

金屬活字 蜜蠟鑄造法の 安定性 提高를 위한 實驗 研究

An Experimental Investigation of the
Metal Type Wax Casting Method for Increasing Stability

曹 炯 鎮 (Cho, Hyung-Jin)*

◁ 목 차 ▷

- | | |
|----------------------|--------------|
| 1. 緒 論 | 4. 實驗 結果의 分析 |
| 2. 既存 實驗의 成功率과 失敗 要因 | 5. 結 論 |
| 3. 實驗 條件의 設計 | <참고문헌> |

< 초 록 >

금속활자를 안정적으로 주조할 수 있는 밀랍주조법의 조건을 도출하였다.

(1) 어미자의 재료와 어미자군의 수량: 왁스로 제작한 60개의 어미자군이 효과적이었다. 금속의 양은 400g이었다.

(2) 주형의 재료와 비율: 황토 89%, 종이 섬유 1%, 탄분 10%를 혼합한 주형 재료는 유용하였다.

(3) 주형의 규격: 가로 세로 높이(두께)를 170 × 250 × 30~35mm로 하여 어미자군의 가장자리 여유 폭이 20mm 이상이어야 효과적이었다.

(4) 주탕도의 굵기와 길이: 5 × 9 × 210mm가 효과적이었다.

(5) 주형의 소성 온도와 가열 속도: 700℃까지 가열하되, 8시간에 걸쳐서 서서히 가열 온도를 올리는 것이 효과적이었다.

(6) 주조의 성공률과 편차: 평균 성공률은 98.18%, 편차는 5.0%였다.

(7) 활자 자적의 특징과 완성도: 『직지』에서 발견할 수 있는 특징이 모두 나타났다. 활자의 완성도는 자적의 특징에 의한 완성도와 시각적 완성도에서 모두 매우 높았다.

따라서 본 연구가 제시한 밀랍주조법은 직지활자를 안정적으로 주조했던 방법일 가능성이 대단히 높을 것으로 판단된다.

要語: 금속활자, 밀랍주조법, 안정성, 황토, 종이 섬유, 탄분

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

접수일: 2014년 3월 6일 최초심사일: 2014년 3월 15일 심사완료일: 2014년 3월 20일

<ABSTRACT>

This study attempted to specify the conditions for increasing stability of metal type wax casting method.

(1) The matrix material and the number of matrices: Sixty matrices made of injection wax were useful as the cluster. The amount of metal was 400grams.

(2) The mould material and proportion: The mixture of 89% yellow earth, 1% paper fiber, and 10% charcoal powder was effective as the material for mould.

(3) The size of mould: The width, length, and height (thickness) were $170 \times 250 \times 30 \sim 35$ mm and the marginal width and length for the matrix cluster had to be larger than 20mm to be effective.

(4) The main path caliber and length for metal fluid: The size of $5 \times 9 \times 210$ mm was effective.

(5) The burning temperature of mould and heating speed: A gradual heating process for 8 hours to reach the temperature up to 700°C was effective.

(6) The casting success rate and variance: The average success rate was 98.18%, and the overall variance was 5.0%.

(7) The characteristics and performance of type strokes: All the distinctive characteristics in *Jikji* were observed here. The overall type quality was very high in both type strokes and visual aspect.

Therefore, it is highly probable that the wax casting method adopted by this experiment is the method that was actually used to cast *Jikji* type stably.

