

금속활자의 옹기토를 이용한 밀랍주조법 실험 연구

An Experimental Investigation of
The Metal Type Wax Casting Method Using Pottery 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 옹기토를 이용한 밀랍주조법의 구체적인 과정과 원리를 추적하였다.

(1) 어미자의 재료: 밀랍과 함께 왁스가 효과적이었다.

(2) 주형의 재료와 활자의 완성도: 충전 재료로 옹기토는 유용하였다. 기능성 재료로 활성탄·유성 탄소·흑연·종이 섬유·수성 탄소 등은 유용하였다. 그 혼합 비율은 활성탄이 50%, 유성 탄소와 흑연이 5%, 종이 섬유는 1%, 수성 탄소는 5~40%였다. 완성도는 수성 탄소 40%가 가장 높았고, 유성 탄소가 가장 낮았다.

(3) 금속의 재료 및 주입 양과 방법: 구리를 70%로 하는 청동은 효과적이었다. 주입 양은 300g 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: 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 92.0%였고, 전체의 성공률은 45.14%였다. 수축률은 4.77%였다.

(9) 동일 조건에서의 결과: 동일한 조건의 주형에서 나타난 결과는 6%의 차이가 있었다.

(10) 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, 옹기토, 활성탄, 유성 탄소, 흑연, 종이 섬유, 수성 탄소, 「직지」

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

접수일: 2010년 12월 6일 최초심사일: 2010년 12월 20일 심사완료일: 2010년 12월 27일

<ABSTRACT>

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

(1) Matrix material: Beeswax and injection wax were useful as the material.

(2) Mould material and type quality: Pottery clay was useful as the filling material. Activated carbon, oil carbon, graphite, paper fiber and water carbon, among others, were useful as the functional material. The mixture proportion was 50% for activated carbon, 5% for oil carbon and graphite, 1% for paper fiber, and 5~40% for water carbon. The quality of type was highest with 40% of water carbon and lowest with oil carbon.

(3) Metal components, pouring quantity, and pouring method: Bronze with 70% copper was effective. A small quantity of about 300 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 pouring direction was the most critical factor in determining the success rate of casting - putting the character face in the lateral direction and pouring metal fluid in a standing 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 enough as the burning temperature for mould. The success rate was not affected by the mould temperature when pouring metal fluid.

(8) The casting success rate and contraction rate: The highest success rate was 92.0%, and the overall success rate was 45.14%. The contraction rate was 4.77%.

(9) The results under the same condition: There was 6% variance in the result under the same moulding condition.

(10) The characteristics of type strokes: All the distinctive characteristics in 『Jikji』 were observed here. Therefore, it is highly likely that the wax casting method taken by this experiment is the same method that was actually used for Jikji type.

Key words: metal type, wax casting method, pottery clay, activated carbon, oil carbon, graphite, paper fiber, water carbon, 『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.

사찰 주도의 활자 인쇄는 문헌 기록이나 활자와 인쇄용구 등의 실물은 없지만, 인쇄의 최종 결과물인 금속활자본 「직지」 1책을 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 직지활자¹⁾의 특징과 주조·조판 방법을 분석한 연구가 있다.²⁾ 이 분석 결과에서 유추된 활자 조성 방법인 밀랍주조법의 구체적인 주조 과정을 문헌 연구를 통하여 추론한 연구가 있다.³⁾ 주조 과정을 복원하기 위한 첫 단계로 주형의 재료를 추적한 실험 연구가 있다.⁴⁾ 이밖에도 「직지」와

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

2) 1. 남권희 등, “프랑스국립도서관 소장 「직지」 원본 조사 연구,” 『서지학연구』 제35집(2006. 12), 59-81.

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

3. 이승철, “「직지」에 사용된 활자와 조판에 대한 분석 요구,” 『서지학연구』 제38집(2007. 12), 377-411.

4. 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.

밀랍주조법에 관한 연구가 있다.⁵⁾

이상의 연구를 종합하면 아직까지 직지활자를 주조하기 위한 완전한 밀랍주조법은 복원되지 못한 실정이다. 본 연구는 「직지」 및 직지활자를 복원하기 위하여, 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.

