

金屬活字의 黃土를 이용한 蜜蠟鑄造法 實驗 研究*

An Experimental Investigation of
The Metal Type Wax Casting Method Using Yellow Earth

曹 炯 鎮(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 구체적인 과정과 원리를 추적하였다.

- (1) 어미자의 재료: 밀랍과 함께 왁스가 효과적이었다.
- (2) 주형의 재료: 충전 재료로 황토는 유용하였다. 기능성 재료로 활성탄·종이 섬유·흑연 등은 유용하였다. 그 혼합 비율은 활성탄이 10~18%, 종이 섬유는 2%, 흑연은 20%였다. 특히 종이 섬유는 주형의 균열 방지와 주조의 성공률 및 활자의 완성도에까지 절대적인 영향을 미쳤다.
- (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) 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 80.0%였고, 전체의 성공률은 16.94%였다. 수축률은 2.53%였다.
- (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, 황토, 활성탄, 종이 섬유, 흑연, 「직지」

<ABSTRACT>

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

- (1) Matrix material: Beeswax and injection wax were useful.
- (2) Mould material: Yellow soil was useful as the filling material. Activated carbon, paper fiber and graphite, among others, were useful as the functional material. The mixture proportion was 10~18% for activated carbon, 2% for paper fiber, and 20% for graphite. In particular, paper fiber played a critical role in preventing cracks in the mould, improving the success rate of casting, and maintaining the type quality.
- (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) The pouring direction of metal fluid: The biggest factor for the success rate was the pouring method; that is, 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 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 80.0%, and the overall success rate was 16.94%.
- (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.

Keywords: metal type, wax casting method, yellow earth, activated carbon, paper fiber, graphite, *Jikji*

* 이 논문은 2008년도 강남대학교 교내연구비 지원에 의한 것임.

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

접수일: 2009년 9월 4일 최초심사일: 2009년 9월 9일 심사완료일: 2009년 9월 15일

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 금속활자의 모습을 엿볼 수 있다. 그렇지만 이도 「직지」 실물 이외에 활자의 조성 방법·조판 방법·인쇄용구 등의 기술적인 문제는 전혀 알지 못한다.

금속활자 주조용 밀랍주조법을 왜 연구하는가? 결론에서 언급하겠지만, 밀랍주조법은 주조의 효율이 너무 낮아서 금속활자 주조에 적합한 방법이 아니다. 따라서 새로운 활자를 주조하기 위하여 밀랍주조법을 연구 개발하는 것은 별 의미가 없다. 왜냐하면 오늘날에는 밀랍주조법보다 훨씬 능률적인 주조 방법이 이미 알려져 있어서 이용 가치가 전혀 없기 때문이다. 그러므로 전통적인 재래식 밀랍주조법의 연구는 이 방법으로 주조한 것으로 보이는 고려시대 사찰 주조 활자를 복원하기 위한 것이라야 그 의미가 있다. 즉 직지활자가 이 방법으로 주조되었다고 추론되었기에 이를 복원하는 연구라야 의미가 있다.

복원 연구가 되려면 그 방법이나 재료가 역사적으로 관련 분야에서 사용된 적이 있다는 근거가 미세할지라도 있어야 설득력을 지닌다. 만약 근거가 전혀

없다면 이는 설득력이 없을 뿐만 아니라 밀랍주조법의 개발 연구가 되어 무의미할 수밖에 없다. 이러한 연구 가치의 관념을 바탕으로 직지활자의 특징 분석 → 조성 방법 추론 → 주조 과정 추적(이상 문헌 연구) → 주형 재료 분석(이하 실험 연구) → 주조 성공을 위한 방안 도출 → 주조 과정 연구 → 주조 결과와 직지활자 특징과의 유사성 증명 → 복원본 「직지」 인출 등의 순서로 연구가 이루어져야 직지활자와 「직지」의 복원이 비로소 완성된다.

지금까지 알려진 금속활자의 주조 방법 중에, 가장 효율이 높은 주물사주조법도 성공률 100%는 불가능하며, 대체로 90%를 상회하는 정도다. 따라서 이보다 주조 효율이 훨씬 낮은 밀랍주조법의 성공률이 100%라면, 이는 분명 어딘가에 문제가 있다. 즉 오늘날의 사고와 과학적 지식으로 개발한 방법이 아니고서는 불가능하며, 고려시대에 사용했던 밀랍주조법으로 100%란 불가능하다. 즉 복원 연구가 아니라 개발 연구일 뿐이다.

과학 발명은 순간적인 착상으로도 가능하다. 그러나 단절된 과학 기술의 복원은 용의주도하고 철저한 추적만이 가능할 것이다. 왜냐하면 지금은 알지 못하지만, 과거에는 어떻게든 분명히 했었던 진실이 있기 때문이다. 특히 직지활자와 같이 근거 자료가 거의 없는 복원 연구를 위해서는 적어도 세 단계의 능력이 필요하다. ① 연구력이 필요하다. 연구자에 의하여 직지활자의 특징을 분석하고, 그 특징에서 활자의 조성 방법을 유추하고, 구체적인 조성 과정과 원리를 문헌과 실험으로 추적하여 밝혀야 한다. 이를 위한 학문적 배경으로는 밀랍 재료·충전 재료와 기능성 재료 등의 재료 공학과 요업 공학·조각 기술·금속 주조 공학 등의 응용이 필요하다. 이렇게 하여 구체적인 과정과 원리가 밝혀지면, ② 기술력이 필요하다. 연구에 의하여 밝혀진 과정을 숙달함으로써 활자를 원활하게 주조하고 성공률도 높일 수 있도록 하여야 한다. 실패의 요인도 분석하여 개선하여야 한다. 이를 위하여 전문 기술자 또는 기능인, 즉 인간문화재 같은 장인이 필요하다. 이는 연구자가 장인이 아닌 점에서도 더욱 절실하다. ③ 노동력이 필요하다. 주조된 활자를 완성하기 위하여 마지막 단계에서 물리적으로 다듬는 수정이 필요하다. 오늘날에는 여러 가지 전기적 공구를 사용하여 노동력도 덜면서 신속하고

편리하게 처리하고 있지만, 과거에는 이 공정이 인간의 노동력에 의하여 이루어졌기 때문이다. 활자의 실험적 경험에 의하면 전체 주조 과정에서 이 물리적 과정이 차지하는 시간과 노동력이 약 50% 정도를 차지한다. 이를 위하여 전문 기능인을 보좌하는 조수, 즉 전수 조교가 필요하다. 이처럼 직지활자의 완전한 복원을 위해서는 연구자·기능인·조교 등의 협력이 필요하다.

지금까지 이러한 기술 문제를 복원하기 위하여 부분적으로 연구가 시도된 적이 있다. 「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 밀랍주조법에 관한 연구가 있다.⁵⁾

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 증명

함으로써 밀랍주조법의 완전한 개념과 원리를 제시하고자 한다. 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.

2. 字本과 어미자의 準備

2.1 字本の 選定

금속활자 주조의 첫 단계는 자본을 준비하는 일이다. 자본은 활자의 문자면이 되므로 문자의 크기와 서체를 고려하여 결정한다. 본 연구는 밀랍주조법 활자의 유일한 현존 실물인 「직지」에서 추출하였다. 그 이유는 실험 결과를 「직지」의 자적과 비교하고, 「직지」의 멸실된 卷下 第1葉을 시험적으로 복원하기 위함이다.

자본은 어미자의 재료인 밀랍·파라핀·왁스 별로 각각 50개씩 무작위로 추출하였다. 여유분도 넉넉히 준비하였다. 이를 <표 1>에서 문자의 필획 수와 함께 제시하였다. 필획 수는 사전 상의 필획이 아닌 어미자로 조각된 필획을 기준으로 하였으며, 수량의 안배를 위하여 8획 이내·9~13획·14획 이상으로 구분하였다.

또한 주형 재료의 연구에서 주조된 활자는 어미자보다 대체로 4% 정도 수축되는 것으로 나타났으므로, 이번에는 직지활자와 같은 크기의 활자를 얻기 위하여 자본을 미리 104%로 확대하여 준비하였다.

- 1) 이 활자의 명칭으로 홍덕사자·고려사주활자 등이 있으나, 정설은 정립되지 않은 상태다. 본 연구에서는 「직지」를 인출한 활자라는 의미로 “직지활자”를 사용한다.
- 2) 조형진. “직지의 자적에 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.
- 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.

<표 1> 추출 자본과 필획 수 분포

	밀랍 어미자			파라핀 어미자			왁스 어미자		
추출 위치 (張次, 上下, 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)	桂(5上6-13)	兩(5上7-19)	閣(2上3-4)
	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)	怪(5上6-10)	語(5上5-12)	頃(1上10-3)
	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)	國(5下9-7)	與(5上5-15)	競(2下7-16)
	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)	根(5上5-18)	要(4下4-17)	故(2上10-9)
	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)	肯(5上3-18)	義(5上4-10)	君(1下4-15)
	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)	其(5上4-9)	二(5上4-3)	期(1下4-7)
	奇(5上6-9)	池(4下10-17)	嵐(2下7-7)	巍(1上6-4)	達(4下8-12)	丈(4上4-8)	奇(5上6-9)	池(4下10-17)	嵐(2下7-7)
	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)	起(5上2-10)	因(4下10-7)	短(2上5-16)
	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)	道(4下2-15)	日(5上4-5)	動(2下5-13)
	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)	東(4下8-16)	在(5上10-18)	銅(1下3-1)
	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)	得(5上2-18)	滴(5下8-12)	抖(1下10-15)
	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)	嶺(4下9-11)	肇(5上5-11)	漫(1下2-11)
	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)	萬(5上5-19)	住(5下10-12)	埋(1上9-11)
	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)	別(5上7-12)	湊(5下2-18)	猛(2上1-9)
	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)	三(5上5-5)	地(4下8-10)	名(2下2-8)
	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)	上(4下10-11)	且(4下2-14)	銘(1上2-11)
	相(4下4-14)	次(5上2-8)	杳(1下6-11)	做(1下10-12)	善(4下4-15)	參(4下2-16)	相(4下4-14)	次(5上2-8)	杳(1下6-11)
	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)	西(4下9-4)	着(5上11-14)	物(2上5-11)
	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)	禪(5上6-15)	錯(4下3-13)	反(1上8-4)
	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)	豎(5上7-18)	出(4下6-18)	剖(1上7-9)
	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)	匙(5上2-12)	琛(5上6-14)	聖(2上2-5)
	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)	甚(5上3-8)	陀(4下6-9)	勢(2下4-5)
	尋(5上9-18)	便(4下3-14)	撒(1下10-16)	髮(2上6-6)	侍(4上1-11)	皇(3下8-16)	尋(5上9-18)	便(4下3-14)	撒(1下10-16)
	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)	十(5上4-4)	下(4下3-15)	鵝(1上2-3)
	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)	阿(4下2-18)	香(5上2-11)	岳(2下7-9)
필획 수	8획 이하	9~13획	14획 이상	8획 이하	9~13획	14획 이상	8획 이하	9~13획	14획 이상
분포	23개	22개	5개	14개	22개	14개	24개	20개	6개

하는 활자의 높이를 고려하여 어미자를 만들 때 미리 결정하여야 한다. 각개 활자의 높이는 수동식 조판 인쇄에서 문자면의 높낮이로 나타나서, 문자면의 집합인 인출면의 균일도에 영향을 주므로 대단히 중요하다. 따라서 높낮이는 편차가 크면 같이 사용하기에 매우 불편하여 작업능률을 떨어뜨릴 뿐만 아니라 동종 활자의 여부를 판단하는 기준이 된다. 대체로 조임식 조판법을 사용하는 활자는 높이가 높고, 부착식 조판법의 활자는 낮다.