Key words: metal type, wax casting method, stability, yellow earth, paper fiber, charcoal powder

1. 緒 論

『白雲和尚抄錄佛祖直指心體要節』(이하 「직지」로 약칭)의 인출에 사용된 직지활자¹⁾와 「직지」를 복원하기 위하여 문헌적 연구를 비롯하여 다양한 실험 연구에 매진하여 왔다. 첫째, 「직지」의 자적 분석을 통한 기초 연구²⁾에서 자적의 특징·활자의 제작 방법·활자의 형태·조판 방법 등을 추론하였다. 둘째, 문헌 연구³⁾를 통하여 밀랍주조법의 원리와 구체적인 과정·어미자의 재료·주형의 충전 재료와 기능성 재료 등을 추적하였다. 셋째, 다양한 실험⁴⁾을 통하여 문헌 연구에서 추적한 밀랍주조법의 가능성과 함께, 금속활자의 밀랍주조법을 복원하기 위한 주조 성공의 조건·주조 상에 나타나는 현상·전통 재료의 대용품·대량 주조의 가능성·주조 성공률 제고 방법 등을 차례로 확인하였다.

이는 「직지」의 자적에서 분석한 직지활자의 형태와 특징, 주조 방법과 조판

- 1) 이 활자의 명칭으로 홍덕사자·고려사주활자 등이 있으나, 정설은 정립되지 않은 상태다. 본 연구에서는 「직지」를 인출한 활자라는 의미로 “직지활자”를 사용한다.
- 2) 曹炯鎭, “直指의 字跡에 나타난 直指活字의 特徵 研究,” 『書誌學研究』 제38집(2007. 12), 163-192.; 曹炯鎭, “直指活字의 鑄造·組版 方法 研究,” 『書誌學研究』 제39집(2008. 6), 69-86.
- 3) 曹炯鎭, “金屬活字 蜜蠟鑄造法 復原을 위한 文獻의 研究,” 『書誌學研究』 제33집(2006. 6), 41-77.
- 4) 曹炯鎭, “金屬活字 蜜蠟鑄造法 鑄型材料: 炭粉의 復原實驗 研究,” 『書誌學研究』 제30집(2005. 6), 183-221.; 曹炯鎭, “金屬活字 蜜蠟鑄造法 鑄型材料: 黑鉛의 復原實驗 研究,” 『書誌學研究』 제31집(2005. 9), 33-56.; 曹炯鎭, “金屬活字 蜜蠟鑄造法 鑄型材料: 炭粉+紙纖維의 復原實驗 研究,” 『書誌學研究』 제32집(2005. 12), 107-130.; 趙炯鎭, “금속활자 밀랍주조법 주형재료: 유성탄소의 복원실험 연구,” 『韓國科學史學會誌』 제29권 제2호(2007. 12), 351-373.; 曹炯鎭, “金屬活字의 黃土를 이용한 蜜蠟鑄造法 實驗 研究,” 『書誌學研究』 제43집(2009. 9), 41-92.; 曹炯鎭, “금속활자의 백토를 이용한 밀랍주조법 실험 연구,” 『書誌學研究』 제44집(2009. 12), 119-160.; 曹炯鎭, “금속활자의 산청토를 이용한 밀랍주조법 실험 연구,” 『書誌學研究』 제45집(2010. 6), 259-293.; 曹炯鎭, “金屬活字의 靑土를 이용한 蜜蠟鑄造法 實驗 研究,” 『書誌學研究』 제46집(2010. 9), 199-235.; 曹炯鎭, “금속활자의 웅기토를 이용한 밀랍주조법 실험 연구,” 『書誌學研究』 제47집(2010. 12), 129-167.; 曹炯鎭, “금속활자의 내화토를 이용한 밀랍주조법 실험 연구,” 『書誌學研究』 제48집(2011. 6), 153-190.; 曹炯鎭, “금속활자 밀랍주조법의 대량 주조 실험 연구,” 『書誌學研究』 제49집(2011. 9), 203-233.; 曹炯鎭, “금속활자의 밀랍주조법의 개량 실험 연구,” 『書誌學研究』 제50집(2011. 12), 47-88.

방법, 문헌 연구의 결과, 향간에 구전되어 오던 근거가 확실하지 않은 장인 등의 경험적 증언, 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. 궁극적으로 금속활자 밀랍주조법의 모든 과정을 실험으로 증명함으로써 밀랍주조법의 완전한 개념과 원리를 제시하고자 하였다. 이러한 일련의 연구를 통하여 얻은 점도 적지 않고, 아직 부족한 점도 남아 있다.

