 아연 30%), ③ 청동2(구리 55% + 주석 33% + 납 11% + 아연 1%) 등 3종
5	동시 주조 활자의 수량 (금속 주입 양)	① 25자 1종, 약 180g
6	문자의 수량	① 대자 3종, 소자 2종 등 5종을 동시에 실험하여 1종
7	주형의 소성 온도	1종
8	금속 용액의 주입 온도	1종
9	금속 용액의 주입 방법	재래식 직접 주입 1종

2) 실험 결과의 분석

이상과 같은 각 단계별 조건을 조합하면 실험의 종류는 5 × 4 × 1 × 3(일부는 1) × 1 × 1 × 1 × 1 × 1 = 36종에 이른다. 이 같은 36종의 실험을 통하여 나타난 결과를 분석하면 다음과 같다.

(1) 어미자의 재료

밀랍과 송지를 첨가한 밀랍은 어느 정도의 강도를 가지고 있어서 문자를 조각할 수는 있었다. 그러나 우지와 식물유를 혼합한 재료는 문자를 조각하는 능률이 현저히 떨어졌다. 따라서 이 두 종류는 어미자의 재료로는 부적합하였다. 파라핀은 문자를 조각하기에는 단단한 성질로 인하여 밀랍보다 오히려 편리하였다. 금속활자의 주조 성공률도 밀랍과 비슷하여 밀랍을 대신할 수 있는 재료로 평가되었다.

(2) 주형의 주재료

생활 주변에서 쉽게 구할 수 있는 황토 계열의 재료가 금속활자 주조에 성공함으로써 점성을 가진 점토는 모두 밀랍주조법의 주재료가 될 수 있음을 확인할 수 있었다.

(3) 주형의 기능성 재료

20개의 주형에 재래식 방법으로 금속 용액을 100% 주입할 수 있었던 점으로 미루어 유성 탄소는 모든 점토에 혼합되어 주조가 가능하도록 하는 기능을 가지고 있음을 파악하였다. 그 혼합 비율은 20%였다.

결과적으로 주재료와 기능성 재료를 혼합한 4종의 주형 재료는 모두 금속 용액을 무리 없이 받아들일 수 있다는 사실을 발견하였다.

그러나 탄소의 유성 구조로 물에 용해되지 않아서 점토와 완전히 융합할 수 없는 점 등으로 인하여 건조 과정과 소성 과정에서 기포 현상과 함께 심하게 균열되는 현상이 나타남으로써 성공률이 낮을 수밖에 없었던 점에서, 혼합 비율을 낮추는 등 이를 방지하거나 축소할 수 있는 방법의 연구가 절실하였다.

(4) 금속의 재료

구리 70%와 주석 30%가 혼합된 청동이 가장 높은 주조 성공률을 보였다.

(5) 금속의 주입 양과 주입 방법

금속의 주입 양은 25자 정도, 즉 200g 미만의 소량으로도 무리 없이 주입할 수 있었다. 주입 방법도 재래식으로 주형의 주입구에 직접 주입하는 방법으로도 충분하였다.

(6) 문자 필획의 다과

필획의 다과와 밀도는 낮은 주조 성공률로 인하여 구체적인 상관관계를 추출할 수 없었지만, 밀도가 높은 문자와 낮은 문자가 각각 1자씩 주조된 것으로 미루어 대체로는 상관관계가 없다고 볼 수 있다.

(7) 주조의 성공률과 수축률

주형재료의 주조 적합성 여부는 100% 적합한 것으로 확인되었다. 다만 성공적으로 주조해 낸 금속활자는 2개며, 이의 성공 비율은 0.40%였다. 주조된 금속활자와 어미자의 비율은 95.14%로 4.86%의 수축률을 확인하였다.

6. 결 론

금속활자 밀랍주조법의 실체를 추적하기 위하여 다양한 실험을 실시하였다. 다양한 주형 재료에 다양한 조건을 부여하여 실험한 결과 주조가 가능한 조건을 정리하면 다음과 같다.

(1) 어미자의 재료: 밀랍주조법인 만큼 밀랍의 성질을 가지고 있는 물질이어야 한다. 이에는 밀랍뿐만 아니라 송지를 첨가한 밀랍과 오늘날의 석유화학에서 생산되는 파라핀도 가능하였다. 우지나 식물유를 첨가한 밀랍은 부적합하였다.