- 4) 1. 조형진, “금속활자 밀랍주조법 주형재료: 탄분의 복원 실험 연구,” 『서지학연구』 제30집(2005. 6), 183-221.
2. 조형진, “금속활자 밀랍주조법 주형재료: 흑연의 복원 실험 연구,” 『서지학연구』 제31집(2005. 9), 33-56.
3. 조형진, “금속활자 밀랍주조법 주형재료: 탄분 + 지섬유의 복원 실험 연구,” 『서지학연구』 제32집(2005. 12), 107-130.
4. 이승철, “금속활자 주조를 위한 밀랍주조법의 주물토 실험연구,” 『서지학연구』 제34집(2006. 9), 129-155.
5. 이승철, “밀랍을 이용한 금속활자의 대량주조법과 주형토의 물리적 특성에 대한 실험연구,” 『서지학연구』 제37집(2007. 9), 201-219.
6. 조형진, “금속활자 밀랍주조법 주형재료: 유성탄소의 복원 실험 연구,” 『한국과학사학회지』 제29권 제2호(2007. 12), 351-373.
- 5) 1. 라경준 등, “『직지』 금속활자 복원에 관한 실험적 연구,” 『한국과학사학회지』 제28권 제1호(2006. 6), 139-160.
2. 박문열, “밀랍주조법의 복원에 관한 실험적 연구,” 『서지학연구』 제33집(2006. 6), 79-105.
3. 조형진, “금속활자의 황토를 이용한 밀랍주조법 실험 연구,” 『서지학연구』 제43집(2009. 9), 41-92.
4. 조형진, “금속활자의 백토를 이용한 밀랍주조법 실험 연구,” 『서지학연구』 제44집(2009. 12), 119-160.

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 어미자의 재료인 밀랍·왁스 별로 각각 50개씩 무작위로 추출하였다. 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.

<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)	迤(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

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 문자의 필획을 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.⁶⁾

(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.

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

(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 叢). 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.

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 오목하게 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 \times 3 = 150개, 왁스 어미자 50개 \times 12 = 600개, 총 750개이다.

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 작업 중에 미세한 불순물을 수시로 제거하여야 한다. ④ 실험 소요량보다 여유 있게 주조하여 추가 수요에 대비하여야 한다. ⑤ 관건은 실리콘 주형과 밀랍·왁스의 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	迤
	因	日	在	滴	肇	住	湊	地
	且	次	着	錯	出	琛	陀	便
	下	香						

<표 2> 계속

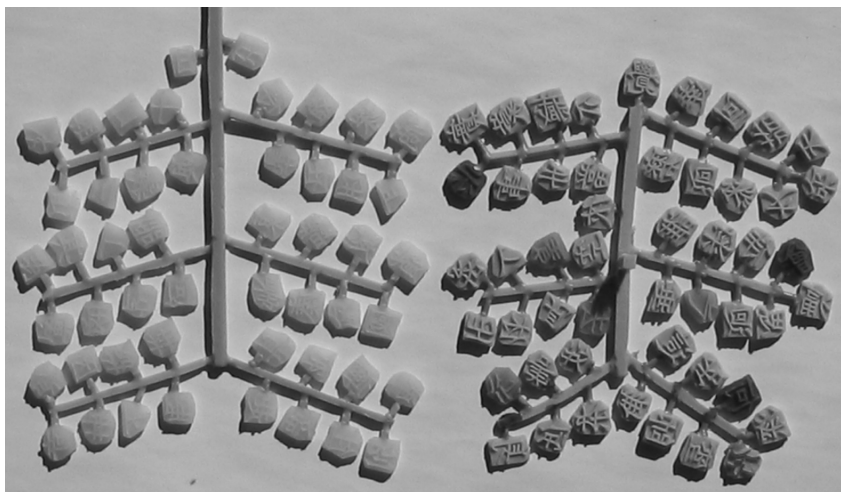
옥스 어미자	覺	介	去	見	空	叅	達	當
	同	磨	蒙	無	保	事	思	師
	善	雪	手	垂	誰	示	侍	身
	實	深	汝	祐	依	而	入	丈
	藏	低	佇	這	寐	座	曾	之
	指	叅	天	痛	何	行	和	皇
	迴	休						

2.4.4 어미자군의 성형

어미자를 50개씩 모아서 어미자군으로 성형하였다. 이를 위하여 탕도가 될 밀랍 주봉·중간봉·가지봉을 준비하였다. 밀랍 주봉은 가로 세로 4.5×5.0mm짜리를 110mm 정도의 길이로 재단하였다. 중간봉은 2.5×3mm짜리를 65mm 정도의 길이로, 가지봉은 직경 2mm의 원통형을 길이 10mm 이내로 재단하였다.

탕도의 굵기는 필자의 실험적 감각으로 예측한 수치다. 탕도는 금속 용액의 주입과 열효율에 관련되어 충분히 주입할 수 있으면서 가늘수록 효율적이다.

어미자군의 성형은 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 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 140×150mm 정도였다.



<사진 1> 성형된 어미자군(밀,側,효과 왁,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 밀랍봉의 양측을 녹여서 붙여야 한다.

이 같은 어미자군을 밀랍 3개, 왁스 12개 총합 15개를 준비하였다.

3. 鑄型の 材料와 調製

3.1 鑄型の 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 활자 구조에 적합한 성질이나 기능의 점토를 밝히기 위한 것이므로, 성분이 확인된 옹기토를 사용하였다.

옹기토는 옹기 그릇을 굽는데 사용하는 인공 점토다. 소성 전에는 회갈색·붉은색 또는 황색 등을 띠고 있다. 황토와 같이 1,150℃ 이상에서는 찌그러지므로 도자기 재료로는 사용할 수 없다.

