

금속활자 밀랍주조법의 대량 주조 실험 연구*

An Experimental Investigation of the
Metal Type Wax Casting Method for Mass Production

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 황토를 이용한 밀랍주조법의 대량 주조의 효율성을 추적하였다.

- (1) 어미자의 재료: 파라핀은 효과적이었다.
- (2) 주형의 재료: 충전 재료로 황토는 유용하였다. 기능성 재료로 종이 섬유 2% + 활성탄 18%는 유용하였다.
- (3) 금속의 재료 및 주입 양과 방법: 청동이 효과적이었다. 주입 양은 600g 정도의 소량을 재래식 방법으로 주입할 수 있었다.
- (4) 문자 필획의 다과: 필획의 다과는 주조의 성공률과 거의 무관하였다.
- (5) 금속 용액의 주입 방향: 문자면을 측향으로 하여, 금속 용액을 입식으로 주입하는 것이 성공률에 절대적인 영향을 미쳤다.
- (6) 주탕도의 굵기: 직경 8.5mm의 주탕도로도 충분하였다.
- (7) 주형의 온도: 주형의 소성 온도는 600℃로도 충분하였다. 금속 용액 주입 시 주형의 온도는 성공률과 무관하였다.
- (8) 활자 자적의 특징: 「직지」에서 발견할 수 있는 특징이 모두 나타났다.
- (9) 대량 주조의 성공률과 수축률: 최고의 성공률은 68.0%였고, 전체의 성공률은 21.0%였다. 수축률은 3.07%였다. 이로써 하나의 주형으로 100개의 활자를 주조하는 대량 주조가 가능함을 확인하였다.

要語: 금속활자, 밀랍주조법, 대량 주조, 황토, 활성탄, 종이 섬유, 「직지」

* 이 논문은 2011년도 강남대학교 교내연구비 지원에 의한 것임.

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

접수일: 2011년 9월 7일 최초심사일: 2011년 9월 13일 심사완료일: 2011년 9월 15일

<ABSTRACT>

This study investigated the efficiency of mass production for metal type with the wax casting method using yellow earth.

- (1) The matrix material: Paraffin was useful as the material.
- (2) The mould material: Yellow earth was useful as the filling material. As for the functional material, 2% paper fiber plus 18% activated carbon were useful.
- (3) The metal components, pouring quantity, and pouring method: Bronze was effective. A small quantity of approximately 600 grams was poured using conventional method.
- (4) The number of character strokes: The number of character strokes had almost no impact on the success rate of casting.
- (5) The pouring direction of metal fluid: The biggest factor for the success rate was the pouring direction, that is, putting the character face in the lateral direction and pouring metal fluid in a standing manner.
- (6) The main path caliber for metal fluid: The diameter size of 8.5mm was sufficient.
- (7) The temperature of a mould: The temperature of 600℃ was sufficient as the burning temperature for a mould. The success rate was not affected by the mould temperature when pouring metal fluid.
- (8) The characteristics of type strokes: All the distinctive characteristics in 「Jikji」 were observed here.
- (9) The mass casting success and contraction rate: The highest success rate was 68.0%, and the overall success rate was 21.0%. The contraction rate was 3.07%. Therefore, it is confirmed that the mass production of one hundred types is possible with a single mould.

Key words: metal type, wax casting method, Mass Production, yellow earth, activated carbon, paper fiber, 「Jikji」

1. 緒 言

아직까지 완전히 복원되지 못한 『白雲和尚抄錄佛祖直指心體要節』(이하 『직지』로 약칭)과 직지활자¹⁾를 복원하기 위하여 다양한 실험을 시도하였다.²⁾ 금속활자 밀랍주조법의 모든 과정을 실험으로 증명함으로써 밀랍주조법의 완전한 개념과 원리를 제시하고자 하였다. 이는 『직지』의 저작에서 분석한 직지활자의 특징과 주조 방법, 항간에 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.

지금까지의 실험에서 나타난 주조의 성공과 실패의 분수령 중 하나는 주형의 균열이다. 주형의 균열은 주형이 크고 두꺼울수록 크게 나타난다. 따라서 단번에 많이 주조하기 위하여 주형을 마냥 크게만 할 수는 없다. 지금까지의 실험은 하나의 주형에서 최대 50개의 활자를 목표로 하였다. 사실 이것도 적은 양이 아니다. 그러나 더 나아가 주형의 균열을 최소화하면서 대량 주조의 가능성을 타진하는

1) 이 활자의 명칭으로 홍덕사자·고려사주활자 등이 있으나, 정설은 정립되지 않은 상태다. 본 연구에서는 『직지』를 인출한 활자라는 의미로 “직지활자”를 사용한다.

2) 1. 조형진, “금속활자의 황토를 이용한 밀랍주조법 실험 연구,” 『서지학연구』 제43집(2009. 9), 41-92.
 2. 조형진, “금속활자의 백토를 이용한 밀랍주조법 실험 연구,” 『서지학연구』 제44집(2009. 12), 119-160.
 3. 조형진, “금속활자의 산청토를 이용한 밀랍주조법 실험 연구,” 『서지학연구』 제45집(2010. 6), 259-293.
 4. 조형진, “금속활자의 청토를 이용한 밀랍주조법 실험 연구,” 『서지학연구』 제46집(2010. 9), 199-235.
 5. 조형진, “금속활자의 옹기토를 이용한 밀랍주조법 실험 연구,” 『서지학연구』 제47집(2010. 12), 129-167.
 6. 조형진, “금속활자의 내화토를 이용한 밀랍주조법 실험 연구,” 『서지학연구』 제48집(2011. 6), 153-190.

주조 효율 연구는 충분히 가치 있어 보인다.

본 연구는 주조 효율에 초점을 맞추어 하나의 주형으로 100개의 활자를 주조할 수 있는 가능성을 확인하기 위하여 실험하였다.³⁾

2. 字本과 어미자의 準備

2.1 字本の 選定

금속활자 주조의 첫 단계인 자본은 문자의 크기와 서체를 고려하여 결정한다. 본 연구는 『직지』에서 추출하였다.

