

金屬活字 蜜蠟鑄造法 鑄型材料：炭粉 + 紙纖維의 復原實驗 研究

An Experimental Study for Restoration of Mould Material-Charcoal
Powder+Paper Fiber-for Metal Type Wax Casting Method

曹 炯 鎮(Cho, Hyung-Jin)*

◁ 목 차 ▷

- | | |
|----------------|--------------|
| 1. 緒 論 | 5. 實驗 結果의 分析 |
| 2. 字本과 어미자의 準備 | 6. 結 論 |
| 3. 鑄型의 原材料와 調製 | <참고문헌> |
| 4. 鑄型과 活字의 製作 | |

< 초 록 >

금속활자 밀랍주조법의 주형재료를 복원하기 위하여 실험실습법으로 추적하였다.

- (1) 어미자의 재료: 밀랍·송지를 첨가한 밀랍·파라핀이 유용하였다.
- (2) 주형의 재료: 주재료는 점성을 가진 흙이면 가능하였다. 보조 재료는 숯가루와 종이 섬유가 유용하였으며, 이의 첨가 비율은 22.22%와 2.22%였다. 특히 종이 섬유는 점토의 균열을 방지하여 주조의 성공률에 영향을 미칠 만큼 절대적이었다.
- (3) 합금 성분 및 주입 양과 방법: 구리 55~70%의 합금이 가능하였다. 금속의 주입 양은 200g 정도의 소량으로, 재래식 방법으로 주입하여도 가능하였다.
- (4) 문자 필획의 다과: 주조의 성공 여부와 구체적인 상관관계는 없었다.
- (5) 주조의 성공률과 수축률: 주조의 성공률은 3.56%였고, 수축률은 96.64%였다.

要語 : 밀랍주조법, 주형재료, 점토, 숯가루, 종이 섬유

* 강남대학교 제 I 대학 인문학부 문헌정보학전공 교수(chohj@kangnam.ac.kr)
접수일: 2005년 11월 9일 최초심사일: 2005년 11월 9일 심사완료일: 2005년 12월 17일

<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. Charcoal powder and Paper fiber were useful as the subsidiary material, and their adding proportion was 22.22 percent and 2.22 percent respectively. In particular, paper fiber had a critical role in the success rate of casting by preventing cracks in the clay.
- (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 3.56%, and its contraction rate was 96.64%.

Key words : wax casting method, mould material, clay, charcoal powder, paper fiber



1. 緒論

지금까지 고려시대의 금속활자 주조 방법, 특히 사찰에서 사용한 것으로 보이는 밀랍주조법에 관한 연구는 필자에 의하여 시도된 주형재료: 炭粉¹⁾과 黑鉛의 복원실험 연구²⁾가 전부다. 이는 밀랍주조법의 주형재료를 실험적 방법으로 연구한 것으로, 밀랍주조법의 구체적인 주조 과정을 추적하여 복원하기 위한 첫 과정이다.

본 연구는 炭粉과 黑鉛의 실험이 성공적인 결과로 확인되기는 하였으나, 밀랍주조법에 사용되었을 가능성이 있는 또 다른 주형재료를 복원하기 위하여, 炭粉과 黑鉛의 복원실험 연구에 이은 연속 실험이다. 이러한 실험이 축적되면 고려시대 금속활자 주조의 진실에 한 걸음 더 다가갈 수 있을 것으로 기대된다.

따라서 연구의 기본 과정은 炭粉이나 黑鉛의 복원실험 연구와 대동소이하며, 다만 차이점이라면 炭粉이나 黑鉛 대신 炭粉 + 紙纖維를 사용한 점이다. 이러한 과정으로 진행한 실험 결과는 다음과 같다.

2. 字本과 어미자의 準備

2.1 字本の 選定

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

1) 曹炯鎭, “金屬活字 蜜蠟鑄造法 鑄型材料: 炭粉의 復原實驗 研究,” 『書誌學研究』 제30집 (2005. 6), 183-221.

2) 曹炯鎭, “金屬活字 蜜蠟鑄造法 鑄型材料: 黑鉛의 復原實驗 研究,” 『書誌學研究』 제31집 (2005. 9), 33-56.

<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)”

2.2 어미자의 彫刻 要領

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 탄분이나 흑연 실험에서와 마찬가지로 부착식 활자의 최대치에 가까운 4mm로 하였다.