3.2 鑄型的 機能性 材料

기능성 재료는 충전 재료의 금속 구조에 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)·유성 탄소·흑연· 종이 섬유·수성 탄소 등을 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 200MESH를 사용하였다. 활성탄은 고열에 가열된 물질이므로 고온 안정성이 높다. 즉 주형을 소성할 때 수축률을 낮출 수 있다.

3.2.2 유성 탄소

비금속의 화학 물질 군에 속하며 아세틸렌 블랙 등의 동의어를 가지고 있는 그을음이다. 흑색이며, 냄새는 없고, 분말 상태의 고체로 물에 용해되지 않는다. 발암성 의심 물질로 알려져 있다. 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.

3.2.3 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.

3.2.4 종이 섬유

종이 섬유는 주형이 건조되거나 소성될 때 변형이나 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 찼다. ④ 물속에서 섬유를 풀어 해쳤다. ⑤ 충전 재료에 골고루 혼합하였다.

3.2.5 수성 탄소

그을음이다. 이는 재래식 난방용 화목 보일러에 장기간 소나무를 태워서 형성

된 그을음, 즉 송연을 굵어서 채취하였다. 이를 건조시킨 후 공이로 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 범한 진통 재료라고 할 수 있다.

- ① 옹기토를 필요한 양만큼 측정하여 6개의 반죽 용기에 구분하여 담았다.
- ② 물을 가하면서 진한 반죽이 되도록 풀었다.
- ③ 활성탄 50%·유성 탄소 5%·흑연 5%·종이 섬유 1%와 수성 탄소 5%·수성 탄소 40%·수성 탄소 10%씩 중량을 측정하였다.
- ④ 이를 각각 혼합하여 6종류의 주형 재료를 조제하였다.

기능성 재료의 혼합 비율은 필자의 실험적 감각으로 예측한 수치다. 이는 옹기토가 기능성 재료의 입자를 엉겨 붙도록 하는 범위 내에서 최대치와 최소치를 추출하기 위한 것이다(표 3 참조).

<표 3> 주형 재료의 혼합 비율과 수분 함유율(%)

기능성 재료 충전 재료	활성탄		유성 탄소		흑연		종이 섬유 + 수성 탄소		수성 탄소			
	50	60.0	5	65.0	5	65.0	1+5	65.0	40	60.0	10	65.0
옹기토	수분	40.0	수분	35.0	수분	35.0	수분	35.0	수분	40.0	수분	35.0

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 35.0%~40.0%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.鑄型和活字의製作

4.1鑄型の製作

4.1.1 주형틀의 제작

목재로 사각형의 틀을 제작하였다. 어미자군을 포용하면서 두께 20~30mm 정도의 주형을 전체로 하여 내경의 가로 세로 높이를 170×170×50mm로 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 문자면의 불순물을 제거하였다. ② 붓으로 주형 재료를 약간 묽게 조절하면서 어미자군의 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 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 17~25mm

정도까지 나타났다. ⑨ 금속 주입구 부분을 표시하여 확인할 수 있도록 하였다. 이 충전 작업은 1일이 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. 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: 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·충전 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 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 금속 용액 주입용 깔대기를 제작하여 주입구를 조성하였다. 깔대기는 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

점도가 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.⁷⁾ 건조는 자연 건조이므로, 균열을 방지하는 핵심은 주형을 얇게 제작하는 것이다.

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. 그 정도를 구분하면 다음과 같다.

- (1) 완전: 균열 없이 완전한 경우다. 종이 섬유를 혼합한 주형은 완전하였다.
- (2) 미세한 균열: 한두 곳이 0.5mm 이내의 균열로 보수가 필요한 정도다. 본 실험에서는 나타나지 않았다.
- (3) 약간 균열: 두세 곳이 0.5~3mm 정도로 균열되었지만, 주형은 부러지거나 깨지지 않은 상태다. 보수가 필요하다. 활성탄·유성 탄소·흑연·수성 탄소를

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.

혼합한 주형에서 나타났다.

(4) 매우 균열 = 건조 파손: 3mm 이상 균열되거나 주형이 부러지거나 일부가 떨어져나간 정도다. 본 실험에서는 나타나지 않았다.

보수를 위하여 주형의 변형이나 균열 상태를 예의 주시하였다. 변형은 중앙 부분이 볼록 나오는 형태로 나타났다. 균열도 중앙부터 시작하여 다양하게 나타났다. 볼록 나오는 주형은 조심스럽게 힘을 가하여 평평히 폈다. 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.

4.1.6 완전 건조

15일 정도 경과하면 주형의 색깔이 밝아지는 현상이 보인다. 이즈음 주형을 눕혀서 시간적 여유를 가지고 충분히 건조시켰다. 완전히 건조된 주형은 150~165mm 정도까지 수축되어 2.94~11.76%의 수축률을 보였다. 수축률은 기능성 재료를 적게 첨가한 주형이 컸고, 많이 첨가한 주형이 작았다. 15개의 주형에서 나타난 상황은 <표 4>와 같다.