자본은 어미자의 재료인 파라핀과 왁스 별로 각각 100개씩 무작위로 추출하되, 50개는 파라핀과 왁스에 중복 사용되어 실제 문자수는 150개이다. 이를 <표 1>에서 문자의 필획 수와 함께 제시하였다. 필획 수는 사전 상의 필획이 아닌 어미자로 조각된 필획을 기준으로 하였으며, 8획 이내 · 9~13획 · 14획 이상으로 구분하였다.

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

3) 주조 효율이 가장 높다고 알려진 주물사주조법도 하나의 주형에서 100개의 활자를 주조해 내는 것은 대량 주조에 속한다.

<표 1> 추출 자본과 필획 수 분포

	과라핀 어미자			과라핀 · 왁스 검용 어미자			왁스 어미자		
추출 위치 (張次, 上下, 行-字)	閣(2上3-4)	樣(1上3-7)	枯(2下10-3)	如(3上2-16)	覺(4下7-7)	深(4下4-11)			
	頃(1上10-3)	偃(2下7-8)	旬(3上2-10)	緣(3下9-5)	介(4上10-16)	汝(3下5-14)			
	競(2下7-16)	淵(1上5-6)	南(3下6-8)	吾(3下6-10)	去(3下1-17)	祐(4上4-15)			
	故(2上10-9)	羸(2上3-10)	乃(3下8-9)	悟(3上8-12)	見(4下2-17)	依(4上7-13)			
	君(1下4-15)	兀(1上11-3)	你(3下1-14)	曰(3下5-7)	空(4下7-16)	而(4上3-6)			
	期(1下4-7)	巍(1上6-3)	到(3上9-13)	云(3上4-18)	茶(3下5-10)	入(4上10-17)			
	嵐(2下7-7)	巍(1上6-4)	童(3上3-8)	爲(3下5-13)	達(4下8-12)	丈(4上4-8)			
	短(2上5-16)	用(2上1-6)	麼(3上3-18)	有(3上6-18)	當(3下8-5)	藏(4下10-9)			
	動(2下5-13)	勇(2上1-8)	明(3上9-18)	益(3上9-17)	同(4下2-12)	低(3下6-12)			
	銅(1下3-1)	移(2上6-9)	方(3上9-14)	人(3上7-12)	磨(4下8-13)	佇(3下7-6)			
	抖(1下10-15)	孜(2上2-6)	放(3下9-6)	一(3上10-15)	蒙(3下3-14)	這(4上11-15)			
	漫(1下2-11)	寂(1下6-9)	百(3上6-8)	子(3上3-9)	無(4上7-12)	寂(4上7-10)			
	埋(1上9-11)	田(2上3-6)	凡(3下9-10)	自(3上7-13)	保(3下8-14)	座(4下3-16)			
	猛(2上1-9)	晴(1下3-2)	法(3上5-6)	作(3上3-17)	事(4上9-15)	曾(3下1-16)			
	名(2下2-8)	趙(2下3-10)	丙(3上7-17)	將(3上4-11)	思(3下7-7)	之(3下7-8)			
	銘(1上2-11)	州(2下3-18)	佛(3上5-5)	切(3上10-13)	師(4上10-18)	指(4上10-15)			
	杏(1下6-11)	倣(1下10-12)	巳(3上4-13)	丁(3上7-18)	善(4下4-15)	參(4下2-16)			
	物(2上5-11)	車(1下5-7)	尙(3上9-11)	知(3上6-11)	雪(4下9-7)	天(4下9-5)			
	反(1上8-4)	剔(1上8-1)	生(3上3-19)	直(3下7-14)	手(4上3-5)	痛(4下7-10)			
	剖(1上7-9)	淸(2下1-11)	旋(2下7-6)	此(3上5-9)	垂(4上3-4)	何(3下4-18)			
	聖(2上2-5)	探(1上5-5)	是(3上6-16)	差(3下8-3)	誰(4上1-17)	行(3下5-17)			
	勢(2下4-5)	泰(1上6-1)	心(3上10-14)	遷(2下3-16)	示(3下3-18)	和(3下6-7)			
	撇(1下10-16)	髮(2上6-6)	我(3下1-18)	必(3上6-17)	侍(4上1-11)	皇(3下8-16)			
	鵝(1上2-3)	兮(1上7-18)	眼(3上3-13)	下(3下7-15)	身(4下8-3)	廻(4下9-6)			
	岳(2下7-9)	獲(1上9-18)	言(3上2-9)	火(3上4-8)	實(4下4-13)	休(4下8-11)			
필획수 분포	8획 이하	9~13획	14획 이상	8획 이하	9~13획	14획 이상	8획 이하	9~13획	14획 이상
	14개	22개	14개	37개	10개	3개	24개	20개	6개

2.2 어미자의 彫刻

2.2.1 어미자의 높이

어미자의 높이는 주조 수축률이 반영되면 활자의 높이가 되므로, 이를 고려하여 미리 결정하여야 한다. 각개 활자의 높이는 인출면의 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. 본 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. 산의 각도는 대체로 85~90° 정도를 유지하였다. 산의 깊이는 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 실험용 어미자를 주조하기 위한 주형 제작에 사용하기 위해서다. 또한 작업능률은 뛰어나면서도 기능적 효과는 밀랍·파라핀 등과 대동소이하기 때문이다.⁴⁾

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

(2) 자본 붙이기: 자본을 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: 巳와 已, 曾과 會). 「직지」의 자적에 필획이 누락된 결필 문자는 정상으로

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

손질하였다(예: 2下7-7의 嵐). 여백 부분과 측면을 정리하였다. 측면 정리의 결과는 대체로 둥근 사각형 또는 타원 형태를 보였다.

조각 능력은 귀금속 공예학을 전공하고 5년 경력의 소유자가 하루 8시간 작업에 8개 정도 조각하였다. 이렇게 조각한 어미자는 총 150개이다. 여유분도 조각하였다.

2.3 實驗用 어미자의 材料

2.3.1 파라핀(paraffin)

공업용 파라핀을 사용하였다.

2.3.2 왁스

사출 왁스 · 세공용 파라핀이라고도 한다. 이는 공업용 파라핀에 여러 첨가물을 혼합하여 조제한 것이다. 비교적 단단하여 섬세한 문양을 조각하기에 유리하다. 기왕의 실험에서 결과가 밀랍과 대동소이하게 나타났으므로 밀랍 대신 사용하였다.