필자의 「직지」 분석에서 직지활자는 부착식 방법으로 조판하였던 것으로 추론하였다. 따라서 조임식 활자가 독립적으로 직립할 수 있어야 할 만큼 최소한의 높이를 유지하여야 하는 것과는 달리, 직지활자의 높이는 그다지 높지 않았을 것으로 판단된다. 조임식과 부착식 활자 높이의 최소치와 최대치는 필자의 실험 결과 대체로 5mm에서 구분되었다. 이번 실험에서는 어미자 조각 등 여러 과정에서 나타나는 불편을 덜기 위하여 어미자의 높이를 부착식 활자의 최대치에 가까운 4mm로 하였다.

2) 어미자의 조각 요령

어미자 조각 요령의 핵심은 陽刻反體字로 문자를 만들기 위한 산의 각도와 깊이이다. 주물사주조법은 어미자를 추출하여 재사용하므로 산의 각도가 추출하기 용이하도록 75~85°를 유지하여야 한다.⁶⁾ 그러나 밀랍주조법은 어미자 밀랍을 주형 안에서 녹여내는 것이므로 어미자를 그대로 추출하여 재사용 하지 못한다. 따라서 어미자에 문자 필획의 산을 만들기 위하여 조각하는 각도는 수직이거나 수직을 초과하여도 무방하다. 밀랍주조법으로 주조한 청동기 상의 명문도 거의 수직에 가깝다.⁷⁾ 본 연구에서는 대체로 조각하기 편리한 범위 내에서 85~90° 정도를 유지하였다.

산의 깊이는 깊을수록 인출하기에도 편리하고 활자의 수명을 연장할 수 있다.

6) 조형진. “한국 초기 금속활자의 주조, 조판, 인출 기술에 대한 실험적 연구.” 중앙대학교 박사학위논문(1994. 12), 6.

7) 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), 234.

2.2 어미자의 彫刻

1) 어미자의 높이

어미자를 제작하기 위하여 어미자의 높이와 조각 요령을 정한다. 어미자의 높이는 주조 후에 곧 수축률이 반영된 활자의 높이로 나타난다. 따라서 얻고자

본 연구에서는 활자의 동체 높이를 고려하여 1~1.5mm 정도로 하였다.

기타의 조각 요령으로는 문자가 문자면에 가득 차도록 조각하였다. 이상을 정리하면 <표 2>와 같다.

<표 2> 어미자의 높이와 조각 요령

어미자의 높이	높이는 4mm로 한다.
어미자의 조각 요령	산의 각도는 85~90° 정도를 유지한다. 산의 깊이는 1~1.5mm 정도로 한다. 문자가 문자면에 가득 차도록 조각한다.

3) 어미자의 조각 과정

어미자 재료를 준비하고, 자분을 이용하여 어미자를 조각한다. 조각 어미자의 재료로는 금속 세공용 왁스를 사용하였다. 이는 실험에 직접 사용하는 것이 아니라, 실험용 어미자를 주조하기 위한 주형 제작에 사용하여 본 연구의 내용에는 아무런 영향을 미치지 않기 때문이다. 또한 작업능률은 뛰어나면서도 기능적 효과는 밀랍·파라핀 등과 대동소이하기 때문이다.⁸⁾ 작업 능률, 즉 조각의 난이도는 재료의 견고도에 따라서 좌우되는데 단단할수록 조각하기에 용이하다.

(1) 어미자판 제작: 자분을 붙여서 어미자를 조각할 수 있도록 우선 어미자의 재료를 판으로 제작하였다. 두께는 활자의 높이인 4mm로 하였고, 폭은 문자의 폭과 같거나 0.5mm 정도 여유 있게 하였다. 어미자판을 여유 있게 만들어서 수시로 사용할 수 있도록 하였다.

(2) 자분 붙이기: 자분을 한 개씩 또는 한 줄씩 올려서 어미자판에 뒤집어서 올려놓았다. 금속 막대를 달구어서 자분의 뒷면을 조심스레 훑어줌으로써 어미자판의 표면을 순간적으로 녹이는 방법으로 자분을 붙였다.

(3) 어미자 조각: 어미자판을 작업대에 놓고 조각한 후 1개씩 떼어 내기도 하고, 1개씩 먼저 떼어낸 후 조각하기도 하되, 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 경우는 정상으로 손질하였다. 필획을 다 조각한 후 여백 부분과 측면을 정리하였다. 활자의 동체는 「직지」의 분석에서 반듯한 육면체가 아니라 불규칙한 형태로 나타났으므로 측면을 정리할 때 육면체를 유지할 필요는 없다. 측면 정리의 결과는 작업의 효율 상 대체로 둥근 사각형 또는 타원 형태를 보이고, 문자 필획의 형태를 따라서 울퉁불퉁하지는 않았다. 따라서 어미자의 조각 기술에서 나타난 일반적인 현상에만 근거하면, 밀랍주조법에 의하여 주조된 금속활자의 인본에는 상하 문자의 필획이 교차하는 현상은 없을 것으로 추측된다.⁹⁾

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 자분의 필획을 충실하게 반영하지 못하고 다소 변형된 경우도 있었다. 이렇게 조각한 어미자는 총 150개이다. 여유분도 조각하였다.

2.3 實驗用 어미자의 材料

실험에 직접 사용할 어미자를 주조하기 위한 재료를 준비한다. 어미자는 실험 과정에서 소실되어 회수가 불가능하게 된다. 재료로는 밀랍 외에 파라핀과 왁스를 준비하였다. 이는 실험의 모든 결과가 밀랍과 대동소이하기 때문이다. 기타 우지·송지·식물유·목재·미술용 밀랍 등은 제외하였다.

1) 밀랍

가장 기본적인 재료다. 밀랍에는 백랍·황랍·청랍이 있는데 황랍이 가장 보편적으로 사용된다. 황랍은 토종 꿀벌의 집을 채취하여 꿀을 여과하고 난 찌꺼기를 정제하여 얻는다. 이 밖에 향유고래의 머리 부분 동공에 채워있는 기름이나

9) 따라서 「직지」에 나타난 상하 문자의 필획이 교차하는 현상은 당시에 특수한 상황이 있지 않은 한, 목활자 또는 기타의 현상에 의한 것일 가능성이 높은 것으로 보인다.

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

누에고치로부터 얻기도 하고 식물성 밀랍도 있다. 본 연구에서는 황랍을 사용하였다.

2) 파라핀(paraffin)

현대 석유 화학의 부산물인 공업용 파라핀을 사용하였다. 이는 주형 재료의 연구에서 모든 결과가 밀랍과 대동소이하게 나타났고 또 손쉽게 구할 수 있기 때문이다.

3) 왁스

사출 왁스·세공용 파라핀이라고도 한다. 이는 공업용 파라핀에 여러 첨가물을 화학적으로 혼합하여 용도에 맞게 조제한 것이다. 성질이 비교적 단단하여 섬세한 문양을 조각하기에 유리하다. 활자의 문자 필획도 매우 섬세하므로 단단한 재료가 필요하다. 이는 실험 결과가 밀랍과 같이 나타난다면 향후의 밀랍주조에서는 밀랍 대신 손쉽게 구하여 사용할 수 있기 때문이다.

2.4 實驗用 어미자의 準備

1) 실리콘 주형의 제작

밀랍 주조용 어미자는 주조 과정에서 녹아 없어져 재사용할 수 없으므로 여러 가지 실험을 위하여 다량의 어미자가 필요하다. 그런데 어미자의 조각 능력이 낮으므로 실제 실험에는 하나의 조각한 어미자로 주형을 떠서, 다량의 어미자를 주조하여 사용할 수밖에 없다. 이는 동일한 어미자를 사용하여야 향후 실시될 조건이 다른 여러 실험에서 나타날 결과를 비교할 수도 있고, 다량의 어미자를 신속하게 생산하면서 시간과 비용을 절감하는 방법이기도 하다.

실험에 직접 사용할 어미자의 대량생산을 위하여 왁스에 조각한 150개의 어미자로 실리콘 주형을 제작하였다. 실리콘은 탄력이 강한 1300T에 경화제를 혼합하여 사용하였다. ① 목재로 주형틀을 만들고, ② 주형틀 안에 양면테이프를 조각

된 어미자를 문자면이 위를 향하도록 나란히 얹힌 다음, ③ 그 위에 실리콘을 가득 차도록 부어서 제작하였다. ④ 24시간 정도 경과하면 실리콘이 굳으므로 사용할 수 있으나, 안전을 위하여 2~3일 경과하여 완전히 굳은 후에 꺼내어 사용하였다. 이 실리콘 주형 상에는 오목하게 陰刻正體字로 문자가 형성되어 있다.

2) 어미자의 주조

실리콘 주형이 완성되면 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. 녹은 상태에서의 점성은 파라핀·밀랍·왁스 순으로 컸다. ② 재료가 알맞게 식으면 넘친 부분을 깎아냈다. 너무 식으면 굳어져서 깎아내기가 불편하였다. ③ 완전히 굳기 전 아직 따뜻할 때 조심스레 어미자를 하나씩 꺼내어 ④ 문자면 필획의 이상 여부를 확인하였다. ⑤ 어미자의 배면에도 너털이가 남아있을 수 있으므로 칼이나 손톱 등으로 깨끗이 제거하였다. 이를 제거하지 않으면 활자가 완성된 후에 손질을 위하여 많은 노동력을 필요로 하기 때문이다. ⑥ 사용하기 편리하도록 분류 상자에 보관하였다. 이러한 방법으로 밀랍·파라핀·왁스를 차례로 주조하였다.

이렇게 하여 주조한 실험용 어미자는 밀랍 어미자 $50\text{개} \times 6 = 300\text{개}$, 파라핀 어미자 $50\text{개} \times 8 = 400\text{개}$, 왁스 어미자 $50\text{개} \times 38 = 1,900\text{개}$, 총 2,600개이다. 여유분도 많이 준비하였다.

