

# 금속활자의 백토를 이용한 밀랍주조법 실험 연구

An Experimental Investigation of the  
Metal Type Wax Casting Method Using White Clay

曹 炯 鎭 (Cho, Hyung-Jin)\*

## ◁ 목 차 ▷

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

## < 초 록 >

금속활자를 주조할 수 있는 백토를 이용한 밀랍주조법의 구체적인 과정과 원리를 추적하였다.

- (1) 어미자의 재료: 밀랍과 함께 왁스가 효과적이었다.
- (2) 주형의 재료와 활자의 완성도: 충전 재료로 백토는 유용하였다. 기능성 재료로 활성탄·종이 섬유·흑연 등은 유용하였다. 그 혼합 비율은 활성탄이 10~19%, 종이 섬유는 1%, 흑연은 20%였다. 특히 종이 섬유는 주형의 균열을 방지하는 기능이 절대적일만큼 탁월하였고, 흑연은 성공률이 높게 나타났다. 그러나 활자의 완성도는 모두 저조하였다. 유성 탄소는 부적합하였다.
- (3) 금속의 재료 및 주입 양과 방법: 청동이 황동보다 효과적이었다. 주입 양은 350g 정도의 소량을 재래식 방법으로 주입할 수 있었다.
- (4) 문자 필획의 다과: 필획이 적을수록 성공률이 높게 나타났다.
- (5) 문자면의 방향과 금속 용액의 주입 방향: 문자면은 하향이 성공률이 가장 높았고, 금속 용액은 평식으로 주입하는 것이 미세하게 높았다.
- (6) 주탕도의 굵기: 4.5 × 5.0mm의 주탕도로도 충분하였다.
- (7) 주형의 온도: 주형의 소성 온도는 600℃로도 충분하였다. 금속 용액 주입 시 주형의 온도는 성공률과 무관하였다.
- (8) 주조의 성공률과 수축률: 최고의 성공률은 90.0%였고, 전체의 성공률은 15.74%였다. 수축률은 5.83%였다.

\* 강남대학교 인문대학 문헌정보학과 교수(chohj@kangnam.ac.kr)

접수일: 2009년 12월 1일 최초심사일: 2009년 12월 2일 심사완료일: 2009년 12월 8일

- (9) 활자 자적의 특징: 「직지」에서 발견할 수 있는 특징이 모두 나타났다. 따라서 본 연구가 제시한 밀랍주조법은 직지활자를 주조하기 위하여 사용했던 방법일 가능성이 높은 것으로 보인다.

要語: 금속활자, 밀랍주조법, 백토, 활성탄, 종이 섬유, 흑연, 「직지」

### <ABSTRACT>

This study investigated the specific processes and principles of metal type wax casting method using white clay.

- (1) Matrix material: Beeswax and injection wax were useful as the material.
- (2) The mould material and type performance: White clay was useful as the filling material. Activated carbon, paper fiber and graphite were useful as the functional material. Each of the mixture proportion was 10~19% for activated carbon, 1% for paper fiber, and 20% for graphite. In particular, paper fiber played a superior, almost critical role in preventing cracks in the mould. Graphite demonstrated high success rate. However, the quality of type was found to be poor for all. Oil carbon was not an appropriate material.
- (3) Metal components, pouring quantity, and pouring method: Bronze was more effective than brass as the metal component. A small quantity of approximately 350 grams was poured using conventional method.
- (4) The number of character strokes: The fewer the number of character strokes, the higher the success rate was.
- (5) Direction of character face and pouring method of metal fluid: The success rate was highest when the character face was directed downward, and it was slightly higher when metal fluid was poured in a lying mode.
- (6) The main path caliber for metal fluid: The size of 4.5 × 5.0mm was sufficient.
- (7) The temperature of mould: The degree of 600℃ was sufficient as the burning temperature for mould. The success rate was not affected by the mould temperature at the time of metal fluid pouring.
- (8) The casting success and contraction rate: The highest success rate was 90.0%, and the overall success rate was 15.74%. Contraction rate was 5.83%.
- (9) The characteristics of type strokes: All the distinctive characteristics in 「Jikji」 were observed here. Therefore, it appears that the wax casting method adopted by this experiment was the replication of the method actually used to cast Jikji type.

Key words: metal type, wax casting method, white clay, activated carbon, paper fiber, graphite, 「Jikji」

## 1. 緒 言

지금까지 알려진 고려 금속활자에 관한 자료는 정부 기관에 의한 『新印詳定禮文』과 『南明泉和尚頌證道歌』(이하 「증도가」로 약칭)에 수록된 문헌 기록이 있고, 사찰이 주자 인쇄한 『白雲和尚抄錄佛祖直指心體要節』(이하 「직지」로 약칭)의 실물 1책이 있다.

정부 기관에 의한 활자 인쇄의 기록은 인쇄 사실만을 간략하게 기록하고 있어서 기술적인 내용은 전혀 알 수 없다. 「증도가」는 복각본으로 추정되는 실물이 있기는 하나, 이 실물이 확실히 금속활자본의 복각본인지는 확인할 수 없으며, 복각본이라 할지라도 금속활자의 실제 모습을 볼 수 없는 간접 자료이다. 따라서 지금까지 발굴된 자료에 의하면, 고려시대 정부 주도의 금속활자는 역사 사실 외에 기술적인 요소는 전혀 알 수 없다.

사찰 주도의 활자 인쇄는 문헌 기록이나 활자와 인쇄용구 등의 실물은 없지만, 인쇄의 최종 결과물인 금속활자본 「직지」 1책이 현존하고 있다. 그러므로 이를 통하여 간접적으로나마 고려시대 사찰 주조의 금속활자를 엿볼 수 있다. 그렇지만 이도 「직지」 실물 이외에 활자의 조성 방법·조판 방법·인쇄용구 등의 기술적인 문제는 전혀 알지 못한다.

지금까지 이러한 기술 문제를 복원하기 위하여 부분적으로 연구가 시도된 적이 있다. 우선 「직지」의 자적으로부터 직지활자<sup>1)</sup>의 특징과 주조·조판 방법을 분석한 연구가 있다.<sup>2)</sup> 이 분석 결과에서 유추된 활자 조성 방법인 밀랍주조법의 구체적인 주조 과정을 문헌 연구를 통하여 추론한 연구가 있다.<sup>3)</sup> 주조 과정을 복원하

1) 이 활자의 명칭으로 흥덕사자·고려사주활자 등이 있으나, 정설은 정립되지 않은 상태다. 본 연구에서는 「직지」를 인쇄한 활자라는 의미로 “직지활자”를 사용한다.

2) 남권희 등, “프랑스국립도서관 소장 「직지」 원본 조사 연구,” 『서지학연구』 제35집(2006. 12), 59-81.; 조형진, “직지의 자적이 나타난 직지활자의 특징 연구,” 『서지학연구』 제38집(2007. 12), 163-192.; 이승철, “「직지」에 사용된 활자와 조판에 대한 분석 요구,” 『서지학연구』 제38집(2007. 12), 377-411.; 조형진, “직지활자의 주조, 조판 방법 연구,” 『서지학연구』 제39집(2008. 6), 69-86.

3) 조형진, “금속활자 밀랍주조법 복원을 위한 문헌적 연구,” 『서지학연구』 제33집(2006. 6), 41-77.

기 위한 첫 단계로 주형의 재료를 추적한 실험 연구가 있다.<sup>4)</sup> 이밖에도 『직지』와 밀랍주조법에 관한 연구가 있다.<sup>5)</sup>

이상의 연구를 종합하면 아직까지 직지활자를 주조하기 위한 완전한 밀랍주조법은 복원되지 못한 실정이다. 본 연구는 『직지』 및 직지활자를 복원하기 위하여, 주형 재료의 연구에 이어서, 금속활자 밀랍주조법의 모든 과정을 실험으로 증명함으로써 밀랍주조법의 완전한 개념과 원리를 제시하고자 한다. 이는 『직지』의 자적에서 분석한 직지활자의 특징과 주조 방법, 향간에 구전되어 오던 근거가 확실하지 않은 장인 등의 경험적 증언, 문헌 연구의 결과, 주형 재료의 실험 연구 등을 바탕으로 하여, 이상의 모든 조건에 부합하는 방법으로 실험하여 얻은 결과로서 고려 금속활자 주조용 밀랍주조법 연구의 완성에 한층 근접하였다고 할 수 있다. 뿐만 아니라 모든 과정에서 현대적 발상으로 개량된 재료나 방법을 완전히 배제하고, 전통적인 재료와 방법만으로 실험을 수행함으로써 연구 결과가 설득력을 갖추도록 하였다.

## 2. 字本과 어미자의 準備

### 2.1 字本の 選定

금속활자 주조의 첫 단계는 자본을 준비하는 일이다. 자본은 문자의 크기와

- 
- 4) 조형진, “금속활자 밀랍주조법 주형재료: 탄분의 복원 실험 연구,” 『서지학연구』 제30집(2005. 6), 183-221. ; 조형진, “금속활자 밀랍주조법 주형재료: 흑연의 복원 실험 연구,” 『서지학연구』 제31집(2005. 9), 33-56. ; 조형진, “금속활자 밀랍주조법 주형재료: 탄분+지섬유의 복원 실험 연구,” 『서지학연구』 제32집(2005. 12), 107-130. ; 이승철, “금속활자 주조를 위한 밀랍주조법의 주물토 실험연구,” 『서지학연구』 제34집(2006. 9), 129-155. ; 이승철, “밀랍을 이용한 금속활자의 대량주조법과 주형토의 물리적 특성에 대한 실험연구,” 『서지학연구』 제37집(2007. 9), 201-219. ; 조형진, “금속활자 밀랍주조법 주형재료: 유성탄소의 복원 실험 연구,” 『한국과학사학회지』 제29권 제2호(2007. 12), 351-373.
- 5) 라경준 등, “『직지』 금속활자 복원에 관한 실험적 연구,” 『한국과학사학회지』 제28권 제1호(2006. 6), 139-160. ; 박문열, “밀랍주조법의 복원에 관한 실험적 연구,” 『서지학연구』 제33집(2006. 6), 79-105. ; 조형진, “금속활자의 황토를 이용한 밀랍주조법 실험 연구,” 『서지학연구』 제43집(2009. 9), 41-92.

서체를 고려하여 결정한다. 본 연구는 「직지」에서 추출하였다.

자본은 어미자의 재료인 밀랍·파라핀·왁스 별로 각각 50개씩 무작위로 추출하였다. 이를 <표 1>에서 문자의 필획 수와 함께 제시하였다. 필획 수는 8획 이내·9~13획·14획 이상으로 구분하였다.

또한 주형 재료의 연구에서 구조된 활자는 대체로 4% 정도 수축되었으므로, 이번에는 직지활자와 같은 크기의 활자를 얻기 위하여 104%로 확대하여 준비하였다.

