

금속활자 밀랍주조법의 개량 실험 연구

An Experimental Investigation of the
Improved Metal Type Wax Casting Method

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 목 >

금속활자를 주조할 수 있는 밀랍주조법의 개량 실험을 통하여 효율적이고 구체적인 과정과 원리를 추적하였다.

- (1) 어미자의 재료: 밀랍과 함께 왁스가 효과적이었다.
- (2) 주형의 재료: 충전 재료로 황토는 유용하였다. 기능성 재료로 종이 섬유·벚꽃·활성탄·유성 탄소·흑연·수성 탄소 등은 유용하였다. 그 혼합 비율은 종이 섬유는 0.5~2%, 벚꽃은 1%, 활성탄은 5~18%, 유성 탄소는 5%, 흑연은 5%, 수성 탄소는 5~5.5%였다. 특히 종이 섬유는 주형의 균열을 방지하는 기능이 절대적일만큼 탁월하였고, 기타의 기능성 재료 비율이 높을수록 종이 섬유의 비율도 높아야 했다. 벚꽃은 종이 섬유와 같은 기능이 있음을 확인하였다.
- (3) 금속의 재료 및 주입 양과 방법: 청동은 효과적이었다. 주입 양은 300~350g 정도의 소량을 재래식 방법으로도 주입할 수 있었다.
- (4) 문자 필획의 다과: 필획이 적을수록 성공률이 높기는 했으나, 그 편차는 15.62%에 불과하였다.
- (5) 금속 용액의 주입 방향: 문자면을 측향으로 하여 금속 용액을 입식으로 주입한 결과 74.0%의 성공률을 나타냈다.
- (6) 주탕도의 굵기와 길이: 4.5×5.0mm 굵기의 주탕도로도 충분하였다. 길이는 190mm가 효과적이었다. 특히 주탕도의 길이는 금속 용액의 주입 압력을 높여서 성공률에 절대적인 영향을 미쳤다.
- (7) 주형의 온도: 주형의 소성 온도는 600℃로도 충분하였다. 금속 용액 주입 시 주형의 온도는 성공률과 무관하였다.
- (8) 구조의 성공률과 수축률: 최고의 성공률은 100%였고, 전체의 성공률은 74.0%였다. 수축률은 2.69%였다.
- (9) 활자 자적의 특징과 완성도: 『직지』에서 발견할 수 있는 특징이 모두 나타났다. 활자의 완성도는 수치로 표현할 수 있는 요소는 물론, 수치로 표현할 수 없는 필체 자형의 유사도까지

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

접수일: 2011년 11월 28일 최후심사일: 2011년 11월 28일 심사완료일: 2011년 12월 23일

매우 높았다. 따라서 본 연구가 제시한 밀랍주조법은 직지활자를 주조하기 위하여 사용했던 방법일 가능성이 높은 것으로 보인다.

要語: 금속활자, 밀랍주조법, 황토, 종이 섬유, 벚짚, 활성탄, 유성 탄소, 흑연, 수성 탄소, 「직지」

<ABSTRACT>

This study investigated the efficient and specific procedures and principles of metal type wax casting method with an improved experiment.

- (1) The matrix material: Beeswax and injection wax were useful as the material.
- (2) The mould material: Yellow earth was useful as the filling material. Paper fiber, rice straw, activated carbon, oil carbon, graphite and water carbon, among others, were useful as the functional material. The mixture proportion was 0.5~2% for paper fiber, 1% for rice straw, 5~18% for activated carbon, 5% for oil carbon, 5% for graphite and 5~5.5% for water carbon, respectively. In particular, paper fiber played a critical role in preventing cracks in the mould, and rice straw was also found to have the similar function.
- (3) The metal components, pouring quantity, and pouring method: Bronze was effective as the metal component. A small quantity of approximately 300~350 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. However, the variance of success rate was only 15.62%.
- (5) The pouring direction of metal fluid: When putting the character face in the lateral direction and pouring metal fluid in a standing manner, it resulted in 74.0% success rate.
- (6) The main path caliber for metal fluid: The size of 4.5×5.0mm was sufficient. The length of 190mm was effective. In particular, the length of the main path caliber was the critical factor in the success rate by increasing the pouring pressure of metal fluid.
- (7) The temperature of mould: The temperature of 600℃ was sufficient as the burning temperature for mould. The mould temperature when pouring metal fluid had little effect on the success rate.
- (8) The casting success rate and contraction rate: The highest success rate was 100%, and the overall success rate was 74.0%. The contraction rate was 2.69%.
- (9) The characteristics and performance of type strokes: All the distinctive characteristics in *Jikji* were observed here. The overall type performance was very high not only in the measurable aspects, but also in the similarity of the writing type which cannot be quantified. Therefore, it is highly probable that the wax casting method employed by this experiment is the replication of the method actually used to cast *Jikji* type.

Key words: metal type, wax casting method, yellow earth, paper fiber, rice straw, activated carbon, oil carbon, graphite, water carbon, *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 자적에서 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 실패 요인은 주형의 기능성 재료 비율과 균열, 주형과 주입구의 미세한 틈새, 금속의 합금 성분, 금속 용액의 주입 압력 등이다. 이 중 핵심은 주형의 균열과 금속 용액의 주입 압력이다. 따라서 이러한 시행착오를 극복할 수 있도록 해당 과정에서 적의 수정하면 완전한 금속활자의

-
- 1) 이 활자의 명칭으로 흥덕사자·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.
 7. 조형진, “금속활자 밀랍주조법의 대량 주조 실험 연구,” 『서지학연구』 제49집(2011. 9), 203-233.

밀랍주조법을 추적할 수 있을 것이다.

본 연구는 종이 섬유와 활성탄의 최소 혼합 비율과 벗짚의 가능성을 실험하였다. 아울러 금속활자 밀랍주조법의 완성에 초점을 맞추어 그 동안 나타난 실패 요인을 차례로 수정하면서 실험하였다.

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 밀랍·왁스 별로 각각 50개씩 무작위로 추출하였다. 이를 <표 1>에서 문자의 필획 수와 함께 제시하였다.

<표 1> 추출 자본과 필획 수 분포

	밀랍 어미자			왁스 어미자		
추출 위치 (張次, 上下, 行-字)	桂(5上6-13)	西(4下9-4)	在(5上10-18)	覺(4下7-7)	雪(4下9-7)	佇(3下7-6)
	怪(5上6-10)	禪(5上6-15)	滴(5下8-12)	介(4上10-16)	手(4上3-5)	這(4上11-15)
	國(5下9-7)	豎(5上7-18)	肇(5上5-11)	去(3下1-17)	垂(4上3-4)	寂(4上7-10)
	根(5上5-18)	匙(5上2-12)	住(5下10-12)	見(4下2-17)	誰(4上1-17)	座(4下3-16)
	肯(5上3-18)	甚(5上3-8)	湊(5下2-18)	空(4下7-16)	示(3下3-18)	會(3下1-16)
	其(5上4-9)	尋(5上9-18)	地(4下10-8)	茶(3下5-10)	侍(4上1-11)	之(3下7-8)
	奇(5上6-9)	十(5上4-4)	且(4下2-14)	達(4下8-12)	身(4下8-3)	指(4上10-15)
	起(5上2-10)	阿(4下2-18)	次(5上2-8)	當(3下8-5)	實(4下4-13)	參(4下2-16)
	道(4下2-15)	兩(5上7-19)	着(5上11-14)	同(4下2-12)	深(4下4-11)	天(4下9-5)
	東(4下8-16)	語(5上5-12)	錯(4下3-13)	磨(4下8-13)	汝(3下5-14)	痛(4下7-10)
	得(5上2-18)	與(5上5-15)	出(4下6-18)	蒙(3下3-14)	祐(4上4-15)	何(3下4-18)
	嶺(4下9-11)	要(4下4-18)	琛(5上6-14)	無(4上7-12)	依(4上7-13)	行(3下5-17)
	萬(5上5-19)	義(5上4-10)	陀(4下6-9)	保(3下8-14)	而(4上3-6)	和(3下6-7)
	別(5上7-12)	二(5上4-3)	便(4下3-14)	事(4上9-15)	入(4上10-17)	皇(3下8-16)
	三(5上5-5)	迪(4下10-17)	下(4下3-15)	思(3下7-7)	丈(4上4-8)	廻(4下9-6)
	上(4下10-11)	因(4下10-7)	香(5上2-11)	師(4上10-18)	藏(4下10-9)	休(4下8-11)
相(4下4-14)	日(5上4-5)		善(4下4-15)	低(3下6-12)		
필획수	8획 이하	9~13획	14획 이상	8획 이하	9~13획	14획 이상
분포	23개	22개	5개	24개	20개	6개