실험용 어미자를 주조할 때 주의할 점은 다음과 같다. ① 녹여 부은 밀랍 재료가 주형 내 필획의 미세한 틈새로 속속들이 주입되도록 실리콘 주형도 따뜻하게 하고 어미자 재료도 충분히 가열하여 유동성을 높여야 한다. 실리콘 주형이 차거나 밀랍이 충분히 녹지 않으면 미세한 틈새로 속속들이 주입되지 못하여 시간과 노력을 더 요구하며 실패율도 높다. ② 이렇게 하여도 주형 내 미세한 홈 사이의

예상하지 못한 곳에 속속들이 주입되지 않고 기포 형태로 잠겨 있는 경우가 많으므로 육안으로 잘 보이지 않더라도 뾰족한 기구로 일일이 식기 전에 신속하게 제거하여야 한다. ③ 밀랍과 왁스는 재질이 끈끈하여 어미자를 주형에서 많이 식은 후에 꺼내어도 필획이 손상되지 않는다. 그러나 파라핀은 부러지기 쉬운 성질이 있어서 완전히 식으면 취약한 필획이 파손되기 쉬우므로 완전히 굳기 전 유연할 때 꺼내는 편이 좋다. 그렇다고 너무 덜 식었을 때 꺼내면 어미자가 변형되기 쉬우므로 식는 온도에 주의하여야 한다. 특히 삼수변(?) 처럼 독립된 필획은 완전히 주입되기 어렵고, 꺼낼 때 파손되기도 쉬웠다. ④ 작업 중에 미세한 불순물이 적지 않게 생기므로 수시로 제거하여야 한다. 특히 파라핀에서 불순물 가루가 가장 많이 발생하였다. 밀랍은 식어도 재질이 끈적끈적하여 미세한 부스러기가 어미자와 연장 곳곳에 달라붙었다. 특히 문자면의 불순물은 활자 상의 너털이로 나타날 가능성이 있으므로 반드시 제거하여야 한다. ⑤ 실험 소요량보다 여유 있게 주조하여 파손 등의 다양한 추가 수요에 대비하여야 한다. ⑥ 관건은 실리콘 주형과 밀랍의 온도이다. 이는 기계적으로 수치화하기 어렵고 감각과 경험에 의하는 수밖에 없다. 이점이 숙련된 기술을 요하는 부분이다.

3) 주조 어미자의 날인

주조 어미자가 완성되면 흑색 유성 스탬프로 자적(표 3 참조)을 날인하여 확보해 둬으로써 실험 결과로 완성될 금속활자와 비교할 수 있도록 하였다.

<표 3> 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						
파 라 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

4) 어미자군의 성형

주형 속에 매몰할 실험용 어미자를 각각 다른 문자로 50개씩 모아서 어미자군으로 성형하였다. 이를 위하여 어미자 외에 금속 용액의 주탕도가 될 밀랍 주봉, 어미자의 자리에 용액을 일일이 주입시킬 밀랍 중간봉과 가지봉을 준비하였다. 밀랍 주봉은 금속 용액의 주입 상황을 비교하기 위하여 가로 세로 4.5×5.0mm짜리와 단면적이 2.5배 정도의 대탕도인 직경 8.5mm짜리 2종류를 110mm 정도의 길이로 재단하였다. 밀랍 중간봉은 2.5×3mm짜리를 65mm 정도의 길이로, 밀랍 가지봉은 직경 2mm의 원통형을 길이 10mm 이내로 재단하였다. 이처럼 각각의 밀랍봉을 용도에 맞는 길이로 재단하여 준비하였다.

어미자군의 성형은 주형의 균열을 최대한 방지하기 위하여(“4.1.5 주형의 균열 여부 점검 및 보수” 참조) 부채꼴 모양의 평면형으로 하였다. ① 어미자 필획의 주조 상태를 일일이 확인하여 완전한 것만 선별하였다. 주조할 때 완벽을 기하였다 할지라도, 주형의 필획 틈이 미세하여 어미자 재료가 완전히 주입되지 못한 경우가 적지 않기 때문이다. ② 어미자 문자면과 배면의 불순물을 깨끗이 제거하였다. 특히 밀랍 어미자는 끈끈하여 불순물이 미세하게 많이 붙어 있었다. 이 불순물은 어미자에서는 거의 보이지 않을 만큼 대수롭지 않지만, 활자에 반영되어 너덜이로 나타나면 실패할 가능성이 있기 때문이다. ③ 어미자의 측면과 10mm 이내로 짧게 재단한 밀랍 가지봉을 일일이 인두로 양측을 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 용액의 주입구가 될 주탕도를 조성하였다. 주탕도는 平式과 立式의 금속 용액 주입 방향을 고려하여 고루 주입될 수 있도록 어미자군의 중앙 부분에 조성하였다. ⑦ 어미자군의 앞뒷면에 붙어있는 미세한 불순물을 세심히 살피서 제거하였다. 특히 어미자의 배면에 남아있는 너덜이를 인두로 가볍게 녹여서 다듬었다. 이와 같은 방법으로 어미자군을 완성하였다(사진 1 참조). 이들의 크기는 대체로 140×150mm 정도였다.

어미자	岳	樣	偃	洲	羸	兀	巍	巍
	用	勇	移	孜	寐	田	晴	趙
	州	做	車	剔	清	探	泰	髮
	兮	獲						
웁스 어미자	覺	介	去	見	空	奈	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						



<사진 1> 성형된 어미자군(밑,側,호과 왁,上,平)

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 야산이나 계곡 등지에서 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 실험에서는 자연 점토인 용인시 처인구 야산의 붉은 황토를 사용하였다.

① 황토를 자연 상태에서 채취하여 대형 불순물을 제거하였다. ② 대형 수조에 물에 풀어서 나뭇잎 등의 부유물을 제거하였다. ③ 불순물이 거의 제거되면 황토가 풀어져 있는 황토물을 다른 수조에 받아서 침전시켰다. 또는 100mm에 9×9개의 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 기물 주조에 부족한 성질을 갖추기 위하여 반드시 혼합해야 하는 중요한 재료다. 이는 점토 내에서 균일하게 분포하여 공극

이때 주의할 점은 다음과 같다. ① 모든 밀랍봉은 금속 용액을 주입할 수 있는 범위에서 가능한 한 가늘고 짧게 하여 밀랍과 금속 등의 재료 소모량을 줄이고 열효율을 높일 수 있도록 한다. ② 어미자와 밀랍봉을 접착할 때, 반드시 접착할 양측을 녹여서 붙임으로써 되도록 견고하게 하여야 한다. 이는 주형 제작 후 건조 수축될 때, 주형 속에서 어미자군이 단절되어서는 안 되기 때문이다. ③ 어미자끼리 접촉하지 않는 범위에서 가능한 한 밀집하여 붙인다. 이로써 전체의 크기를 줄여서 주형 재료 소모량도 줄이고 주조 효율도 높일 수 있도록 한다. ④ 모든 어미자의 문자가 같은 방향을 향하도록 하여 결과를 비교할 수 있도록 한다.

이 같은 어미자군을 실험에 필요한 만큼 밀랍 6개, 파라핀 8개, 왁스 38개 총합 52개를 준비하였다. 이는 실험하고자 하는 내용(5.1. 표 10 참조)을 바탕으로 산출한 것이다.

을 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, 주조 가능성이 충분할 뿐만 아니라, 사전적 정의가 없음에도 불구하고 향간에 구전되어 오던 ‘烏土’라는 개념에도 부합한다.

기타의 기능성 재료로 문헌을 통하여 밝혀낸 것으로는 마분· 마(노끈)· 우모· 석탄 분말· 벚짚재 분말· 식물 분말(입자크기 0.2mm 이내의 것)· 석영 모래· 유리 모래(내열 모래)· 석회· 소금· 목재재 분말· 유약· 카바이트 분말· 활석 분말 등이 있다. 경험적으로는 연탄재· 참숯재 분말도 가능하다. 그러나 실험 대상에서 제외하였다.

1) 炭粉(숯가루)

이에는 목탄(검탄· 열탄)· 백탄· 활성탄 등이 있는데, 본 실험에서는 활성탄으로 200MESH를 사용하였다. 활성탄은 매우 뽀얗고 입자로 구성되어 있어서 점토에 균일하게 섞이기 쉽다. 또한 고열에 가열된 물질이므로 고온 안정성이 높다. 즉 고온에서도 수축되지 않으므로 주형을 소성할 때 수축률을 낮출 수 있다.

2) 종이 섬유

전통적인 수공업적 방법으로 생산한 한지의 섬유다. 종이 섬유는 주형이 건조되거나 소성될 때 균열을 방지하고, 주형 안에서 공극을 형성하여 금속 용액 주입 시 발생하는 가스를 흡수하는 기능을 가지고 있다.

종이 섬유는 섬유질 덩어리가 있으면 주조에 나쁜 영향을 주므로 고르게 잘 풀어야 한다. 본 실험에서는 한국 닥나무를 전통 한지의 제조 방법으로 가공한 펄프 상태의 것을 사용하였다. 소요량을 측정하기 위하여 완전히 건조시킨 후 다시 고해하였다.

① 완전히 건조된 종이 섬유를 필요량만큼 중량을 측정하였다. ② 물에 삶아서

섬유질을 부드럽게 하였다. ③ 섬유 덩어리를 절구에 넣고 방망이로 충분히 찼다. ④ 물속에서 섬유를 풀어 해쳤다. ⑤ 충전 재료와 기능성 재료가 반죽된 용기에 수분의 비율을 고려하여 골고루 혼합하였다.

믹서기로 섬유를 갈면 고해하기 수월하고 곱고 고르게 갈 수는 있으나 섬유가 짧게 잘린다. 이는 종이를 뜯을 경우 확연히 나타난다. 본 실험의 주형 균열 방지를 위하여는 믹서기로 갈아도 그 기능은 충분히 발휘할 수 있을 것으로 보이기는 하나 시도하지는 않았다.

3) 유성 탄소(carbon)

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.

4) 흑연

비금속의 화학 물질 군에 속하며 미네랄 탄소· 천연 흑연· 검은 납 등의 동의어가 있다. 회색 또는 흑색이며 냄새는 없다. 결정체로 된 분말 상태의 고체로 유성의 구조를 가지고 있어서 물에 용해되지 않는다. 발암 등 인체에 위험한 물질이다. 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 주형의 재료를 조제한다. 이 주형의 재료는 지금까지 금속활자장에 의하여 편법으로 이용되어 온 치과

주조용 석고계 매물재를 대신하여 고려시대에 사용했을 법한 전통 재료라고 할 수 있다. 본 실험에서는 충전 재료로 황토를 사용하였으며, 기능성 재료로는 활성탄·종이 섬유·유성 탄소·흑연 등 4종을 사용하였다. 이를 각각 혼합하여 조건이 다른 4종의 주형 재료를 조제하였다.