<표 1> 추출 자본과 필획 수 분포

|                                 | 밀랍 어미자     |            |            | 파라핀 어미자    |            |            | 왁스 어미자 |       |        |
|---------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------|-------|--------|
| 추출<br>위치<br>(張次,<br>上下,<br>行-字) | 桂(5上6-13)  | 兩(5上7-19)  | 閣(2上3-4)   | 樣(1上3-7)   | 覺(4下7-7)   | 深(4下4-11)  |        |       |        |
|                                 | 怪(5上6-10)  | 語(5上5-12)  | 頃(1上10-3)  | 偃(2下7-8)   | 介(4上10-16) | 汝(3下5-14)  |        |       |        |
|                                 | 國(5下9-7)   | 與(5上5-15)  | 競(2下7-16)  | 淵(1上5-6)   | 去(3下1-17)  | 祐(4上4-15)  |        |       |        |
|                                 | 根(5上5-18)  | 要(4下4-17)  | 故(2上10-9)  | 羸(2上3-10)  | 見(4下2-17)  | 依(4上7-13)  |        |       |        |
|                                 | 肯(5上3-18)  | 義(5上4-10)  | 君(1下4-15)  | 兀(1上11-3)  | 空(4下7-16)  | 而(4上3-6)   |        |       |        |
|                                 | 其(5上4-9)   | 二(5上4-3)   | 期(1下4-7)   | 巍(1上6-3)   | 茶(3下5-10)  | 入(4上10-17) |        |       |        |
|                                 | 奇(5上6-9)   | 迪(4下10-17) | 嵐(2下7-7)   | 巍(1上6-4)   | 達(4下8-12)  | 丈(4上4-8)   |        |       |        |
|                                 | 起(5上2-10)  | 因(4下10-7)  | 短(2上5-16)  | 用(2上1-6)   | 當(3下8-5)   | 藏(4下10-9)  |        |       |        |
|                                 | 道(4下2-15)  | 日(5上4-5)   | 動(2下5-13)  | 勇(2上1-8)   | 同(4下2-12)  | 低(3下6-12)  |        |       |        |
|                                 | 東(4下8-16)  | 在(5上10-18) | 銅(1下3-1)   | 移(2上6-9)   | 磨(4下8-13)  | 佇(3下7-6)   |        |       |        |
|                                 | 得(5上2-18)  | 滴(5下8-12)  | 抖(1下10-15) | 孜(2上2-6)   | 蒙(3下3-14)  | 這(4上11-15) |        |       |        |
|                                 | 嶺(4下9-11)  | 肇(5上5-11)  | 漫(1下2-11)  | 寂(1下6-9)   | 無(4上7-12)  | 寂(4上7-10)  |        |       |        |
|                                 | 萬(5上5-19)  | 住(5下10-12) | 埋(1上9-11)  | 田(2上3-6)   | 保(3下8-14)  | 座(4下3-16)  |        |       |        |
|                                 | 別(5上7-12)  | 湊(5下2-18)  | 猛(2上1-9)   | 晴(1下3-2)   | 事(4上9-15)  | 曾(3下1-16)  |        |       |        |
|                                 | 三(5上5-5)   | 地(4下8-10)  | 名(2下2-8)   | 趙(2下3-10)  | 思(3下7-7)   | 之(3下7-8)   |        |       |        |
|                                 | 上(4下10-11) | 且(4下2-14)  | 銘(1上2-11)  | 州(2下3-18)  | 師(4上10-18) | 指(4上10-15) |        |       |        |
|                                 | 相(4下4-14)  | 次(5上2-8)   | 杏(1下6-11)  | 倣(1下10-12) | 善(4下4-15)  | 參(4下2-16)  |        |       |        |
|                                 | 西(4下9-4)   | 着(5上11-14) | 物(2上5-11)  | 車(1下5-7)   | 雪(4下9-7)   | 天(4下9-5)   |        |       |        |
|                                 | 禪(5上6-15)  | 錯(4下3-13)  | 反(1上8-4)   | 剔(1上8-1)   | 手(4上3-5)   | 痛(4下7-10)  |        |       |        |
|                                 | 豎(5上7-18)  | 出(4下6-18)  | 剖(1上7-9)   | 清(2下1-11)  | 垂(4上3-4)   | 何(3下4-18)  |        |       |        |
|                                 | 匙(5上2-12)  | 琛(5上6-14)  | 聖(2上2-5)   | 探(1上5-5)   | 誰(4上1-17)  | 行(3下5-17)  |        |       |        |
|                                 | 甚(5上3-8)   | 陀(4下6-9)   | 勢(2下4-5)   | 泰(1上6-1)   | 示(3下3-18)  | 和(3下6-7)   |        |       |        |
|                                 | 尋(5上9-18)  | 便(4下3-14)  | 撒(1下10-16) | 髻(2上6-6)   | 侍(4上1-11)  | 皇(3下8-16)  |        |       |        |
|                                 | 十(5上4-4)   | 下(4下3-15)  | 鵝(1上2-3)   | 兮(1上7-18)  | 身(4下8-3)   | 廻(4下9-6)   |        |       |        |
|                                 | 阿(4下2-18)  | 香(5上2-11)  | 岳(2下7-9)   | 獲(1上9-18)  | 實(4下4-13)  | 休(4下8-11)  |        |       |        |
| 필획 수<br>분포                      | 8획 이하      | 9~13획      | 14획 이상     | 8획 이하      | 9~13획      | 14획 이상     | 8획 이하  | 9~13획 | 14획 이상 |
|                                 | 23개        | 22개        | 5개         | 14개        | 22개        | 14개        | 24개    | 20개   | 6개     |

## 2.2 어미자의 彫刻

### 2.2.1 어미자의 높이

어미자를 제작하기 위하여 어미자의 높이와 조각 요령을 정한다. 어미자의 높이는 주조 후에 곧 수축률이 반영된 활자의 높이가 되므로, 이를 고려하여 미리 결정하여야 한다. 각개 활자의 높이는 문자면의 집합인 인출면 높낮이의 균일도에 영향을 주므로 대단히 중요하다. 또 작업능률뿐만 아니라 동종 활자의 여부를 판단하는 기준이 된다. 대체로 조임식 조판법의 활자는 높이가 높고, 부착식 조판법은 낮다.

부착식 조판법으로 추론된 직지활자의 높이는 그다지 높지 않았을 것으로 판단된다. 이번 실험에서는 어미자의 높이를 4mm로 하였다.

### 2.2.2 어미자의 조각 요령

조각 요령의 핵심은 陽刻反體字로 문자를 만들기 위한 산의 각도와 깊이이다. 밀랍주조법은 어미자 밀랍을 주형 안에서 녹여내는 것이므로 어미자에 필획의 산을 조각하는 각도는 수직을 초과하여도 무방하다. 본 연구에서는 대체로 85~90° 정도를 유지하였다.

산의 깊이는 깊을수록 인출하기에도 편리하고 활자의 수명을 연장할 수 있다. 본 연구에서는 활자의 동체 높이를 고려하여 1~1.5mm 정도로 하였다.

기타의 조각 요령으로는 문자가 문자면에 가득 차도록 조각하였다.

### 2.2.3 어미자의 조각 과정

어미자를 조각할 재료로는 금속 세공용 왁스를 사용하였다. 이는 실험에 직접 사용하는 것이 아니라, 실험용 어미자를 주조하기 위한 주형 제작에 사용하기

위해서다. 또한 작업능률은 뛰어나면서도 기능적 효과는 밀랍·과라핀 등과 대동소이하기 때문이다.<sup>6)</sup> 조각의 난이도는 재료가 단단할수록 조각하기에 용이하다.

(1) 어미자판 제작: 어미자의 재료를 판으로 제작하였다. 두께는 활자의 높이인 4mm로 하였고, 폭은 문자의 폭과 같거나 0.5mm 정도 여유 있게 하였다. 어미자판 수량을 여유 있게 만들었다.

(2) 자본 붙이기: 자본을 한 개씩 또는 한 줄씩 오려서 어미자판에 뒤집어서 올려놓았다. 금속 막대를 달구어서 자본의 뒷면을 조심스레 훑어줌으로써 표면을 순간적으로 녹이는 방법으로 자본을 붙였다.

(3) 어미자 조각: 양각반체자로 조각 요령에 따라서 충실하게 조각하였다. 일부 문자는 「직지」의 본문에서 사용된 의미와 무관하게 자적의 필획에 충실하였다(예: 曾과 會). 「직지」의 자적에 필획이 누락된 결필 문자는 정상으로 손질하였다(예: 2下7-7의 嵐). 여백 부분과 측면을 정리하였다. 측면 정리의 결과는 작업의 효율 상 대체로 둥근 사각형 또는 타원 형태를 보였다.

조각 능률은 귀금속 공예학을 전공하고 5년 경력의 소유자가 하루 8시간 작업에 8개 정도 조각하여 1시간에 평균 1개 정도였다. 이처럼 능률이 낮은 이유는 재질이 연하여 정교한 필획을 조각하기가 쉽지 않기 때문이다. 이 때문에 자본의 필획을 충실하게 반영하지 못하고 다소 변형된 경우도 있었다. 이렇게 조각한 어미자는 총 150개이다. 여유분도 조각하였다.

## 2.3 實驗用 어미자의 材料

### 2.3.1 밀랍

가장 기본적인 재료다. 밀랍에는 백랍·황랍·청랍이 있다. 황랍은 토종 꿀벌의 집을 정제하여 얻는다. 이 밖에 향유고래의 머리 부분 동공에 채워있는 기름이나 누에고치로부터 얻기도 하고 식물성 밀랍도 있다. 본 연구에서는 황랍을 사용하였다.

6) 조형진, “금속활자 밀랍주조법 주형재료: 탄분의 복원실험 연구,” 219.

### 2.3.2 파라핀(paraffin)

공업용 파라핀을 사용하였다.

### 2.3.3 왁스

사출 왁스·세공용 파라핀이라고도 한다. 이는 공업용 파라핀에 여러 첨가물을 혼합하여 조제한 것이다. 비교적 단단하여 섬세한 문양을 조각하기에 유리하다. 실험 결과가 밀랍과 같이 나타난다면 향후의 밀랍주조에서는 밀랍 대신 사용할 수 있기 때문이다.

## 2.4 實驗用 어미자의 準備

### 2.4.1 실리콘 주형의 제작

밀랍 주조용 어미자는 주조 과정에서 녹아 없어지므로 실험을 위하여 다량의 어미자가 필요하다. 그런데 어미자의 조각 능력이 낮으므로 실제 실험에는 다량의 어미자를 주조하여 사용할 수밖에 없다.

실험에 직접 사용할 어미자의 대량생산을 위하여 조각한 150개의 어미자로 실리콘 주형을 제작하였다. 실리콘은 1300T를 사용하였다. ① 목재로 주형틀을 만들고, ② 주형틀 안에 양면 테이프로 조각된 어미자를 문자면이 위를 향하도록 나란히 얹힌 다음, ③ 실리콘을 가득 차도록 부어서 제작하였다. ④ 24시간 정도 경과하면 사용할 수 있으나, 2~3일 후 완전히 굳은 후에 꺼내어 사용하였다. 이 실리콘 주형에는 오목하게 陰刻正體字로 문자가 형성되어 있다.

### 2.4.2 어미자의 주조

실험에 직접 사용할 어미자를 대량으로 주조하였다. ① 어미자의 주형틀에 해당

재료를 녹여서 여유 있게 부어 채운다. 여유 있게 부어 채우는 이유는 식으면서 약간씩 수축되기 때문이다. 수축률은 왁스가 가장 작고 밀랍도 문제되지 않을 정도지만 파라핀은 제법 크게 나타났다. ② 재료가 알맞게 식으면 넘친 부분을 깎아냈다. ③ 완전히 굳기 전에 조심스레 어미자를 하나씩 꺼내어 ④ 문자면 필획의 이상 여부를 확인하였다. ⑤ 어미자 배면의 너털이는 깨끗이 제거하였다. ⑥ 사용하기 편리하도록 분류 상자에 보관하였다. 이러한 방법으로 밀랍·파라핀·왁스를 차례로 주조하였다.

이렇게 하여 주조한 실험용 어미자는 밀랍 어미자  $50\text{개} \times 4 = 200\text{개}$ , 파라핀 어미자  $50\text{개} \times 8 = 400\text{개}$ , 왁스 어미자  $50\text{개} \times 36 = 1,800\text{개}$ , 총 2,400개이다.