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.

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 뛰어나면

서도 기능적 효과는 밀랍·파라핀 등과 대동소이하기 때문이다.³⁾

(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: 曾과 會). 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 100개이다. 여유분도 조각하였다.

2.3 實驗用 어미자의 材料

2.3.1 밀랍

밀랍에는 백랍·황랍·청랍이 있다. 황랍은 토종 꿀벌의 집을 정제하여 얻는다. 본 연구에서는 황랍을 사용하였다.

2.3.2 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 밀랍 대신 사용할 수 있기 때문이다.

3) 조형진, “금속활자 밀랍주조법 주형재료: 탄분의 복원실험 연구,” 『서지학연구』 제30집(2005. 6), 219.

밀랍과 왁스 등 어미자의 기능은 주형에 자적의 공간을 형성하는 것이다. 따라서 재료가 다를지라도 이러한 기능이 같다면, 통용하여도 무방할 것이다. 이 기능의 동일성 여부는 소성된 주형에서 확인할 수 있다(<사진 3> 참조).

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 100개의 어미자로 실리콘 주형을 제작하였다. ① 목재로 주형틀을 만들고, ② 양면 테이프를 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 오톱하게 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 밀랍·왁스를 차례로 주조하였다.

이렇게 하여 주조한 어미자는 밀랍 어미자 50개 × 1 = 50개, 왁스 어미자 50개 × 12 = 600개, 총 650개이다.

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 흠에 기포 형태로 잠겨 있는 경우가 많으므로 뾰족한 기구로 일일이 식기 전에 신속하게 제거하여야 한다. ③ 작업 중에 미세한 불순물을 수시로 제거하여야 한다. ④ 실험 소요량보다 여유 있게 주조하여 추가 수요에 대비하여야 한다. ⑤ 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.

<표 2> 주조 어미자의 자적

밀 랍 어 미 자	桂	怪	國	根	肯	奇	其	起
	道	東	得	嶺	萬	別	三	上
	相	西	禪	豎	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						

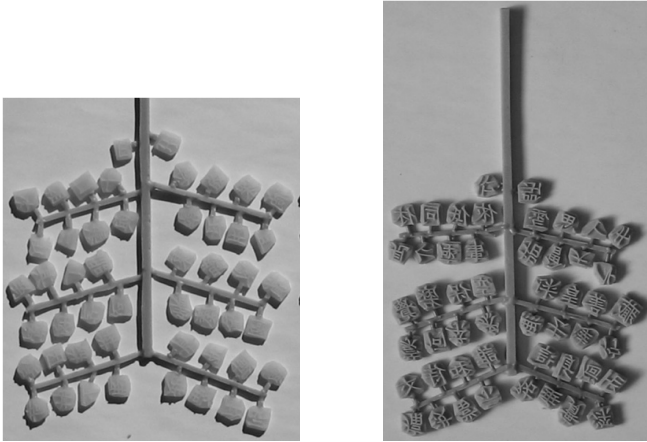
옥스 어미자	覺	介	去	見	空	茶	達	當
	同	磨	蒙	無	保	事	思	師
	善	雪	手	垂	誰	示	侍	身
	實	深	汝	祐	依	而	入	丈
	藏	低	佇	這	寐	座	曾	之
	指	叅	天	痛	何	行	和	皇
	迴	休						

2.4.4 어미자군의 성형

어미자를 50개씩 모아서 어미자군으로 성형하였다. 이를 위하여 주탕도가 될 밀랍 주봉·중간봉·가지봉을 준비하였다. 밀랍 주봉은 가로 세로 4.5 × 5.0mm짜리를 110mm와 190mm의 길이로 재단하였다. 중간봉은 2.5 × 3mm짜리를 65mm의 길이로, 가지봉은 직경 2mm짜리를 길이 5mm로 재단하였다. 주탕도의 길이를 지금까지의 실험보다 80mm 정도 길게 한 이유는 실패 원인으로 지적된 금속 용액의 주입 압력을 높이기 위한 방법으로 입식으로 주입할 때 위치에너지를 이용하고자 함이다.

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 접촉된 어미자를 8~9개씩 중간봉에 평면 형태로 붙였다. ⑤ 이를 다시 밀랍 주봉에 부채꼴 형태로 붙였다. ⑥ 어미자군에

붙어있는 불순물을 세심히 살펴서 제거하였다. 이와 같은 방법으로 어미자군을 완성하였다(<사진 1> 참조). 이들의 크기는 대체로 140 × 150mm 정도였다.



<사진 1> 성형된 어미자군(밑,側,立,短과 왁,側,立,長)

이때 주의할 점은 다음과 같다. ① 밀랍 중간봉과 가지봉은 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 밀랍 1개, 왁스 12개 총합 13개를 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 100mm²에 10×10개의 축으로 된 고운 체로 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 종이 섬유·벚꽃·炭粉(숯가루)·유성 탄소·흑연·수성 탄소 등을 사용하였다. 이는 전통적으로 많이 사용되었고, 향간에 구전되어 오던 ‘烏土’라는 개념에도 부합한다. 유성 탄소와 흑연을 굳이 실험한 이유는 기왕의 산청토⁴⁾와 옹기토⁵⁾ 실험에서 주조 성공 가능성을 확인하였기 때문이다.

4) 조형진, “금속활자의 산청토를 이용한 밀랍주조법 실험 연구,” 259-293.

5) 조형진, “금속활자의 옹기토를 이용한 밀랍주조법 실험 연구,” 129-167.

3.2.1 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. 지금까지의 실험에서 균열 방지 효과가 입증된 비율만큼 혼합하기 위함이다. ② 물에 삶아서 섬유질을 부드럽게 하였다. ③ 절구에 넣고 방망이로 충분히 찼다. ④ 물속에서 섬유를 풀어 해쳤다. ⑤ 충전 재료에 골고루 혼합하였다.

3.2.2 벚짖

밀랍주조법의 문헌 연구에서 벚짖이 기능성 재료로 사용될 수 있음을 밝혔다.⁶⁾ 벚짖은 대체로 분말 형태의 가루나 잘게 갈아서 사용한다. 본 실험에서는 벚를 추수하고 남은 벚짖을 잘게 갈지 않고 3~5cm 정도로 잘막하게 썰어서 사용하였다. 적은 양이지만 일부 잘게 부셔진 것도 있다. 이는 종이 섬유의 기능을 대신할 가능성을 파악하기 위해서다.