① 수비된 황토를 실험에 소요될 양만큼 중량을 정확하게 측정하여 4개의 반죽 용기에 구분하여 담았다. ② 물을 조금씩 가하면서 풀어서 진한 반죽이 되도록 하였다. ③ 활성탄 10%·종이 섬유 2%와 활성탄 18%·유성 탄소 20%·흑연 20%씩 중량을 정확하게 측정하였다. ④ 이를 각각 반죽된 황토에 혼합하여 4종류의 황토 계열 주형 재료를 조제하였다.

기능성 재료의 혼합 비율은 필자의 실험적 감각으로 예측한 수치다. 이는 황토가 기능성 재료의 입자를 엉겨 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 4 참조).

<표 4> 주형 재료의 혼합 비율과 수분 함유율(%)

기능성 재료 충전 재료	활성탄		종이 섬유+활성탄		유성 탄소		흑연	
	10	62.5	2+18	64.76	20	51.24	20	60.0
황 토	90		80		80		80	
	수분	37.5	수분	35.24	수분	48.76	수분	40.0

주형 재료를 조제할 때 주의할 점은 다음과 같다.

- (1) 실험의 정확도를 위하여 모든 재료는 조그마한 덩어리까지 곱게 풀어서 균일하게 혼합하여야 한다. 이를 위하여 반죽 과정에서 2~3회의 여과를 거쳤다.
- (2) 반죽의 농도가 적합하여야 한다. 적합한 농도는 어미자의 미세한 필획 사이에 속속들이 채워질 수 있으면서 진할수록 좋다. 주형 재료를 주형틀 안에 충전할 때 기포가 생기지 않으면 적합하다. 또는 반죽 내의 기포가 반죽을 약간 흔들어 주었을 때 표면 위로 올라와서 제거될 수 있으면 적합하다. 본 실험에서 주형

재료에 포함된 수분의 비율은 35.24%~48.76%였다(표 4 참조). 수분 함유율은 유성 탄소와 흑연이 반죽이 걸죽하여 약간 높았다. 수분 함유율이 같을 경우의 점도는 유성 탄소·흑연·활성탄·종이 섬유 순으로 높았다. 특히 유성 탄소는 첨가한 수분의 양이 다른 재료와 같아도 농도가 걸죽하고 진하며 끈적거리고 덩어리 형태로 고루 퍼지지 않아서 작업하기에 불편하였다.

(3) 물의 양이 부족하여 반죽이 진하면, 주형틀 안에 충전할 때 재료 내에 기포가 쉽게 형성될 뿐만 아니라 제거하기도 어렵다. 또 어미자 필획의 미세한 틈새로 속속들이 충전되지 못하여 실패할 확률이 높다. 물의 양이 과하면 반죽하기에는 쉬우나 건조를 위한 소요시간이 길어지며, 건조 수축률이 커서 실패의 가능성도 커진다. 어미자가 주형 재료 밖으로 노출되기도 하여 보완작업을 해야 하는 불편이 따른다. 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

주형틀은 목재를 재단하여 제작하였다. 어미자군의 크기인 140×150mm를 포용하면서 두께 20~30mm 정도의 주형을 전제로 사각형의 틀을 만들었다. 주형의 두께는 소성 상태에서 2mm 정도만 되어도 금속 용액의 압력을 견딜 수 있다. 다만 안전한 주조를 위하여 10~15mm 정도로 두텁게 매물하기로 하였다. 그래서 주형틀을 내경의 가로 세로 높이가 170×170×50mm로 제작하였다.

4.1.2 주형 재료의 충전 = 어미자군 매물

주형은 어미자군을 매물하는 방법으로 제작한다.

4.1.3 주형의 건조

(1) 수분 제거: 어미자군의 매몰이 끝나면 통풍이 잘되는 선반으로 옮겨서 자연 건조시켰다. 실내 기온은 18~30℃를, 습도는 45~76%를 유지하였다. 1시간 정도 경과하면 주형 재료의 고휘 성분이 침전되고, 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 측면은 고르지 않으므로 매끈하게 다듬어 균열을 미연에 방지하였다. 만약 어미자군이 완전하게 매몰되지 않은 경우가 있으면 재료를 보충하여 매몰하였다. 이때 쥔 주형 표면에 어미자의 재료·충전 재료·기능성 재료·혼합물·문자면 방향 등의 실험 조건을 표시하였다.

(3) 주형을 세워서 건조: 다시 2~3일 경과하면 부분적으로 균열이 나타나기 시작하였다. 이때 눕혀있던 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 세울 수 있을 정도만 되면 가능한 한 빨리 세워야 균열을 방지할 수 있다. 그러나 수분이 충분히 빠지기 전에 세우면, 자신의 무게를 지탱하지 못하여 무너지거나 심하게 휘어지므로 주의하여야 한다. 세울 때 손에 재료가 묻어났다. 세워서 건조하는 중에도 눕혔을 때의 윗면이 빠르게 건조하면서 휘어지는 현상이 나타나서 수분을 분무하기도 하였다. 이때까지 6일이 소요되었다.

4.1.4 주입구 조성

금속 용액을 용이하게 주입하기 위하여 주형이 완전히 건조되기 전에 주입용 깔대기를 제작하여 주입구를 조성하였다. 깔대기는 평식과 입식에 맞게 제작하여

(1) 주형틀 고정: 주형틀을 평평한 작업대에 놓았다. 그 밑에 수분을 잘 흡수하는 석고판 또는 한지·신문지 등을 깔아서 주형 재료 속의 수분을 잘 빨아들이도록 하였다.

(2) 주형 재료의 충전과 어미자군 매몰: ① 문자면의 불순물을 공기로 강하게 불어서 제거하였다. ② 주형 재료가 어미자군 문자면의 미세한 필획 틈 사이로 속속들이 채워지도록 붓으로 재료의 수분 농도를 약간 묽게 조절하면서 완전히 도포하였다. ③ 주형틀 안에 주형 재료를 예정한 두께인 20~30mm의 절반 정도 채워 넣었다. ④ 재료 내에 형성되어 있을지 모를 기포를 제거할 수 있도록 흔들면서 평평히 깔았다. 실제로 기포 현상을 드물게 발견할 수 있었다. ⑤ 문자면이 도포된 어미자군을 문자면의 방향이 실험 목적에 맞도록 주형틀의 중앙에 앉혔다. 금속 용액의 주입 방향이 입식인 경우는, 주입구 부분이 주형틀 한쪽에 닿도록 하였다. 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 대부분은 18~25mm의 범위에 속했지만, 오차가 큰 경우는 14~33mm 정도까지 나타났다. ⑨ 금속 주입구 부분을 표시하여 다음에 확인할 수 있도록 하였다. 이 충전 작업은 2일이 소요되었다.

이 때 주의할 점은 다음과 같다.

① 어미자의 재료는 유성이기 때문에 수성인 주형 재료의 반죽이 쉽게 도포되지 않으므로 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 알맞게 채운 후에는 주형 재료 내에 있을지 모를 기포를 제거할 수 있도록 흔들면서 평평히 펼쳐야 한다. ⑤ 어미자군 위에 나머지 절반의 주형 재료를 채울 때, 어미자와 탕도의 사이에 충실하게 채워야 한다. ⑥ 유성탄소·흑연은 조제한 후 시간이 흐를수록 고휘물이 침전으로 가라앉을 수 있으므로 충전하기 직전에 잘 혼합하여야 한다. ⑦ 어미자를 매몰한 후에는 내부의 내용이 보이지 않으므로 실험 조건을 혼돈하지 않도록 기록해 두어야 한다.

편리하게 조성할 수 있도록 하였다. 깔대기를 사용하지 않고 주형을 손질할 경우는 발생하는 주형 가루를 젖은 붓으로 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. 따라서 주조에 영향을 미칠 만큼은 균열되지 않아야 성공률을 높일 수 있다. 주형 재료의 연구에서도 성공률이 낮은 주된 원인은 주형의 균열이었다. 본 실험에서는 이 점을 개량하기 위하여 균열의 원인을 찾고, 이를 극복할 수 있도록 주형을 제작함으로써 주조 성공률을 높일 수 있도록 하였다.

균열의 근본 원인은 주형 재료가 건조될 때, 공기에 닿는 표면과 공기에 닿지 않는 내면의 건조 속도에 따른 수축률의 차이이다. 이 차이가 크면 균열로 나타난다. 따라서 균열을 피하기 위해서는 이 수축률을 최대한 줄이면서 건조시켜야 한다. 수축률을 줄이는 방법은 주형의 두께를 줄이거나 건조 속도를 느리게 하여야 한다.¹⁰⁾ 건조는 자연 건조 방법을 택하여 조절이 불필요하므로, 균열을 방지하는 핵심은 주형을 얇게 제작하는 것이다. 수축률의 편차를 줄이기 위하여 주형을 주형 재료의 연구 때의 내경 56mm 원통의 입체형에서 평면형으로 하였다. 이로써 균열을 최대한 방지하고 주조 성공률을 높일 수 있도록 하였다.¹¹⁾

본 실험에서 발견한 또 하나의 균열 원인은 주형 재료의 점력이 충분하지 못한 점이다. 어미자군은 수축하지 않음에 비하여 주형 재료는 건조되면서 수축하므로 점력이 어미자를 꼭 조일 수 있을 만큼 강해야 한다. 이만큼 강하지 못하면 균열로

나타난다.¹²⁾ 종이 섬유를 혼합한 주형은 균열이 나타나지 않아서 완전했고, 유성 탄소를 혼합한 주형은 모두 매우 균열되었다. 기타의 주형도 정도의 차이는 있지만 대부분 균열 현상이 나타났다. 그 정도를 구분하면 다음과 같다.

(1) 완전: 전혀 균열 없이 완전한 경우다. 종이 섬유를 첨가한 주형 모두와 흑연을 혼합한 주형에서 2개가 나타났다.

(2) 미세한 균열: 대체로 한두 곳이 0.5mm 이내의 균열로 보수작업 없이도 금속 용액을 주입할 수 있지만 안전을 위하여 보수가 필요한 정도다. 활성탄과 흑연을 혼합한 주형에서 나타났다.

(3) 약간 균열: 두세 곳이 0.5~3mm 정도로 균열되었지만, 주형의 한쪽 면은 정상을 유지하여 부러지거나 깨지지 않은 상태다. 금속 용액을 주입할 때의 위험을 예방하거나 성공률을 높이기 위하여 보수작업이 필요한 정도다. 활성탄과 흑연을 혼합한 주형에서 나타났다.