2) 어미자의 조각 요령

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

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

2.3 어미자의 材料

어미자의 재료는 고려시대에 사용했을 법한 재료 중에서 선택한다.

1) 밀랍

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

2) 우지

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

3) 송지

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%

2.4 어미자의 彫刻

1) 어미자판 제작

문자를 편리하게 조각하기 위하여 우선 어미자의 재료를 판으로 제작하였다. 어미자판의 폭은 문자의 폭과 같거나 0.5 mm 정도 여유 있게 하고, 두께는 활자의 높이인 4 mm로 하였다.

2) 자분 붙이기

자분을 어미자판에 뒤집어서 올려놓고, 금속 막대를 달구어서 자분의 뒷면을 조심스레 훑어줌으로써 어미자판의 표면을 순간적으로 녹이는 방법으로 자분을 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. 주형

의 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. 鑄型の 原材料와 調製

3.1 鑄型の 原材料

주형의 원재료는 크게 주재료와 보조 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.

보조 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 炭粉 + 紙纖維 를 사용하였다.

1) 황토

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.

2) 백토

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

3) 청토

청자토라고도 한다. 청자를 굽기 위한 인공 점토다. 소성 전에는 연한 갈색을 띠고 있다. 점토 내에 불순물은 거의 없다.

4) 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, 알루미늄이나 또는 규석 등 유기물의 결정체가 많이 포함되어 있기 때문이다.

5) 炭粉(숯가루)

이에는 목탄·백탄·활성탄 등이 있는데, 본 실험에서는 탄분 실험에서와 같이 활성탄으로 200MESH를 사용하였다

6) 紙纖維(종이 섬유)

전통적인 수공업적 방법으로 생산한 한지의 섬유를 점토에 첨가하여 사용하였다. 종이는 나무의 속껍질을 가공한 섬유질로 구성되어 있다. 이러한 종이 섬유는 주형을 구성하는 점토가 건조되거나 소성 될 때 균열되는 것을 방지하고 점토 안에서 공극을 형성하여 금속 용액에서 발생하는 가스를 흡수한다.

종이 섬유는 한지를 물에 5일 이상 담가두거나 5시간 이상 끓여서 섬유질이 풀어지기 쉽게 한 다음 손으로 일일이 풀어헤친다. 물을 여러 번 갈아주면서 반복 세탁으로 고운 섬유질을 얻는다. 만약 섬유질이 잘 풀어지지 않고 섬유 덩어리가 있으면 주조에 나쁜 영향을 주므로 섬유질을 고르게 잘 풀어야 한다. 본 실험에서는 한국 닥나무를 전통 한지의 제조 방법으로 가공한 펄프 상태의 것을 사용하였다. 다만 중량을 측정하기 위하여 완전히 건조시킨 후 다시 물에 푸는 작업을 거쳤다.

3.2 鑄型 材料의 調製

이상의 주재료와 보조 재료를 혼합하여 주형의 재료를 조제한다. 이 주형의 재료는 지금까지 금속활자장에 의하여 편법으로 이용되어 온 치과 주조용 석고계 배물재를 대신하여 고려시대에 사용했을 전통 재료를 찾아야 하는 과제로 본 연구의 핵심 부분이다. 따라서 다양한 주재료와 보조 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 보조 재료 2종을 각각 혼합하여 조건이 다른 4종의 주형 재료를 조제하였다.

1) 황토 계열 주형 재료의 조제

수비된 황토와 보조 재료의 중량을 정확하게 측정하여 반죽하였다. 실험의 정확도를 위하여 조그마한 덩어리까지 곱게 풀어서 반죽하여야 한다. 본 실험에서는 활성탄 22.22%와 종이 섬유 2.22%를 혼합하여 조제하였다. 종이 섬유 2.22%는 필자의 실험적 감각으로 예상하여 설정한 적정치다. 보조 재료의 첨가율은 최대치에 가까울수록 금속용액의 주입 성공률이 높으므로, 그 최소치를 추출하는 것이 더 의미가 크다. 그러나 종이 섬유의 경우는 많이 첨가한다고 금속용액의 주입 성공률이 높아지는 것은 아니라고 예상되어 적정치로 실험하였다.