실험용 어미자를 주조할 때 주의할 점은 다음과 같다. ① 실리콘 주형이 차거나 밀랍이 충분히 녹지 않으면 필획의 미세한 틈새로 속속들이 주입되지 못하여 실패율이 높다. ② 이렇게 하여도 주형 내 미세한 흠에 기포 형태로 잠겨 있는 경우가 많으므로 육안으로 잘 보이지 않더라도 뽀족한 기구로 일일이 식기 전에 신속하게 제거하여야 한다. ③ 밀랍이나 왁스와 달리 파라핀은 완전히 식으면 취약한 필획이 파손되기 쉬우므로 식기 전 유연할 때 꺼내는 편이 좋다. 특히 삼수변(ㄷ)처럼 독립된 필획은 완전히 주입되기 어렵고, 꺼낼 때 파손되기도 쉬웠다. ④ 작업 중에 미세한 불순물을 수시로 제거하여야 한다. 특히 문자면의 불순물은 활자 상의 너털이로 나타날 가능성이 있으므로 반드시 제거하여야 한다. ⑤ 실험 소요량보다 여유 있게 주조하여 추가 수요에 대비하여야 한다. ⑥ 관건은 실리콘 주형과 밀랍의 온도이다. 이는 수치화하기 어렵고 경험에 의하는 수밖에 없다. 이점이 숙련된 기술을 요하는 부분이다.

#### 2.4.3 주조 어미자의 날인

주조 어미자가 완성되면 흑색 유성 스탬프로 자적(표 2 참조)을 날인하여 확보해 둬으로써 실험 결과로 완성될 금속활자와 비교할 수 있도록 하였다.

<표 2> 주조 어미자의 자적

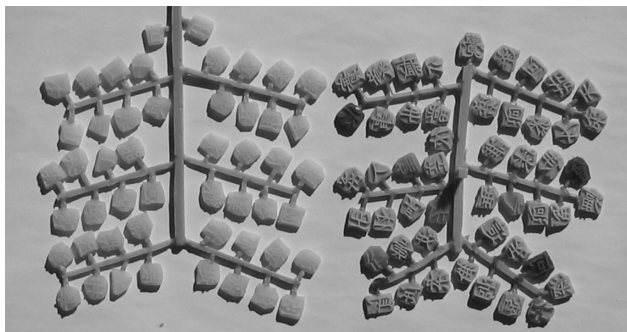
|                       |   |   |   |   |   |   |   |   |
|-----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 밀<br>랍<br>어<br>미<br>자 | 桂 | 怪 | 國 | 根 | 肯 | 奇 | 其 | 起 |
|                       | 道 | 東 | 得 | 嶺 | 萬 | 別 | 三 | 上 |
|                       | 相 | 西 | 禪 | 堅 | 匙 | 甚 | 尋 | 十 |
|                       | 阿 | 兩 | 語 | 與 | 要 | 義 | 二 | 池 |
|                       | 因 | 日 | 在 | 滴 | 肇 | 住 | 湊 | 地 |
|                       | 且 | 次 | 着 | 錯 | 出 | 琛 | 陀 | 便 |
|                       | 下 | 香 |   |   |   |   |   |   |
| 파<br>라<br>핀           | 閣 | 頃 | 競 | 故 | 君 | 期 | 嵐 | 短 |
|                       | 動 | 銅 | 抖 | 漫 | 埋 | 猛 | 名 | 銘 |
|                       | 杏 | 物 | 反 | 剖 | 聖 | 勢 | 擲 | 鵝 |

|                       |   |   |   |   |   |   |   |   |
|-----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 이<br>미<br>자           | 岳 | 樣 | 偃 | 洲 | 羸 | 兀 | 巍 | 巍 |
|                       | 用 | 勇 | 移 | 汝 | 寐 | 田 | 晴 | 趙 |
|                       | 州 | 做 | 車 | 剔 | 清 | 探 | 泰 | 髮 |
|                       | 兮 | 獲 |   |   |   |   |   |   |
| 악<br>스<br>어<br>미<br>자 | 覺 | 介 | 去 | 見 | 空 | 忝 | 達 | 當 |
|                       | 同 | 磨 | 蒙 | 無 | 保 | 事 | 思 | 師 |
|                       | 善 | 雪 | 手 | 垂 | 誰 | 示 | 侍 | 身 |
|                       | 實 | 深 | 汝 | 祐 | 依 | 而 | 入 | 丈 |
|                       | 藏 | 低 | 佇 | 這 | 寐 | 座 | 曾 | 之 |
|                       | 指 | 叅 | 天 | 痛 | 何 | 行 | 和 | 皇 |
|                       | 迴 | 休 |   |   |   |   |   |   |

#### 2.4.4 어미자군의 성형

어미자의 각각 다른 문자를 50개씩 모아서 어미자군으로 성형하였다. 이를 위하여 어미자 외에 금속 용액의 주탕도가 될 밀랍 주봉, 어미자의 자리에 용액을 주입시킬 밀랍 중간봉과 가지봉을 준비하였다. 밀랍 주봉은 가로 세로  $4.5 \times 5.0\text{mm}$ 짜리를 110mm 정도의 길이로 재단하였다. 밀랍 중간봉은  $2.5 \times 3\text{mm}$ 짜리를 65mm 정도의 길이로, 가지봉은 직경 2mm의 원통형을 길이 10mm 이내로 재단하였다.

어미자군의 성형은 주형의 균열을 최대한 방지하기 위하여 부채꼴 모양의 평면형으로 하였다(“4.1.5 주형의 균열 여부 점검 및 보수” 참조). ① 어미자 필획의 구조 상태가 완전한 것만 선별하였다. ② 불순물을 깨끗이 제거하였다. ③ 어미자의 측면과 밀랍 가지봉을 일일이 약간씩 녹여서 붙였다. ④ 가지봉이 접촉된 어미자를 8~9개씩 밀랍 중간봉에 나뭇잎처럼 평면 형태로 붙였다. ⑤ 이를 다시 밀랍 주봉에 부채꼴 형태로 붙였다. 이렇게 하여 50개의 어미자를 평면의 부채꼴 형태로 된 어미자군으로 완성하였다. ⑥ 문자면의 방향(상·하·측향)을 고려하여 금속 용액 주입구가 될 주탕도를 조성하였다. 주탕도는 어미자군의 중앙 부분에 조성하였다. ⑦ 어미자군의 앞뒷면에 붙어있는 미세한 불순물을 세심히 살펴서 제거하였다. 이와 같은 방법으로 어미자군을 완성하였다(사진 1 참조). 이들의 크기는 대체로  $140 \times 150\text{mm}$  정도였다.



<사진 1> 성형된 어미자군(밀,側,立과 畧,上,平)

이때 주의할 점은 다음과 같다. ① 밀랍봉은 가능한 한 가늘고 짧게 하고, 어미자를 가능한 한 밀집하여 붙여서 재료 소모량을 줄이고 주조 효율을 높일 수 있도록 한다. ② 어미자와 밀랍봉을 접착할 때, 반드시 양측을 녹여서 붙여야 한다.

이같은 어미자군을 실험에 필요한 만큼 밀랍 4개, 파라핀 8개, 왁스 36개 총합 48개를 준비하였다.

### 3. 鑄型의 材料와 調製

#### 3.1 鑄型의 充填 材料

충전 재료는 자연 점토와 인공 점토가 있다. 자연 점토는 생활 주변에서 구할 수 있는 황토나 찰흙 등이 있다. 인공 점토는 도자기 등을 빚으면서 성질을 터득하였을 것이므로 밀랍주조법의 주형 재료로 사용되었을 가능성이 충분하다. 오늘날의 인공 점토는 재료 공학적 방법으로 목적에 맞도록 배합하여 조제한다. 본 실험은 어떤 성질이나 기능의 점토가 활자 주조에 적합한가를 밝히기 위한 것이므로, 성분이 확인된 백토를 사용하였다.

백토는 백자토라고도 한다. 백자를 굽기 위하여 인공적으로 조제한 점토다. 소성 후에는 백색으로 변하지만, 소성 전에는 흑색 내지는 회색을 띄고 있다. 흑색이 진하다는 것은 유기물질이 다량으로 함유되어 있음을 의미한다. 불순물은 거의 없다.

#### 3.2 鑄型의 機能性 材料

기능성 재료는 충전 재료의 금속 주조에 부족한 성질을 갖추기 위하여 반드시 혼합해야 한다. 이는 점토 내에서 균일하게 공극을 형성함으로써 금속 용액 주입 시 발생하는 가스를 흡입하는 기능을 가지고 있어야 한다. 주형 재료가 갖추어야

할 조건은 ① 우수한 통기성, ② 소성 시 불균열성, ③ 우수한 부착성, ④ 수축의 균일성 등이 있다. 본 실험에서는 炭粉(숯가루) · 종이 섬유 · 유성 탄소 · 흑연 등을 사용하였다. 이 기능성 재료는 전통적으로 많이 사용되었고, 사전적 정의가 없음에도 불구하고 향간에 구전되어 오던 ‘烏土’라는 개념에도 부합한다.

### 3.2.1 炭粉(숯가루)

목탄(검탄 · 열탄) · 백탄 · 활성탄 등이 있는데, 본 실험에서는 활성탄으로 200MESH를 사용하였다. 활성탄은 고열에 가열된 물질이므로 고온 안정성이 높다. 즉 주형을 소성할 때 수축률을 낮출 수 있다.

### 3.2.2 종이 섬유

종이 섬유는 주형이 건조되거나 소성될 때 균열을 방지하고, 주형 안에서 공극을 형성하여 금속 용액 주입 시 발생하는 가스를 흡수하는 기능을 가지고 있다. 본 실험에서는 닥나무를 전통 한지의 제조 방법으로 가공한 펄프 상태의 것을 사용하였다. 소요량을 측정하기 위하여 완전히 건조시킨 후 다시 고해하였다.

① 종이 섬유를 필요량만큼 중량을 측정하였다. ② 물에 삶아서 섬유질을 부드럽게 하였다. ③ 절구에 넣고 방망이로 충분히 찼다. ④ 물속에서 섬유를 풀어 해쳤다. ⑤ 충전 재료와 기능성 재료가 반죽된 용기에 수분의 비율을 고려하여 골고루 혼합하였다.

### 3.2.3 유성 탄소(carbon)

비금속의 화학 물질 군에 속하며 아세틸렌 블랙 등의 동의어를 가지고 있는 그을음이다. 본 실험에서는 Korea Carbon Black Co.의 HIBLACK을 사용하였다. 이는 99.5%의 순도를 보이고 있다. 유성 탄소를 굳이 실험한 이유는 점토나

기타의 기능성 재료가 수용성임에 반하여, 유성 재료는 어떠한 결과가 나타날지를 분석하기 위함이다.

### 3.2.4 흑연

비금속의 화학 물질 군에 속하며 미네랄 탄소·천연 흑연·검은 납 등의 동의어가 있다. 결정체로 된 분말 상태의 고체로 유성의 구조를 가지고 있어서 물에 용해되지 않는다. 본 실험에서는 호남석유화학(주)의 HDPE를 사용하였다. 이는 99%의 흑연과 1%의 석영으로 구성되어 있다.

## 3.3 鑄型 材料의 調製

충전 재료와 기능성 재료를 계산된 비율로 혼합하여 조건이 다른 4종의 주형 재료를 조제한다. 이 주형의 재료는 지금까지 금속활자장에 의하여 편법으로 이용되어 온 치과 주조용 석고계 매몰재를 대신하여 고려시대에 사용했을 법한 전통 재료라고 할 수 있다.

① 백토를 필요한 양만큼 중량을 정확하게 측정하여 4개의 반죽 용기에 구분하여 담았다. ② 물을 조금씩 가하면서 진한 반죽이 되도록 풀었다. ③ 활성탄 10%·종이 섬유 1%와 활성탄 19%·유성 탄소 20%·흑연 20%씩 중량을 정확하게 측정하였다. ④ 이를 각각 백토에 혼합하여 4종류의 주형 재료를 조제하였다.