(4) 매우 균열 = 건조 파손: 3mm 이상 균열되거나 주형이 정상적인 형태를 유지하지 못하고 부러지거나 일부가 떨어져나가서 소성 단계까지 가지도 못한 정도다. 유성탄소를 혼합한 모든 주형과 흑연을 혼합한 주형에서 나타났다. 유성탄소나 흑연은 물에 용해되지 않아서 황토와 완전히 융합할 수 없는 결과, 결속력이 약해진 점이 건조 과정에서 주형이 파손되는 원인으로 보였다.¹³⁾

보수를 위하여 주형이 건조되면서 나타나는 변형이나 균열 상태를 완전히 건조될 때까지 예의 주시하였다. 변형은 중앙 부분이 볼록하게 튀어나오는 형태로 나타났다.¹⁴⁾ 균열도 중앙부터 시작하여 어미자가 묻혀있는 부분에서 다양하게 나타났다. 볼록하게 튀어나오는 주형은 조심스럽게 힘을 가하여 평평히 폈다.

12) 충전 재료인 점토에 기능성 재료를 혼합하면 점력이 약해져서 균열되거나 파손되기 쉽다. 따라서 어미자군과의 접촉 부분은 기능성 재료를 사용하고 그 외부에는 점토를 사용하면 주형을 강하게 하면서 균열의 정도를 낮출 수 있을 것이다. 그러나 본 실험에서는 채택하지 않았다.

13) 유성 탄소를 혼합한 주형에 어미자군을 매몰하지 않은 채 건조시켜 보았다. 그 결과 균열 현상이 나타나지 않았다. 즉 유성 탄소를 혼합한 재료는 어미자군을 꼭 조일만큼 점력이 강하지 못함을 확인할 수 있었다.

14) 종이 섬유를 혼합한 경우는 주형이 변형되지 않았다.

10) 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 이 방법들은 금속활자 주조를 위해서는 채택할 수 없는 것들이다.

11) 이는 밀랍주조법의 문헌 연구에서 언급하였듯이 청동 기물의 원형이나 곡면 구조에서 표면과 이면의 양면을 주형재료로 감싸서 주조하는 원리에서 착안하여 어미자와 탕도를 평면화한 것이다. 또한 요업 공학의 균열 방지를 위한 요령을 응용하였다.

미세한 균열은 표면에 물을 칠한 후, 동일한 주형 재료로 매끈하게 마감하였다. 약간 균열된 주형은 균열된 부분에 물을 칠한 후, 주형 재료를 헝겊 채워 넣었다. 보수 후에는 물을 분무하여 건조 속도를 늦춤으로써 추가 균열을 미리 방지하였다. 이렇게 2~3차례 반복하여 보수하였다. 보수는 2mm의 균열 틈으로 6mm 깊이까지 충전이 가능하였다. 따라서 주조 성공률을 높이는 데에 영향이 있어 보였다. 2mm 이하의 작은 균열은 보수의 기능이 주조 성공률을 높이기 위한 점도 있지만, 금속 용액이 균열 틈새로 흘러나오지 못하게 하여 위험도와 열량의 낭비를 줄이는 의미가 더 큰 듯하였다. 흑연을 혼합한 주형을 가장 많이 보수하였다. 유성 탄소를 혼합한 주형은 매우 균열되어 보수를 포기하고 실패로 간주하였다.

이처럼 주형의 균열 여부 점검과 보수를 진행하면서, 한편으로는 문제점을 분석하고 이를 해결할 수 있는 추가 실험 요소를 추출하여 다음 실험에 반영할 수 있도록 하였다.

4.1.6 완전 건조

어미자균을 매몰한 후 15일 정도 경과하면 외견상으로는 주형이 거의 건조된 듯 색깔이 밝아지는 현상이 보인다. 이즈음에 주형을 눕혀서 30일 이상 시간적 여유를 가지고 충분히 건조시켰다. 이러한 과정으로 재료의 유동성이 없어진 후의 수분이 있던 자리가 건조되면서 공극으로 형성되어 기능성 재료와 함께 금속 용액 주입 시 발생하는 가스를 흡수하는 기능을 하는 것으로 보인다.

완전히 건조된 주형은 대체로 145~160mm 정도까지 수축되어 5.88~14.71%의 수축률을 보였다. 수축률은 유성 탄소를 첨가한 주형이 크고 종이 섬유를 첨가한 주형이 작았다.

52개의 주형에서 진도에 따라 나타난 상황은 <표 5>와 같다.

<표 5> 주형의 조건별 실험 상황표

기능성 충전 재료		활성탄 10%			종이 섬유 2% + 활성탄 18%			유성 탄소 20%			흑연 20%		
황토	밀,下 .약, 청1.5 00,平	파,上 .미, 청1.5 00,平	파,上 .미, 황.40 0,平	밀,下, 완.청 1,450, 平	밀,側, 완.청1 .400, 立	파,上 완.청1 .600, 平	파,上 완.황, 300, 平	밀,下, 매.-,- .-,건	파,上, 매.-,6 00,-, 소	파,上, 매.-,-, .-,건	밀,下, 매.-,- .-,건	파,上, 미.황, 500, 平	파,上, 약.청 2,평 은,平
	와,上 .약, 청1.5 00,平	와,上 .약, 황.40 0,平	와,上 .약, 청2.6 00,平	와,上.완.청1.6 00,平		와,上 완.황, 500,平	와,上 완.청 2,600, 平	와,上, 매.-,- .-,건	와,上, 매.-,-, .-,건	와,上, 매.-,-, .-,건	와,上, 약.청 1,600, 平	와,上, 미.황, 500, 平	와,上, 약.청 2,500, 平
	와,下 .미, 청1.6 00,平	와,下 .미, 황.40 0,平	와,下 .약,- 600,- 소	와,下.완.청1.5 00,平		와,下, 완.황, 500,平	와,下, 완.청 2,300, 平	와,下, 매.-,- .-,건	와,下, 매.-,-, .-,건	와,下, 매.-,-, .-,건	와,下, 약.청 1,500, 平	와,下, 약.-6 00,-, 소	와,下, 매.-,- .-,건
	와,側 .약, 청1.4 00,立	와,側 .약, 황.50 0,立	와,側 .약, 청2.3 00,立	와,側.완.청1.4 50,立		와,側, 완.황, 400,立	와,側, 완.청 2,300, 立	와,側, 매.-,- .-,건	와,側, 매.-,-, .-,건	와,側, 매.-,-, .-,건	와,側, 완.청 1,500, 立	와,側, 완.황, 400, 立	와,側, 약.청 2,300, 立
				밀,下.완.청1.5 00,平,대탕도		와,側, 완.청1 .300, 立,대 탕도	와,側, 완.청 1,100, 立,대 탕도						

(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) 또는 밀랍 주봉의 굵기 순.
2. 어미자의 재료: 밀 = 밀랍, 파 = 파라핀, 와 = 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. 금속 용액의 주입 방향: 평 = 평식 주입, 입 = 입식 주입.
7. 밀랍 주봉의 굵기: 대탕도 = 직경 8.5mm, 표시가 없는 경우는 4.5 × 5.0mm.
8. 파손 상태: 건 = 건조 파손, 모두 13개. 소 = 소성 파손, 모두 3개. 나머지는 금속 용액을 주입한 경우로 모두 36개며 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 끓여서 혼합한 상태를 바둑 형태로 식혀서 준비하였다. 처음 끓인 상태에서 바로 주형에 주입하지 않고 식혔다가 다시 녹여서 사용하여야 한다. 그 이유는 처음 끓여서 혼합하였을 때에는 구리와 주석이 동일한 성분끼리 뭉쳐 있으려는 성질이 있다. 이러한 성질이 식으면서 약해져서 고루 섞이므로 완전한 합금을 얻을 수 있기 때문이다. 용점은 830℃ 정도.

2) 황동

구리와 아연(Zn)을 7 : 3의 비율로 혼합하여 바둑 형태로 만들어 두었다. 아연은 제련이나 합금을 위하여 가열하면 진한 흑황색의 유독성 가스가 강하게 발생하면서 산화되는 특징을 가지고 있다. 용점은 890℃ 정도.

3) 청동2

고려시대의 활자라고 전해지는 “複”자의 성분과 비율¹⁵⁾을 참고하여 구리 55% · 주석 33% · 납(Pb) 11% · 아연 1%의 비율로 합금하여 바둑 형태로 준비하였다. 용점은 710℃ 정도.

합금을 하면서 주의할 점은 처음 원광을 녹인 도가니 안에서는 각 금속이 충분히 혼합되지 않고 같은 성분끼리 뭉치려는 성질이 있다. 그러므로 바둑 형태로 식히기 위하여 도가니에서 금속 용액을 충분히 저어서 떠야 한다. 특히 아연은 용액 상태에서 구리보다 아래에 가라앉는 특성이 있다.

15) 손보기. 「한국의 고활자」 (서울: 보진재, 1981), 68.

4.2.2 어미자군의 용출과 주형의 소성

금속 용액을 주입하기 위하여는 주형의 어미자군 밀랍 성분을 완벽하게 제거함과 아울러 소성하여야 한다. 이를 위한 가열로의 크기는 가로 세로 깊이가 340 × 340 × 410mm로 약 60개의 주형을 쌓아 넣을 수 있다.

① 주형의 어미자군을 녹여 내기 위하여 건조 파손된 13개를 제외한 39개를 주입구가 아래로 향하도록 하여 가열로에 쌓아 넣었다. ② 200℃까지는 2시간에 걸쳐서 가열하였다. ③ 200℃ 이후에는 주형의 균열을 방지하기 위하여 서서히 단계적으로 7시간에 걸쳐서 600℃까지 가열하였다. ④ 어미자군은 점차 연소되면서 대체로 250℃부터 500℃에 이를 때까지 눈이 매울 정도의 농도 짙은 독가스로 배출되었다. 일부 주형은 밀랍이 연소되면서 까맣게 그을렸다. 500℃부터는 밀랍이 거의 다 연소되어 가스가 나오지 않았다. 그러나 일부는 주형 재료에 스며들어 남아있을 수 있다. ⑤ 이를 완전히 제거하기 위하여 600℃를 1시간 정도 유지하였다.¹⁶⁾ 이러한 방법으로 완만히 그리고 충분히 가열하여 밀랍 성분을 완전히 제거함과 아울러 주형을 소성하기까지 약 10시간이 소요되었다. 소성 결과 파손된 주형은 3개였다(표 5 참조).

4.2.3 금속 용액의 주입

주형의 밀랍 성분을 완전히 제거하였으면 금속 용액을 주입한다. 주형 재료의 연구에서 금속 용액 주입 시 발생하는 가스 흡수 능력, 금속의 주입량(200g 정도), 재래식 주입 방법 등 주요 적성은 100% 적합한 것으로 확인되었으므로 본 실험은 예비실험 없이 곧바로 주입하였다. 주형을 가열하고 있는 사이에, 금속을 녹여서

16) 주형 재료의 연구에서는 700℃까지 가열하였으나, 밀랍을 500℃에서 이미 만족할 만큼 배출하였음을 확인하였으므로, 이번에는 600℃까지만 가열하였다. 이에 반하여 치과 주조용 석고계 매몰재는 750℃에서도 가스 냄새가 강하다. 이는 점토계 주형 재료가 석고계보다 밀랍이 녹을 때 흡수하는 양이 적으며, 성능은 더 우수하다는 것을 의미한다. 조형진. “금속 활자 밀랍주조법 주형재료: 탄분의 복원 실험 연구.” 209, (표 7 참조).