(2) 주형의 재료: 본 실험에서 조제한 4종이 모두 성공적으로 금속 용액을 받아들였다. 주재료는 점성을 가진 흙이면 모두 가능하였다. 기능성 재료가 중요한 역할을 하였으며, 유성 탄소가 유용한 것으로 판명되었다. 이의 첨가 비율은

20%였다.

단 주형의 재료가 완전히 건조된 후에 다음 작업을 진행하여야 하며, 기능성 재료인 탄소의 유성 구조로 인하여 점토와 완전히 융합할 수 없으므로 이의 혼합 비율을 가능한 한 낮추는 것이 성공률을 높일 수 있을 것으로 판단되었다.

특히 이번 실험을 통하여 주형의 재료로 지금까지 금속활자장에 의하여 편법으로 이용되어 온 치과 주조용 석고계 매몰재를 대신하여 고려시대에 사용했을 법한 전통 재료를 찾아 낸 점은 성공적이라고 할 수 있다.

(3) 합금의 성분 및 주입 양과 방법: 구리를 55~70%의 주성분으로 하는 구리 합금이 모두 가능하였다. 주입 양은 200g 정도의 소량으로, 재래식 방법으로 주입하여도 문제가 없었다.

(4) 문자 필획의 다과: 필획의 밀도와 주조의 성공률은 구체적인 상관관계를 추출할 수 없었으나, 대체로는 상관관계가 없었다.

(5) 주조의 성공률과 수축률: 주형재료의 주조 적합성 여부는 100% 적합한 것으로 확인되었다. 다만 주조의 성공률은 0.40%였고, 수축률은 95.14%였다. 이를 탄분 10%(성공률 1.24%, 수축률 95.07%)・흑연 20%(성공률 1.41%, 수축률 92.13%)・탄분 22.22%+지섬유 2.22%(성공률 3.56%, 수축률 96.64%)의 실험 결과와 비교하면, 성공률은 상당히 낮은 편이며 수축률은 비슷하였다. 낮은 성공률로 미루어, 고려시대 사찰 주조의 금속활자는 본 실험과 같은 과정의 방법을 사용하지는 않았을 것으로 짐작된다.

(6) 향후 과제: 주형 재료가 건조되면서 발생하는 기포를 발생하지 않도록 하거나 제거하는 방안과 주형 재료의 균열을 방지할 수 있는 방안의 강구가 절실하였다. 이 점이 주조의 성공률을 높일 수 있는 핵심으로 판단되었다.

금속활자 밀랍주조법 복원의 성공 여부는 주조에 사용된 주형 재료를 비롯한 각종 재료와 도구, 구체적인 주조 과정의 타당성, 주조 결과 나타난 성공률의 효율성, 고려시대 당시의 사회 환경에서의 유용성, 그리고 고려 활자 밀랍주조법에 관한 전통적인 통설에의 부합 등을 고려하여 종합적으로 판단하여야 한다. 만약 성공률만이 관건이라면 복원보다 복제가 훨씬 더 효과적이다.

과학 기술의 발명은 인류의 누적된 경험에 기초하여 완만하게 이루어지기도 하고, 순간적인 착상에 의하여도 가능하다. 이에 비하여 역사적으로 존재했었으나 지금은 단절된 과학 기술의 복원은 순간적인 착상이나 단편적인 연구로는 불가능

하다. 이는 당시의 사회와 역사적 배경, 전제 조건, 문헌 검색, 실물 분석 등으로 숙고에 숙고를 거듭해야 하고, 끝으로 수많은 실험과 시행착오를 반복하면서 비로소 역사적 진실에 다가가는 것이다. 한 번의 실험으로 증명되면 더 바랄 바 없지만, 완전하지 못한 실험을 거듭하면서 가능성이 낮은 점은 버리고 더 높은 가능성을 추적하여야 하는 것이 복원의 어려움이다. 따라서 완전하게 성공하지 못한 실험에서도 취할 부분은 많이 있으며, 심지어는 실패한 실험에서도 적지 않게 암시받는 바가 허다하다.