2.4 實驗用 어미자의 準備

2.4.1 실리콘 주형의 제작

실험을 위하여 다량의 어미자를 주조하여 사용할 수밖에 없다.

실험용 어미자의 대량생산을 위하여 조각한 150개의 어미자로 실리콘 주형을 제작하였다. ① 목재로 주형틀을 만들고, ② 양면 테이프로 조각된 어미자를 문자면이 위를 향하도록 나란히 얹힌 다음, ③ 실리콘을 가득 차도록 부어서 제작하였다. ④ 2~3일 후 완전히 굳은 후에 꺼내어 사용하였다. 이 실리콘 주형에는 오목

하게 陰刻正體字로 문자가 형성되어 있다.

2.4.2 어미자의 주조

실험용 어미자를 대량으로 주조하였다. ① 어미자의 주형틀에 해당 재료를 녹여서 여유 있게 부어 채운다. 여유 있게 채우는 이유는 식으면서 약간씩 수축되기 때문이다. ② 알맞게 식으면 넘친 부분을 깎아냈다. ③ 완전히 굳기 전에 하나씩 꺼내어, ④ 문자면 필획의 이상 여부를 확인하였다. ⑤ 배면의 너털이는 깨끗이 제거하였다. ⑥ 분류 상자에 보관하였다. 이러한 방법으로 파라핀·왁스를 차례로 주조하였다.

이렇게 하여 주조한 어미자는 파라핀 어미자 100개 $\times$ 3 = 300개, 왁스 어미자 100개 $\times$ 1 = 100개, 총 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 주형 내 미세한 홈에 기포 형태로 잠겨 있는 경우가 많으므로 뽀족한 기구로 일일이 식기 전에 신속하게 제거하여야 한다. ③ 파라핀은 완전히 식으면 취약한 필획이 파손되기 쉬우므로 식기 전 유연할 때 꺼내는 편이 좋다. ④ 작업 중에 미세한 불순물을 수시로 제거하여야 한다. ⑤ 실험 소요량보다 여유 있게 주조하여 추가 수요에 대비하여야 한다. ⑥ 관건은 실리콘 주형과 밀랍의 온도이다. 이는 수치화하기 어렵고 숙련된 기술을 요하는 부분이다.

2.4.3 주조 어미자의 날인

주조 어미자가 완성되면 자적(<표 2> 참조)을 날인하여 완성될 금속활자와 비교할 수 있도록 하였다. 파라핀·왁스 겸용 어미자 중에서 南到童魔方放法已尙生心眼言曰爲有子將直下 등 20개는 파라핀 어미자의 자적이고, 나머지는 왁스 어미자의 자적이다.

<표 2> 주조 어미자의 자적

파라편 어미자	閣	頃	競	故	君	期	嵐	短
	動	銅	抖	漫	埋	猛	名	銘
	杏	物	反	剖	聖	勢	擻	鵝
	岳	據	偃	淵	羸	兀	巍	巍
	用	勇	移	洩	寐	田	晴	趙
	州	做	車	剔	清	探	泰	髮
	兮	獲						

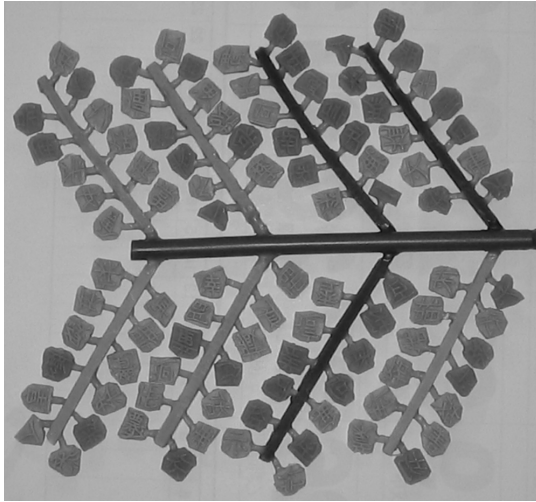
파라편·왁스 검용 어미자	枯	句	南	乃	你	到	童	麼
	明	方	放	百	凡	法	丙	佛
	已	尚	生	旋	曼	心	我	眼
	言	如	緣	吾	悟	曰	云	爲
	有	益	人	一	子	自	作	將
	切	丁	知	直	此	差	遷	必
	下	火						

웁 스 어 미 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

어미자를 100개씩 모아서 어미자군으로 성형하였다. 이를 위하여 주탕도가 될 밀랍 주봉·중간봉·가지봉을 준비하였다. 밀랍 주봉은 직경 8.5mm짜리를 160mm 정도의 길이로 재단하였다. 중간봉은 가로 세로 4.5 × 5.0mm짜리를 100mm 정도의 길이로, 가지봉은 직경 2.5 × 3mm짜리를 길이 5mm 이내로 재단하였다.

어미자군의 성형은 부채꼴 모양의 평면형으로 하였다. ① 어미자 필획의 상태가 완전한 것만 선별하였다. ② 불순물을 깨끗이 제거하였다. ③ 어미자의 측면과 가지봉을 녹여서 붙였다. ④ 가지봉이 접착된 어미자를 12~13개씩 중간봉에 평면 형태로 붙였다. ⑤ 이를 다시 밀랍 주봉에 부채꼴 형태로 붙였다. ⑥ 문자면의 방향(상·하·측향)을 고려하여 주탕도를 조성하였다. ⑦ 어미자군에 붙어있는 불순물을 세심히 살펴서 제거하였다. 이와 같은 방법으로 어미자군을 완성하였다(<사진 1> 참조). 이들의 크기는 대체로 210 × 220mm 정도였다.



<사진 1> 성형된 어미자군(약,側,立)

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 밀랍봉의 양측을 녹여서 붙여야 한다.

이같은 어미자군을 파라핀 3개, 왁스 1개 총합 4개를 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 주변의 황토나 찰흙 등이 있다. 인공 점토는 도자기 등을 빚으면서 성질을 터득하였을 것이므로 주형 재료로 사용되었을 가능성이 충분하다. 본 실험은 자연 점토인 용인시 처인구 야산의 붉은 황토를 사용하였다.