기능성 재료의 혼합 비율은 필자의 실험적 감각으로 예측한 수치다. 이는 백토가 기능성 재료의 입자를 영겨 붙도록 하는 범위 내에서 최대치에 가까울수록 주형의 재료가 갖추어야 할 조건을 충족하여 금속용액의 주입 성공률이 높다. 그러나 그 최소치를 추출하는 것이 더 의미가 크므로, 예상되는 최소치로 실험하였다(표 3 참조).

<표 3> 주형 재료의 혼합 비율과 수분 함유율(%)

| 기능성 재료<br>충전 재료 | 활성탄      |       | 종이 섬유+활성탄  |      | 유성 탄소    |       | 흑연       |       |
|-----------------|----------|-------|------------|------|----------|-------|----------|-------|
| 백 토             | 10<br>90 | 68.48 | 1+19<br>80 | 65.0 | 20<br>80 | 48.30 | 20<br>80 | 60.14 |
|                 | 수분       | 31.52 | 수분         | 35.0 | 수분       | 51.70 | 수분       | 39.86 |

주형 재료를 조제할 때 주의할 점은 다음과 같다.

(1) 실험의 정확도를 위하여 모든 재료는 조그마한 덩어리까지 곱게 풀어서 균일하게 혼합하여야 한다.

(2) 반죽의 농도가 적합하여야 한다. 적합한 농도는 어미자의 필획 사이에 속속들이 채워질 수 있으면서 진할수록 좋다. 주형 재료에 기포가 생기지 않아야 한다. 본 실험에서 주형 재료에 포함된 수분의 비율은 31.52%~51.70%였다(표 3 참조).

(3) 반죽이 진하면 주형틀 안에 충전할 때 기포가 쉽게 형성될 뿐만 아니라 제거하기도 어렵다. 또 어미자 필획의 틈새로 속속들이 충전되지 못하여 실패할 확률이 높다. 물의 양이 과하면 반죽하기에는 쉬우나 건조 시간이 길어지며, 수축률이 커서 실패의 가능성도 커진다. 어미자가 주형 재료 밖으로 노출되기도 한다. 주형 재료의 수축률은 물의 함유율과 정비례한다.

## 4. 鑄型과 活字의 製作

### 4.1 鑄型の 製作

#### 4.1.1 주형틀의 제작

주형틀은 목재로 제작하였다. 어미자군을 포용하면서 두께 20~30mm 정도의

주형을 전제로 사각형의 틀을 만들었다. 그래서 주형틀을 내경의 가로 세로 높이를  $170 \times 170 \times 50\text{mm}$ 로 제작하였다.

#### 4.1.2 주형 재료의 충전 = 어미자균 매몰

주형은 어미자균을 매몰하는 방법으로 제작한다.

(1) 주형틀 고정: 주형틀을 평평한 작업대에 놓았다. 그 밑에 수분을 잘 빨아들이도록 석고판 또는 한지·신문지 등을 깔았다.

(2) 주형 재료의 충전과 어미자균 매몰: ① 문자면의 불순물을 제거하였다. ② 붓으로 주형 재료를 약간 묽게 조절하면서 어미자균의 필획 틈 사이에 속속들이 채워지도록 도포하였다. ③ 주형틀 안에 주형 재료를 예정한 두께인 20~30mm의 절반 정도 채워 넣었다. ④ 재료 내의 기포를 제거할 수 있도록 흔들면서 평평히 깔았다. 기포 현상을 드물게 발견할 수 있었다. ⑤ 어미자균을 주형틀의 중앙에 앉혔다. 금속 용액의 주입 방향이 입식인 경우는, 주입구 부분이 주형틀에 닿도록 하였다. ⑥ 어미자균을 약간씩 눌러서 움직이지 않게 한 다음, ⑦ 그 위에 나머지 절반의 주형 재료를 채워 넣고 ⑧ 역시 흔들면서 두께가 고르도록 평평히 깔았다. 두께는 눈에 보이지 않으므로 오차가 17~29mm 정도까지 나타났다. ⑨ 금속 주입구 부분을 표시하여 확인할 수 있도록 하였다. 이 충전 작업은 2일이 소요되었다.

이 때 주의할 점은 다음과 같다. ① 어미자의 재료는 유성이기 때문에 수성인 주형 재료를 도포할 때 세심한 주의가 필요하다. ② 종이 섬유가 혼합된 재료는 어미자가 견고히 붙어 있지 않을 경우 떨어질 수 있어서 주의하여야 한다. 떨어지면 즉시 인두로 붙여야 한다. ③ 주형 재료 내에 기포가 생기지 않도록 한쪽에서부터 차분히 채워 넣어야 한다. ④ 주형 재료 내에 있을지 모를 기포를 제거할 수 있도록 흔들면서 평평히 펼쳐야 한다. ⑤ 어미자와 탕도의 사이에도 충실하게 채워야 한다. ⑥ 유성탄소·흑연은 고형물이 침전으로 가라앉으므로 충전하기 직전에 잘 혼합하여야 한다. ⑦ 어미자를 매몰한 후에는 내부의 내용이 보이지

않으므로 실험 조건을 기록해 두어야 한다.

#### 4.1.3 주형의 건조

(1) 수분 제거: 어미자균의 매몰이 끝나면 통풍이 잘되는 선반으로 옮겨서 자연 건조시켰다. 실내 기온은 18~30℃를, 습도는 45~76%를 유지하였다. 1시간 정도 경과하면 깔려 있는 한지에 수분이 배어나왔다. 하루 정도 지나면 주형의 표면이 건조되기 시작하였다.

(2) 주형틀 분리: 1~2일 정도 지나면 수축 현상과 함께 주형틀과 부분적으로 분리되기 시작하였다. 건조를 촉진하기 위하여 주형틀을 분리하였다. 분리된 측면을 매끈하게 다듬었다. 만약 어미자균이 완전하게 매몰되지 않은 경우가 있으면 재료를 보충하였다. 이때쯤 주형 표면에 어미자의 재료·충진 재료·기능성 재료·혼합물·문자면 방향·금속 용액 주입 방향 등의 실험 조건을 표시하였다.

(3) 주형을 세워서 건조: 다시 2~3일 경과하면 균열이 나타나기 시작하였다. 이때 주형에 수분을 약간 분무한 후 세워서 양면의 건조 속도를 균일하게 하여 균열을 방지할 수 있도록 하였다. 주형이 안전하게 설 수 있도록 지지틀을 이용하였다. 주형이 눕혀있는 상태에서는 윗면만 건조되므로 건조가 진행될수록 균열이 더 나타난다. 따라서 주형을 가능한 한 빨리 세워야 균열을 방지할 수 있다. 세울 때 손에 재료가 묻어났다. 세워서 건조하는 중에도 휘어지는 현상이 나타나서 수분을 분무하기도 하였다. 이때까지 6일이 소요되었다.

#### 4.1.4 주입구 조성

주형이 완전히 건조되기 전에 금속 용액 주입용 깔대기를 제작하여 주입구를 조성하였다. 깔대기는 평식과 입식에 맞게 제작하였다. 깔대기를 사용하지 않고 주형을 손질할 경우는 발생하는 주형 가루를 깨끗이 닦아내야 했다.

#### 4.1.5 주형의 균열 여부 점검 및 보수

점토가 주성분인 주형은 건조 과정에서 다소의 변형이나 균열이 나타나는 것은 불가피하다. 이 균열의 정도가 활자 주조의 성공을 가름하는 핵심이다. 본 실험에서는 균열의 원인을 찾고, 이를 극복할 수 있도록 주형을 제작함으로써 성공률을 높일 수 있도록 하였다.

균열의 근본 원인은 공기에 닿는 표면과 공기에 닿지 않는 내면의 건조 속도에 따른 수축률의 차이이다. 이 차이가 크면 균열로 나타난다. 따라서 균열을 피하기 위하여는 이 수축률을 줄여야 한다. 수축률을 줄이는 방법은 주형의 두께를 줄이거나 건조 속도를 느리게 하여야 한다.<sup>7)</sup> 건조는 자연 건조이므로, 균열을 방지하는 핵심은 주형을 얇게 제작하는 것이다. 이를 위하여 주형을 평면형으로 하였다.

본 실험에서 발견한 또 하나의 균열 원인은 주형 재료의 점력이 충분하지 못한 점이다. 어미자균은 수축하지 않음에 비하여 주형 재료는 건조 수축하므로 점력이 어미자를 꼭 조일 수 있을 만큼 강하지 못하면 균열로 나타난다. 종이 섬유를 혼합한 주형은 균열이 나타나지 않았고, 유성 탄소를 혼합한 주형은 거의 매우 균열되었다. 기타의 주형도 대부분 균열 현상이 나타났다. 그 정도를 구분하면 다음과 같다.

(1) 완전: 균열 없이 완전한 경우다. 종이 섬유를 첨가한 주형 모두와 활성탄을 혼합한 주형에서 7개가 나타났다.

(2) 미세한 균열: 한두 곳이 0.5mm 이내의 균열로 금속 용액 주입 시의 안전을 위하여 보수가 필요한 정도다. 백토 실험에서는 나타나지 않았다.

(3) 약간 균열: 두세 곳이 0.5~3mm 정도로 균열되었지만, 주형은 부러지거나 깨지지 않은 상태다. 성공률을 높이기 위하여 보수작업이 필요한 정도다. 활성

---

7) 수축률을 줄이는 방법은 이 외에도 점토를 반죽할 때 물을 5% 정도로 적게 첨가하거나, 입자가 거친 점토를 사용하거나, 유기산이 적게 함유되어 있어서 점력이 약한 점토를 사용하면 가능하다. 주물사인 화산재를 첨가해도 균열 방지 효과가 있다. 그러나 금속활자 주조에는 조건이 맞지 않아 채택할 수 없는 방법들이다.

탄·유성 탄소·흑연을 혼합한 주형에서 나타났다.

(4) 매우 균열 = 건조 파손: 3mm 이상 균열되거나 주형이 부러지거나 일부가 떨어져나간 정도다. 유성탄소를 혼합한 대부분과 흑연을 혼합한 주형에서 나타났다. 유성 탄소나 흑연은 물에 용해되지 않아서 백토와 완전히 융합할 수 없는 점이 주형이 매우 균열되는 원인으로 보였다.

보수를 위하여 주형의 변형이나 균열 상태를 완전히 건조될 때까지 예의 주시하였다. 변형은 중앙 부분이 볼록하게 튀어나오는 형태로 나타났다. 균열도 중앙부터 시작하여 다양하게 나타났다. 볼록하게 튀어나오는 주형은 조심스럽게 힘을 가하여 평평히 폈다. 약간 균열된 주형은 균열된 부분에 물을 칠한 후, 주형 재료를 채워 넣었다. 보수 후에는 물을 분무하여 건조 속도를 늦춤으로써 추가 균열을 미리 방지하였다. 이렇게 2~3차례 반복하였다. 보수는 2mm의 균열 틈으로 6mm 깊이까지 충전이 가능하여 주조 성공률에 영향이 있어 보였다. 2mm 이하의 작은 균열은 주조 성공률을 높이기 위한 점도 있지만, 금속 용액 주입 시의 위험도와 열량의 낭비를 줄이는 의미가 더 큰 듯하였다. 흑연을 혼합한 주형을 가장 많이 보수하였다. 매우 균열된 주형은 건조 파손으로 간주하였다.

#### 4.1.6 완전 건조

어미자균을 매몰한 후 15일 정도 경과하면 주형의 색깔이 밝아지는 현상이 보인다. 이즈음 주형을 눕혀서 시간적 여유를 가지고 충분히 건조시켰다.

완전히 건조된 주형은 대체로 140~160mm 정도까지 수축되어 5.88~17.65%의 수축률을 보였다. 수축률은 유성 탄소를 첨가한 주형이 컸고 종이 섬유를 첨가한 주형이 작았다.

48개의 주형에서 나타난 상황은 <표 4>와 같다.