<표 4> 주형의 조건별 실험 상황표

가능성 재료 충전 재료	활성탄		유성 탄소	흑연	종이 섬유 + 수성 탄소		수성 탄소		
							40%	10%	
옹기토	왁,上, 약,60 0,-,소	왁,側, 약,청1.4 50,立	밀,上, 약,청1.5 00,平	밀,上, 약,청1.6 00,平	왁,下, 완,청1.5 00,平	왁,側, 완,청1.4 50,立	왁,上, 약,청1.5 00,平	왁,側, 약,청1.4 00,立	밀,上, 약,청1.5 00,平
			왁,側, 약,청1.5 00,立	왁,側, 약,청1.4 00,立					왁,側, 약,청1.4 00,立
			왁,側, 약,청1.5 00,立	왁,側, 약,청1.5 00,立					왁,側, 약,청1.4 50,立

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(소성) 순.
2. 어미자의 재료: 밀 = 밀랍, 왁 = 왁스.
3. 문자면의 방향: 상 = 상향, 하 = 하향, 측 = 측향.
4. 주형의 균열 정도: 완 = 완전, 약 = 약간 균열.
5. 금속의 재료: 청1 = 청동1.
6. 주형의 온도: 금속 용액 주입 시, 주형의 온도.
7. 금속 용액의 주입 방향: 평 = 평식 주입, 입 = 입식 주입.
8. 파손 상태: 소 = 소성 파손, 1개. 나머지는 금속 용액을 주입한 경우로 모두 14개며 본 연구의 주된 실험이다.

4.2 金屬 鑄液의 鑄入

4.2.1 합금 재료의 준비

4.2.1.1 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 어미자균의 용출과 주형의 소성

① 주형 15개를 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. 소성 결과 파손된 주형은 활성탄의 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. 14개의 주형에 금속을 주입할 때의 주형 온도는 <표 4>와 같다. ⑦ 금속 용액의 주입이 끝나면, 식기를 기다렸다가 다음 작업을 진행하였다.

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 300g 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. 이는 실패로 나타나므로 주형 재료에 기포가

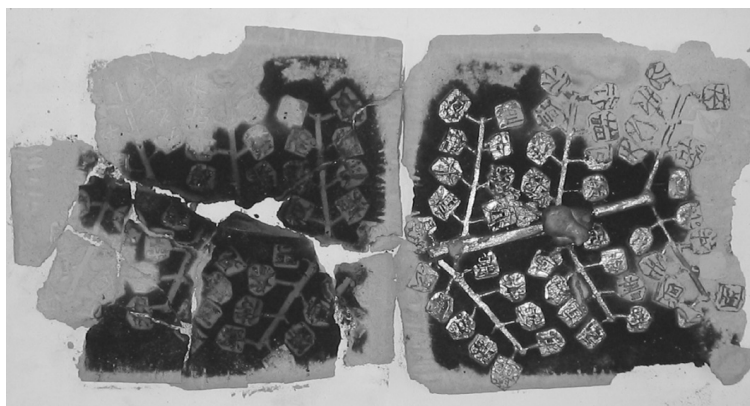
생기지 않도록 하여야 하며, 소성 과정까지도 조심스럽게 다루는 주의가 필요하였다.

이와 같은 과정을 통하여 주형 내의 어미자 공간에 활자군이 형성되었다. 이번 실험에서는 주조 조건이 동일할 경우, 결과가 어떻게 나타나는가를 비교하기 위하여 유성 탄소, 왁,側,약,청1,500,立的 주형을 복수로 제작하여 실험하였다.

4.3 活字의 抽出 및 成功率과 收縮率

4.3.1 활자의 추출

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



<사진 2> 활자 추출을 위하여 양분한 주형(수성 탄소40, 왁, 上, 약, 청1,500, 平)

② 활자는 탕도와 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 뽕죽한 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. 그러나 줄로 슬어 내거나 문자면을 갈아야 하는 경우는 매우 적었다. ⑩ 활자 보관 용기에 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 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)

가능성 재료 충전 재료	활성탄 50%		유성 탄소 5%	흑연 5%	종이 섬유 1% + 수성 탄소 5%		수성 탄소		총계	
	-	19			24	10%	40%	10%		
웅기토	-	19	2	4	2	20	24	46	21	316 (45.14%)
			25	46					32	
			22	39					14	
소 계	19 (38.0%)	49 (32.67%)	89 (59.33%)	22 (22.0%)	70 (70.0%)	67 (44.67%)				

(1) 최고의 성공률: 흑연 + 왁스 + 문자면 측향 + 청동1 + 주형 온도 400℃ + 입식 주입의 경우와 수성 탄소 40% + 왁스 + 문자면 측향 + 청동1 + 주형 온도 400℃

+ 입식 주입의 경우가 92.0%로 가장 높았다.