얻은 점으로 다음을 들 수 있다. (1) 밀랍주조법에 사용된 주형재료를 찾아낸 점이다. 충전 재료인 점토와 기능성 재료를 혼합하여 밀랍주조용 주형 재료를 조제하고, 이를 이용한 실험으로 주조 가능성을 확인하였다. 이에서 점토의 종류와 조건, 기능성 재료의 종류와 비율 등을 제시하였다. 이로써 구전되어 오던 ‘오토’의 실체를 확인할 수 있었다. (2) 밀랍주조법의 구체적인 과정을 밝혀냈다. 밀랍주조에 관한 실물은 물론 문헌 자료도 전무한 한국의 현실에서 청동기 주조 방법을 원용하여 극소형의 금속활자를 주조할 수 있는 구체적인 과정을 제시하였다. 이에서 밀랍 어미자의 재료, 어미자의 조각 방법과 과정 및 조각 능력, 주형 재료의 혼합 비율과 수분 함유율, 주형의 형태와 제작 방법, 주형의 소성 과정과 온도, 주탕도를 비롯한 각 탕도의 굵기, 금속 용액 주입 압력의 정도, 활자의 성공률과 수축률 등을 확인하였다. (3) 응용 가능한 어미자의 재료로 밀랍과 함께 송지(첨가제), 파라핀, 왁스 등도 발견하였다. (4) 점토 계열의 주형 재료로 주조 가능한 금속의 합금 성분이 청동이라는 점도 확인하였다. (5) 하나의 주형에 대량으로 100개에 이르는 활자를 주조하는 것도 가능함을 확인하였다.

부족한 점이라면 다음을 들 수 있다. (1) 어미자 생산의 능력적 한계이다. 이는 숙련된 각수가 어미자를 1시간에 겨우 1개밖에 조각하지 못하는 비능률적인 근본 문제를 안고 있다. 수작업으로 할 수밖에 없었던 고려시대 당시로서는 극복할 수 없는 운명이었던 듯하다. (2) 주형 재료의 주조 적성적 한계이다. 주형의 충전

재료가 점토인 까닭에 건조 시에 나타날 수밖에 없는 육안으로는 확인이 불가능한 미세한 균열로 인하여 금속 용액 주입 시에 새어 나와서 실패를 초래하였다. 또한 금속 용액 수용 적성이 주물사만큼 우수하지 못하여 금속의 재료·주탕도의 굵기 등에서 제약이 있을 수밖에 없다. 이로 인하여 주조의 안정성, 즉 성공률의 균일성을 담보할 수 없는 문제점을 안고 있다. (3) 어미자 80개의 주조 실험에서 발견한 현상으로 어미자를 감싸고 있는 주형 가장자리의 여유분 두께가 5mm 이내인 경우, 금속 용액의 중량과 주입 압력을 견디지 못하여 주형이 마치 음틀과 양틀처럼 갈라지는 현상도 있었다. 이러한 주형은 금속 용액이 대부분 흘러나와서 실패를 초래하였다. 즉 성공과 실패의 편차가 고르지 못하였다.

지금까지의 실험 연구를 통하여 부분적으로 실패도 하고 성공도 하면서 금속활자를 주조할 수 있는 구체적인 과정과 방법을 강구하여 활자를 주조하기는 하였다. 그러나 이 성공은 주조의 성공률을 항상 안정적으로 유지하지 못하는 문제점을 안고 있다. 즉 성공률이 높은 낮은 간에 모든 주형에서 비슷한 성공률을 예측할 수 없어서 고른 성공률의 안정성이 요구되었다. 주된 원인은 충전 재료가 점토인 까닭에 건조 과정에서 부득이 필연적으로 나타나는 균열 현상을 인위적으로 조절할 수 없기 때문이다.