① 황토를 자연 상태에서 채취하여 대형 불순물을 제거하였다. ② 대형 수조에 서 물에 풀어서 나뭇잎 등의 부유물을 제거하였다. ③ 불순물이 거의 제거되면 황토가 풀어져 있는 황토물을 다른 수조에 받아서 침전시켰다. 또는 100mm에 10×10개의 축으로 된 고운 채로 모래나 자갈 성분을 걸러내고 고운 황토만 남게 하였다. 따라서 남아있는 사질 입자의 크기는 1mm 이내로 기능성 재료를 혼합할 때에도 아무런 불편이 없었다. ④ 수조에 남은 돌과 굵은 모래를 버렸다. ⑤ 깨끗한 수조에 침전된 황토는 윗부분의 맑은 물을 제거하여 수분의 함량을 점차 낮췄다. ⑥ 수분이 거의 제거되면 점성이 강한 황토 진흙이 되는데, 이렇게 되기까지는 약 7일 정도 소요되었다.

황토를 선택한 이유는 ① 생활 주변에서 쉽게 구할 수 있는 자연 재료며, ② 사질 성분과 점토질 성분을 모두 함유하고 있으며, ③ 순 점토질 재료는 인공 점토로 가능하기 때문이다.

3.2 鑄型의 機能性 材料

기능성 재료는 충전 재료의 금속 주조에 부족한 성질을 갖추기 위하여 반드시 혼합해야 한다. 이는 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)과 종이 섬유를 사용하였다. 이는 전통적으로 많이 사용되었고, 항간에 구전되어 오던 ‘烏土’라는 개념에도 부합한다.

3.2.1 炭粉(숯가루)

목탄(검탄·열탄)·백탄·활성탄 등이 있는데, 본 실험에서는 활성탄으로 200 MESH를 사용하였다. 활성탄은 고열에 가열된 물질이므로 고온 안정성이 높다.

3.2.2 종이 섬유

종이 섬유는 주형이 건조되거나 소성될 때 균열을 방지하고, 금속 용액 주입 시 발생하는 가스를 흡수하는 기능을 가지고 있다. 본 실험에서는 닥나무를 전통 한지의 제조 방법으로 가공한 펄프 상태의 섬유를 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 찼었다. ④ 물속에서 섬유를 풀어 해쳤다. ⑤ 충전 재료에 골고루 혼합하였다.

3.3 鑄型 材料의 調製

충전 재료와 기능성 재료를 계산된 비율로 혼합하여 주형 재료를 조제한다. 이는 지금까지 금속활자장에 의하여 편법으로 이용되어 온 치과 주조용 석고계 매몰재를 대신하여 고려시대에 사용했을 법한 전통 재료라고 할 수 있다.

① 황토를 필요한 양만큼 측정하여 반죽 용기에 담았다. ② 물을 가하면서 진한 반죽이 되도록 풀었다. ③ 종이 섬유 2% · 활성탄 18%의 중량을 측정하였다. ④ 이를 혼합하여 주형 재료를 조제하였다.

기능성 재료의 혼합 비율은 기왕의 실험에서 가능성과 유용성이 증명되었으므로 그대로 사용하였다(<표 3> 참조).

<표 3> 주형 재료의 혼합 비율과 수분 함유율(%)

충전 재료 \ 기능성 재료	종이 섬유 + 활성탄	
	2 + 18	64.76
황토	80	
	수분	35.24

주형 재료를 조제할 때 주의할 점은 다음과 같다.

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

(2) 반죽의 농도가 적합하여야 한다. 적합한 농도는 어미자의 필획 사이에 속속들이 채워질 수 있으면서 진할수록 좋다. 주형 재료에 기포가 생기지 않으면 적합하다. 본 실험에서 주형 재료에 포함된 수분의 비율은 35.24%였다(<표 3> 참조).

(3) 반죽이 진하면 기포가 쉽게 형성될 뿐만 아니라 제거하기도 어렵다. 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의 製作

4.1.1 주형틀의 제작

목재로 사각형의 틀을 제작하였다. 어미자군을 포용하면서 두께 25~35mm 정도의 주형을 전제로 하여 내경의 가로 세로 높이를 250 × 250 × 50mm로 제작하였다.

4.1.2 주형 재료의 충전 = 어미자군 매몰

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

(2) 주형 재료의 충전과 어미자군 매몰: ① 어미자군 문자면의 불순물을 제거하

였다. ② 붓으로 주형 재료를 약간 뭍게 조절하면서 어미자군의 필획 틈 사이에 속속들이 도포하였다. ③ 주형틀 안에 주형 재료를 예정한 두께인 25~35mm의 절반 정도 채워 넣었다. ④ 재료 내의 기포를 제거할 수 있도록 흔들면서 평평히 깔았다. ⑤ 어미자군을 주형틀의 중앙에 앉혔다. ⑥ 어미자군을 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 큰 경우는 23~33mm 정도까지 나타났다. ⑨ 금속 주입구 부분을 표시하여 확인할 수 있도록 하였다.

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. ③ 주형 재료 내에 기포가 생기지 않도록 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 어미자를 매몰한 후에는 내부의 내용이 보이지 않으므로 실험 조건을 기록해 두어야 한다.

4.1.3 주형의 건조

(1) 수분 제거: 어미자군의 매몰이 끝나면 자연 건조시켰다. 실내 기온은 18~30℃를, 습도는 45~76%를 유지하였다. 1시간 정도 경과하면 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. 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 변형되기 시작하였다. 이때 주형에 수분을 약간 분무한 후 세워서 양면의 건조 속도를 균일하게 하였다. 주형

이 안전하게 설 수 있도록 지지틀을 이용하였다. 주형이 눕혀있는 상태에서는 윗면만 건조되므로 건조가 진행될수록 변형이나 균열이 더 나타난다. 세워서 건조하는 중에도 휘어지는 현상이 나타나서 수분을 분무하기도 하였다. 이때까지 6일이 소요되었다.