(2) 전체의 성공률⁸⁾: 성공한 금속활자의 수량은 316개다. 이를 위하여 사용한 어미자의 수량은 주형 14개 × 어미자 50개 = 700개다. 따라서 성공률은 $316 \div 700 = 45.14\%$ 로 나타났다.

(3) 주형의 기능성 재료별 성공률과 완성도: 활성탄이 $19 \div 50 = 38.0\%$, 유성탄소가 $49 \div 150 = 32.67\%$, 흑연이 $89 \div 150 = 59.33\%$, 종이 섬유와 수성 탄소가 $22 \div 100 = 22.0\%$, 수성 탄소 40%가 $70 \div 100 = 70.0\%$, 수성 탄소 10%가 $67 \div 150 = 44.67\%$ 로 나타나서 수성 탄소 40%가 가장 높았다.

활자의 완성도, 즉 활자의 자적이 어미자 자적과 근접한 정도는 수성 탄소 40%가 가장 높았고, 유성 탄소가 가장 낮았다(“5.2.3 활자의 완성도” 참조).

(4) 어미자의 재료별 성공률: 밀랍이 $27 \div 150 = 18.0\%$, 왁스가 $289 \div 550 = 52.55\%$ 였다.

(5) 문자면의 방향별 성공률: 상향이 $51 \div 200 = 25.5\%$, 하향이 $2 \div 50 = 4.0\%$, 측향이 $263 \div 450 = 58.44\%$ 로 나타나서 측향이 월등히 높았다.

(6) 금속의 재료별 성공률: 모두 청동1을 사용하였으므로 $316 \div 700 = 45.14\%$ 였다.

(7) 주형의 온도별 성공률: 600℃가 $4 \div 50 = 8.0\%$, 500℃가 $135 \div 300 = 45.0\%$, 450℃가 $53 \div 150 = 35.33\%$, 400℃가 $124 \div 150 = 82.67\%$ 로 각각 나타났다.

(8) 금속 용액의 주입 방향별 성공률: 평식이 $53 \div 250 = 21.20\%$, 입식이 $263 \div 450 = 58.44\%$ 로 위치 에너지를 이용하는 입식이 월등히 높게 나타났다.

(9) 동일 조건에서의 성공률: 유성 탄소 5% + 왁스 + 문자면 측향 + 약간 균열 + 청동1 + 주형 온도 500℃ + 입식 주입의 조건으로 2개의 주형에 주입한 결과 각각 50%와 44%로 나타났다.

성공한 금속활자의 자적은 <표 6>과 같다.

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

<표 6> 성공한 금속활자의 자적

실험조건 : 활성탄	금속활자의 자적						
와,側,약, 청1,450, 立	覺	介	見	無	事	師	示
	實	深	祐	依	而	低	這
	座	曾	行	和	休		
실험조건 : 유성탄소	금속활자의 자적						
밀,上,약, 청1,500, 平	背	兩					
와,側,약, 청1,500, 立	覺	介	空	達	當	同	雪
	垂	誰	示	深	祐	休	而
	丈	低	曾	之	指	天	痛
	何	行	和	皇			

약,側,약, 청1,500, 立	覺	同	無	保	思	師	善
	手	示	侍	身	實	依	而
	入	座	之	指	天	何	和
	休						
실험조건 : 흑연	금속활자의 자적						
밑,上,약, 청1,600, 平	萬	與	肇	住			
약,側,약, 청1,400, 立	覺	介	决	空	茶	遠	當
	同	磨	蒙	無	事	思	師
	善	雪	手	垂	誰	示	侍
	身	實	深	汝	祐	依	而
	入	丈	藏	低	這	座	會
	之	指	叅	天	痛	何	行
和	皇	迴	休				

약, 側, 약, 칭1,500, 立	覺	介	見	茶	達	當	同
	蒙	無	保	事	思	師	雪
	手	垂	誰	示	侍	身	汝
	依	而	入	丈	藏	佇	低
	這	座	曾	之	叅	天	痛
	行	和	皇	迴			
실험조건 : 종이섬유	금속활자의 자적						
약, 下, 完, 칭1,500, 平	雪	指					
약, 側, 完, 칭1,450, 立	覺	達	當	蒙	無	事	思
	雪	手	垂	深	而	入	丈
	藏	這	亦	曾	六	迴	
실험조건 : 수성탄소 40%	금속활자의 자적						

약,上,약, 청1,500, 平	覺	介	去	無	思	雪	手
	示	汝	祐	入	丈	低	這
	座	曾	之	指	天	痛	行
	皇	迴	休				
약,側,약, 청1,400, 立	覺	介	去	見	空	叅	達
	當	同	磨	蒙	無	保	事
	思	師	苦	雪	手	垂	誰
	示	侍	身	實	深	汝	祐
	依	入	丈	藏	竹	低	寐
	座	曾	之	指	叅	痛	何
行	和	呈	休				
실험조건 : 수성탄소 10%	금속활자의 자적						