따라서 본 연구는 이같은 인위적 조절이 불가능한 문제점을 극복하고, 주조의 균일한 성공률 확보에 초점을 맞추어 보완 실험을 거듭한 끝에 이를 담보할 수 있는 결과를 도출할 수 있었다. 그 과정과 내용은 다음과 같다.

구체적인 실험은 지금까지 해 오던 재료의 다양성을 배제하고, 효율적이고 구하기 쉬우면서 역사적으로도 많이 사용한 재료로 단순화하여 수행하였다.

2. 既存 實驗의 成功率과 失敗 要因

2.1 既存 實驗의 成功率과 偏差

2.1.1 기능성 재료 실험의 성공률과 편차

이 실험은 주형의 충전 재료인 4종의 점토와 기능성 재료를 각각 혼합하여 조제한 주형 재료가 금속 용액을 수용할 수 있는가에 초점을 맞추어 진행하였다. 기능성 재료로 탄분 · 흑연 · 탄분 + 종이 섬유 · 유성 탄소의 4종류를 사용하였다. 이에서 25개의 밀랍 어미자를 매몰한 주형을 각각 42개 · 36개 · 36개 · 36개씩 사용하였다. 건조 과정이나 소성 과정에서 파손되어 금속 용액을 주입하지 못한 13개 · 19개 · 0개 · 16개를 제외하고, 금속 용액을 주입한 주형 29개 · 17개 · 36개 · 20개만 산출하더라도 각 재료의 평균 성공률은 1.24%(9개) · 1.41%(6개) · 3.56%(32개) · 0.40%(2개)로 전체 평균 1.92%였다. 연구 목적이 금속 용액을 수용할 수 있는 점토계 주형 재료를 추적하는 최초의 실험이어서 성공률이 매우 낮았다. 성공률이 낮은 만큼 그 평균치의 편차도 3.16%로 낮았다.

2.1.2 충전 재료 실험의 성공률과 편차

이 실험은 충전 재료로 황토 · 백토 · 산청토 · 청토 · 옹기토 · 내화토의 6종류를 사용하였다. 기능성 재료는 4종류를 사용하였다. 이에서 50개의 밀랍 어미자를 매몰한 주형을 각각 52개 · 48개 · 9개 · 48개 · 15개 · 20개씩 사용하였다. 건조 과정이나 소성 과정에서 파손되어 금속 용액을 주입하지 못한 16개 · 17개 · 2개 · 21개 · 1개 · 1개를 제외하고, 금속 용액을 주입한 주형 36개 · 31개 · 7개 · 27 · 14개 · 19개만 산출하더라도 각 재료의 평균 성공률은 16.94%(305개) · 15.74%(244개) · 53.71%(188개) · 16.96%(229개) · 45.14%(316개) · 20.74%(197개)로 전체 평균 22.07%였다. 평균치의 편차는 37.97%였다.

2.1.3 대량 주조 실험의 성공률과 편차

이 실험은 황토 80% + 탄분 18% + 종이 섬유 2%로 조제한 1종류의 주형 재료를 사용하였다. 이에서 100개의 밀랍 어미자를 매몰한 4개의 주형을 사용하여 주조하였다. 성공률은 4.0%(4개) · 68.0%(68개) · 12.0%(12개) · 0%(0개)로 평균 21.0%(84개)였다. 편차는 68.0%였다.