4.1.4 주입구 조성

주형이 완전히 건조되기 전에 금속 용액 주입용 깔때기를 제작하여 주입구를 조성하였다. 깔때기는 평식과 입식에 맞게 제작하였다. 주입구는 금속 용액의 주입을 편리하게 하고, 주입 압력을 유지할 수 있는 기능이 있으므로 매우 중요하다.

4.1.5 주형의 균열 여부 점검 및 보수

점토가 주성분인 주형은 건조 과정에서 다소의 변형이나 균열이 나타나는 것은 불가피하다. 이 균열의 정도가 활자 구조의 성공을 가름하는 핵심이다.

균열의 원인은 공기에 닿는 표면과 닿지 않는 내면의 건조 속도에 따른 수축률의 차이이다. 균열을 피하기 위하여 이 수축률을 줄이는 방법은 주형의 두께를 줄이거나 건조 속도를 느리게 하여야 한다.⁵⁾ 건조 속도는 자연 건조이므로, 균열을 방지하는 핵심은 주형을 얇게 제작하는 것이다.

본 실험의 종이 섬유를 혼합한 주형은 균열이 나타나지 않았다. 그러나, 주형의 변형 상태를 예의 주시하였다. 변형은 중앙 부분이 볼록 나오는 형태로 나타났다. 볼록 나오는 주형은 조심스럽게 힘을 가하여 평평히 폈다.

5) 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 구조에는 조건이 맞지 않아 채택할 수 없는 방법들이다.

4.1.6 완전 건조

15일 정도 경과하면 주형의 색깔이 밝아지는 현상이 보인다. 이즈음 주형을 얹혀서 시간적 여유를 가지고 충분히 건조시켰다. 완전히 건조된 주형은 230~235mm 정도까지 수축되어 6.0~8.0%의 수축률을 보였다. 4개의 주형에서 나타난 상황은 <표 4>와 같다.

<표 4> 주형의 조건별 실험 상황표

가능성 재료 충전 재료	종이 섬유 2% + 활성탄 18%			
황토	파,上,청1,300,平	파,側,청1,500,立	파,側,청1,평온,立	와,下,황,100,平

(표설명)

1. 내용 기술 순서: 어미자의 재료 · 문자면의 방향 · 금속의 재료 · 주형의 온도 · 금속 용액의 주입 방향 순.
2. 어미자의 재료: 파 = 파라핀, 와 = 왁스.
3. 문자면의 방향: 상 = 상향, 하 = 하향, 측 = 측향.
4. 금속의 재료: 청1 = 청동1, 황 = 황동.
5. 주형의 온도: 금속 용액 주입 시, 주형의 온도.
6. 금속 용액의 주입 방향: 평 = 평식 주입, 입 = 입식 주입.

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.

합금할 때 주의할 점이 있다. 처음 원광을 녹인 상태에서는 각 금속이 같은 성분끼리 뭉치려는 성질이 있다. 따라서 식혔다가 다시 녹여서 사용하여야 한다. 또 금속 용액을 떠낼 때에는 충분히 저어야 한다. 특히 아연은 구리보다 아래에 가라앉는 특성이 있다.

4.2.2 어미자균의 용출과 주형의 소성

① 주형 4개를 주입구가 아래로 향하도록 하여 가열로에 쌓아 넣었다. ② 200℃까지는 2시간에 걸쳐서 가열하였다. ③ 이후에는 주형의 균열을 방지하기 위하여 서서히 7시간에 걸쳐서 600℃까지 가열하였다. ④ 어미자균은 250℃부터 500℃에 이를 때까지 농도 짙은 독가스로 배출되었다. ⑤ 이를 완전히 제거하기 위하여 600℃를 1시간 정도 유지하였다. 이러한 방법으로 밀랍 성분을 완전히 제거하면서 주형을 소성하기까지 약 10시간이 소요되었다.

4.2.3 금속 용액의 주입

① 금속 용액을 충분히 끓이면서 ② 가열로에서 주형을 하나씩 꺼내어 주입대에 올려놓았다. ③ 금속 용액을 주입하였다. ④ 1분 정도 경과하면 금속 용액이 굳기 시작하였다. ⑤ 주입대에서 내려놓았다. ⑥ 주형의 온도를 500℃에서 평온까지 점차 낮추면서 진행하였다. ⑦ 금속 용액의 주입이 끝나면, 식기를 기다렸다가 다음 작업을 진행하였다. 청동·황동 등을 차례로 주입하였다. 4개 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 600g 정도다. 간혹 2~3회 나누어 주입하기도 하였다. 주입구의 틈으로 새기도 하여 주입구를 잘 조성할 필요가 있었다.

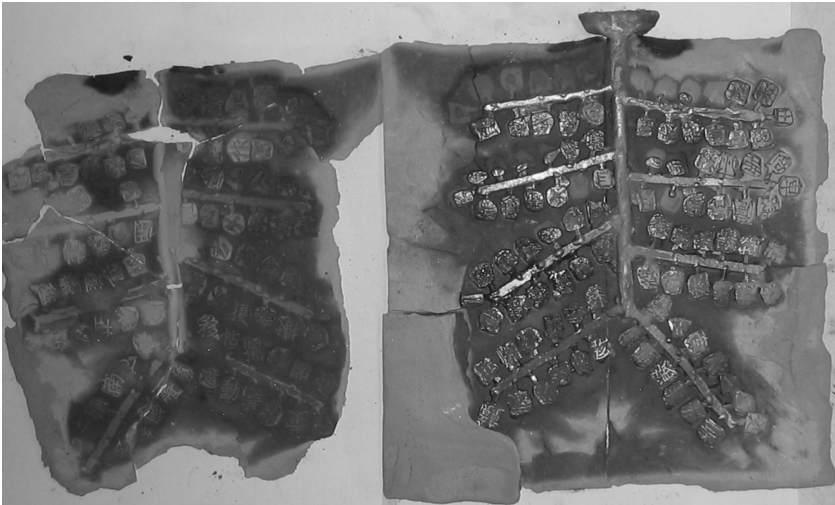
예상하지 못한 점으로 육안으로 보이지 않던 주형의 미세한 틈새로 금속 용액이 흘러나오는 현상을 볼 수 있었다. 금속 용액은 유동성이 큰 순으로, 또 식는 속도가 느린 순서인 청동1·황동 순으로 많이 새어 나왔다. 이는 실패로 나타나므로 주형 재료에 기포가 생기지 않도록 하여야 하며, 소성 과정까지도 조심스럽게 다루는 주의가 필요하였다.