밑,上,약, 칭1,500, 平	肯	其	起	道	得	別	三
	西	甚	尋	阿	兩	要	義
	池	日	滴	次	錯	便	香
약,側,약, 칭1,400, 立	覺	見	空	同	磨	保	事
	思	善	誰	侍	實	汝	祐
	而	入	藏	佇	低	這	宋
	之	指	叅	天	痛	何	行
	和	皇	迴	休			
약,側,약, 칭1,450, 立	空	同	磨	無	空	實	深
	祐	依	而	低	座	之	行

(10) 필획의 다과별 성공률: 어머니와 성공한 금속활자의 수량과 분포율은 <표 7>과 같다. 활자의 어머니 대비 증감률은 8획 이하가 105.04%, 9~13획이 94.19%, 14획 이상이 100.73%였다. 8획 이하와 14획 이상이 9~13획보다 높으면서, 이 양자의 편차가 4.31%에 불과하였다. 즉 필획의 다과는 성공률과 거의 무관함을 알 수 있다.

<표 7> 어미자 및 성공한 금속활자의 필획 다과별 수량과 분포율

어미자	금속활자							어미자 대비 증감율
	활성탄 50%	유성 탄소 5%	흑연 5%	종이 섬유 1% + 수성 탄소 5%	수성 탄소		총계	
					40%	10%		
8획 이하 47개, 47.0%	10개 52.63%	29개 59.18%	43개 48.31%	7개, 31.82%	34개, 48.57%	33개 49.25%	156개 49.37%	49.37 ÷ 47.0 = 105.04%
9~13획 42개, 42.0%	7개 36.84%	16개 32.65%	36개 40.45%	12개, 54.55%	29개, 41.43%	25개 37.31%	125개 39.56%	39.56 ÷ 42.0 = 94.19%
14획 이상 11개, 11.0%	2개 10.53%	4개 8.16%	10개 11.24%	3개, 13.64%	7개, 10.0%	9개 13.43%	35개 11.08%	11.08 ÷ 11.0 = 100.73%
합계 100개, 100%	19개 100%	49개 100%	89개 100%	22개, 100%	70개, 100%	67개 100%	316개 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 95.23%로 4.77% 수축되는 것으로 나타났다.

<표 8> 실측 대상 문자의 길이(200%)와 수축률

표 본		어미자(mm)	금속활자(mm)	수축률(%)	평균(%)
활성탄	악,側,약,청1,450,立=祐	23.6	21.8	92.37	95.17
	악,側,약,청1,450,立=這	24.6	24.1	97.97	
유성 탄소	악,側,약,청1,500,立=覺	24.0	23.9	99.58	94.45
	악,側,약,청1,500,立=同	21.9	21.0	95.89	
	악,側,약,청1,500,立=侍	23.9	21.0	87.87	
흑연	밀,上,약,청1,600,平=與	23.9	21.1	88.28	93.80
	악,側,약,청1,400,立=同	21.9	21.1	96.35	
	악,側,약,청1,500,立=茶	24.8	24.0	96.77	

표 본		어미자(mm)	금속활자(mm)	수축률(%)	평균(%)	
종이 섬유	악,側,약,청1,450,立=覺	24.0	23.8	99.17	94.54	95.23
	악,側,약,청1,450,立=事	25.1	22.9	91.24		
	악,側,약,청1,450,立=寂	25.0	23.3	93.20		
수성 탄소	악,側,약,청1,400,立=見	20.0	19.6	98.00	97.44	
	악,側,약,청1,400,立=佇	22.9	22.7	99.13		
	밀,上,약,청1,500,平=阿	21.3	20.5	96.24		
	악,側,약,청1,450,立=磨	25.0	24.1	96.40		

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 왁스 등 2종
2	주형의 충전 재료	용기토 1종
3	주형의 기능성 재료	① 탄분(숫가루), ② 유성 탄소 ③ 흑연, ④ 종이 섬유, ⑤ 수성 탄소 등 5종
4	금속의 재료	① 청동1(구리 70% + 주석 30%), 1종
5	주조 활자의 수량 = 금속 용액의 주입 양	50개 = 약 300g 1종
6	문자 필획의 다과	50자 × 2 = 100자를 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	400℃에서 600℃까지 4종
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 14종이다. 실험 결과를 분석하면 다음과 같다.

5.2.1 주조의 성공률

최고의 성공률은 92.0%로 2종류의 조건에서 나타났다. 전체의 성공률은 45.14%였다. 전체의 성공률이 높은 주된 이유는 금속 용액의 주입 방향으로 입식을 많이 실험한 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.⁹⁾ 따라서 필자가 추적한 밀랍주조법은 직지활자를 주조하기 위하여 사용했던 방법일 가능성이 높은 것으로 보인다.