금속활자의 백토를 이용한 밀랍주조법 실험 연구

<표 4> 주형의 조건별 실험 상황표

| 가능성<br>재료<br>충전<br>재료 | 활성탄 10%                     |                            |                            | 종이 섬유 1%<br>+ 활성탄 19%      |                            |                            | 유성 탄소 20%             |                            |                           | 흑연 20%                     |                            |                            |
|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                       | 밀,하,<br>완,청<br>1,500,<br>평  | 파,상,<br>완,청<br>1,450,<br>평 | 파,상,<br>완,황,<br>500,<br>평  | 밀,하,<br>완,청<br>1,500,<br>평 | 파,상,<br>완,청<br>1,500,<br>평 | 파,상,<br>완,황,<br>350,<br>평  | 밀,하,<br>매,-,-<br>,-,건 | 파,상,<br>약,청<br>1,600,<br>평 | 파,상,<br>약,황,<br>600,<br>평 | 밀,하,<br>약,청<br>1,450,<br>평 | 파,상,<br>약,청<br>1,500,<br>평 | 파,상,<br>약,황,<br>600,<br>평  |
| 백토                    | 악,상,<br>완,청<br>1,500,<br>평  | 악,상,<br>완,황,<br>500,<br>평  | 악,상,<br>완,청<br>2,600,<br>평 | 악,상,<br>완,청<br>1,500,<br>평 | 악,상,<br>완,황,<br>400,<br>평  | 악,상,<br>완,청<br>2,300,<br>평 | 악,상,<br>매,-,-<br>,-,건 | 악,상,<br>매,-,-<br>,-,건      | 악,상,<br>매,-,-<br>,-,건     | 악,상,<br>약,청<br>1,500,<br>평 | 악,상,<br>약,-,-<br>,-,건      | 악,상,<br>매,-,-<br>,-,건      |
|                       | 악,하,<br>약,청<br>1,500,<br>평  | 악,하,<br>완,황,<br>400,<br>평  | 악,하,<br>약,-,-<br>,-,건      | 악,하,<br>완,청<br>1,450,<br>평 | 악,하,<br>완,황,<br>350,<br>평  | 악,하,<br>완,청<br>2,300,<br>평 | 악,하,<br>매,-,-<br>,-,건 | 악,하,<br>매,-,-<br>,-,건      | 악,하,<br>매,-,-<br>,-,건     | 악,하,<br>약,청<br>1,500,<br>평 | 악,하,<br>약,황,<br>500,<br>평  | 악,하,<br>약,청<br>2,600,<br>평 |
|                       | 악,側,<br>약,-,6<br>00,-,<br>소 | 악,側,<br>약,-,-<br>,-,건      | 악,側,<br>약,청<br>2,400,<br>立 | 악,側,<br>완,청<br>1,600,<br>立 | 악,側,<br>완,황,<br>500,<br>立  | 악,側,<br>완,청<br>2,300,<br>立 | 악,側,<br>매,-,-<br>,-,건 | 악,側,<br>매,-,-<br>,-,건      | 악,側,<br>매,-,-<br>,-,건     | 악,側,<br>약,청<br>1,600,<br>立 | 악,側,<br>약,-,-<br>,-,건      | 악,側,<br>매,-,-<br>,-,건      |
|                       |                             |                            |                            |                            |                            |                            |                       |                            |                           |                            |                            |                            |

(표설명)

1. 내용 기술 순서: 어미자의 재료·문자면의 방향·주형의 균열 정도·금속의 재료·금속 용액 주입 시 주형의 온도·금속 용액의 주입 방향·파손 상태(건조 또는 소성) 순.
2. 어미자의 재료: 밀 = 밀랍, 파 = 파라핀, 악 = 왁스.
3. 문자면의 방향: 상 = 상향, 하 = 하향, 측 = 측향.
4. 주형의 균열 정도: 완 = 완전, 미 = 미세한 균열, 약 = 약간 균열, 매 = 매우 균열.
5. 금속의 재료: 청1 = 청동1, 황 = 황동, 청2 = 청동2.
6. 주형의 온도: 금속 용액 주입 시, 주형의 온도.
7. 금속 용액의 주입 방향: 평 = 평식 주입, 입 = 입식 주입.
8. 파손 상태: 건 = 건조 파손, 모두 16개, 소 = 소성 파손, 모두 1개. 나머지는 금속 용액을 주입한 경우로 모두 31개며 본 연구의 주된 실험이다.

## 4.2 金屬 鎔液의 鑄入

### 4.2.1 합금 재료의 준비

#### (1) 청동1

구리(Cu)와 주석(Sn)을 7:3으로 혼합하여 바둑 형태로 식혀서 준비하였다. 융점은 830℃ 정도.

#### (2) 황동

구리와 아연(Zn)을 7:3의 비율로 혼합하였다. 융점은 890℃ 정도.

#### (3) 청동2

고려 활자라고 전해지는 “複”자의 성분과 비율<sup>8)</sup>을 참고하여 구리 55% · 주석 33% · 납(Pb) 11% · 아연 1%의 비율로 준비하였다. 융점은 710℃ 정도.

합금할 때 주의할 점이 있다. 처음 원광을 녹인 상태에서는 각 금속이 충분히 혼합되지 않고 같은 성분끼리 뭉치려는 성질이 있다. 이러한 성질이 식으면서 약해져서 완전한 합금을 얻을 수 있기 때문에 식혔다가 다시 녹여서 사용하여야 한다. 또 바둑 형태로 식히기 위하여 금속 용액을 떠낼 때에는 충분히 저어야 한다. 특히 아연은 용액 상태에서 구리보다 아래에 가라앉는 특성이 있다.

### 4.2.2 어미자군의 용출과 주형의 소성

금속 용액을 주입하기 위하여는 주형의 어미자군 밀랍을 완벽하게 제거함과 아울러 소성하여야 한다. ① 건조 파손된 주형 16개를 제외한 32개를 주입구 아래로 향하도록 하여 가열로에 쌓아 넣었다. ② 200℃까지는 2시간에 걸쳐서 가열하였다. ③ 200℃ 이후에는 주형의 균열을 방지하기 위하여 서서히 7시간에 걸쳐서

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

600℃까지 가열하였다. ④ 어미자군은 점차 연소되면서 250℃부터 500℃에 이를 때까지 농도 짙은 독가스로 배출되었다. 500℃부터는 가스가 나오지 않았다. 그러나 일부는 주형 재료에 스며들어 남아있을 수 있다. ⑤ 이를 완전히 제거하기 위하여 600℃를 1시간 정도 유지하였다. 이러한 방법으로 밀랍 성분을 완전히 제거하면서 주형을 소성하기까지 약 10시간이 소요되었다. 소성 결과 파손된 주형은 1개였다(표 4 참조).

#### 4.2.3 금속 용액의 주입

주형의 밀랍 성분을 완전히 제거하였으면 금속을 주입한다.

① 금속 용액을 충분히 끓이면서 ② 가열로에서 주형을 하나씩 꺼내어 주입구가 위로 향하도록 주입대에 올려놓았다. ③ 금속 용액이 끓고 있는 도가니를 집어서 주입하였다. ④ 1분 정도 경과하면 금속 용액이 굳기 시작하였다. ⑤ 금속 용액이 굳으면 주입대에서 내려놓았다. ⑥ 주형의 온도를 600℃에서 300℃까지 점차 낮추면서 진행하였다. ⑦ 모든 주형에 금속 용액의 주입이 끝나면, 식기를 기다렸다가 다음 작업을 진행하였다. 이와 같은 방법으로 청동·황동 등을 차례로 주입하였다. 31개 주형에 주입한 금속과 주형의 온도는 <표 4>와 같다.

금속 용액을 충분히 끓였을 때의 온도는 용점보다 100℃ 정도 높고, 주입 시점의 온도는 이보다 약간 낮았다. 온도를 약간 낮추는 이유는 주입한 후에도 계속 끓으면 가스 발생량이 증가하여 실패할 가능성이 크기 때문이다. 하나의 주형에 주입한 금속의 양은 350g 정도인데, 주형의 균열 등으로 새어나오기도 하여 이를 초과하기도 미달하기도 하였다. 간혹 2~3회 나누어 주입하기도 하였다. 주입구의 틈으로 새기도 하여 주입구를 잘 조성할 필요가 있었다.

예상하지 못한 점으로 육안으로 보이지 않던 주형의 미세한 틈새로 금속 용액이 흘러나오는 현상을 볼 수 있었다. 금속 용액은 유동성이 큰 순으로, 또 식는 속도가 느린 순서인 청동2·청동1·황동 순으로 많이 새어 나왔다. 이는 실패로 나타나므로 주형 재료를 주형틀에 충전할 때 가능한 한 기포가 생기지 않도록

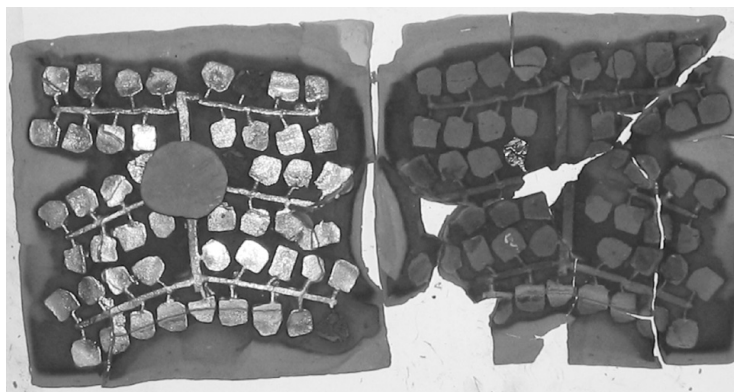
하여야 하며, 소성 과정까지도 조심스럽게 다루는 주의가 필요하였다.

이와 같은 과정을 통하여 주형 내의 어미자 공간에 활자군이 형성되었다.

### 4.3 活字의 抽出 및 成功率과 收縮率

#### 4.3.1 활자의 추출

① 주형이 식으면 깨뜨렸다(사진 2 참조). 주형 안에 있던 활자가 노출되었다. 주조가 잘된 경우는 주형에 남아있는 어미자의 자적이 완전하지 못했고, 주조가 잘못된 경우는 완전히 남아 있었다.



<사진 2> 활자 추출을 위하여 양분한 주형(흑20,악,下,악,청1,500,平)

② 청동은 탕도와 활자가 부러지듯이 쉽게 떨어졌다. 황동은 너털이까지 붙어 있었다. ③ 하나씩 떼어내어 너털이를 다듬었다. 청동은 연장으로 끊듯이 잘라내고, 황동은 줄로 다듬어야 했다. 이때 문자면이 손상되지 않도록 주의하여야 한다. ④ 활자 표면의 주형 재료 가루를 털어냈다. ⑤ 성공한 활자는 대체로 필획 사이에 주형 재료가 박혀 있었다. 필획 사이에 박혀있는 주형 재료는 고열로 구워낸 딱딱한 점토이므로 뽕죽한 대나무 등으로 파냈다. ⑥ 주형 재료 가루를 완전히 제거하

기 위하여 물속에서 솔로 깨끗이 씻어냈다. ⑦ 물기를 닦아냈다. ⑧ 필획이 조성된 상태를 확인하면서 너털이가 있으면 줄로 곱게 슬어냈다. 주형의 균열이 심한 것은 주조에 성공했다 할지라도 너털이가 많아서 손질이 필요하였다. ⑨ 필요할 경우 문자면을 사포로 가볍게 갈아서 완성하였다. ⑩ 활자 보관 상자에 분류하여 보관하였다.

#### 4.3.2 성공률의 산출

활자를 인출하여 성공 여부를 판단하고 비율을 산출하였다. 자적을 인출해야 하는 이유는 활자를 육안으로 보면 성공한 듯하나 자적을 찍으면 실패한 경우도 있고, 그 반대의 경우도 있기 때문이다.