주입할 준비를 하였다. 에너지의 낭비를 막기 위하여 작은 도가니에 2~3개의 주형에 주입할 필요량만 녹이면서 주입하였다.

① 금속 용액을 충분히 끓이면서 ② 가열로에서 주형을 하나씩 꺼내어 주입구가 위로 향하도록 뒤집어서 주입대에 올려놓았다. ③ 금속 용액이 끓고 있는 도가니를 집어서 주입하였다. ④ 1~2분이 경과하면 금속 용액이 굳기 시작하였다. ⑤ 금속 용액이 굳으면 주입대에서 내려놓았다. ⑥ 금속 용액의 주입은 주형의 온도를 600℃에서 평온까지 점차 낮추면서 진행하였다. ⑦ 모든 주형에 금속 용액의 주입이 끝나면, 식기를 기다렸다가 다음 작업을 진행하였다. 이와 같은 방법으로 청동·황동 등을 차례로 주입하였다. 36개 주형에 주입한 금속과 주형의 온도는 <표 5>와 같다.

금속 용액을 충분히 끓였을 때의 온도는 용점보다 100℃ 정도 높고, 주입 시점의 온도는 이보다 약간 낮았다. 금속 용액을 주입할 시점에 온도를 약간 낮추는 이유는 주입한 후에도 계속 끓으면 가스 발생량이 증가하여 금속 표면에 기포가 생기는 등으로 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 주입구 부분을 잘 조성할 필요가 있었다.

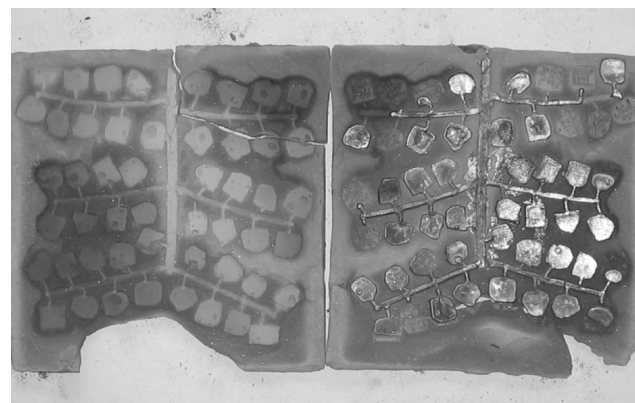
예상하지 못한 점으로 육안으로 보이지 않던 미세한 틈새로 금속 용액이 흘러 나오는 현상을 볼 수 있었다. 금속 용액은 유동성이 큰 순으로, 또 식는 속도가 느린 순서인 청동2·청동1·황동 순으로 많이 새어 나왔다. 이는 활자 구조의 실패로 나타나므로 주형 재료를 주형틀에 충전할 때 가능한 한 기포가 생기지 않도록 하여야 하며, 소성 과정까지도 조심스럽게 다루는 주의가 필요하였다.

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

4.3 活字의 抽出 및 成功率와 收縮率

4.3.1 활자의 추출

① 주형이 냉각되면 깨뜨렸다. 주조의 성공 여부만 확인한다면 주형을 보존할 필요가 없으나, 연구 발표를 위하여 주형을 보존할 수 있도록 조심스럽게 양분하였다(사진 2 참조). 주조가 잘된 경우는 주형에 남아있는 어미자의 자적이 완전하지 못했고, 주조가 잘못된 경우는 완전히 남아 있었다. 유성 탄소 + 파라핀 + 上 + 매우 균열된 주형도 600℃까지 소성하여 보았더니 어미자의 자적은 선명하고 완전하게 형성되어 있었다.



<사진 2> 활자 추출을 위하여 양분한 주형(활10, 側, 약, 청1, 400, 立)

② 청동은 당도와 활자가 부러지듯이 쉽게 떨어져서 굳으로 노출되지 않으므로 세심히 찾아야 했다. 황동은 틈새로 흘러나온 너덜이까지 유연하게 붙어 있어서 활자군으로 노출되는 경우가 대부분이었다. ③ 하나씩 떼어내어 너덜이를 다듬었다. 청동은 연장으로 끊듯이 잘라내고, 황동은 줄로 다듬어야 했다. 이때 문자면이 손상되지 않도록 주의하여야 한다. ④ 낱알의 활자 표면의 주형 재료 가루나

불순물을 깨끗이 털어냈다. ⑤ 필획 사이에 끼어 있는 주형 재료는 고열로 구워낸 점토이므로 딱딱하여 잘 털어지지 않았다. 그러므로 문자면에 손상을 주지 않도록 대나무 등을 뾰족하게 깎아서 파냈다. ⑥ 주형 재료 가루를 완전히 제거하기 위하여 물속에서 솔로 깨끗이 씻어냈다. ⑦ 물기를 닦아냈다. ⑧ 필획이 조성된 상태를 확인하면서 너덜이가 있으면 줄로 곱게 슬어냈다. 그러나 대부분의 활자에는 너덜이가 많지 않았다. ⑨ 활자는 이대로 사용이 가능하지만, 필요할 경우 문자면을 사포로 가볍게 갈아서 완성하였다.

4.3.2 성공률의 산출

활자를 인출하여 자적을 확인함으로써 성공 여부를 판단하고 비율을 산출하였다. 자적을 인출해야 하는 이유는 목적이 서적 인출에 있기 때문이다. 또 다른 이유는 활자를 육안으로 보면 성공한 듯하나 자적을 찍으면 실패한 경우도 있고, 그 반대의 경우도 있다. 따라서 자적을 인출한 후에야 정확히 판단할 수 있기 때문이다. 완전히 실패한 활자는 인출할 필요도 없이 확인이 가능하였다.

성공과 실패의 기준은 다음과 같다. ① 전체적인 완성도를 살펴서 문자 식별 가능 여부를 기준으로 하였다. ② 단필·결필 등 현상의 정도와 복합 출현 등을 기준으로 하였다. ③ 기타 너덜이 여부를 기준으로 하였다.

성공적으로 주조해낸 각 조건별 활자의 수량은 <표 6>과 같다.

<표 6> 성공한 금속활자의 수량(개)(각 공간의 실험 조건은 <표 5>와 같다.)

기능성 재료 충진재료	활성탄 10%			종이 섬유 2% + 활성탄 18%			유성 탄소 20%			흑연 20%			총계
황 토	4	0	0	0	40	0	0				5	9	305 (16.94%)
	1	1	3	0	0	1				0	0	27	
	0	6		2	0	0				11			
	19	13	3	34	0	2				17	25	40	
				0	12	30							
소 계	50(9.09%)			121(15.13%)						134(29.78%)			

(1) 최고의 성공률: 종이 섬유와 활성탄 + 밀랍 + 문자면 측향 + 청동1 + 주형 온도 400℃ + 입식 주입 + 주탕도 4.5×5.0mm의 경우와 흑연 + 왁스 + 문자면 측향 + 청동2 + 주형 온도 300℃ + 입식 주입 + 주탕도 4.5×5.0mm의 경우가 80.0%로 가장 높았다.

(2) 전체의 성공률: 성공한 금속활자의 수량은 305개다. 이를 위하여 사용한 어미자의 수량은 주형 36개 × 어미자 50개 = 1,800개다. 따라서 성공률은 $305 \div 1,800 = 16.94\%$ 로 나타났다.

(3) 주형의 기능성 재료별 성공률과 완성도: 활성탄이 $50 \div 550 = 9.09\%$, 종이 섬유와 활성탄이 $121 \div 800 = 15.13\%$, 흑연이 $134 \div 450 = 29.78\%$ 로 나타났다. 성공한 활자의 완성도, 즉 「직지」 자적과의 근접성은 종이 섬유와 활성탄 · 활성탄 · 흑연 순으로 높은 것으로 나타났다(“5.2.3 활자의 완성도” 참조).

(4) 어미자의 재료별 성공률: 밀랍이 $44 \div 200 = 22.0\%$, 파라핀이 $14 \div 300 = 4.67\%$, 왁스가 $247 \div 1,300 = 19.0\%$ 로 나타났다.

(5) 문자면의 방향별 성공률: 상향이 $47 \div 750 = 6.27\%$, 하향이 $23 \div 450 = 5.11\%$, 측향이 $235 \div 600 = 39.17\%$ 로 나타나서 측향이 압도적으로 높았다.

(6) 금속의 재료별 성공률: 청동1이 $170 \div 850 = 20.0\%$, 황동이 $50 \div 550 = 9.09\%$, 청동2가 $85 \div 400 = 21.25\%$ 였다.

(7) 주형의 온도별 성공률: 600℃가 $4 \div 300 = 1.33\%$, 500℃가 $80 \div 650 = 12.31\%$, 450℃가 $34 \div 100 = 34.0\%$, 400℃가 $91 \div 350 = 26.0\%$, 300℃가 $57 \div 300 = 19.0\%$, 100℃가 $30 \div 50 = 60.0\%$, 평균이 $9 \div 50 = 18.0\%$ 로 나타났다.

(8) 금속 용액의 주입 방향별 성공률: 평식이 $70 \div 1,200 = 5.83\%$, 입식이 $235 \div 600 = 39.17\%$ 로 나타나서 입식이 압도적으로 높았다.

(9) 주탕도의 굵기별 성공률: 4.5×5.0mm가 $263 \div 1,650 = 15.94\%$, 직경 8.5mm가 $42 \div 150 = 28.0\%$ 로 나타났다.

성공한 금속활자의 자적은 <표 7>과 같다.¹⁷⁾

17) 작업량의 방대함으로 인하여 일부 물리적인 실수가 있었다. 그러나 실험의 결과에는 영향이 없다.