2) 백토 계열 주형 재료의 조제

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

3) 청토 계열 주형 재료의 조제

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

4) 내화토 계열 주형 재료의 조제

내화토를 사용하여 앞의 경우와 같은 방법으로 조제하였다.

이상의 주형 재료를 조제할 때 주의할 점은 다음과 같다.

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

(2) 반죽의 농도가 적합하여야 한다. 반죽의 농도는 주형틀 안에 충전할 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 56.10%~58.14%였다.

반죽이 진하면 기포가 쉽게 형성되어 실패할 확률이 높다. 반죽이 묽으면 건조 시간이 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(%) 보조재료(%)	(ㄱ) 황토		(ㄴ) 백토		(ㄷ) 청토		(ㄹ) 내화토	
	75.56	43.90	75.56	41.86	75.56	41.86	75.56	41.86
(ㄱ) 탄분	22.22		22.22		22.22		22.22	
(ㄷ) 종이 섬유	2.22		2.22		2.22		2.22	
	수분	56.10	수분	58.14	수분	58.14	수분	58.14

4. 鑄型과 活字의 製作

4.1 鑄型の 製作

1) 어미자군의 성형

주형을 제작하기 위하여 고무 받침·밀랍 주봉·밀랍 가지봉 및 실험용 어미자로 어미자군을 성형하였다. 고무 받침은 주형틀과 아귀가 꼭 맞는 내경 60mm짜

리를 사용하였다. 밀랍 주봉은 직경 9 mm 짜리를 55 mm 정도의 길이로 재단하였다. 밀랍 가지봉은 길이 10 mm를 사용하되 굵기는 직경 2 mm의 균일한 것과 양단의 직경이 3 mm와 1.5 mm로 깔대기 모양인 것의 2 종류를 사용하였다. 깔대기 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 보조 재료(炭粉+紙纖維) 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 충전하기 위하여 주형틀을 손질하여야 한다. 주형틀은 직경 60 mm, 내경 56 mm, 높이 120 mm의 금속 원통에 직경 9 mm의 구멍을 6줄로 4개씩 24개를 측면에 뚫어서 제작하였다.

이 주형틀의 측면에 낸 구멍은 주형 재료의 건조를 촉진하기 위한 것이다. 그러나 주형 재료를 충전할 때에는 재료가 흘러나오므로 두터운 광목을 미리 감아서 사용할 수 있도록 준비하여야 한다. 본 실험에서는 광목을 90 × 800 mm로 재단하여 약 3회전 정도 감았다. 이 때 주의할 점은 주형 재료를 다져도 위나 아래로 새지 않을 만큼 광목을 꼭 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 임의로 높여야 했다. 본 실험에서는 130 mm 폭의 피대를 사용

하여 120 mm 정도를 높였다. 이러한 과정을 거쳐서 주형틀의 준비가 완료된다.

3) 주형 재료의 충전

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

(2) 주형 재료의 충전 주형 재료를 조그만 그릇에 적당량을 담아서 주형틀 안에 충전하였다. 주의할 점은 황토와 내화토 계열은 사질 성분이 쉽게 침전되므로 잘 혼합해 주어야 한다. 또한 보조 재료가 물과 잘 혼합되지 않을 경우, 잘 혼합할 필요가 있다.

충진 요령은 탄분이나 흑연 실험과 같다. 이 충전 작업은 모두 2일이 소요되었다.

4) 주형 재료의 건조

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

(2) 기포 제거: 3~4일이 경과하면 고휘 성분은 표면으로 노출되면서 상당히 수축되었다. 이즈음 주형 재료가 상당히 수축되기는 하였으나 아직은 유동성이 남아 있다. 이 때 예상하지 못했던 현상으로 주형 재료 내부에는 5~10 mm 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

(3) 광목 제거: 다시 3~4일이 경과하여 주형 재료가 균열될 정도로 건조되면 주형틀을 감싼 광목을 벗겨냈다. 이 때 광목의 안쪽은 축축하게 젖어있으므로

건조를 촉진하기 위하여는 이를 벗겨내야 한다.

(4) 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.