성공과 실패의 기준은 ① 전체적인 완성도와 문자 식별 가능 여부, ② 단필·결필 등 현상의 정도와 복합 출현 등, ③ 기타 너털이 여부 등이다.

성공적으로 주조해낸 각 조건별 활자의 수량은 <표 5>와 같다.

<표 5> 성공한 금속활자의 수량(개)(각 공간의 실험 조건은 <표 4>와 같다.)

| 기능성 재료<br>충전재료 | 활성탄 10%    |    |   | 종이 섬유 1%<br>+ 활성탄 19% |   |   | 유성 탄소 20% |   |   | 흑연 20%      |    |    | 총계              |
|----------------|------------|----|---|-----------------------|---|---|-----------|---|---|-------------|----|----|-----------------|
| 백 토            | 4          | 21 | 2 | 7                     | 0 | 0 | -         | 2 | 3 | 24          | 14 | 3  | 244<br>(15.74%) |
|                | 10         | 0  | 2 | 1                     | 0 | 5 | -         | - | - | 28          | -  | -  |                 |
|                | 3          | 3  | - | 5                     | 0 | 1 | -         | - | - | 45          | 7  | 19 |                 |
|                | -          | -  | 7 | 14                    | 5 | 6 | -         | - | - | 3           | -  | -  |                 |
| 소 계            | 52(11.56%) |    |   | 44(7.33%)             |   |   | 5(5.0%)   |   |   | 143(35.75%) |    |    |                 |

(1) 최고의 성공률: 흑연 + 왁스 + 문자면 하향 + 청동1 + 주형 온도 500℃ + 평식 주입의 경우가 90.0%로 가장 높았다.

(2) 전체의 성공률<sup>9)</sup>: 성공한 금속활자의 수량은 244개다. 이를 위하여 사용한

9) 성공률의 평균치는 중요하지 않을 수 있다. 왜냐하면 직지활자를 주조한 “진실”의 정답 하나를 찾는 것이 목적이기 때문이다. 그러나 그 정답을 확인할 수 없는 현실을 고려하면

어미자의 수량은 주형 31개  $\times$  어미자 50개 = 1,550개다. 따라서 성공률은  $244 \div 1,550 = 15.74\%$ 로 나타났다.

(3) 주형의 기능성 재료별 성공률과 완성도: 활성탄이  $52 \div 450 = 11.56\%$ , 종이 섬유와 활성탄이  $44 \div 600 = 7.33\%$ , 유성탄소가  $5 \div 100 = 5.0\%$ , 흑연이  $143 \div 400 = 35.75\%$ 로 나타나서 흑연이 가장 높았다. 활자의 완성도, 즉 활자의 자적이 어미자 자적과 근접한 정도는 흑연·활성탄·종이 섬유와 활성탄·유성 탄소 순으로 나타났으나, 전반적으로는 완성도를 논하기 어려울 만큼 거리가 있었다(“5.2.3 활자의 완성도” 참조).

(4) 어미자의 재료별 성공률: 밀랍이  $35 \div 150 = 23.33\%$ , 파라핀이  $45 \div 400 = 11.25\%$ , 왁스가  $164 \div 1,000 = 16.40\%$ 로 나타나서 밀랍이 가장 높았다.

(5) 문자면의 방향별 성공률: 상향이  $91 \div 750 = 12.13\%$ , 하향이  $118 \div 550 = 21.45\%$ , 측향이  $35 \div 250 = 14.0\%$ 로 나타나서 하향이 가장 높았다.

(6) 금속의 재료별 성공률: 청동1이  $181 \div 750 = 24.13\%$ , 황동이  $23 \div 500 = 4.60\%$ , 청동2가  $40 \div 300 = 13.33\%$ 로 나타나서 청동1이 가장 높았다.

(7) 주형의 온도별 성공률:  $600^{\circ}\text{C}$ 가  $46 \div 350 = 13.14\%$ ,  $500^{\circ}\text{C}$ 가  $122 \div 600 = 20.33\%$ ,  $450^{\circ}\text{C}$ 가  $61 \div 250 = 24.40\%$ ,  $400^{\circ}\text{C}$ 가  $3 \div 100 = 3.0\%$ ,  $350^{\circ}\text{C}$ 가  $0 \div 100 = 0\%$ ,  $300^{\circ}\text{C}$ 가  $12 \div 150 = 8.0\%$ 로 각각 나타났다.

(8) 금속 용액의 주입 방향별 성공률: 평식이  $209 \div 1,300 = 16.08\%$ , 입식이  $35 \div 250 = 14.0\%$ 로 나타났다.

성공한 금속활자의 자적은 <표 6>과 같다.

---

가능성 있는 정답을 모두 찾을 필요가 있다. 이같은 가능성을 범주화하기 위하여 주조 가능한 방법을 모두 찾고, 평균치도 구하는 것이다.

<표 6> 성공한 금속활자의 자적

| 실험조건<br>: 활성탄          | 금속활자의 자적 |   |   |   |   |   |   |
|------------------------|----------|---|---|---|---|---|---|
| 일,下,완,<br>청1,450,<br>平 | 起        | 甚 | 目 | 便 |   |   |   |
| 파,上,완,<br>청1,450,<br>平 | 競        | 君 | 漫 | 埋 | 名 | 銘 | 剖 |
|                        | 徵        | 鵠 | 岳 | 樣 | 兀 | 移 | 窅 |
|                        | 田        | 晴 | 州 | 車 | 泰 | 兮 | 獲 |
| 파,上,완,<br>황,500,平      | 偃        | 趙 |   |   |   |   |   |
| 악,上,완,<br>청1,500,<br>平 | 介        | 無 | 師 | 示 | 侍 | 入 | 佇 |
|                        | 這        | 指 | 和 |   |   |   |   |
| 악,上,완,<br>청2,600,<br>平 | 事        | 皇 |   |   |   |   |   |
| 악,下,악,<br>청1,500,<br>平 | 同        | 無 | 垂 |   |   |   |   |
| 악,下,완,<br>황,400,平      | 而        | 痛 | 何 |   |   |   |   |
| 악,側,악,<br>청2,450,<br>立 | 魚        | 手 | 示 | 侍 | 而 | 入 | 佇 |

| 실험조건:<br>종이절유             | 금속활자의 자적 |   |   |   |   |   |   |
|---------------------------|----------|---|---|---|---|---|---|
| 넒, 下, 완,<br>청 1,500,<br>平 | 根        | 肯 | 奇 | 萬 | 語 | 與 | 環 |
| 와, 上, 완,<br>청 1,500,<br>平 | 無        |   |   |   |   |   |   |
| 와, 上, 완,<br>청 2,300,<br>平 | 見        | 保 | 師 | 衆 | 天 |   |   |
| 와, 下, 완,<br>청 1,450,<br>平 | 覺        | 去 | 侍 | 深 | 和 |   |   |
| 와, 下, 완,<br>청 2,300,<br>平 | 師        |   |   |   |   |   |   |
| 와, 側, 완,<br>청 1,600,<br>立 | 磨        | 蒙 | 無 | 保 | 事 | 誰 | 示 |
|                           | 入        | 低 | 曾 | 衆 | 痛 | 行 | 皇 |
| 와, 側, 완,<br>황 500, 立      | 介        | 師 | 曾 | 天 | 和 |   |   |
| 와, 側, 완,<br>청 2,300,<br>立 | 覺        | 誰 | 示 | 身 | 座 | 廻 |   |

| 실험조건:<br>유성탄소      | 금속활자의 자적 |   |   |  |  |  |  |
|--------------------|----------|---|---|--|--|--|--|
| 과,上,약,<br>청1,600,平 | 故        | 春 |   |  |  |  |  |
| 과,上,약,<br>황,600,平  | 埋        | 名 | 勇 |  |  |  |  |

| 실험조건:<br>: 흑인      | 금속활자의 자적 |   |   |   |   |   |   |
|--------------------|----------|---|---|---|---|---|---|
| 과,下,약,<br>청1,450,平 | 國        | 肯 | 起 | 道 | 得 | 萬 | 別 |
|                    | 相        | 堅 | 匙 | 十 | 與 | 嶺 | 義 |
|                    | 國        | 住 | 延 | 且 | 次 | 簪 | 錯 |
|                    | 琛        | 陀 | 下 |   |   |   |   |
| 과,上,약,<br>청1,500,平 | 閣        | 期 | 嵐 | 物 | 反 | 勢 | 機 |
|                    | 兀        | 勇 | 移 | 州 | 車 | 剔 | 兮 |
| 과,上,약,<br>황,600,平  | 漫        | 州 | 車 |   |   |   |   |
|                    | 同        | 鑿 | 蒙 | 無 | 保 | 事 | 思 |

|              |   |   |   |   |   |   |   |
|--------------|---|---|---|---|---|---|---|
| 上, 平, 1,500. | 苦 | 手 | 示 | 身 | 深 | 汝 | 祐 |
|              | 依 | 而 | 太 | 藏 | 行 | 低 | 這 |
|              | 曾 | 之 | 指 | 參 | 何 | 行 | 皇 |
| 下, 平, 1,500. | 覺 | 介 | 去 | 見 | 奈 | 當 | 同 |
|              | 磨 | 無 | 保 | 事 | 思 | 師 | 善 |
|              | 雪 | 手 | 垂 | 誰 | 示 | 侍 | 身 |
|              | 實 | 深 | 汝 | 祐 | 依 | 而 | 入 |
|              | 丈 | 藏 | 行 | 低 | 奈 | 座 | 曾 |
|              | 六 | 指 | 天 | 痛 | 何 | 行 | 和 |
| 下, 平, 500.   | 皇 | 迴 | 休 |   |   |   |   |
|              | 當 | 保 | 身 | 藏 | 痛 | 行 | 和 |

|                        |   |   |   |   |   |   |   |
|------------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| 와,下,와,<br>청2,600,<br>平 | 覺 | 介 | 去 | 采 | 保 | 思 | 手 |
|                        | 垂 | 侍 | 身 | 深 | 依 | 女 | 佇 |
|                        | 低 | 曾 | 何 | 迴 | 休 |   |   |
| 와,側,와,<br>청1,600,<br>立 | 覺 | 善 | 行 |   |   |   |   |

(10) 필획의 다과별 성공률: 어미자와 성공한 금속활자의 필획 다과별 수량과 분포율은 <표 7>과 같다. 활자의 어미자 대비 증감률은 8획 이하가 116.89%, 9~13획이 93.16%, 14획 이상이 76.18%이다. 즉 필획이 적을수록 성공률이 높게 나타났다.

<표 7> 어미자 및 성공한 금속활자의 필획 다과별 수량과 분포율

| 어미자                   | 금속활자          |                    |           |               |                | 어미자 대비 증감율                    |
|-----------------------|---------------|--------------------|-----------|---------------|----------------|-------------------------------|
|                       | 활성탄 10%       | 종이 섬유 1% + 활성탄 19% | 유성 탄소 20% | 흑연 20%        | 총계             |                               |
| 8획 이하<br>61개, 40.67%  | 26개<br>50.0%  | 16개, 36.36%        | 2개, 40.0% | 71개<br>49.65% | 116개<br>47.54% | $47.54 \div 40.67 = 116.89\%$ |
| 9~13획<br>64개, 42.67%  | 18개<br>34.62% | 20개, 45.45%        | 3개, 60%   | 56개<br>39.16% | 97개<br>39.75%  | $39.75 \div 42.67 = 93.16\%$  |
| 14획 이상<br>25개, 16.67% | 8개<br>15.38%  | 8개, 18.18%         | 0개, 0%    | 16개<br>11.19% | 31개<br>12.70%  | $12.70 \div 16.67 = 76.18\%$  |
| 합계<br>150개, 100%      | 52개<br>100%   | 44개, 100%          | 5개, 100%  | 143개<br>100%  | 242개<br>100%   | -                             |

## 4.3.3 수축률 측정

어미자와 성공한 활자에서 기능성 재료별로 표본을 추출하여 수축률을 측정하였다. 표본은 필획 상하단의 완성도가 높거나 실측이 편리한 문자를 선택하였다. 측정 상에 나타나는 오차를 최소화하기 위하여 자적을 200%로 확대하여 세로(長)를 실측하였다. 2개의 자적을 나란히 놓고 같은 각도에서 같은 방법으로 측정하였다. 그러나 자적의 양단이 충분히 주조되지 못했거나 모호한 경우가 많아서 다소의 오차는 불가피해 보였다. 실측의 대상과 수축률은 <표 8>과 같다. 활자는 어미자보다 평균 94.37%로 5.63% 수축되는 것으로 나타났다.