3.2.3 炭粉(숯가루)

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

3.2.4 유성 탄소

비금속의 화학 물질 군에 속하며 아세틸렌 블랙 등의 동의어를 가지고 있는 그을음

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

이다. 흑색이며, 냄새는 없고, 분말 상태의 고체로 물에 용해되지 않는다. 발암성의심 물질로 알려져 있다. 본 실험에서는 Korea Carbon Black Co.의 HIBLACK을 사용하였다. 이는 99.5%의 순도를 보이고 있다.

3.2.5 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.

3.2.6 수성 탄소

그을음이다. 이는 재래식 난방용 화목 보일러에 장기간 소나무를 태워서 형성된 그을음, 즉 송연을 굽어서 채취하였다. 이를 건조시킨 후 공기로 뿜아서 100mm²에 10 × 10개의 축으로 된 고운 채로 여과하여 고운 입자만을 선별하였다.

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 11개의 반죽 용기에 구분하여 담았다. ② 물을 가하면서 진한 반죽이 되도록 풀었다. ③ 종이 섬유 2%, 1%, 0.5%·벚짚 1%·활성탄 18%와 5%·유성 탄소 5%·흑연 5%·수성 탄소 5%와 5.5%씩 중량을 측정하였다. ④ 이를 각각 혼합하여 11종류의 주형 재료를 조제하였다. 종이 섬유 0.5%와 벚짚을 제외한 기능성 재료의 혼합 비율은 기왕의 실험에서

주조 가능성이 검증된 것이다(<표 3> 참조).

<표 3> 주형 재료의 혼합 비율과 수분 함유율(%)

기능성 충진 재료	종이 섬유												벚짚		활성탄	유성 탄소	흑연	수성 탄소				
	활성탄		유성 탄소		흑연		수성 탄소															
황도	2+18	65	1+5	65	1+5	55	1+5	60	1+5	65	0.5+5.5	60	1+5	65	5	5	5	5				
	80	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	95	95	95	95				
	수분	35	수분	35	수분	45	수분	40	수분	35	수분	40	수분	35	수분	35	수분	45	수분	40	수분	35

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 적당하다. 본 실험에서 주형 재료에 포함된 수분의 비율은 35.0%~45.0%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鑄型の製作

4.1.1 주형틀의 제작

목재로 사각형의 틀을 제작하였다. 어미자군을 포용하면서 두께 20~30mm 정도

의 주형을 전제로 하여 내경의 가로 세로 높이를 170 × 170 × 50mm와 170 × 250 × 50mm의 2종류로 제작하였다.

4.1.2 주형 재료의 충전 = 어미자균 매몰

(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 뭉게 조절하면서 어미자균의 필획 틈 사이에 속속들이 도포하였다. ③ 주형틀 안에 주형 재료를 예정한 두께인 20~30mm의 절반 정도 채워 넣었다. ④ 재료 내의 기포를 제거할 수 있도록 흔들면서 평평히 깔았다. ⑤ 어미자균의 주탕도 끝이 주형틀에 닿도록 주형틀에 앉혔다. 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 약간의 오차가 불가피하였다. 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 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 자연 건조시켰다. 실내 기온은 18~

25°C를, 습도는 45~70%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·충전 재료·기능성 재료·혼합물·수분 함유율 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 하였다. 주형이 안전하게 설 수 있도록 지지틀을 이용하였다. 주형이 눕혀있는 상태에서는 윗면만 건조되므로 건조가 진행될수록 균열이 더 나타난다. 세워서 건조하는 중에도 휘어지는 현상이 나타나서 수분을 분무하기도 하였다. 이때까지 6일이 소요되었다.

4.1.4 주입구 조성

주형이 완전히 건조되기 전에 주탕도 입구 부분을 깔대기 모양으로 손질하여 주입구를 조성하였다. 지금까지의 실험에서는 깔대기 모양의 주입구를 별도로 제작하여 붙였으나, 이번에는 주형의 주탕도 입구 부분 자체를 깔대기 모양으로 손질한 것이다. 이는 금속 용액이 새는 현상을 완벽하게 방지할 수 있어서, 주입을 편리하게 하고 주입 압력을 유지하는 기능을 발휘할 수 있었다.

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 줄이

거나 건조 속도를 느리게 하여야 한다.⁷⁾ 건조 속도는 자연 건조이므로, 균열을 방지하는 핵심은 주형을 얇게 제작하는 것이다.

본 실험에서 발견한 또 하나의 균열 원인은 주형 재료의 점력이 충분하지 못한 점이다. 어미자군은 수축하지 않음에 비하여 주형 재료는 건조 수축하므로 점력이 어미자를 꼭 조일 수 있을 만큼 강하지 못하면 균열로 나타난다. 그 정도를 구분하면 다음과 같다.

(1) 완전: 균열 없이 완전한 경우다. 종이 섬유·수성 탄소를 혼합한 주형 모두가 완전하였다.

(2) 미세한 균열: 한두 곳이 0.5mm 이내의 균열로 보수가 필요한 정도다. 활성탄을 혼합한 주형에서 나타났다.

(3) 약간 균열: 두세 곳이 0.5~3mm 정도로 균열되었지만, 주형은 부러지거나 깨지지 않은 상태다. 보수작업이 필요하다. 벚지과 흑연을 혼합한 주형에서 나타났다.

(4) 매우 균열 = 건조 파손: 3mm 이상 균열되거나 주형이 부러지거나 일부가 떨어져나간 정도다. 유성탄소를 혼합한 주형에서 나타났다.

보수를 위하여 주형의 변형이나 균열 상태를 예의 주시하였다. 변형은 중앙 부분이 볼록 나오거나 휘어지는 형태로 나타났다. 균열도 중앙부터 시작하여 다양하게 나타났다. 볼록 나오는 주형은 조심스럽게 힘을 가하여 평평히 폈다. 미세한 균열은 표면에 물을 칠한 후, 동일한 재료로 매끈하게 마감하였다. 약간 균열은 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 금속 용액 주입 시의 위험도와 열량의 낭비를 줄이는 의미가 더 큰 듯하였다.

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.

4.1.6 완전 건조

15일 정도 경과하면 주형의 색깔이 밝아지는 현상이 보인다. 이즈음 주형을 넓혀서 시간적 여유를 가지고 충분히 건조시켰다.

완전히 건조된 주형은 가로가 160~165mm 정도까지 수축되어 2.94~5.88%의 수축률을 보였다. 수축률은 종이 섬유를 첨가한 주형이 작았고 유성 탄소를 첨가한 주형이 컸다.

13개의 주형에서 나타난 상황은 <표 4>와 같다.

<표 4> 주형의 조건별 실험 상황표

가능성 재료 충전 재료	종이 섬유						벗짚	활성탄	유성 탄소	흑연	수성 탄소
	활성탄		유성 탄소	흑연	수성 탄소						
황토	밑,側, 완,청 1,600, 立,長	와,側, 완,청 1,400, 立,短	와,側, 완,청 1,600, 立,長	와,側, 완,청 1,600, 立,長	와,側, 완,청 1,600, 立,長	와,側, 완,청 1,500, 立,短	와,側, 약,청 1,500, 立,短	와,側, 미,청 1,600, 立,長	와,側, 매,청 1,600, 立,長,건	와,側, 약,청 1,600, 立,長,소	와,側, 완,청 1,600, 立,長
	와,側, 완,청 1,500, 立,長	와,側, 완,청 1,600, 立,長									

(표설명)

- 내용 기술 순서: 어미자의 재료·문자면의 방향·주형의 균열 정도·금속의 재료·주형의 온도·금속 용액의 주입 방향·주탕도의 길이·파손 상태 순.
- 어미자의 재료: 밑 = 밑랍, 와 = 왁스.
- 문자면의 방향: 측 = 측향.
- 주형의 균열 정도: 완 = 완전, 미 = 미세한 균열, 약 = 약간 균열, 매 = 매우 균열.
- 금속의 재료: 청1 = 청동1.
- 주형의 온도: 금속 용액 주입 시, 주형의 온도.
- 금속 용액의 주입 방향: 입 = 입식 주입.
- 주탕도의 길이: 長 = 주탕도 190mm, 短 = 주탕도 110mm.
- 파손 상태: 건 = 건조 파손, 1개, 소 = 소성 파손, 1개. 나머지는 금속 용액을 주입한 경우로 모두 11개며 본 연구의 주된 실험이다.