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(파,側,청1,500,立)

② 청동은 당도와 활자가 부러지듯이 쉽게 떨어졌다. 황동은 너덜이까지 붙어 있었다. ③ 하나씩 떼어내어 너덜이를 다듬었다. 이때 문자면이 손상되지 않도록 주의하여야 한다. ④ 활자 표면의 주형 재료 가루를 털어냈다. ⑤ 필획 사이에 박혀있는 주형 재료는 고열로 구워낸 딱딱한 점토이므로 뽕죽한 대나무 등으로 파냈다. ⑥ 물속에서 솔로 깨끗이 씻어냈다. ⑦ 물기를 닦아냈다. ⑧ 필획의 상태를 확인하면서 너덜이가 있으면 줄로 슬어냈다. ⑨ 필요할 경우 문자면을 가볍게 갈아서 완성하였다. ⑩ 활자 보관 상자에 분류 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 너덜이 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 충전 재료	종이 섬유 2% + 황성탄 18%				총계
	4	68	12	0	
황도	4%	68%	12%	0%	84 21%

(1) 최고의 성공률: 파라핀 + 문자면 측향 + 청동1 + 주형 온도 500℃ + 입식 주입의 경우가 68%로 가장 높았다.

(2) 전체의 성공률⁶⁾: 성공한 금속활자의 수량은 84개다. 이를 위하여 사용한

6) 성공률의 평균치는 중요하지 않을 수 있다. 왜냐하면 직지활자를 주조한 “진실” 하나를 찾는 것이 목적이기 때문이다. 그러나 그 진실을 확인할 수 없는 현실을 고려하면 가능성

어미자의 수량은 주형 4개 $\times$ 어미자 100개 = 400개다. 따라서 성공률은 $84 \div 400 = 21\%$ 로 나타났다.

(3) 주형의 기능성 재료별 성공률과 완성도: 종이 섬유 2%와 활성탄 18%의 주형 재료는 21%로 나타났다.

활자의 완성도, 즉 활자의 자적이 어미자의 자적과 근접한 정도는 좌,側, 1,500,立이 가장 높긴 하였으나, 전반적으로는 완성도를 논하기 어려울 만큼 거리가 있었다("5.2.3 활자의 완성도" 참조).

(4) 어미자의 재료별 성공률: 파라핀이 $84 \div 300 = 28\%$, 왁스는 0%로 나타났다.

(5) 문자면의 방향별 성공률: 상향이 $4 \div 100 = 4\%$, 하향은 0%, 측향이 $80 \div 200 = 40\%$ 로 나타나서 측향이 가장 높았다.

(6) 금속의 재료별 성공률: 청동1이 $84 \div 300 = 28\%$, 황동은 0%로 나타났다.

(7) 주형의 온도별 성공률: 500°C 가 $68 \div 100 = 68\%$, 300°C 가 $4 \div 100 = 4\%$, 100°C 는 0%, 평온이 $12 \div 100 = 12\%$ 로 각각 나타났다.

(8) 금속 용액의 주입 방향별 성공률: 평식이 $4 \div 200 = 2\%$, 입식이 $80 \div 200 = 40\%$ 로 나타났다.

성공한 금속활자의 자적은 <표 6>과 같다.

<표 6> 성공한 금속활자의 자적

실험조건	금속활자의 자적						
과,上,정1, 300,平	你	遷	清	長			
과,側,정1, 500,立	閣	競	枯	君	期	南	嵐
	你	短	動	童	銅	抖	麼
	埋	猛	名	明	銘	物	及
	方	剖	佛	凡	法	已	尚
	生	旋	聖	撒	是	我	鵝
	岳	樣	言	偃	如	淵	緣
	贏	吾	元	曰	用	勇	云
	為	巍	移	益	一	攷	田
	趙	州	做	知	直	車	差
	清	髮	必	下	獲		
과,側,정1, 평은,立	閣	競	句	君	乃	動	漫
	於	偃	吾	元	此		

(9) 필획의 다과별 성공률: 어미자와 성공한 금속활자의 필획 다과별 수량과 분포율은 <표 7>과 같다. 활자의 어미자 대비 증감률은 8획 이하가 100%, 9~13획이 78.97%, 14획 이상이 147.55%로 각각 나타났다.

<표 7> 어미자 및 성공한 금속활자의 필획 다과별 수량과 분포율

어미자	금속활자	어미자 대비 증감율
	종이 섬유 2% + 활성탄 18%	
8획 이하 75개, 50%	42개, 50%	$50.0 \div 50.0 = 100\%$
9~13획 52개, 34.67%	23개, 27.38%	$27.38 \div 34.67 = 78.97\%$
14획 이상 23개, 15.33%	19개, 22.62%	$22.62 \div 15.33 = 147.55\%$
합계 150개, 100%	84개, 100%	-

4.3.3 수축률 측정

표본을 추출하여 측정하였다. 표본은 필획 상하단의 완성도가 높거나 실측이 편리한 문자를 선택하였다. 오차를 최소화하기 위하여 자적을 200%로 확대하여 세로(長)를 실측하였다. 2개의 자적을 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 96.93%로 3.07% 수축되는 것으로 나타났다.