&lt;표 8&gt; 실측 대상 문자의 길이(200%)와 수축률

| 표 본  |                  | 어미자(mm) | 금속활자(mm) | 수축률(%) | 평균(%) |       |
|------|------------------|---------|----------|--------|-------|-------|
| 활성탄  | 밑,下,완,청1,450,平=便 | 18.7    | 18.1     | 96.79  | 93.60 | 94.37 |
|      | 파,上,완,청1,450,平=車 | 24.1    | 23.2     | 96.27  |       |       |
|      | 악,上,완,청1,500,平=佇 | 22.9    | 20.9     | 91.27  |       |       |
|      | 악,上,완,청2,600,平=事 | 25.1    | 23.1     | 92.03  |       |       |
|      | 악,側,악,청2,450,立=侍 | 23.9    | 21.9     | 91.63  |       |       |
| 종이섬유 | 밑,下,완,청1,500,平=萬 | 25.0    | 23.6     | 94.40  | 94.70 |       |
|      | 밑,下,완,청1,500,平=興 | 23.9    | 22.2     | 92.89  |       |       |
|      | 악,上,완,청2,300,平=見 | 20.0    | 19.1     | 95.50  |       |       |
|      | 악,側,완,청1,600,立=痛 | 23.7    | 22.4     | 94.51  |       |       |
|      | 악,側,완,청1,600,立=行 | 21.0    | 20.2     | 96.19  |       |       |
| 흑연   | 밑,下,악,청1,450,平=嶺 | 26.7    | 24.3     | 91.01  | 94.82 |       |
|      | 악,上,악,청1,500,平=這 | 24.6    | 22.7     | 92.28  |       |       |
|      | 악,下,악,청1,500,平=茶 | 24.8    | 24.1     | 97.18  |       |       |
|      | 악,下,악,청1,500,平=藏 | 25.1    | 24.3     | 96.82  |       |       |
|      | 악,下,악,황,500,平=保  | 18.7    | 18.1     | 96.79  |       |       |

## 5. 實驗 結果의 分析

### 5.1 實驗 設定의 條件

고려시대에 사용했을 법한 금속활자 밀랍주조법의 세부 과정을 추적하기 위하여 설정한 실험 조건은 <표 9>와 같다.

<표 9> 실험 설정의 조건

|    |                            |                                                                                            |
|----|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 어미자의 재료                    | ① 밀랍, ② 파라핀, ③ 왁스 등 3종                                                                     |
| 2  | 주형의 충전 재료                  | 백토 1종                                                                                      |
| 3  | 주형의 기능성 재료                 | ① 탄분(숫가루), ② 종이 섬유, ③ 유성 탄소, ④ 흑연 등 4종                                                     |
| 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  | 주조 활자의 수량 =<br>금속 용액의 주입 양 | 50개 = 약 350g 1종                                                                            |
| 6  | 문자 필획의 다과                  | 50자 × 3 = 150자를<br>① 8획 이하, ② 9~13획, ③ 14획 이상 등 3종으로 구분                                    |
| 7  | 문자면의 방향                    | ① 상향, ② 하향, ③ 측향 등 3종                                                                      |
| 8  | 주형의 소성 온도                  | 600℃                                                                                       |
| 9  | 금속 용액 주입 시<br>주형의 온도       | 300℃에서 600℃까지 다양                                                                           |
| 10 | 금속 용액의 주입 방향               | ① 평식, ② 입식 등 2종                                                                            |
| 11 | 금속 용액의 온도                  | 800~1000℃ 1종                                                                               |
| 12 | 금속 용액의 주입 방법               | 재래식 직접 주입 1종                                                                               |

### 5.2 實驗 結果의 分析

이상과 같은 단계별 조건을 조합하여 설정한 실험의 종류는 48종이다. 실험 결과를 분석하면 다음과 같다.

## 5.2.1 주조의 성공률

최고의 성공률은 90.0%로 1종류의 조건에서 나타났다. 전체의 성공률은 15.74%였다.

## 5.2.2 활자 자적의 특징

성공한 활자 중에 어미자의 상태를 완벽하게 반영한 경우는 특징을 추출할 수 없다. 그렇지 못한 경우는 부정적인 현상이지만 여러 가지를 추출할 수 있다.

(1) 斷筆 문자: 필획이 끊어진 현상이 나타난 문자가 있다. 활성탄의 경우에 起甚日便競君漫撒鵝岳樣田晴車泰獲偃無師侍入佇這指車皇同垂何無手侍而入佇 등 35개가 있다. 종이 섬유에는 根奇萬語與琛無保師天覺去侍師磨蒙保事入曾參痛行皇介師曾天和覺誰示座廻 등 34개가 있다. 유성 탄소에는 故查埋名勇 등 5개 모두에 있다. 흑연에는 國肯起道得萬相豎與嶺義因住迤次錯琛陀期嵐反勢撒勇移車剔漫州車同磨蒙無保事思善手示身深祐依藏佇低這曾之指何行皇覺介去見當同磨無保事思師善雪手垂身實深依入丈藏佇低寂座曾之指天痛行和皇廻休當保身藏行和覺介去茶保垂丈抵曾何廻休善 등 110개가 있다. 모두 합하면 184개로 75.41%에 이른다.

(2) 氣泡 문자: 문자면의 일부가 미세한 흠처럼 움푹 패인 결과 자적에 하얀 반점이 나타난 문자가 있다. 활성탄의 경우에 同(왁,下,약,청1,500,平)이 있다. 흑연에는 因下(이상 밀,下,약,청1,450,平)同(왁,上,약,청1,500,平)示而佇(왁,下,약,청1,500,平) 등 6개가 있다. 모두 합하면 7개다.

(3) 너털이 문자: 너털이가 있어서 잡먹이 나타난 문자가 있다. 활성탄의 경우에 起日埋鵝寂州偃趙痛示而 등 11개가 있다. 종이 섬유에는 根無保和誰誰 등 6개가 있다. 유성 탄소에는 查의 1개가 있다. 흑연에는 國起道因琛閣物撒同磨蒙無示祐而這皇師誰示身低曾何侍曾 등 26개가 있다. 모두 합하면 44개에 이른다.

(4) 缺筆 문자: 필획의 일부가 나타나지 않은 문자가 있다. 활성탄의 경우에

甚便競漫鵝移晴泰無無無 등 11개가 있다. 종이 섬유에는 無師覺深磨蒙無誰皇覺身座 등 12개가 있다. 유성 탄소에는 名이 있다. 흑연에는 起錯擲州同汝覺見誰侍身覺身何 등 14개가 있다. 모두 합하면 38개에 이른다.

(5) 필획이 변형된 문자: 굵거나 윤곽이 모호하거나 특이하게 변형된 문자가 대부분이다. 활성탄에서는 君田名(과,上,완,청1,450,平)事皇(악,上,완,청2,600,平)侍入佇(악,側,약,청2,450,立)를 제외한 44개 문자가 이에 해당한다. 종이 섬유의 見(악,上,완,청2,300,平)無保事示(악,側,완,청1,600,立)를 제외한 39개 문자가 이에 해당한다. 유성 탄소의 5개 문자가 모두 이에 해당한다. 흑연의 肯得萬(밀,下,약,청1,450,平)無保身汝佇曾(악,上,약,청1,500,平)茶當同保思手垂誰示侍汝祐入藏寂之痛行和廻(악,下,약,청1,500,平)保(악,下,약,황,500,平)를 제외한 113개 문자가 이에 해당한다.

(6) 묵등 문자: 필획 주변이 메워져서 까맣게 먹 덩어리로 나타나는 문자로 종이 섬유의 師(악,上,완,청2,300,平)曾(악,側,완,청1,600,立)과 흑연의 國(밀,下,약,청1,450,平) 등 3개가 있다. 이는 「직지」의 묵등 문자인 張次 27上1-10의 “影”과 張次 35上3-4의 “攝”이 어미자의 조각 누락에 의한 것이 아니라, 주조 과정에서 나타날 수 있는 현상임을 예측하게 하는 근거가 될 것이다.

### 5.2.3 활자의 완성도

자적의 특징은 기술상의 문제로서 의도하지 않았던 부정적인 현상들이다. 이 현상이 많을수록 완성도는 떨어질 수밖에 없다(표 10 참조). 본 실험에서는 이러한 현상들이 상당히 많이 나타나서 완성도를 논하기가 무색할 정도였다. 아쉽긴 하지만 완성도를 살펴보면 흑연이 가장 높고 유성 탄소가 가장 낮았다.

<표 10> 활자 자적의 특징 출현 빈도

| 활성탄 10%                    | 종이 섬유 1% + 활성탄 19%        | 유성 탄소 20%               | 흑연 20%                      |
|----------------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| 102개 현상 ÷ 52개 =<br>196.15% | 91개 현상 ÷ 44개 =<br>206.82% | 12개 현상 ÷ 5개 =<br>240.0% | 269개 현상 ÷ 143개 =<br>188.11% |

## 5.2.4 활자의 수축률

수축률은 15개(6.15%)만 선별하여 측정하였지만, 평균 5.63% 수축되었다. 이는 주형 재료의 연구에서 나타난 4%보다 다소 큰 비율이지만, 그 이유는 수축률이 작은 종이 섬유유의 성공률이 낮은 결과로 보인다.

## 5.2.5 어미자의 재료

밀랍 어미자의 금속활자 주조 성공률은 23.33%, 왁스는 16.40%, 파라핀은 11.25%로 나타나서, 밀랍의 대용으로 왁스가 파라핀보다 효과적인 재료로 평가되었다.

## 5.2.6 주형의 충전 재료

백토는 높은 점성을 가진 점토로 밀랍주조법의 충전 재료가 될 수 있음을 확인하였다.

## 5.2.7 주형의 기능성 재료

활성탄·종이 섬유·유성 탄소·흑연 등을 혼합한 31개의 주형에 재래식 방법으로 무리 없이 금속 용액을 주입할 수 있었다. 이로써 금속 용액 주입 시 발생하는 가스를 흡수하는 기능이 있음을 파악하였다. 혼합 비율은 활성탄이 10~19%, 종이 섬유는 1%, 유성 탄소와 흑연은 20%였다.

특히 종이 섬유는 주형의 균열을 방지하는 기능이 탁월하였다. 다른 재료를 혼합한 주형은 건조나 소성 과정에서 다양하게 균열되었으나, 종이 섬유를 혼합한 주형은 전혀 균열되지 않았다. 흑연을 혼합한 주형은 성공률이 35.75%로 가장 높게 나타났다. 유성 탄소는 기능성 재료로서 부적합한 것으로 판명되었다.

### 5.2.8 금속의 재료

청동1과 청동2의 주조 성공률이 각각 24.13%와 13.33%로 황동의 4.60%보다 높았다. 즉 활자 주조용 금속으로 청동이 황동보다 더 적합하였다.

### 5.2.9 주조 활자의 수량 = 금속의 주입 양과 주입 방법

금속의 주입 양은 50개를 주조하는 350g 정도의 소량으로도 무리 없이 주입할 수 있었다. 주입 방법은 제레식으로 직접 주입하여도 충분하였다.