4.2 金屬 鑄液의 鑄入

4.2.1 합금 재료의 준비

(1) 청동1

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

4.2.2 어미자군의 용출과 주형의 소성

① 건조 파손된 주형 1개를 제외한 12개를 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 어미자군은 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. 소성 결과 파손된 주형은 1개였다(<표 4> 참조).

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 600℃에서 400℃까지 점차 낮추면서 진행하였다. ⑦ 금속 용액의 주입이 끝나면, 식기를 기다렸다

가 다음 작업을 진행하였다. 11개 주형에 주입 시, 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 300~350g 정도다.

예상하지 못한 점으로 육안으로 보이지 않던 주형의 미세한 틈새로 금속 용액이 흘러나오는 현상을 볼 수 있었다. 이는 일부 주조 또는 주조 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

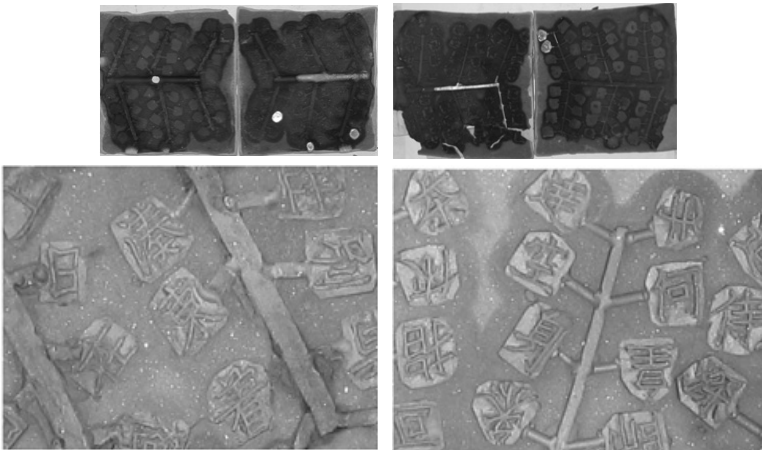
① 주형이 식으면 깨뜨렸다(<사진 2> 참조). 주형 안에 있던 활자가 노출되었다. 주조가 잘된 경우는 주형에 남아있는 어미자의 자적이 완전하지 못했고, 주조가 잘못된 경우는 완전히 남아 있었다. 주조에 실패한 주형을 통하여 밀랍과 왁스 어미자가 주형에 자적의 공간을 형성한 기능을 보면 아무런 차이를 발견할 수 없다(<사진 3> 참조). 또한 성공률도 어미자의 재료에 의한 차이는 크지 않고 금속 용액의 주입 압력이 좌우하였다(“4.3.2 성공률의 산출” 참조). 이 점에서 밀랍 대응으로 왁스의 사용은 아무 문제가 없을 것으로 판단된다.

② 활자는 당도와 부러지듯이 쉽게 떨어졌다. ③ 하나씩 떼어내어 너털이를 다듬었다. 이때 문자면이 손상되지 않도록 주의하여야 한다. ④ 활자 표면의 주형 재료 가루를 털어냈다. ⑤ 필획 사이에 박혀있는 주형 재료는 고열로 구워낸 딱딱한 점토이므로 뾰족한 대나무 등으로 파냈다. ⑥ 물속에서 솔로 깨끗이 씻어냈다. ⑦ 물기를 닦아냈다. ⑧ 필획의 상태를 확인하면서 너털이가 있으면 줄로

슬어냈다. ⑨ 필요할 경우 문자면을 가볍게 갈아서 완성하였다. ⑩ 활자 보관 상자에 분류 보관하였다.



<사진 2> 활자 추출을 위하여 양분한 주형
(종이 섬유1·수성 탄소5, 약, 側, 완, 청1,600, 立, 長)



<사진 3> 주형에 형성된 밀랍과 왁스 어미자의 자적(황토, 종이 섬유2·활성탄18, 밀, 하, 완, 청1,500, 평, 대탕도, 단과 황토, 종이 섬유2·활성탄18, 약, 상, 완, 청1,600, 평, 단)

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 주소해낸 각 조건별 활자의 수량은 <표 5>와 같다.

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

기능성 충전 재료	종이 섬유							활성탄	유성 탄소	흑연	수성 탄소	총계
	활성탄	유성 탄소	흑연	수성 탄소								
황토	32 (64%)	17 (34%)	43 (86%)	45 (90%)	50 (100%)	33 (66%)	37 (74%)	46 (92%)	-	-	27 (54%)	407 (74%)
	46 (92%)	31 (62%)										

(1) 최고의 성공률: 종이 섬유 1% + 수성 탄소 5% + 왁스 + 문자면 측향 + 청동1 + 주형 온도 600℃ + 입식 주입 + 주탕도 190mm의 경우에서 100%로 나타났다.

(2) 전체의 성공률8): 성공한 금속활자의 수량은 407개다. 이를 위하여 사용한 어미자의 수량은 주형 11개 × 어미자 50개 = 550개다. 따라서 성공률은 407 ÷ 550 = 74.0%로 나타났다.

(3) 주형의 기능성 재료별 성공률과 완성도: 종이 섬유 1% + 수성 탄소 5%가 100%로 가장 높았고, 활성탄이 92%, 종이 섬유 + 흑연이 90%, 종이 섬유 +

8) 성공률의 평균치는 중요하지 않을 수 있다. 왜냐하면 지지활자를 주소한 “진실” 하나를 찾는 것이 목적이기 때문이다. 그러나 그 진실을 확인할 수 없는 현실을 고려하면 가능성 있는 진실을 범주화하기 위하여 주소 가능한 방법을 모두 찾고, 평균치도 구하는 것이다.

유성 탄소가 86%, 종이 섬유 2% + 활성탄 18%가 78%, 벗짚 1% + 수성 탄소 5%가 74%, 종이 섬유 0.5% + 수성 탄소 5.5%가 66%, 수성 탄소가 54%, 종이 섬유 1% + 활성탄 5%가 48% 순으로 나타났다.

활자의 완성도, 즉 활자의 자적이 어미자의 자적과 근접한 정도는 종이 섬유 1% + 흑연 5%가 가장 높고 종이 섬유 1% + 유성 탄소 5%가 가장 낮았다. 이밖에 문자의 필서체 자형이 어미자에 가까움을 한눈에도 알 수 있을 만큼 전반적인 완성도가 매우 높았다(“5.2.3 활자의 완성도” 참조).

(4) 어미자의 재료별 성공률: 밀랍이 64.0%, 왁스가 $375 \div 500 = 75.0\%$ 로 나타나서 왁스가 다소 높았다.

(5) 문자면의 방향별 성공률: 모두 측향으로 실험하였으므로 74.0%였다.