(1) 斷筆 문자: 필획이 끊어진 현상이 나타난 문자가 있다. 황성탄의 경우에 覺介見無示實深而這座曾和休 등 13개가 있다. 유성 탄소에는 肯覺空達當雪垂誰示深祐依而丈低曾之指天痛何和皇覺同保手示身實座之指何和休 등 36개가 있다. 흑연에는 萬與肇介去空茶達當同磨蒙無事思師善手垂示侍身實汝祐依而丈低這座之指參天痛何行和廻曾休皇覺介當同蒙保事思師雪手垂誰身依這座之痛和皇廻 등 65개가 있다. 종이 섬유에는 覺達當蒙無事思手垂深而藏這之廻雪指 등 17개가 있다. 수성 탄소에는 覺介去無思雪手汝祐入丈低這座曾之指天痛行皇廻休(와, 上, 약, 청1,500, 平) 覺去見茶達當同蒙事思善雪誰示身實祐依低寂座曾之參何和(40%, 와, 側, 약, 청1,400, 立) 肯其道得別西甚尋兩要義迪滴次錯便

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

香(밀,上,약,청1,500,平)見磨保事思善誰實汝而藏佇低這寂之指參痛和皇廻休(10%,악,側,약,청1,400,立)空磨雪實祐依低之行(악,側,약,청1,450,立) 등 98개가 있다. 모두 합하면 229개로 72.47%에 이른다.

(2) 氣泡 문자: 문자면의 일부가 미세한 흠처럼 움푹 패인 결과 자적에 하얀 반점이 나타난 문자가 있다. 유성 탄소의 경우에 肯(밀,上,약,청1,500,平)介同依而丈低曾痛何皇(악,側,약,청1,500,立)同保依(악,側,약,청1,500,立) 등 14개가 있다. 흑연에는 肇(밀,上,약,청1,500,平)茶達師雪手丈休(악,側,약,청1,400,立)茶達當同蒙事市入(악,側,약,청1,500,立) 등 16개가 있다. 종이 섬유에는 無事入 등 3개가 있다. 수성 탄소에는 無手示(악,上,약,청1,500,平)蒙善低(40%,악,側,약,청1,400,立)藏之天廻休(10%,악,側,약,청1,400,立)依之(악,側,약,청1,450,立) 등 13개가 있다. 모두 합하면 46개다.

(3) 너덜이 문자: 너덜이가 있어서 잡먹이 나타난 문자가 있다. 활성탄의 경우에 見無師低座 등 5개가 있다. 유성 탄소에는 介同示祐曾天何皇覺同實依而 등 13개가 있다. 흑연에는 肇空師實痛休同低廻 등 9개가 있다. 종이 섬유에는 達思丈曾廻 등 5개가 있다. 수성 탄소에는 覺無丈座曾指痛皇(악,上,약,청1,500,平)覺當師雪低(40%,악,側,약,청1,400,立)得尋義滴便(밀,上,약,청1,500,平)見事實痛休(10%,악,側,약,청1,400,立)空雪(악,側,약,청1,450,立) 등 25개가 있다. 모두 합하면 57개에 이른다.

(4) 缺筆 문자: 필획의 일부가 나타나지 않은 문자가 있다. 활성탄의 경우에 見深 등 2개가 있다. 유성 탄소의 경우에 覺低覺無休 등 5개가 있다. 흑연의 경우에 師身丈座指參誰這痛 등 9개가 있다. 종이 섬유에는 蒙深而藏寂 등 5개가 있다. 수성 탄소에는 善皇(악,上,약,청1,500,平)覺痛(40%,악,側,약,청1,400,立)其(밀,上,약,청1,500,平)覺誰祐參痛(10%,악,側,약,청1,400,立)雪(악,側,약,청1,450,立) 등 11개가 있다. 모두 합하면 32개에 이른다.

(5) 필획이 변형된 문자: 굵거나 윤곽이 모호하거나 특이하게 변형된 문자가 적지 않다. 활성탄에서는 示低休 등 3개가 이에 해당한다. 유성 탄소에서는 肯雪依而丈之天痛何覺同無依而座 등 15개가 이에 해당한다. 흑연에서는 肇去茶達

師手侍實痛何休茶事示身丈竹低曾廻 등 20개가 이에 해당한다. 종이 섬유의 無藏之 등 3개 문자가 이에 해당한다. 수성 탄소의 座(와,上,약,청1,500,平)覺無(40%,와,側,약,청1,400,立)起道尋兩滴次便(밀,上,약,청1,500,平)空磨之(10%,와,側,약,청1,400,立)參行休(와,側,약,청1,450,立) 등 16개 문자가 이에 해당한다.

(6) 묵등 문자: 필획 주변이 메워져서 까맣게 먹 덩어리로 나타나는 문자로 활성탄의 見, 종이 섬유의 思曾, 수성 탄소의 無丈痛(와,上,약,청1,500,平)當無(40%,와,側,약,청1,400,立)實(10%,와,側,약,청1,400,立) 등 9개가 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 수성 탄소 40%가 가장 높았고, 유성 탄소가 가장 낮았다.