(5) 고무받침 제거: 다시 5~6일 정도 경과하여 주형 재료가 거의 건조되면, 본래의 자기 색깔을 나타내기 시작하였다. 이처럼 수분이 완전히 탈취되어 건조된 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 10~50 mm의 제법 큰 파편으로 부서지기도 하였다. 따라서 주형 재료가 완전히 건조된 후 고무 받침을 벗기는 것이 성공률을 높이는 중요한 요소임을 알 수 있다.

(6) 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.

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 실험에서는 탄분이나 흑연 실험과 달리 건조나 소성 과정에서 균열이 심하여 금속용액을 주입하지 못하고 실패한 경우는 전혀 없었다. 즉 36개의 주형에 모두 금속용액을 주입할 수 있었다. 탄분이나 흑연 실험에서와 같이 점토가 다소 완전히 건조되지 않은 상태에서 고무 받침을 벗겨 냈음에도 불구하고 이 같은 결과가 나타난 것은 종이 섬유가 점토 내에 섞여서 점토가 건조되면서 균열되는 것을 방지하는 효과를 발휘한 때문으로 보인다. 이점에서 주형 재료를 충분히 건조시킨 후 고무 받침을 제거하여야 함은 물론, 이와 아울러 종이 섬유가 절대적인 기능과 효과를 발휘함을 알 수 있었다.

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

<표 6> 주형의 조건별 실험 상황표

주재료 보조재료	(ㄱ) 황토			(ㄴ) 백토			(ㄷ) 청토			(ㄹ) 내화토		
	1A	1B	1C	1A	1B	1C	1A	1B	1C	1A	1B	1C
(ㄱ) 탄분 (ㄷ) 지섬유	주	주	주	주	주	주	주	주	주	주	주	주
	2A	3A	4A	2A	3A	4A	2A	3A	4A	2A	3A	4A
	주	주	주	주	주	주	주	주	주	주	주	주
	5A	5B	5C	5A	5B	5C	5A	5B	5C	5A	5B	5C
	주	주	주	주	주	주	주	주	주	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: “주”는 금속 용액을 주입한 경우로, 건조와 소성 과정에서 실패한 경우 없이 모두 주입할 수 있었다.

표설명 4: 이렇게 하여 전체 실험의 조건은 36 종이다

4.2 金屬 鎔液의 鑄入

1) 합금 재료의 준비

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

(1) 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.

(2) 황동

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

(3) 청동2

고려 활자로 전해지는 “복”자의 합금 성분과 비율³⁾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 가열

금속 용액을 주입하기 위하여는 주형틀 안의 어미자군의 밀랍을 완벽하게 제거하여야 한다. 주형을 주입구가 아래로 향하도록 가열로에 쌓아 넣고 가열하여 밀랍 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 구조될 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.

3) 손보기, 『한국의 고활자』(서울: 보진재, 1981), 68.

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 내려놓았다. ⑥ 모든 주형에 주입이 끝나면, 주형이 식을 때까지 기다렸다가 다음 작업을 진행하였다. 이와 같은 방법으로 청동·황동 등을 차례로 36개의 주형에 주입하였다.

이미 탄분 실험을 통하여 본 연구에서 개발한 점토 계열의 주형 재료는 금속 용액을 무리 없이 잘 받아들였고, 주입하는 방법은 재래식으로도 가능성을 알 수 있었다.

본 실험에서 금속 용액을 끓였을 때의 온도는 1300℃ 정도였고, 주입 시는 1036~1281℃ 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.

이와 같은 과정을 통하여 금속 용액의 주입을 완료하면 주형 내의 어미자 공간에 활자군이 완성되었다.

4.3 活字의 抽出과 字跡의 印出

1) 활자의 추출

① 금속 용액이 냉각되기를 기다렸다가 주형을 깨뜨려서 활자군을 꺼냈다. ② 활자군에 붙어있는 주형 재료를 솔로 털어냈다. ③ 활자군을 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 넉더리가 있으면 곱게 줄로 슬어냈다. ⑦ 활자의 문자면을 사포로 가볍게 갈아주어서 완성하였다.