(6) 금속의 재료별 성공률: 모두 청동1을 사용하였으므로 74.0%였다.

(7) 주형의 온도별 성공률: 600℃가 $274 \div 350 = 78.29\%$, 500℃가 $116 \div 150 = 77.33\%$, 400℃가 34.0%로 나타났다.

(8) 금속 용액의 주입 방향별 성공률: 모두 입식으로 실험하였으므로 74.0%였다.

(9) 주탕도의 길이별 성공률: 190mm가 $320 \div 400 = 80.0\%$, 110mm가 $87 \div 150 = 58.0\%$ 로 나타났다.

성공한 금속활자의 자적은 <표 6>과 같다.⁹⁾

9) 작업량의 방대함으로 인하여 종이 섬유 2% + 활성탄 18% + 왁,측,완,청1,500,立,長에 “佇”가 2개 들어가는 실수가 있었다.

<표 6> 성공한 금속활자의 자적

실험조건	금속활자의 자적						
종이 섬유2 + 활성탄18 : 밑,側,완, 칭1,600, 立,長	桂	國	根	肯	其	起	道
	東	萬	別	相	西	禪	堅
	甚	尋	阿	兩	與	二	池
	因	日	在	肇	住	湊	且
	次	便	環	下			
종이 섬유2 + 활성탄18 : 와,側,완, 칭1,500, 立,長	覺	介	去	見	空	茶	達
	當	同	磨	蒙	無	保	事
	思	師	善	雪	手	垂	誰
	示	侍	身	深	汝	祐	依
	而	入	丈	藏	竹	竹	這
	寐	曾	之	天	痛	何	行

	和	皇	迴	休			
종이 섬유1 + 활성탄5 : 왁,側,완, 청1,400, 立,短	奈	達	無	思	善	手	侍
	汝	依	而	這	曾	之	叅
	何	行	和				
종이 섬유1 + 활성탄5 : 왁,側,완, 청1,600, 立,長	覺	介	奈	當	同	磨	無
	保	手	誰	示	侍	身	實
	深	汝	佑	入	丈	藏	低
	佇	寐	座	叅	痛	何	行
	和	迴	休				
	覺	介	見	空	奈	達	當
	同	蒙	無	思	師	善	雪

종이 섬유1 + 유성 탄소5 : 좌,側,완, 청1,600, 立,長	手	垂	誰	示	侍	身	實
	深	汝	祐	依	而	入	丈
	藏	佇	這	寐	會	之	指
	叅	天	痛	何	行	和	迴
	休						
종이 섬유1 + 흑연5 : 좌,側,완, 청1,600, 立,長	介	去	見	空	茶	達	當
	同	磨	蒙	無	保	事	思
	雪	手	垂	誰	示	侍	身
	實	深	汝	祐	依	而	入
	丈	藏	低	佇	這	寐	會
之	指	叅	天	痛	何	行	

	和	迴	休				
종이 섬유1 + 수성 탄소5 : 약,側,완, 청1,600, 立,長	覺	介	去	見	空	茶	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	會	之	指	叅
	天	痛	何	行	和	皇	迴
	休						
종이 섬유0.5 +	覺	介	去	見	當	磨	無
	保	事	思	雪	手	垂	誰

수성 탄소5.5 : 약,側,완, 칭1,500, 立,短	示	侍	實	深	依	而	入
	丈	藏	行	這	寐	座	會
	天	何	行	和	迴		
벗길 1 + 수성 탄소5 : 약,側,약, 칭1,500, 立,短	覺	介	去	見	空	奈	同
	磨	無	思	善	雪	手	垂
	誰	示	身	實	深	汝	祐
	依	入	丈	低	行	寐	座
	指	叅	天	痛	何	行	皇
	迴	林					
	覺	介	去	見	空	奈	達
當	同	無	保	事	思	師	

활성탄5 : 와,側,완, 청1,600, 立,長	善	雪	手	垂	示	侍	身
	實	深	汝	祐	依	而	入
	丈	藏	低	竹	這	寐	座
	會	之	指	天	痛	何	行
	和	皇	迴	林			
수성 탄소5 : 와,側,완, 청1,600, 立,長	去	見	空	茶	磨	無	事
	思	師	雪	誰	示	深	汝
	祐	而	丈	低	這	之	指
	叅	天	痛	何	皇	迴	

(10) 필획의 다과별 성공률: 어머니와 성공한 금속활자의 수량과 분포율은 <표 7>과 같다. 활자의 어머니 대비 증감률은 8획 이하가 107.17%, 9~13획이 94.19%, 14획 이상이 91.55%이다. 즉 필획이 적을수록 성공률이 높게 나타나는 했으나, 그 편차는 15.62%에 불과하였다.

<표 7> 어미자 및 성공한 금속활자의 필획 다과별 수량과 분포율

어미자	금속활자											어미자 대비 증감율		
	종이 섬유								활성 탄	유성 탄소	흑연		수성 탄소	총계
	활성탄		유성 탄소	흑연	수성 탄소									
8획 이하 47개, 47%	40개 51.28 %	24개 50.0 %	21개 48.84 %	24개 53.33 %	24개 48.0 %	17개 51.52 %	19개 51.35 %	24개 52.17 %	-	-	12개 44.44 %	205개 50.37 %	50.37 ÷ 47 = 107.17%	
9~13획 42개, 42%	32개 41.03 %	19개 39.58 %	17개 39.53 %	16개 35.56 %	20개 40.0 %	11개 33.33 %	14개 37.84 %	19개 41.30 %	-	-	13개 48.15 %	161개 39.56 %	39.56 ÷ 42 = 94.19%	
14획 이상 11개, 11%	6개 7.69 %	5개 10.42 %	5개 11.63 %	5개 11.11 %	6개 12.0 %	5개 15.15 %	4개 10.81 %	3개 6.52 %	-	-	2개 7.41 %	41개 10.07 %	10.07 ÷ 11 = 91.55%	
100개, 100%	78개 100%	48개 100%	43개 100%	45개 100%	50개 100%	33개 100%	37개 100%	46개 100%	-	-	27개 100%	407개 100%	-	

4.3.3 수축률 측정

가능성 재료별로 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 97.31%로 2.69% 수축되는 것으로 나타났다.

<표 8> 실측 대상 문자의 길이(200%)와 수축률

표본		어미자 (mm)	금속활자 (mm)	수축률 (%)	평균(%)	
종 이 섬 유	활성탄	밑,側,완,청1,600,立,長=阿	21.3	20.8	97.65	95.78
		악,側,완,청1,500,立,長=見	20.0	18.2	91.0	
		악,側,완,청1,400,立,短=無	21.0	20.2	96.19	
		악,側,완,청1,600,立,長=實	29.0	28.5	98.28	
	유성 탄소	악,側,완,청1,600,立,長=同	21.9	21.1	96.35	97.57
		악,側,완,청1,600,立,長=這	24.6	24.3	98.78	
	흑연	악,側,완,청1,600,立,長=身	27.0	27.0	100.0	97.04
		악,側,완,청1,600,立,長=祐	23.6	22.2	94.07	
	수성 탄소	악,側,완,청1,600,立,長=侍	23.9	23.8	99.58	98.36
		악,側,완,청1,600,立,長=入	17.2	17.0	98.84	
		악,側,완,청1,500,立,短=行	21.0	2.03	96.67	
	벚짚	악,側,악,청1,500,立,短=寂	25.0	24.0	96.0	96.0
활성탄	악,側,완,청1,600,立,長=手	20.0	20.0	100.0	98.31	
	악,側,완,청1,600,立,長=痛	23.7	22.9	96.62		
수성탄소	악,側,완,청1,600,立,長=磨	25.0	24.9	99.60	99.60	

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.¹⁰⁾

10) 이 밖에도 충전 재료의 반죽을 잿물로 하기도 하고, 충전 재료 내에 솟 절편을 넣어서 실험하기도 하였으나 유의할만한 요소가 나타나지 않아서 생략하였다. 황동은 주탕도 190mm에도 실험하였으나 역시 부적합하였다.