### 5.2.10 문자 필획의 다과

필획이 적은 순으로 성공률이 높았다. 이는 필획의 다과는 성공률과 관계가 있음을 의미한다. 필획 간 성공률의 격차는 종이 섬유 + 활성탄이 가장 낮았다.

### 5.2.11 문자면의 방향과 금속 용액의 주입 방향

문자면의 방향과 금속 용액의 주입 방향은 동일한 실험이다. 문자면의 상향과 하향은 금속 용액을 평식으로 주입하고, 측향은 입식으로 주입하기 때문이다. 실험 결과는 하향이 21.45%로 상향 12.13%와 측향 14.0%보다 높게 나타났고, 평식이 16.08%로 입식의 14.0%보다 미세하게 높았다.

### 5.2.12 주형의 소성 온도와 금속 용액 주입 시 주형의 온도

주형을 소성하기 위한 온도는 600℃로도 충분하였다. 금속 용액 주입 시 주형의 온도는 450℃의 주조 성공률이 가장 높게 나타났으나, 기타는 각각 나타났다. 이로 미루어 주형의 온도는 성공률과 별 관계가 없었다.

### 5.2.13 실패의 원인

15.74%의 성공률은 84.26%의 실패를 의미한다. 그 원인을 분석하면 다음과 같다.

(1) 금속 기술의 미숙: 실패한 활자 대부분이 동체는 형성되었으나, 필획이 완전하게 형성되지 못하였다. 주형에는 어미자의 자적이 완벽하게 형성되어 있었다. 이는 주형의 재료가 금속 용액을 거부하는 것은 아니다. 원인은 금속 기술이 미숙하여 어미자의 필획까지 속속들이 주입하지 못한 것으로 보인다. 따라서 숙련된 금속 기술이 절대적으로 필요함을 알 수 있다.

(2) 주형의 재료와 주입구: 실패한 활자의 필획이 완전하게 형성되지 못한 구체적인 원인은 주형이 금속 주입 시 발생하는 가스를 충분히 흡수하지 못하거나, 금속의 주입 압력이 약하여 주형 공극의 공기를 충분히 밀어내지 못하여 속속들이 주입되지 못한 결과일 수 있다. 이는 점토계 주형 재료의 성능이 금속 용액을 수용하기는 하되 주물사보다는 우수하지 못하다는 의미일 수 있고, 주입 압력이 약한 결과일 수도 있다. 따라서 주형의 기능성 재료의 혼합율을 재검토할 필요가 있고, 금속을 힘있게 주입할 수 있도록 주입구의 크기를 여유있게 조성할 필요도 있다.

(3) 금속의 재료와 온도: 금속이 주입구와 탕도까지만 주입된 경우가 평식과 황동에서 많이 나타났다. 이는 주입 중에 식어서 유동성이 멈춘 결과로 보인다. 따라서 금속을 충분히 가열하여 주입할 필요가 있다. 특히 황동은 아연이 고열에 타면서 용점이 올라가 가열을 멈추면 금새 식는다. 또 걸죽하여 흐르는 속도가 늦다. 이에서 활자 주조용 금속으로 청동이 황동보다 더 적합함을 알 수 있다.

(4) 주형의 균열: 주형에 육안으로는 보이지 않는 미세한 균열과 기포가 있어서 용액을 주입할 때 새는 경우가 많았다. 이는 주입을 충분히 할지라도 실패로 나타났다. 따라서 어미자군 매몰 시의 기포나 주형 건조 시의 균열이 생기지 않도록 주의해야 한다.

참고로 실패 사례를 일부 예시하면 <표 11>과 같다. 예시한 문자는 차례로 활성탄의 경우가 西銅抖覺無同低指誰覺磨保, 종이 섬유가 身覺侍, 유성 탄소가 州, 흑연이 湊寂見痛廻達誰 등이다.

<표 11> 실패한 금속활자의 자적

| 실험조건 |                        | 금속활자의 자적                                                                            |                        |                                                                                    |                        |                                                                                     |                                                                                    |                                                                                    |
|------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 완성탄  | 밑,下,<br>완,청1,<br>450,平 |    |                        |                                                                                    | 파,上,<br>완,청1,<br>450,平 |    |   |                                                                                    |
|      | 와,上,<br>완,청1,<br>500,平 |    | 와,上,완,<br>황,500,<br>平  |   | 와,上,<br>완,청2,<br>600,平 |    |   |   |
|      | 와,下,<br>완,청1,<br>500,平 |    |                        |                                                                                    | 와,側,<br>약,청2,<br>450,立 |    |   |   |
| 종이섬유 | 와,上,<br>완,청1,<br>500,立 |    |                        |                                                                                    | 와,側,<br>완,청2,<br>300,立 |    |   |                                                                                    |
| 유성탄소 | 파,上,<br>약,황,6<br>00,平  |    |                        |                                                                                    |                        |                                                                                     |                                                                                    |                                                                                    |
| 흑연   | 밑,下,<br>약,청1,<br>450,平 |   | 파,上,약,<br>청1,500,<br>平 |  | 와,上,<br>약,청1,<br>500,平 |   |  |  |
|      | 와,下,<br>약,청1,<br>500,平 |  |                        |                                                                                    | 와,下,<br>약,청2,<br>600,平 |  |                                                                                    |                                                                                    |

## 6. 結 論

이상으로 백토를 이용하여 금속활자를 주조할 수 있는 밀랍주조법의 구체적인 과정과 원리를 추적하기 위하여 각 단계별로 다양한 조건을 설정하여 실험하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 어미자의 재료: 밀랍과 함께 왁스가 효과적인 재료로 평가되었다. 파라핀도 가능하기는 하였다.

(2) 주형의 재료와 활자의 완성도: 충전 재료로 백토는 유용하였다. 기능성 재료로 활성탄·종이 섬유·흑연 등은 주조가 가능하도록 하는 기능을 가지고 있음을 확인하였다. 그 혼합 비율은 활성탄이 10~19%, 종이 섬유는 1%, 흑연은 20%였다. 특히 종이 섬유는 주형의 균열을 방지하는 기능이 절대적일만큼 탁월하였고, 흑연은 성공률이 높게 나타났다. 그러나 활자의 완성도는 모두 저조하였다. 유성 탄소는 부적합하였다.

(3) 금속의 재료 및 주입 양과 방법: 구리를 55~70%로 하는 청동 합금이 황동보다 효과적이었다. 주입 양은 350g 정도의 소량을 800~1000℃로 가열하여, 재래식 방법으로도 주입할 수 있었다.

(4) 문자 필획의 다과: 필획이 적을수록 성공률이 높게 나타나서, 필획의 다과는 주조의 성공률과 밀접한 관계가 있었다. 필획 간 성공률의 격차는 종이 섬유 + 활성탄의 경우가 가장 낮았다.

(5) 문자면의 방향과 금속 용액의 주입 방향: 문자면은 하향이 성공률이 가장 높았고, 금속 용액을 평식으로 주입하는 것이 미세하게 높았다.

(6) 주탕도의 굵기: 4.5×5.0mm의 주탕도로도 주입이 가능하였다.

(7) 주형의 소성 온도와 금속 용액 주입 시 주형의 온도: 주형의 소성은 600℃로도 충분하였다. 금속 용액 주입 시 주형의 온도는 성공률과 관계가 없었다.

(8) 주조의 성공률과 수축률: 최고의 성공률은 90.0%로 1종류의 조건에서 나타났다. 전체의 성공률은 15.74%였다. 수축률은 5.63%였다.

(9) 활자 자적의 특징: 활자의 자적을 분석하면 斷筆 문자·氣泡 문자·너털이 문자·缺筆 문자·필획이 변형된 문자·묵등 문자 등이 나타났다. 특기할 점은 이들 특징이 모두 「직지」에서도 발견되는 유사한 현상이다.<sup>10)</sup> 이에 근거하면 필자가 추적한 밀랍주조법은 직지활자를 주조하기 위하여 사용했던 방법일 가능

10) 조형진, “직지의 자적에 나타난 직지활자의 특징 연구,” 173-191. 이러한 특징은 의도하지 않았음에도 나타난 점으로 미루어 직지활자도 의도한 것이 아니었을 것으로 판단된다.

성이 높은 것으로 보인다.

(10) 실패의 원인: 금속 기술의 미숙 · 주형의 재료와 주입구 · 금속의 재료와 온도 · 주형의 균열 등이 지적되었다.

밀랍주조법은 금속활자를 주조할 수는 있다. 그러나 이러한 가능성도 숙련된 각수가 1시간에 어미자 1개를 겨우 조각하는 비능률적인 근본 문제를 안고 있다.<sup>11)</sup> 따라서 다량을 주조해야 하는 금속활자에 적용하기에는 한계가 있을 수밖에 없다. 또한 점토계 주형 재료의 금속 용액 수용 적성이 용액을 수용할 수는 있으나 우수하지는 못하여 성공률이 낮을 수밖에 없다. 이러한 이유로 밀랍주조법으로 금속활자를 주조하는 것은 크게 유행하지 못한 것이 아닌가 한다.

## <참고문헌>

- 남권희 등. “프랑스국립도서관 소장 『직지』 원본 조사 연구.” 『서지학연구』 제35집(2006. 12). 59-81.
- 라경준 등. “『직지』 금속활자 복원에 관한 실험적 연구.” 『한국과학사학회지』 제28권 제1호(2006. 6). 139-160.
- 박문열. “밀랍주조법의 복원에 관한 실험적 연구.” 『서지학연구』 제33집(2006. 6). 79-105.
- 손보기. 『한국의 고활자』. 서울: 보진재, 1981.
- 이승철. “『직지』에 사용된 활자와 조판에 대한 분석 요구.” 『서지학연구』 제38집(2007. 12). 377-411.
- 이승철. “금속활자 주조를 위한 밀랍주조법의 주물토 실험연구.” 『서지학연구』 제34집(2006. 9). 129-155.
- 이승철. “밀랍을 이용한 금속활자의 대량주조법과 주형토의 물리적 특성에 대한 실험연구.” 『서지학연구』 제37집(2007. 9). 201-219.

---

11) 어미자의 재료를 밀랍으로 할 경우에는 조각 능률이 이보다 더 떨어진다.

- 조형진. “직지의 자적에 나타난 직지활자의 특징 연구.” 『서지학연구』 제38집 (2007. 12). 163-192.
- 조형진. “직지활자의 주조, 조판 방법 연구.” 『서지학연구』 제39집(2008. 6). 69-86.
- 조형진. “금속활자 밀랍주조법 복원을 위한 문헌적 연구.” 『서지학연구』 제33집 (2006. 6). 41-77.
- 조형진. “금속활자 밀랍주조법 주형재료: 탄분의 복원 실험 연구.” 『서지학연구』 제30집(2005. 6). 183-221.
- 조형진. “금속활자 밀랍주조법 주형재료: 흑연의 복원 실험 연구.” 『서지학연구』 제31집(2005. 9). 33-56.
- 조형진. “금속활자 밀랍주조법 주형재료: 탄분+지섬유의 복원 실험 연구.” 『서지학연구』 제32집(2005. 12). 107-130.
- 조형진. “금속활자 밀랍주조법 주형재료: 유성탄소의 복원 실험 연구.” 『한국과학사학회지』 제29권 제2호(2007. 12). 351-373.
- 조형진. “한국 초기 금속활자의 주조, 조판, 인출 기술에 대한 실험적 연구.” 박사학위논문. 중앙대학교. 1994. 12.
- 조형진. “금속활자의 황토를 이용한 밀랍주조법 실험 연구.” 『서지학연구』 제43집 (2009. 9). 41-92.
- 華覺明. “失蠟法在中國的起源和發展,” 華覺明 等著. 『中國冶鑄史論集』. 北京: 文物出版社, 1986.