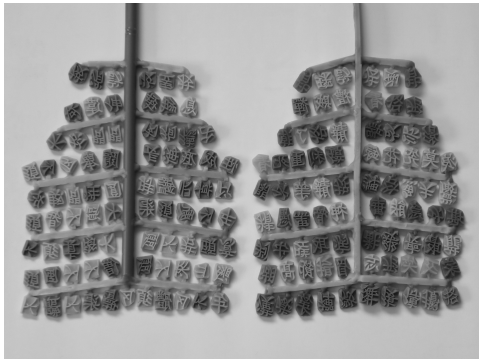
2.1.4 개량 주조 실험의 성공률과 편차

이 실험은 황토에 종이 섬유 · 벚짚 · 탄분 · 유성 탄소 · 흑연 · 수성 탄소 등 6종류의 기능성 재료를 각각 혼합하여 조제한 11종류의 주형 재료를 사용하였다. 이에서 50개의 밀랍 어미자를 매몰한 13개의 주형을 사용하였다. 건조 과정이나 소성 과정에서 파손되어 금속 용액을 주입하지 못한 2개를 제외하고, 금속 용액을 주입한 주형 11개의 성공률은 64.0%(32개) · 92.0%(46개) · 34.0%(17개) · 62.0%(32개) · 86.0%(43개) · 90.0%(45개) · 100%(50개) · 66.0%(33개) · 74.0%(37개) · 92.0%(46개) · 54.0%(27개)로 평균 74.0%(407개)였다. 편차는 66.0%였다.

2.1.5 미발표 실험의 성공률과 편차

「직지」 복원의 마지막 과정인 조판과 인출 실험을 위하여 권하 제1엽과 제2엽을 대상으로 준비하는 과정에서 이미 주조한 활자로 인출하기에는 부족한 활자가 상당 수 있음을 발견하였다. 이를 보충하기 위하여 부족한 문자의 자본을 「직지」에서 추출하여 개량 주조법으로 추가 주조를 하였다. 차이점이라면 주형의 빈 공간을 활용하여 어미자군을 80개로 조성하였다(<사진 1>). 금속의 중량은 약 550g 정도였다. 이들의 크기는 대체로 150 × 175mm 정도였다. 주형의 충전 재료는 황토 89%, 기능성 재료는 종이 섬유 1%와 탄분(숫가루) 10%를 사용하였다(<표 1>).

기타의 실험 조건은 왁스 어미자 + 청동 합금1 + 주형의 가열 온도 700℃ + 입식 주입 + 주탕도 굵기 5 × 9mm와 직경 9mm의 길이 210mm⁵⁾이었다. 이같이 동일한 조건의 주형 10개를 제작하여 주조한 결과, 성공률은 <표 2>와 같다.



<사진 1> 성형된 어미자군(80개)(왁,촉,입,장)

<표 1> 주형 재료의 혼합 비율과 수분 함유율(%)

기능성 재료 충전 재료	종이 섬유	
	탄분	
황토	1+10	60
	89	
수분		40

<표 2> 성공한 금속활자의 수량(개, %)

기능성 재료 충전 재료	종이 섬유 1%										평균
	탄분 10%										
황토 89%	69	63	52	51	48	44	42	37	21	19	446
	86.25	78.75	65.0	63.75	60.0	55.0	52.5	46.25	26.25	23.75	55.75

5) 이 길이는 주형의 주입구를 깔대기 모양으로 조성하면 180~190mm 정도로 줄어든다.

이상에서 보면 개량된 주조 방법으로 동일한 조건 하에서 주조하였음에도 불구하고 성공률은 86.25%에서 23.75%까지로 평균 55.75%였다. 편차는 62.5%였다.

<표 3> 성공한 금속활자의 자적

주형 1(69개)							
可	看	皆	鏡	鏡	鏡	高	光
德	落	錄	錄	莫	莫	禿	牧
般	法	法	夫	夫	佛	佛	四
死	寺	絲	禪	禪	性	雖	息
悉	岳	如	如	如	如	如	如
影	影	外	雲	雲	月	違	肉
印	賊	賊	賊	賊	賊	賊	靜
除	第	第	諸	酒	鑄	嗟	嗟
刹	聽	置	他	形	-	-	-

주형 2(63개)							
家	看	堪	皆	皆	鏡	高	功
攬	及	急	幾	能	錄	了	龍
利	忘	默	眉	微	齧	病	復
喪	禪	禪	歲	笑	守	水	神
如	如	如	如	影	禮	愚	賊
傳	節	精	靜	提	筭	朝	宗
嗟	捉	最	取	吹	琛	判	畢
漢	解	形	形	湖	花	黑	-