<표 9> 실험 설정의 조건

1	어미자의 재료	① 밀랍, ② 왁스 등 2종
2	주형의 충전 재료	황토 1종
3	주형의 기능성 재료	① 종이 섬유, ② 벚짚, ③ 탄분(숫가루), ④ 유성 탄소, ⑤ 흑연, ⑥ 수성 탄소 등 6종
4	금속의 재료	청동1(구리 70% + 주석 30%) 1종
5	주조 활자의 수량 = 금속 용액의 주입 양	50개 = 약 300~350g 1종
6	문자 필획의 다과	50자 × 2 = 100자를 ① 8획 이하, ② 9~13획, ③ 14획 이상 등 3종으로 구분
7	문자면의 방향	측향 1종
8	주형의 소성 온도	600℃ 1종
9	금속 용액 주입 시 주형의 온도	① 600℃, ② 500℃, ③ 400℃ 등 3종
10	금속 용액의 주입 방향	입식 1종
11	주탕도의 길이	① 190mm, ② 110mm 등 2종
12	금속 용액의 온도	800~1000℃ 1종
13	금속 용액의 주입 방법	채래식 직접 주입 1종

5.2 實驗 結果의 分析

이상과 같은 단계별 조건을 조합하여 설정한 실험의 종류는 11종이다. 실험 결과를 분석하면 다음과 같다.

5.2.1 주조의 성공률

최고의 성공률은 100%로 1종류의 조건에서 나타났다. 전체의 성공률은 74.0%였다. 성공률이 높은 주된 이유는 금속 용액의 주입 방향을 입식으로 하면서 주입 압력을 높인 결과로 보인다.

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.¹¹⁾ 따라서 필자가 추적한 밀랍주조법은 직지활자를 주조하기 위하여 사용했던 방법일 가능성이 높은 것으로 보인다.

(1) 斷筆 문자: 필획이 끊어진 현상이 나타난 문자가 있다. 종이 섬유 2% + 활성탄 18%: 밀,側,완,청1,600,立,長의 경우에 國根肯其道東相西豎甚尋與池因在肇湊且次便琛 등 21개가 있고, 왁,側,완,청1,500,立,長에는 覺空當事師善垂示深祐依而藏這寂會之痛何和皇 등 21개가 있다. 종이 섬유 1% + 활성탄 5%: 왁,側,완,청1,400,立,短에는 茶達思善手侍這會之參何和 등 12개가 있고, 왁,側,완,청1,600,立,長에는 覺茶當同磨無保誰實深祐丈藏低座參痛何行和休 등 21개가 있다. 종이 섬유 1% + 유성 탄소 5%에는 覺介見空茶達當同蒙思師手垂誰示身實祐而藏這寂會之指參痛 등 27개가 있다. 종이 섬유 1% + 흑연 5%에는 去茶當磨蒙事思垂誰實而入藏這之指何廻 등 18개가 있다. 종이 섬유 1% + 수정 탄소 5%에는 覺茶當蒙無事思師善雪垂示丈藏低這寂之天痛何休 등 22개가 있다. 종이 섬유 0.5% + 수정 탄소 5.5%에는 覺介去見當磨無保事思雪手垂誰實而入丈藏佇這寂會何廻 등 25개가 있다. 벚짚 1% + 수정 탄소 5%에는 去空茶磨無善雪手垂誰實祐依佇寂指天痛何皇休 등 23개가 있다. 활성탄 5%에는 去見空茶當同無保事思師善雪垂示侍實深祐而入藏低佇這寂會天痛何行和皇廻休 등 35개가 있다. 수정 탄소 5%에는 去空無事思雪誰示汝祐而丈低這之指痛何皇廻 등 20개가 있다. 모두 합하면 245개로 60.20%에 이른다.

(2) 氣泡 문자: 문자면의 일부가 미세한 홈처럼 움푹 패인 결과 자적에 하얀 반점이 나타난 문자가 있다. 종이 섬유 2% + 활성탄 18%: 밀,側,완,청1,600,立,長의 경우에 根東萬阿二便 등 6개가 있고, 왁,側,완,청1,500,立,長에는 覺去蒙師手垂示而佇會天何行 등 13개가 있다. 종이 섬유 1% + 활성탄 5%: 왁,側,완,청1,400,立,短에는 達善何行 등 4개가 있고, 왁,側,완,청1,600,立,長에는 磨手祐何和廻 등 6개가 있다. 종이 섬유 1% + 유성 탄소 5%에는 介當同蒙雪手垂身實而寂指天何廻 등

11) 조형진, “「직지」의 자적에 나타난 직지활자의 특징 연구,” 『서지학연구』 제38집(2007. 12), 173-191. 이러한 특징은 의도하지 않았음에도 나타난 점으로 미루어 직지활자도 의도한 것이 아니었을 것으로 판단된다.

15개가 있다. 종이 섬유 1% + 흑연 5%에는 去磨蒙事雪佇行 등 7개가 있다. 종이 섬유 1% + 수성 탄소 5%에는 去空茶蒙垂誰示身深祐而寂曾指參天 등 16개가 있다. 종이 섬유 0.5% + 수성 탄소 5.5%에는 去磨無雪手示實深而丈 등 10개가 있다. 벚짚 1% + 수성 탄소 5%에는 空無手垂身汝丈座何廻休 등 11개가 있다. 활성탄 5%에는 空達當同善示侍身深丈佇這曾指天何休 등 17개가 있다. 수성 탄소 5%에는 去空汝 등 3개가 있다. 모두 합하면 108개다.

(3) 너털이 문자: 너털이가 있어서 잡먹이 나타난 문자가 있다. 종이 섬유 2% + 활성탄 18%: 밀,側,완,청1,600,立,長의 경우에 國道相西豎尋便 등 7개가 있고, 왁,側,완,청1,500,立,長에는 汝之 등 2개가 있다. 종이 섬유 1% + 활성탄 5%: 왁,側,완,청1,400,立,短에는 思侍 등 2개가 있고, 왁,側,완,청1,600,立,長에는 無保誰藏座參行廻 등 8개가 있다. 종이 섬유 1% + 유성 탄소 5%에는 見空茶師手依而曾指參痛 등 11개가 있다. 종이 섬유 1% + 흑연 5%에는 去見蒙而和 등 5개가 있다. 종이 섬유 1% + 수성 탄소 5%에는 而休 등 2개가 있다. 종이 섬유 0.5% + 수성 탄소 5.5%에는 去依藏這曾何廻 등 7개가 있다. 벚짚 1% + 수성 탄소 5%에는 去思誰寂座皇 등 6개가 있다. 활성탄 5%에는 雪侍深而曾 등 5개가 있다. 수성 탄소 5%에는 事思誰示汝祐而丈低痛廻 등 11개가 있다. 모두 합하면 66개에 이른다.

(4) 필획이 어긋난 문자: 필획이 교차하는 부분에서 하나의 필획이 두 획처럼 어긋난 문자가 있다. 종이 섬유 2% + 활성탄 18%: 밀,側,완,청1,600,立,長의 경우에 東이 있다. 종이 섬유 1% + 활성탄 5%: 왁,側,완,청1,400,立,短에는 達이 있다. 종이 섬유 1% + 수성 탄소 5%에는 皇이 그 예다.