<표 8> 실측 대상 문자의 길이(200%)와 수축률

표본	어미자 (mm)	금속활자 (mm)	수축률 (%)	평균(%)
과,上,淸1,300,平=遷	24.2	23.8	98.35	96.93
과,側,淸1,500,立=枯	21.0	20.2	96.19	
과,側,淸1,500,立=南	23.8	23.5	94.98	
과,側,淸1,500,立=童	23.2	23.0	99.14	
과,側,淸1,500,立=動	25.0	24.0	96.0	
과,側,淸1,500,立=物	21.0	20.7	98.57	
과,側,淸1,500,立=法	24.0	23.0	95.83	
과,側,淸1,500,立=生	21.3	21.0	98.59	

과,側,청1,500,立=鵝	24.9	24.0	96.39
과,側,청1,500,立=移	25.0	23.8	95.20
과,側,청1,500,立=益	21.0	20.8	99.05
과,側,청1,500,立=直	20.3	20.0	98.52
과,側,청1,500,立=淸	24.2	24.0	99.17
과,側,청1,평온,立=競	24.0	22.8	95.0
과,側,청1,평온,立=此	17.1	15.9	92.98

5. 實驗 結果의 分析

5.1 實驗 設定의 條件

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

<표 9> 실험 설정의 조건

1	어미자의 재료	① 파라핀, ② 왁스 등 2종
2	주형의 충전 재료	황토 1종
3	주형의 기능성 재료	종이 섬유 2% + 탄분(숫가루) 18% 1종
4	금속의 재료	① 청동1(구리 70% + 주석 30%), ② 황동(구리 70 % + 아연 30%) 등 2종
5	주조 활자의 수량 = 금속 용액의 주입 양	100개 = 약 600g 1종
6	문자 필획의 다과	150자를 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 주형의 온도	① 500℃, ② 300℃, ③ 100℃, ④ 평온 등 4종
10	금속 용액의 주입 방향	① 평식, ② 입식 등 2종
11	금속 용액의 온도	900~1000℃ 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 4종이다. 실험 결과를 분석하면 다음과 같다.

5.2.1 주조의 성공률

최고의 성공률은 68%로 1종류의 조건에서 나타났다. 전체의 성공률은 21%였다. 이로써 대량 주조도 가능함을 알 수 있었다.

5.2.2 활자 자적의 특징

성공한 활자 중에서 부정적인 현상이지만 여러 가지를 추출할 수 있다. 특기할 점은 이들 특징이 모두 「직지」에서도 발견되는 유사한 현상이다.⁷⁾ 따라서 필자가 추적한 밀랍주조법은 직지활자를 주조하기 위하여 사용했던 방법일 가능성이 높은 것으로 보인다.

(1) 斷筆 문자: 필획이 끊어진 현상이 나타난 문자가 있다. 과,上,청1,300,平의 경우에 作遷淸髮 등 4개가 있다. 과,側,청1,500,立에는 枯君期嵐你短動銅麼埋猛名明物反剖佛尙生聖擻是我鵝言偃如淵緣羸吾曰用勇爲巍孜田趙州知直車淸必下獲 등 47개가 있다. 과,側,청1,평온,立에는 閣競句君動放吾兀此 등 9개가 있다. 모두 합하면 60개로 71.43%에 이른다.

(2) 氣泡 문자: 문자면의 일부가 미세한 홈처럼 움푹 패인 결과 자적에 하얀 반점이 나타난 문자가 있다. 과,側,청1,500,立의 경우에 南嵐明物反剖佛凡已聖樣言淵一趙直車差淸下獲 등 21개가 있다. 과,側,청1,평온,立에는 閣君乃 등 3개가 있다. 모두 합하면 24개다.

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

(3) 너털이 문자: 너털이가 있어서 잡먹이 나타난 문자가 있다. 𣎵,上,청1,300,平의 경우에 淸髮 등 2개가 있다. 𣎵,側,청1,500,立에는 競抖名明生是岳言偃如緣羸 𣎵兀勇爲移益孜做 등 20개가 있다. 𣎵,側,청1,평온,立에는 競句君乃放偃 𣎵 등 7개가 있다. 모두 합하면 29개에 이른다.

(4) 필획이 어긋난 문자: 필획이 교차하는 부분에서 하나의 필획이 두 획처럼 어긋난 문자가 있다. 𣎵,側,청1,500,立의 閣淸이 그 예다.

(5) 缺筆 문자: 필획의 일부가 나타나지 않은 문자가 있다. 𣎵,側,청1,500,立의 경우에 名銘緣巍州 등 5개가 있다. 𣎵,側,청1,평온,立에는 競偃 등 2개가 있다. 모두 합하면 7개이다.

(6) 필획이 변형된 문자: 굵거나 윤곽이 모호하거나 특이하게 변형된 문자가 있다. 𣎵,上,청1,300,平에서는 遷淸髮 등 3개 문자가 이에 해당한다. 𣎵,側,청1,500,立의 名明反生岳言羸 𣎵兀曰爲孜 등 12개 문자가 이에 해당한다. 𣎵,側,청1,평온,立의 乃動漫 𣎵 등 5개 문자가 이에 해당한다.

(7) 묵등 문자: 필획 주변이 메워져서 까맣게 먹 덩어리로 나타나는 문자로 𣎵,上,청1,300,平의 髮, 𣎵,側,청1,500,立의 益, 𣎵,側,청1,평온,立의 漫偃 𣎵 등 5개가 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 수도 있는 현상임을 예측하게 하는 근거가 될 수 있다.

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 정도지만, 𣎵,側,청1,500,立의 경우가 가장 높았다.

<표 10> 활자 자적의 특징 출현 빈도

파,上,청1,300,平	파,側,청1,500,立	파,側,청1,평은,立
10개 현상 ÷ 4개 = 250,0%	121개 현상 ÷ 68개 = 177,94%	27개 현상 ÷ 12개 = 225,0%

5.2.4 활자의 수축률

수축률은 15개(17.86%)만 선별하여 측정하였지만, 평균 3.07% 수축되었다. 이는 주형 재료의 연구에서 나타난 4%와 매우 근사한 비율임을 알 수 있다.

5.2.5 어미자의 재료

파라핀 어미자의 금속활자 주조 성공률은 28%, 왁스는 0%로 나타났다. 파라핀도 밀랍 대용으로 기능할 수 있음을 알 수 있다.

5.2.6 금속의 재료

청동1의 주조 성공률은 28%, 황동은 0%였다. 밀랍주조법의 활자 주조용 금속으로 황동은 부적합함을 재삼 확인하였다.

5.2.7 주조 활자의 수량 = 금속의 주입 양과 주입 방법

금속의 주입 양은 100개를 주조하는 600g 정도의 소량으로도 무리 없이 주입할 수 있었다. 주입 방법은 재래식으로 직접 주입하여도 충분하였다.

5.2.8 문자 필획의 다과

필획의 다과는 성공률과 거의 무관함을 알 수 있었다.