<표 7> 성공한 금속활자의 자적

실험조건: 활성탄	금속활자의 자적						
밑, 下, 약, 청1,500, 平	萬	語	住	次			
약, 上, 약, 청1,500, 平	侍						
약, 上, 약, 황, 400, 平	侍						
약, 上, 약, 청2,600, 平	手	何	和				
약, 下, 미, 황, 400, 平	示	侍	汝	而	來	會	
약, 側, 약, 청1,400, 立	介	磨	思	師	示	依	而
	入	丈	這	寐	會	之	叅
	何	行	和	皇	迴		
약, 側, 약, 황, 500, 立	介	來	師	手	示	實	汝
	低	侍	之	指	天	迴	
약, 側, 약, 청2,300, 立	覺	天	皇				

실험조건: 종이섬유	금속활자의 자적						
밑, 側, 완, 청1,400, 立	覺	桂	背	其	奇	起	道
	東	萬	三	上	相	西	禪
	豎	匙	甚	尋	十	阿	兩
	語	與	要	義	因	日	在
	滴	肇	住	地	且	次	着
	錯	陀	便	下	香		
	夫						
약, 上, 완, 청2,600, 平	夫						
약, 下, 완, 청1,500, 平	師	依					
	覺	空	茶	達	當	同	磨
	無	保	雪	手	誰	侍	深

斜,側,完, 淸1,450, 立	汝	祐	依	而	入	丈	低
	這	寐	座	會	之	指	痛
	何	行	和	和	皇	迴	
斜,側,完, 淸2,300, 立	去	入					
斜,側,完, 淸1,300, 立,대탕도	介	見	同	保	師	示	藏
	低	座	會	痛	行		
斜,側,完, 淸1,100, 立,대탕도	介	去	見	當	同	磨	蒙
	保	思	師	善	手	誰	身
	汝	祐	入	丈	藏	行	這
	座	會	指	痛	何	行	和
	皇	迴					

실험조건 :흑연	금속활자의 자적						
斜,上,미, 황,500,平	反	致	趙	州	車		
斜,上,약, 淸2,평은, 平	去	當	蒙	師	示	行	指
	天	行					
斜,上,약, 淸2,500, 平	介	空	茶	達	同	無	善
	手	垂	誰	侍	身	實	深
	汝	而	入	丈	這	寐	座
	會	之	叅	何	和	皇	
斜,下,약, 淸1,500, 平	介	去	同	磨	善	手	而
	之	天	和	迴			
斜,側,完, 淸1,500, 立	介	去	茶	當	同	事	璽
	誰	實	汝	入	丈	低	行

(10) 필획의 다과별 성공률: 어미자와 성공한 금속활자의 필획 다과별 수량과 분포율은 <표 8>과 같다. 활자의 어미자 대비 증감율은 8획 이하가 130.59%, 9~13획이 86.06%, 14획 이상이 60.95%이다. 이는 주형의 기능성 재료별로 구분하여도 비슷하다. 즉 필획이 적을수록 성공률이 높게 나타났다. 필획 간 성공률의 격차는 종이 섬유 + 활성탄 · 흑연 · 활성탄 순으로 낮았다.

<표 8> 어미자 및 성공한 금속활자의 필획 다과별 수량과 분포율

어미자	금속활자				어미자 대비 증감율
	활성탄 10%	종이 섬유 2% + 활성탄 18%	흑연 20%	총계	
8획 이하 61개, 40.67%	30개 60.0%	56개, 46.28%	76개 56.72%	162개 53.11%	$53.11 \div 40.67 = 130.59\%$
9~13획 64개, 42.67%	16개 32.0%	52개, 42.98%	44개 32.84%	112개 36.72%	$36.72 \div 42.67 = 86.06\%$
14획 이상 25개, 16.67%	4개 8.0%	13개, 10.74%	14개 10.45%	31개 10.16%	$10.16 \div 16.67 = 60.95\%$
합계 150개, 100%	50개 100%	121개, 100%	134개 100%	305개 100%	-

4.3.3 수축률 측정

어미자와 성공한 활자에서 기능성 재료별로 5개씩 15개의 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 모호한 경우가 많아서 다소의 오차는 불가피해 보였다. 실측의 대상과 수축률은 <표 9>와 같다. 활자는 어미자보다 평균 97.47%로 2.53% 수축되는 것으로 나타났다.

악,側,완, 황,400,立	之	何	皇				
	介	去	當	同	蒙	思	善
	雪	垂	誰	示	侍	汝	祐
	依	入	低	佇	這	寐	六
악,側,악, 청,2,300, 立	指	何	行	迎			
	介	去	見	空	奈	達	當
	同	磨	蒙	保	事	師	善
	雪	手	誰	示	侍	實	深
	汝	祐	依	而	入	丈	藏
	低	佇	這	寐	曾	之	指
	痛	何	行	皇	迎		

<표 9> 실측 대상 문자의 길이(200%)와 수축률

표 본		어미자(mm)	금속활자(mm)	수축률(%)	평균(%)
활성탄	밑,下,약,청1,500,平=萬	25.0	24.4	97.6	98.37
	왁,下,미,황,400,平=示	20.0	19.9	99.5	
	왁,側,약,청1,400,立=寂	25.0	24.8	99.2	
	왁,側,약,황,500,立=茶	24.8	23.9	96.37	
	왁,側,약,청2,300,立=覺	24.0	23.8	99.17	
종이섬유	밑,側,완,청1,400,立=匙	18.9	18.0	95.24	96.85
	밑,側,완,청1,400,立=住	21.0	20.1	95.71	
	왁,側,완,청1,450,立=手	20.0	19.1	95.50	
	왁,側,완,청1,300,立,대탕도=行	21.0	20.7	98.57	
	왁,側,완,청1,100,立, 대탕도=蒙	25.7	25.5	99.22	
흑연	파,上,미,황,500,平=攷	23.0	22.3	96.96	97.19
	왁,上,약,청2,500,平=入	17.2	17.0	98.84	
	왁,側,완,청1,500,立=同	21.9	21.2	96.80	
	왁,側,완,황,400,立=指	23.0	22.3	96.96	
	왁,側,약,청2,300,立=磨	25.0	24.1	96.40	

<표 10> 실험 설정의 조건

1	어미자의 재료	① 밀랍, ② 파라핀, ③ 왁스 등 3종
2	주형의 충전 재료	황토 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 = 금속 용액의 주입 양	50개 = 약 350g 1종
6	문자 필획의 다과	50자 × 3 = 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	주탕도의 굵기	① 4.5 × 5.0mm, ② 직경 8.5mm 등 2종
9	주형의 소성 온도	600℃
10	금속 용액 주입 시 주형의 온도	평온에서 600℃까지 다양
11	금속 용액의 주입 방향	① 평식, ② 입식 등 2종
12	금속 용액의 온도	800~1000℃ 1종
13	금속 용액의 주입 방법	재래식 직접 주입 1종

5. 實驗 結果의 分析

5.1 實驗 設定의 條件

본 연구는 고려시대에 사용했을 법한 금속활자 밀랍주조법의 세부 과정을 단계별로 다양하게 실험 조건을 설정하여 추적하였다. 이를 위하여 설정한 조건은 <표 10>과 같다.

5.2 實驗 結果의 分析

각 단계별 조건을 조합하여 설정한 52종의 실험 결과를 분석하면 다음과 같다.

5.2.1 주조의 성공률

최고의 성공률은 80.0%로 2종류의 조건에서 나타났다. 전체의 성공률은 16.94%였다. 전체의 성공률이 낮은 주된 이유는 금속 용액의 주입 방향으로 평식을 많이 실험한 결과로 보인다. 결과는 입식의 성공률이 월등히 높았다. 따라서 성공률을 위하여는 입식을 중심으로 실험할 필요가 있었다.

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.

특기할 점은 이들 특징이 모두 「직지」에서도 발견되는 유사한 현상이다.¹⁸⁾ 이에 근거하면 필자가 추적한 밀랍주조법은 직지활자를 주조하기 위하여 사용했던 방법일 가능성이 높은 것으로 보인다.

(1) 斷筆 문자: 필획이 끊어진 현상이 나타난 문자가 있다. 활성탄의 경우에 萬語住侍侍手侍汝寂介磨思師而丈這寂曾之參何和皇廻茶師手實汝低佇之指天廻覺皇 등 37개가 있다. 종이 섬유에는 覺桂肯道東萬相西禪豎甚兩與要因滴肇次着錯陀香去師達當同保持祐而入低之指皇去介同保示藏座曾介去見當同磨蒙思師善手誰汝入丈藏佇這座指痛何皇 등 67개가 있다. 흑연에는 反孜趙州車去當蒙師示指空茶善手垂誰實深座曾之參何皇去磨善手而天和廻介去茶當同事雪誰實汝入丈低佇之何皇介去當同蒙思善雪垂誰侍汝祐依入低佇這寂之指何行廻去空茶磨蒙事師善雪手侍實依而藏低佇寂曾指痛何行皇廻 등 99개가 있다. 모두 합하면 203개로 66.58%에 이른다.

(2) 氣泡 문자: 문자면의 일부가 미세한 흠처럼 움푹 패인 결과 자적에 하얀 반점이 나타난 문자가 있다. 종이 섬유의 경우에 曾(악,側,완,청1,450,立)去(악,側,완,청1,100,立,대당도) 등 2개가 있다. 흑연에는 這寂何(이상 악,側,완,황,400,立)汝(악,側,악,청2,300,立) 등 4개가 있다. 모두 합하면 6개다.

(3) 너덜이 문자: 너덜이가 있어서 잡먹이 나타난 문자가 있다. 활성탄의 경우에 萬語和侍汝師手汝 등 8개가 있다. 종이 섬유에는 肯豎與地陀香覺汝和同示低介當磨思善座指痛 등 20개가 있다. 흑연에는 趙車佇行善侍實寂之和介同磨善和廻去茶當雪誰實汝入之何皇去蒙思誰汝這蒙事手侍佇寂曾痛行 등 42개가 있다. 모두 합하면 70개에 이른다.

(4) 필획이 어긋난 문자: 필획이 교차하는 부분에서 하나의 필획이 두 획처럼 어긋난 문자가 있다. 十(종이 섬유의 밀,側,완,청1,400,立)이 그 예다.

(5) 缺筆 문자: 필획의 일부가 나타나지 않은 문자가 있다. 활성탄의 경우에 和(악,上,악,청2,600,平)師這曾參(이상 악,側,악,청1,400,立)茶(악,側,악,황,500,立) 등 6개가 있다. 종이 섬유에는 其相禪尋與(이상 밀,側,완,청1,400,立)覺誰(이상 악,側,완,청1,450,立)蒙師身座(이상 악,側,완,청1,100,立,대당도) 등 11개가 있다. 흑연에는 州(과,上,미,황,500,平)蒙(과,上,악,청2,평온,平)達這座(이상 악,上,악,청2,500,平)磨(악,下,악,청1,500,平)雪皇(이상 악,側,완,청1,500,立)思侍廻(이상 악,側,완,황,400,立)低曾(이상 악,側,악,청2,300,立) 등 13개가 있다. 모두 합하면 30개에 이른다.

(6) 필획이 변형된 문자: 굵거나 특이하게 변형된 문자가 있다. 종이 섬유의 入(악,側,완,청2,300,立)과 흑연의 反孜(이상 과,上,미,황,500,平)誰而(이상 악,上,악,청2,500,平)同手而之天(이상 악,下,악,청1,500,平)丈(악,側,완,청1,500,立)依廻(이상 악,側,완,황,400,立)汝低(이상 악,側,완,청2,300,立) 등 모두 15개가 있다.

(7) 묵등 문자: 필획 주변이 메워져서 까맣게 먹 덩어리로 나타나는 문자로 흑연의 趙(과,上,미,황,500,平)皇(악,上,악,청2,500,平) 2개가 있다.