(5) 缺筆 문자: 필획의 일부가 나타나지 않은 문자가 있다. 종이 섬유 2% + 활성탄 18%: 밀,側,완,청1,600,立,長의 경우에 相菴 등 2개가 있고, 왁,側,완,청1,500,立,長에는 保의 1개가 있다. 종이 섬유 1% + 활성탄 5%: 왁,側,완,청1,400,立,短에는 思侍會 등 3개가 있고, 왁,側,완,청1,600,立,長에는 覺茶誰身祐參痛 등 7개가 있다. 종이 섬유 1% + 유성 탄소 5%에는 見茶達雪誰身實依藏這參何 등 12개가 있다. 종이 섬유 1% + 흑연 5%에는 達藏 등 2개가 있다. 종이 섬유

1% + 수성 탄소 5%에는 蒙의 1개가 있다. 종이 섬유 0.5% + 수성 탄소 5.5%에는 覺寂 등 2개가 있다. 활성탄 5%에는 覺見空師雪身實祐這休 등 10개가 있다. 수성 탄소 5%에는 誰祐痛 등 3개가 있다. 모두 합하면 43개에 이른다.

(6) 필획이 변형된 문자: 굵거나 윤곽이 모호하거나 특이하게 변형된 문자가 있다. 종이 섬유 2% + 활성탄 18%: 脇,側,완,청1,500,立,長에는 之의 1개가 있다. 종이 섬유 1% + 활성탄 5%: 脇,側,완,청1,600,立,長에는 藏寂 등 2개가 있다. 종이 섬유 1% + 흑연 5%에는 磨의 1개가 있다. 종이 섬유 0.5% + 수성 탄소 5.5%에는 去의 1개가 있다. 벚짚 1% + 수성 탄소 5%에는 依寂行 등 3개가 있다. 활성탄 5%에는 天의 1개가 있다. 수성 탄소 5%에는 丈의 1개가 이에 해당한다.

(7) 묵등 문자: 필획 주변이 메워져서 까맣게 먹 덩어리로 나타나는 문자로 종이 섬유 1% + 활성탄 5%: 脇,側,완,청1,600,立,長의 수가 이에 해당한다. 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 종이 섬유 1% + 흑연 5%가 가장 높고 종이 섬유 1% + 유성 탄소 5%가 가장 낮았다.

이밖에 수치로 표현할 수는 없지만, 문자 전체의 필서체 자형이 어미자에 어느 정도 가까운가 하는 완성도가 있다. 이는 한눈에 판단할 수 있을 만큼 전반적으로 어미자의 자형에 가까웠으며, 이미 발표한 황토·백토·산청토·청토·옹기토·내화토의 실험 결과보다도 비교되지 않을 만큼 매우 높았다.

<표 10> 활자 자적의 특징 출현 빈도(기능성 재료 비율은 <표 3>과 같다.)

종이 섬유						벚짚	활성탄	유성 탄소	흑연	수성 탄소
활성탄		유성 탄소	흑연	수성 탄소						
75개 현상 ÷	67개 현상 ÷	65개 현상 ÷	33개 현상 ÷	42개 현상 ÷	45개 현상 ÷	43개 현상 ÷	68개 현상 ÷			38개 현상 ÷
78개 =	48개 =	43개 =	45개 =	50개 =	33개 =	37개 =	46개 =	-	-	27개 =
96.15%	139.58%	151.16%	73.33%	84.0%	136.36%	116.22%	147.83%			140.74%

5.2.4 활자의 수축률

수축률은 15개(3.69%)만 선별하여 측정하였지만, 평균 2.69% 수축되었다. 이는 주형 재료의 연구에서 나타난 4%와 매우 근사한 비율임을 알 수 있다.

5.2.5 어미자의 재료

밀랍 어미자의 금속활자 주조 성공률은 64.0%, 왁스는 75.0%로 나타나서, 밀랍의 대응으로 왁스는 효과적인 재료로 평가되었다.

5.2.6 주형의 충전 재료

황토는 높은 점성을 가진 점토로 600℃의 고온에도 견딜 수 있어서 밀랍주조법의 충전 재료가 될 수 있음을 거듭 확인하였다.

5.2.7 주형의 기능성 재료

종이 섬유 · 벚짚 · 활성탄 · 유성 탄소 · 흑연 · 수성 탄소 등을 혼합한 11개의 주형에 재래식 방법으로 무리 없이 금속 용액을 주입할 수 있었다. 이로써 금속 용액 주입 시 발생하는 가스를 흡수하는 기능이 있음을 파악하였다. 혼합 비율은

종이 섬유는 0.5~2%, 벚짖은 1%, 활성탄은 5~18%, 유성 탄소는 5%, 흑연은 5%, 수성 탄소는 5~5.5%였다.

유성 탄소와 흑연은 반드시 종이 섬유를 혼합하여야 했다. 종이 섬유는 주형의 균열을 방지하는 기능이 탁월하였다. 종이 섬유 이외의 기능성 재료의 비율이 높을수록 충전 재료의 결속력이 약화되므로, 종이 섬유의 비율도 높아야 했다. 즉 종이 섬유는 주형의 균열을 방지함으로써 주조의 성공률에까지 영향을 미칠 만큼 절대적이었다. 벚짖은 종이 섬유와 같은 기능이 있음을 확인하였다.

5.2.8 금속의 재료

청동1은 활자 주조용 금속으로 적합하였다.

5.2.9 주조 활자의 수량 = 금속의 주입 양과 주입 방법

금속의 주입 양은 활자 50개를 주조하는 300~350g 정도의 소량으로도 무리 없이 주입할 수 있었다. 주입 방법은 재래식으로 직접 주입하여도 충분하였다.

5.2.10 문자 필획의 다과

필획이 적을수록 성공률이 높게 나타나기는 했으나, 그 편차는 15.62%에 불과하였다.

5.2.11 문자면의 방향과 금속 용액의 주입 방향

문자면의 방향과 금속 용액의 주입 방향은 동일한 실험이다. 문자면의 측향은 금속 용액을 입식으로 주입하기 때문이다. 실험 결과는 74.0%로 나타났다.

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 600℃와 500℃의 주조 성공률이 비슷하게 나타나, 주형의 온도는 성공률과 별 관계가 없었다.

5.2.13 주탕도의 길이

주탕도의 길이는 190mm가 110mm보다 성공률이 22.0%나 더 높을 만큼 효과적인 임을 알 수 있었다.

5.2.14 실패의 원인

74.0%의 성공률은 26.0%의 실패를 의미한다. 그 원인을 분석하면 다음과 같다.

(1) 금속의 주입 압력: 주탕도를 110mm로 한 경우는 금속 용액의 주입 압력이 충분하지 못함을 확인할 수 있었다. 이를 190mm로 하여 금속 용액의 주입 압력을 높인 결과 지금까지 실패 원인으로 지적된 금속 기술의 미숙·주형 재료의 금속 용액 수용 적성 등의 문제가 거의 해소되었다. 따라서 금속 용액의 주입 압력을 높이는 것이 매우 중요함을 알 수 있다.

(2) 주형의 균열과 틈새: 주형 재료로 종이 섬유를 혼합하였다 할지라도, 주형에는 육안으로 보이지 않는 균열과 미세한 틈새가 있어서 금속 용액을 주입할 때 새는 경우가 있었다. 이는 주입 압력을 충분히 높일지라도 일부 주조 또는 주조 실패로 나타났다. 따라서 어미자군 매몰 시의 주형 재료 내의 기포나 주형 건조 시의 균열이 생기지 않도록 주의해야 한다.