<표 10> 활자 자적의 특징 출현 빈도

활성탄 50%	유성 탄소 5%	흑연 5%	종이 섬유 1% + 수성 탄소 5%	수성 탄소	
				40%	10%
24개 현상 ÷ 19개 = 126.32%	83개 현상 ÷ 49개 = 169.39%	119개 현상 ÷ 89개 = 133.71%	35개 현상 ÷ 22개 = 159.09%	80개 현상 ÷ 70개 = 114.29%	89개 현상 ÷ 67개 = 132.84%

5.2.4 활자의 수축률

수축률은 15개(4.75%)만 선별하여 측정하였지만, 평균 4.77% 수축되었다. 이는 주형 재료의 연구에서 나타난 4%와 매우 근사한 비율임을 알 수 있다.

5.2.5 어미자의 재료

밀랍 어미자의 금속활자 주조 성공률은 18.0%, 왁스는 52.55%로 나타나서, 밀랍의 대응으로 왁스가 충분한 기능을 가지고 있는 것으로 평가되었다.

5.2.6 주형의 충전 재료

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

5.2.7 주형의 기능성 재료

활성탄·유성 탄소·흑연· 종이 섬유·수성 탄소 등을 혼합한 14개의 주형에 재래식 방법으로 무리 없이 금속 용액을 주입할 수 있었다. 이로써 금속 용액 주입 시 발생하는 가스를 흡수하는 기능이 있음을 파악하였다. 혼합 비율은 활성탄이 50%, 유성 탄소·흑연이 5%, 종이 섬유는 1%, 수성 탄소는 5~40%였다.

활성탄을 혼합한 주형은 성공률이 38%로 높게 나타났다. 유성 탄소와 흑연은 혼합 비율에 따라 유용한 것으로 판명되었다. 수성 탄소는 기능이 탁월하였다.

5.2.8 금속의 재료

청동1은 활자 주조용 금속으로 적합하였다.

5.2.9 주조 활자의 수량 = 금속의 주입 양과 주입 방법

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

5.2.10 문자 필획의 다과

필획의 다과는 성공률과 거의 무관하였다. 이는 주조 성공률이 낮을 경우에는 필획의 다과가 성공률과 관계가 있지만, 성공률이 높아지면 필획의 다과가 성공률과 별 관계없음을 의미한다.

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 상향이 25.5%, 하향이 4.0%, 측향이 58.44%로 나타나서 측향이 월등히 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 성공률이 각각 나타나서 별 관계가 없었다.

5.2.13 동일 조건에서의 결과

유성 탄소 5% + 왁스 + 문자면 측향 + 약간 균열 + 청동1 + 주형 온도 500℃ + 입식 주입의 조건인 2개의 주형에서 나타난 결과는 성공률이 각각 50%와 44%로 6%의 차이가 있음을 알 수 있었다.

5.2.14 실패의 원인

45.14%의 성공률은 54.86%의 실패를 의미한다. 그 원인을 분석하면 다음과 같다.

(1) 금속 용액의 주입 방향 = 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 금속 용액의 주입 압력이 약하여 어미자의 필획까지 속속들이 주입되지 못한 것으로 보인다. 따라서 금속을 힘있게 주입할 수 있는 숙련된 기술이 절대적으로 필요함을 알 수 있다.

(2) 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.

6. 結 論

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

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

(2) 주형의 재료와 활자의 완성도: 충전 재료로 옹기토는 유용하였다. 기능성 재료로 활성탄·유성 탄소·흑연·종이 섬유·수성 탄소 등은 주조가 가능하도록 하는 기능을 가지고 있음을 확인하였다. 그 혼합 비율은 활성탄이 50%, 유성 탄소와 흑연이 5%, 종이 섬유는 1%, 수성 탄소는 5~40%였다. 완성도는 수성 탄소 40%가 가장 높았고, 유성 탄소가 가장 낮았다.

(3) 금속의 재료 및 주입 양과 방법: 구리를 70%로 하는 청동 합금이 효과적이었다. 주입 양은 300g 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: 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 92.0%로 2종류의 조건에서 나타났다. 전체의 성공률은 45.14%였다. 수축률은 4.77%였다.

(9) 동일 조건에서의 결과: 동일한 조건인 2개의 주형에서 나타난 결과는 성공률이 각각 50%와 44%로 6%의 차이가 있었다.

(10) 활자 자적의 특징: 활자의 자적을 분석하면 斷筆 문자·氣泡 문자·너덜이 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.

(11) 실패의 원인: 금속 용액의 주입 방향·주형의 균열 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.¹⁰⁾ 따라서 다량을 주조해야 하는 금속활자에 적용하기에는 한계가 있을 수밖에 없다. 이러한 이유로 밀랍주조법으로 금속활자를 주조하는 것은 크게 유행하지 못한 것이 아닌가 한다.

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

<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.
- 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 + 지점유의 복원 실험 연구.” 『서지학연구』 제32집(2005. 12). 107-130.
- 조형진. “금속활자 밀랍주조법 주형재료: 유성탄소의 복원 실험 연구.” 『한국과학사

금속활자의 옹기토를 이용한 밀랍주조법 실험 연구

학회지』 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.