2) 자적의 인출

(1) 성공률 측정 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 보조재료	(ㄱ) 황토			(ㄴ) 백토			(ㄷ) 청토			(ㄹ) 내화토			소계	총계
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
(ㄱ) 탄분	3	1	1	0	0	0	5	0	1	0	0	0	11	32
(ㄴ) 종이	3	1	2	0	0	0	1	1	0	2	1	0	11	
섬유	2	1	2	0	0	0	2	0	2	0	0	1	10	
소계	8	3	5	0	0	0	8	1	3	2	1	1	32	
총계	16(50%)			0(0%)			12(37.5%)			4(12.5%)			(3.56%)	

본 실험에서 성공한 금속활자의 수량은 32개다. 이를 위하여 사용한 어미자의 수량은 주형 36개 × 어미자 25개 = 900개다. 따라서 성공률은 $32 \div 900 = 3.56\%$ 로 나타났다. 각각의 조건별 성공 점유율을 보면 주재료의 경우 황토 계열이 50%로 가장 높았고, 그 다음이 차례로 청토 37.5% · 내화토 12.5%, 그리고 백토는 0%로 나타났다. 금속의 종류에 대하여는 균등한 조건에서의 평가를 위하여 밀랍과 파라핀의 경우를 비교하면 청동1의 성공 점유율이 $12 \div 32 = 37.5\%$ 로 가장 높았고, 청동2는 $7 \div 32 = 21.88\%$ 로 나타났다. 황동은 $2 \div 32 = 6.25\%$ 였다. 어미자의 재료는 밀랍과 파라핀이 각각 $11 \div 32 = 34.38\%$ 와 $10 \div 32 = 31.25\%$ 로 나타났다. 나머지 3종류는 합하여 $11 \div 32 = 34.38\%$ 를 차지하였다.

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 잠먹 현상을 발견할 수 있다. 이는 필자의 「직지」 분석에서도 발견할 수 있었다.

<표 8-1> 금속활자와 어미자의 자적

금속 활자				어미자			
실험조건	성공사례			재료	조각		
					구조		
1 ㄱ A	善	善	化	밀랍	見	動	轉
1 ㄱ B	化				見	動	轉
1 ㄱ C	轉				善	化	
2 ㄱ A	見	見	轉		善	化	
3 ㄱ A	善			우지첨가	見	動	轉
4 ㄱ A	見	轉			見	動	轉
5 ㄱ A	見	化			善	化	
5 ㄱ B	化				善	化	
5 ㄱ C	見	見			見	動	轉
1 ㄷ A	善	善	善	송지첨가	見	動	轉

<표 8-2> 금속활자와 어미자의 자적

금속활자				어미자		
실험조건	성공사례			재료	조각	
					구조	
1ㄷ A	化	化		송지첨가	善	化
1ㄷ C	動				善	化
2ㄷ A	見			식물유첨가	見	動
3ㄷ A	見				見	動
5ㄷ A	見	化			善	化
5ㄷ C	見	善			善	化
2ㄷ A	見	動			見	動
3ㄷ A	善			파라핀	見	動
5ㄷ C	動				善	化
					善	化

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

<표 9> 성공한 금속활자의 문자별 수량과 분포율

문자	見	動	轉	善	化	합계
수량(개)	11	3	3	8	7	32
분포율(%)	34.38	9.38	9.38	25.0	21.88	100

문자 필획의 다과에 의한 주조 성공률은 대자의 경우는 필획이 적은 문자가 높았고, 소자의 경우는 필획이 많은 문자가 높았다. 대소 문자를 통틀어 밀도를 보면 化·見·動·轉·善 순으로 높아진다. 성공한 활자의 수량은 차례대로 7·11·3·3·8개로 필획의 다과와 주조의 성공률은 상관관계가 없음을 의미한다.

(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 96.64%로 수축되는 것으로 나타났다.

<표 10> 실측 대상 문자의 길이(200%)와 수축률

표본	금속활자(mm)	어미자(조각)(mm)	수축률(%)	평균치(%)
2ㄱA 見	19.9	21.2	93.87	96.64
4ㄱA 見	19.9	20.0	99.50	
4ㄱA 轉	21.3	22.2	95.95	
1ㄱA 善	16.2	17.0	95.29	
3ㄱA 善	16.9	17.0	99.41	
1ㄷA 化	14.8	15.8	93.67	
5ㄷA 化	15.9	16.1	98.76	

5. 實驗 結果의 分析

5.1 實驗 設定의 條件

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 보조 재료	① 탄분+종이 섬유 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

5.2 實驗 結果의 分析

이상과 같은 각 단계별 조건을 조합하면 실험의 종류는 $5 \times 4 \times 1 \times 3$ (일부는 $1) \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 = 36$ 종에 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 능력이

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 보조 재료

36개의 주형에 재래식 방법으로 금속 용액을 모두 주입할 수 있었던 점으로 미루어 활성탄과 종이 섬유는 모든 점토에 혼합되어 주조가 가능하도록 하는 기능을 가지고 있음을 파악하였다. 그 혼합 비율은 22.22%와 2.22%였다.