6. 結 論

이상으로 황토와 여러 기능성 재료를 이용하여 금속활자를 효율적으로 주조할 수 있는 밀랍주조법의 구체적인 과정과 원리를 각 단계별로 다양한 조건을 설정하여 실험하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

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

(2) 주형의 재료: 충전 재료로 황토는 유용하였다. 기능성 재료로 종이 섬유·벚꽃·활성탄·유성 탄소·흑연·수성 탄소 등은 주조가 가능하도록 하는 기능을 가지고 있음을 확인하였다. 그 혼합 비율은 종이 섬유는 0.5~2%, 벚꽃은 1%, 활성탄은 5~18%, 유성 탄소는 5%, 흑연은 5%, 수성 탄소는 5~5.5%였다. 특히 종이 섬유는 주형의 균열을 방지하는 기능이 절대적일만큼 탁월하였고, 기타 기능성 재료의 비율이 높을수록 종이 섬유의 비율도 높아야 했다. 벚꽃은 종이 섬유와 같은 기능이 있음을 확인하였다.

(3) 금속의 재료 및 주입 양과 방법: 구리를 70%로 하는 청동 합금은 효과적이었다. 주입 양은 300~350g 정도의 소량을 800~1000℃로 가열하여, 재래식 방법으로도 주입할 수 있었다.

(4) 문자 필획의 다과: 필획이 적을수록 성공률이 높게 나타나기는 했으나, 그 편차는 15.62%에 불과하였다.

(5) 문자면의 방향과 금속 용액의 주입 방향: 문자면을 측향으로 하여 금속 용액을 입식으로 주입한 결과 74.0%의 성공률을 나타냈다.

(6) 주탕도의 굵기와 길이: 4.5 × 5.0mm 굵기의 주탕도로도 충분히 주입이 가능하였다. 길이는 190mm가 110mm보다 더욱 효과적이었다. 특히 주탕도의 길이는 금속 용액의 주입 압력을 높여서 성공률에 절대적인 영향을 미쳤다.

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

(8) 주조의 성공률과 수축률: 최고의 성공률은 100%로 1종류의 조건에서 나타났다. 전체의 성공률은 74.0%였다. 수축률은 2.69%였다.

(9) 활자 자적의 특징과 완성도: 활자의 자적을 분석하면 斷筆 문자·氣泡 문자·너덜이 문자·缺筆 문자·필획이 어긋나거나 변형된 문자·묵등 문자 등이 나타났다. 특기할 점은 이들 특징을 모두 「직지」에서도 발견할 수 있다. 활자의 완성도는 수치로 표현할 수 있는 요소는 물론, 수치로 표현할 수 없는 필서체 자형의 유사도까지 지금까지의 실험과는 비교되지 않을 만큼 매우 높았다. 따라서 본 연구가 제시한 밀랍주조법은 직지활자를 주조하기 위하여 사용했던 방법일 가능성이 높은 것으로 보인다.

(10) 실패의 원인: 주형의 균열과 틈새가 지적되었다. 이를 극복하기 위하여 주형 재료 내의 기포나 주형 건조 시의 균열이 생기지 않도록 주의할 필요가 있었다.

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 원리가 공인되어 전문 장인이 숙련된 기술로 주조할 경우 그 성공률은 훨씬 더 올라갈 수 있을 것이다.

(11) 밀랍주조법의 한계: 세 가지를 도출할 수 있었다.

① 어미자 생산성의 한계: 밀랍주조법은 금속활자를 주조할 수는 있다. 그러나 어미자 재료의 강도가 약하여 숙련된 각수가 어미자를 1시간에 겨우 1개밖에 조각하지 못하는 비능률적인 근본 문제를 안고 있다.¹²⁾ 따라서 다량¹³⁾을 주조해야 하는 금속활자에 적용하기에는 어미자의 생산성에 한계가 있을 수밖에 없다. 이는 소량의 청동기물 주조에 적합한 방법이다. 활자와 같이 극소형이면서 다량 주조해야 하는 경우는 다른 주조 방법을 모르거나, 여건이 갖추어지지 못한 부득이한 경우의 임시방편이나, 호기심 등에 의하여 예외적으로 시도해 볼 수 있는 정도로 짐작된다.

② 점토계 주형 재료의 한계: 점토계 주형 재료의 금속 용액 수용 적성이 용액을 수용할 수는 있으나 주물사보다 우수하지 못하여 금속의 재료·금속 용액의

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

13) 보편적인 서적을 인출하기 위한 활자 일수는 적게는 1~2만 개, 많게는 30여만 개가 필요하다.

주입 방향·주탕도의 굵기와 길이 등에서 제약이 있을 수밖에 없다. 더 나아가 주형의 건조 과정에서 부득불 나타나는 균열 현상과 육안으로 판단할 수 없는 미세한 틈새로 인한 변수는 활자 주조에 실패 요인으로 작용하면서도 미리 예측하거나 조정할 수 없다. 따라서 같은 조건의 주형이라도 결과가 같다는 보장이 없다. 이러한 요인으로 인하여 대량 주조를 필요로 하는 금속활자에 응용하기에는 성공률의 편차가 큰 恒常性 결여라는 한계가 있을 수밖에 없다.

또한 주형의 균열을 방지하기 위하여 주형을 가능한 한 얇게 제작하여야 하므로 활자의 높이가 낮아야 한다. 따라서 높이가 높은 활자의 주조에는 부적합할 수밖에 없다. 이같은 밀랍주조법의 기술적 문제는 「직지」 자적의 특징에서 추론된 문헌적 연구 결과¹⁴⁾와도 일치한다.

③ 사용 범주의 한계: 본 연구를 통하여 얻을 수 있는 또 하나의 결론은 밀랍주조법의 정의 내지는 사용 범주다. 밀랍주조법은 주형을 음양으로 분리할 수 없는 주물을 주조하는 방법이다. 주형을 분리할 수 없으므로 어미자의 재료는 완전연소가 가능하여야 하며, 주형 재료도 주물사가 아닌 점토를 충전 재료로 사용한다. 그러나 금속활자는 음양 분리가 가능한 주물이다. 따라서 밀랍주조법에는 최적이지 않다.

이러한 이유로 밀랍주조법으로 금속활자를 주조하는 것은 크게 유행하지 못하고, 한두 번 응용된 후 보편화 되지 못한 채, 주물사 등 다른 방법으로 대체된 것이 아닌가 한다.

<참고문헌>

- 조형진. “금속활자 밀랍주조법 주형재료: 탄분의 복원 실험 연구.” 『서지학연구』 제30집(2005. 6). 183-221.
 조형진. “금속활자 밀랍주조법 복원을 위한 문헌적 연구.” 『서지학연구』 제33집

14) 조형진, “직지활자의 주조, 조판 방법 연구,” 『서지학연구』 제39집(2008. 6), 80-82.

(2006. 6). 41-77.

조형진. “『직지』의 자적에 나타난 직지활자의 특징 연구.” 『서지학연구』 제38집 (2007. 12). 163-192.

조형진. “직지활자의 구조, 조판 방법 연구.” 『서지학연구』 제39집(2008. 6). 69-86.

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 옹기토를 이용한 밀랍주조법 실험 연구.” 『서지학연구』 제47집(2010. 12). 129-167.

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

조형진. “금속활자 밀랍주조법의 대량 구조 실험 연구.” 『서지학연구』 제49집 (2011. 9). 203-233.