5.2.3 활자의 완성도

자적의 특징은 기술상의 문제로서 의도하지 않았던 부정적인 현상들이다. 이 현상이 많을수록 완성도는 떨어질 수밖에 없다(표 11 참조). 완성도는 종이 섬유가 가장 높고 흑연이 가장 낮았다. 이점에서도 종이 섬유의 기능이 탁월함을 알 수 있었다. 종이 섬유를 첨가한 주형은 견고하여 어미자의 필획을 잘 유지함에 비하여 흑연은 다소 견고하지 못하여 필획이 일부 파손된 결과라고 할 수 있다. 흑연 주형의 보수 작업을 가장 많이 했던 점과도 관련이 있다.

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

<표 11> 활자 자적의 특징 출현 빈도

활성탄 10%	종이 섬유 2% + 활성탄 18%	흑연 20%
51개 현상 ÷ 50개 = 102%	102개 현상 ÷ 121개 = 84.30%	174개 현상 ÷ 134개 = 129.85%

5.2.4 활자의 수축률

수축률은 15개(4.92%)만 선별하여 측정하였지만, 평균 2.53% 수축되었다. 이는 주형 재료의 연구에서 나타난 4%와 근접함을 알 수 있다.

5.2.5 어미자의 재료

밀랍 어미자의 금속활자 주조 성공률은 22.0%, 왁스는 19.0%로 근접한 점에서 밀랍의 대응으로 파라핀(4.67%)보다 왁스가 효과적인 재료로 평가되었다.

5.2.6 주형의 충전 재료

황도는 높은 점성을 가진 점토로 밀랍주조법의 충전 재료가 될 수 있음을 확인하였다. 이를 수비하여 점토와 사질 성분을 여과하여야 했다.

5.2.7 주형의 기능성 재료

활성탄 · 종이 섬유 · 흑연 등을 혼합한 36개의 주형에 재래식 방법으로 무리 없이 금속 용액을 주입할 수 있었다. 이로써 금속 용액 주입 시 발생하는 가스를 흡수하는 기능이 있음을 파악하였다. 혼합 비율은 활성탄이 10~18%, 종이 섬유는 2%, 흑연은 20%였다.

특히 종이 섬유는 주형의 균열을 방지하는 기능이 탁월하였다. 다른 재료를 혼합한 주형은 건조나 소성 과정에서 다양하게 균열되었으나, 종이 섬유를 혼합

한 주형은 전혀 균열되지 않았다. 또한 종이 섬유 2% + 활성탄 18%의 주형은 주조 성공률이 15.13%임에 비하여, 활성탄 10%의 주형은 9.09%였다. 즉 종이 섬유가 주조의 성공률에까지 영향을 미칠 만큼 절대적이었다.

흑연을 혼합한 주형은 성공률이 29.78%로 높게 나타났다. 그러나 활자의 완성도는 낮아서, 주형이 견고하지 못한 것으로 판단되었다.

유성 탄소는 기능성 재료로서 부적합한 것으로 판명되었다.

5.2.8 금속의 재료

청동1과 청동2의 주조 성공률이 각각 20.0%와 21.25%로 황동의 9.09%보다 높았다. 즉 청동이 황동보다 주조에 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 재래식으로 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 문자면 측향의 성공률이 압도적으로 높았다. 즉 금속 용액의 압력을

높여서 입식으로 주입하는 것이 절대적이었다.

5.2.12 주탕도의 굵기

직경 8.5mm 대탕도의 성공률이 $4.5 \times 5.0\text{mm}$ 보다 높았다. 그러나 이는 금속 용액을 입식으로 주입한 영향이 큰 것으로 보인다. 왜냐하면 “밑,下,완,청1,300,平, 대탕도”의 경우는 성공률이 0%였기 때문이다. 실제로 $4.5 \times 5.0\text{mm}$ 의 주탕도로도 충분히 주입되었다. 고려시대의 금속 기술 수준으로 미루어 보아도 어미자에 접착된 탕도의 굵기가 직경 8mm씩은 되지 않았을 것으로 짐작된다.

5.2.13 주형의 소성 온도와 금속 용액 주입 시 주형의 온도

주형을 소성하기 위한 온도는 600°C 로도 충분하였다. 금속 용액 주입 시 주형의 온도는 주조 성공률이 각각 나타났다. 특히 평온 주형의 성공률이 600°C 와 500°C 보다 높게 나타났고, 100°C 의 성공률이 가장 높은 점으로 미루어 주형의 온도는 성공률과 별 관계가 없었다.

5.2.14 실패의 원인

16.94%의 성공률은 83.06%의 실패를 의미한다. 그 원인은 다음과 같다.

(1) 금속 용액의 주입 방향 = 주입 압력: 활자의 동체는 형성되었지만, 필획이 형성되지 않은 경우가 평식에서 많이 나타났다. 그러나 주형 내에 어미자의 문자 필획은 완벽하게 형성되었다. 이는 주형의 재료가 용액을 거부하는 것은 아니다. 주입 시 압력이 약하여 어미자 공간 끝까지 속속들이 주입되지 못한 때문으로 보인다. 점토계 주형 재료의 성능이 금속 용액을 수용하기는 하되 주물사보다는 우수하지 못한 결과일 수도 있다. 따라서 금속 용액의 주입 방향을 입식으로 하여 압력을 충분히 할 필요가 있다. 아울러 자신있게 주입할 수 있도록 주입구의 크기

를 여유있게 조성할 필요도 있다.

(2) 금속의 재료와 온도: 주입구와 탕도 부분만 주입되고 활자의 동체는 형성되지 않은 경우가 평식과 황동에서 많이 나타났고 대탕도에도 있다. 이는 주입 중에 식어서 유동성이 멈춘 결과로 보인다. 또 주입 시 발생하는 가스를 주형이 흡수하지 못하거나, 금속이 주형 공극의 공기를 밀어내지 못한 결과일 수도 있다. 따라서 금속을 충분히 가열할 필요가 있다. 특히 황동은 아연이 고열에 타면서 용점이 올라가 가열을 멈추면 금세 식는다. 또 걸죽하여 흐르는 속도가 느다. 충분히 가열하면 주입 후 청동은 5분, 황동은 2분 정도 용액이 돌 수 있다. 이에서 활자 주조용 금속으로 청동이 황동보다 더 적합함을 알 수 있다. 참고로 금속의 용점은 구리 1083°C · 주석 232°C · 아연 420°C · 납 327°C 이다. 주입을 쉽게 하려면 구리의 함량을 80~95%로 높여서 용점이 900°C 정도 되어야 늦게 식으며 부러지지 않고 유연하다. 그러나 청동2의 합금은 800°C 에서도 유동성이 커서 미세한 틈에도 쉽게 주입되므로 균열을 피할 수 없는 점토계 주형에는 부적합할 수도 있다.

(3) 주형의 균열: 주형에 육안으로 안보이는 미세한 균열과 기포가 있어서 용액이 새는 경우가 많았다. 이는 주입을 충분히 할지라도 실패로 나타났다. 따라서 어미자군 매몰 시의 기포나 주형 건조 시의 균열이 생기지 않도록 해야 한다.

(4) 밀랍의 제거: 주형을 충분히 가열하여 밀랍을 완전히 제거하지 않은 경우, 용액이 튀었다. 따라서 밀랍을 완전히 제거할 만큼 충분히 가열하여야 한다.

참고로 실패 사례를 일부 예시하면 <표 12>와 같다. 예시한 문자는 차례로 활성탄의 경우가 短漫, 同實皇, 雪深, 茶當休, 參行, 종이 섬유는 怪, 事思, 空茶達, 無, 흑연은 祐藏痛, 師實, 蒙保垂依藏休和, 深而參, 休 등이다.

<표 12> 실패한 금속활자의 자적

실험조건		금속활자의 자적						
활성탄	파,上, 미,황,4 00,平	延	漫		와,上, 약,청2, 600,平	同	眞	皇
	와,下, 미,황,4 00,平	空	深					
	와,側, 약,청1, 400,立	赤	室	休	와,側, 약,황,5 00,立	叅	介	
종이 섬유	밀,側, 완,청1, 400,立	怪			와,側, 완,청1, 450,立	事	思	
	와,側, 완,청1, 100,立	空	赤	達	와,側, 완,청1, 300,立	無		
노,기하	와,上, 약,청2, 500,平	祐	藏	痛	와,下, 약,청1, 500,平	師	寶	
	와,側, 완,청1, 500,立	蒙	深	垂	와,側, 완,청1, 500,立	依	藏	休
	와,側, 완,황,4 00,立	深	而	叅	와,側, 약,청2, 300,立	休		

6. 結 論

이상으로 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 황토는 유용하였다. 기능성 재료로 활성탄·종이 섬유·흑연 등은 주조가 가능하도록 하는 기능을 가지고 있음을 확인하였다. 그 혼합 비율은 활성탄이 10~18%, 종이 섬유는 2%, 흑연은 20%였다. 특히 종이 섬유는 주형의 균열을 방지하는 기능이 절대적일만큼 탁월하였으며, 주조의 성공률과 활자의 완성도에까지 영향을 미쳤다. 흑연은 성공률이 높게 나타났으나, 활자의 완성도는 낮았다. 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: 문자면을 측향으로 하여 금속 용액을 입식으로 주입하는 것이 주조의 성공률에 절대적인 영향을 미쳤다.

(6) 주탕도의 굵기: 4.5 × 5.0mm의 주탕도로도 충분히 주입되었다.

(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 80.0%로 2종류의 조건에서 나타났다. 전체의 성공률은 16.94%였다. 성공률을 높이기 위해서는 금속 용액의 주입 방향을 입식으로 할 필요를 느꼈다. 수축률은 2.53%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·목등 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: 금속용액의 주입 방향·금속의 재료와 온도·주형의 균열·밀랍의 제거 등이 지적되었다.

필자는 금속 주조의 전문 장인이 아니고, 고려 금속활자의 복원을 위하여 주조 원리를 추적하는 연구자다. 따라서 주조 기술의 수준은 겨우 원리를 찾아낼 수 있는 정도일 뿐으로, 기술력은 미숙할 수밖에 없다. 본 연구 결과의 성공률이 낮다 하여도 원리가 공인되어 전문 장인이 숙련된 기술로 주조할 경우 그 성공률은 훨씬 더 올라갈 수 있을 것이다. 전 과정을 한 번 실험해 본 연구자로서의 느낌도 실험 과정에서 나타난 현상, 주의할 점, 예상하지 못한 점, 실패를 줄이고 성공률을 높일 수 있는 요령 등이 터득되어, 한 번 더 반복 실험할 경우 성공률을 상당히 높일 수 있을 것으로 자신한다.

밀랍주조법은 금속활자를 주조할 수는 있다. 그러나 이러한 가능성도 숙련된 각수가 1시간에 어미자 1자를 조각하지 못하는 비능률적인 근본 문제를 안고 있다. 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.

<참고 문헌>

- 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+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.” 중앙대학교 박사학위논문, 1994. 12.
- 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.