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

특히 탄분이나 흑연의 건조나 소성 과정에서 균열이 심한 경우와 달리, 본 실험에서는 균열로 인하여 금속용액을 주입하지 못하고 실패한 경우는 전혀 없었다. 이는 종이 섬유가 점토 내에 섞여서 점토의 균열을 방지하는 기능과 효과를 발휘한 것으로 주조의 성공률에까지 영향을 크게 미친다는 사실을 알 수 있었다.

직전의 탄분 실험과 비교하면 금속용액의 주입 성공률은 $29 \div 42 = 69.05\%$, 주조 성공률은 1.24%임에 비하여, 종이 섬유를 첨가한 경우는 금속용액의 주입 성공률이 100%, 주조 성공률이 3.56%였다. 이는 상대적으로 1.4배와 2.8배의 높은 결과로써 종이 섬유의 기능이 절대적일만큼 중요함을 알 수 있었다.

다만 주형 재료의 유동성이 남아있을 때 재료 내의 기포를 없애기 위하여 흔들려준 결과, 점토와 종이 섬유가 같이 아랫방향으로 가라앉으면서 밀랍 주봉에 약하게 붙어있던 어미자의 밀랍 가지봉을 부러뜨리기도 하여 밀랍 주봉만 남아있는 경우가 발생하기도 하였다. 따라서 이러한 문제점을 해결할 수 있는 방법의 모색이 필요하였다. 또한 주형 재료 안에 균일하게 혼합되기 위하여 또 어미자균

의 틈새 사이에 고르게 섞여 들어가기 위하여 섬유가 지나치게 길지 않아야 함을 발견하였다.

4) 금속의 재료

구리 70%와 주석 30%가 혼합된 청동이 가장 높은 주조 성공률을 보였고, 구리 55%의 청동도 역시 주조에는 큰 무리가 없음을 발견하였다. 황동도 역시 주조는 가능하였다.

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 주조의 성공률과 상관관계가 없었다.

7) 주조의 성공률과 수축률

성공적으로 주조해 낸 금속활자는 32개며, 이의 성공 비율은 3.56%였다. 주조된 금속활자와 어미자의 비율은 96.64%로 3.36%의 수축률을 확인하였다.

6. 結 論

금속활자 밀랍주조법의 실체를 추적하기 위하여 다양한 실험을 실시하였다. 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. 보조 재료가 중요한 역할을 하였으며, 숯가루와 종이 섬유가 유용한 것으로 판명되었다. 이의 첨가 비율은

22.22%와 2.22%였다.

특히 탄분 실험과 비교하면 종이 섬유는 점토 내에 섞여서 균열되는 것을 방지하는 효과를 발휘함으로써 금속용액의 주입 성공률과 금속활자의 주조 성공률을 상대적으로 1.44배와 2.87배로 높게 나타나게 하였다. 따라서 그 기능과 효과가 주조의 성공률에까지 영향을 미칠 만큼 절대적임을 알 수 있었다.

또한 이번 실험을 통하여 주형의 재료로 지금까지 금속활자장에 의하여 편법으로 이용되어 온 치과 주조용 석고계 배물재를 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 상관관계가 없음을 확인하였다.

(5) 주조의 성공률과 수축률: 주조의 성공률은 3.56% 였고, 수축률은 96.64% 였다.

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

<참고문헌>

손보기. 「한국의 고활자」. 서울: 보진재, 1981.

조형진. “金屬活字 蜜蠟鑄造法 鑄型材料: 炭粉의 復原實驗 研究.” 「서지학연구」 제30집(2005. 6), 183-221.

조형진. “金屬活字 蜜蠟鑄造法 鑄型材料: 黑鉛의 復原實驗 研究.” 「서지학연구」 제31집(2005. 9), 33-56.