5.2.9 문자면의 방향과 금속 용액의 주입 방향

문자면 측향의 입식 주입이 40%로 나타나서, 상향 4%와 하향 0%의 평식 주입보다 훨씬 유용하였다.

5.2.10 주형의 소성 온도와 금속 용액 주입 시 주형의 온도

주형을 소성하기 위한 온도는 600℃로도 충분하였다. 금속 용액 주입 시 주형의 온도는 500℃의 주조 성공률이 가장 높게 나타났으나, 기타는 각각 나타났다. 이로 미루어 주형의 온도는 성공률과 별 관계가 없었다.

5.2.11 실패의 원인

21%의 성공률은 79%의 실패를 의미한다. 그 원인을 분석하면 다음과 같다.

(1) 금속 용액의 주입 방향과 주입구 = 주입 압력: 실패한 활자 대부분이 동체는 형성되었으나, 필획이 완전하게 형성되지 못하였다. 주형에는 어미자의 자적이 완벽하게 형성되어 있었다. 이는 주형의 재료가 금속 용액을 거부하는 것은 아니다. 원인은 주형이 금속 주입 시 발생하는 가스를 충분히 흡수하지 못하였거나, 금속의 주입 압력이 약하여 주형 공극의 공기를 충분히 밀어내지 못하여 어미자의 필획까지 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 금속을 힘있게 주입할 수 있도록 주입구의 크기를 여유있게 조성함과 아울러 숙련된 기술이 절대적으로 필요함을 알 수 있다.

(2) 금속의 재료와 온도: 금속이 주입구와 탕도까지만 주입된 경우가 평식과 황동에서 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 밀랍주조법의 활자 주조용 금속으로 황동은 부적합함을 알 수 있다.

(3) 주형의 미세한 틈: 주형에 육안으로는 보이지 않는 미세한 틈과 기포가 있어서 용액을 주입할 때 새는 경우가 많았다. 이는 주입을 충분히 할지라도 실패로 나타났다. 따라서 주형 재료 조제와 어미자군 매몰 시에 기포가 생기지 않도록 주의해야 한다.

6. 結 論

이상으로 황토를 이용하여 금속활자를 대량으로 주조할 수 있는 가능성과 효율성을 추적하기 위하여 각 단계별로 다양한 조건을 설정하여 실험하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 어미자의 재료: 파라핀은 효과적인 재료로 평가되었다.

(2) 주형의 재료: 충전 재료로 황토는 유용하였다. 기능성 재료로 종이 섬유 2% + 활성탄 18%는 주조가 가능하도록 하는 기능을 가지고 있음을 확인하였다. 특히 종이 섬유는 주형의 균열을 방지하는 기능이 절대적일만큼 탁월하였다.

(3) 금속의 재료 및 주입 양과 방법: 구리를 70%로 하는 청동 합금이 효과적이었다. 주입 양은 600g 정도의 소량을 900~1000℃로 가열하여, 재래식 방법으로도 주입할 수 있었다.

(4) 문자 필획의 다과: 필획의 다과는 주조의 성공률과 거의 무관하였다.

(5) 문자면의 방향과 금속 용액의 주입 방향: 문자면을 측향으로 하여, 금속 용액을 입식으로 주입하는 것이 월등히 높았다.

(6) 주탕도의 굵기: 직경 8.5mm의 주탕도로도 주입이 가능하였다.

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

(8) 주조의 성공률과 수축률: 최고의 성공률은 68%로 1종류의 조건에서 나타

났다. 전체의 성공률은 21%였다. 수축률은 3.07%였다.

(9) 활자 자적의 특징: 활자의 자적을 분석하면 斷筆 문자·氣泡 문자·너덜이 문자·필획이 어긋난 문자·缺筆 문자·필획이 변형된 문자·묵등 문자 등이 나타났다. 특기할 점은 이들 특징을 모두 『직지』에서도 발견할 수 있다. 따라서 필자가 제시한 밀랍주조법은 직지활자를 주조하기 위하여 사용했던 방법일 가능성이 높은 것으로 보인다.

(10) 실패의 원인: 금속 용액의 주입 방향과 주입구 = 주입 압력·금속의 재료와 온도·주형의 미세한 틈 등이 지적되었다.

필자는 금속 주조 기술을 보유한 전문 장인이 아니고, 고려 금속활자의 복원을 위하여 주조 원리를 추적하는 연구자다. 따라서 주조 기술의 수준은 겨우 원리를 찾아낼 수 있는 정도일 뿐이다. 본 연구 결과의 성공률이 낮다 하여도 원리가 공인되어 전문 장인이 숙련된 기술로 주조할 경우 그 성공률은 훨씬 더 올라갈 수 있을 것이다.

밀랍주조법은 금속활자를 주조할 수는 있다. 그러나 이러한 가능성도 숙련된 각수가 1시간에 어미자 1개를 겨우 조각하는 비능률적인 근본 문제를 안고 있다.⁸⁾ 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>

- 조형진, “금속활자 밀랍주조법 주형재료: 탄분의 복원실험 연구.” 『서지학연구』 제30집(2005. 6), 183-221.
- 조형진, “직지의 자적에 나타난 직지활자의 특징 연구.” 『서지학연구』 제38집

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

(2007. 12), 163-192.

조형진. “금속활자의 황토를 이용한 밀랍주조법 실험 연구.” 『서지학연구』 제43집 (2009. 9). 41-92.

조형진. “금속활자의 백토를 이용한 밀랍주조법 실험 연구.” 『서지학연구』 제44집 (2009. 12). 119-160.

조형진. “금속활자의 산청토를 이용한 밀랍주조법 실험 연구.” 『서지학연구』 제45집 (2010. 6). 259-293.

조형진. “금속활자의 청토를 이용한 밀랍주조법 실험 연구.” 『서지학연구』 제46집 (2010. 9). 199-235.

조형진. “금속활자의 웅기토를 이용한 밀랍주조법 실험 연구.” 『서지학연구』 제47집 (2010. 12). 129-167.

조형진. “금속활자의 내화토를 이용한 밀랍주조법 실험 연구.” 『서지학연구』 제48집 (2011. 6). 153-190.