주형 3(52개)							
却	古	其	起	難	多	度	來
名	問	未	法	不	不	不	佛
山	常	禪	禪	僧	是	是	心
眼	也	若	如	然	要	要	用
又	爲	爲	有	義	日	自	作
作	切	尊	坐	衆	只	直	直
此	着	着	清	-	-	-	-

주형 4(51개)							
可	看	堪	竟	管	舊	根	那
能	等	羅	落	莫	默	物	眉
殷	撥	翻	法	夫	比	死	喪
禪	歲	水	如	如	亦	念	影
愚	月	由	喻	賊	賊	前	傳
節	點	靜	朝	捉	取	波	河
寒	閑	賢	-	-	-	-	-

주형 5(48개)							
渠	渠	經	今	年	年	年	大
大	大	德	頭	問	問	問	問
法	不	不	不	山	禪	性	性
性	俗	須	須	須	僧	什	夜
若	於	謂	意	一	祖	真	火
此	體	打	風	現	化	時	乳

주형 6(44개)							
問	句	君	南	道	東	銅	抖
漫	漫	埋	名	銘	默	方	不
剖	生	禪	說	聖	是	是	沉
鵝	言	吾	曰	用	湧	云	有
移	因	切	晴	坐	知	差	出
浸	怕	兮	火	-	-	-	-

주형 7(42개)							
江	渠	舉	經	今	年	大	大
頭	頭	來	木	問	問	辦	不
不	不	山	禪	須	時	眼	夜
於	又	元	有	一	一	正	祖
智	處	體	草	打	擇	風	海
還	乳	-	-	-	-	-	-

주형 8(37개)							
看	堪	皆	皆	鏡	高	禁	那
端	毛	物	般	馘	法	病	夫
比	死	喪	霜	歲	水	兒	如
如	影	愚	賊	賊	傳	節	淨
第	捉	波	閑	形	-	-	-

주형 9(21개)							
看	渠	經	契	幾	湛	大	默
死	魚	拈	拈	提	祖	智	真
閑	漠	解	形	乳	-	-	-

주형 10(19개)							
看	功	兂	今	急	大	了	龍
木	默	辦	復	死	性	妬	意
智	解	花	-	-	-	-	-

2.2 失敗 要因 分析

2.2.1 주형의 균열

2.2.1.1 건조 수축 시의 균열

어미자균을 주형 재료에 매몰하여 주형 제작이 완료되면 자연 건조시킨다. 이때 기능성 재료로 친수성이 강한 탄분(숫가루)이나 수성 탄소(그을음)를 혼합한 주형은 건조되면서 균열되지 않거나 미세하게 균열되는 현상이 나타났다. 친

수성이 약한 유성 탄소나 흑연의 경우는 쉽게 균열되는 현상이 나타나 실패하였다. 이러한 균열을 방지하기 위하여 종이 섬유를 혼합하는데, 그래도 주형의 두께가 너무 얇으면 주형이 건조되면서 돛처럼 볼록하게 변형되는 과정에서 눈에 보이지 않을 만큼의 미세한 균열이 나타났다. 이 경우 주형의 두께는 대체로 18~22mm 정도였다.

이러한 균열의 방지는 기능성 재료의 선택과 종이 섬유의 혼합 비율 그리고 주형의 두께 조절로 가능할 것이다. 건조 과정의 변형을 인위적으로 평평히 조정해 주는 작업도 효과가 있을 것으로 보인다.

2.2.1.2 소성 시의 균열

주형이 완전히 건조되면 밀랍 어미자균을 용출해 내기 위하여 주형을 가열하여야 한다. 이때 600℃ 내지 700℃까지 가열하되, 가열 속도를 서서히 올려야 주형의 균열을 방지할 수 있다. 만약 가열 속도를 빨리 올리면 많이 균열되어 실패를 초래하였다. 또한 어미자균을 지나치게 밀집하여 형성하면 주형 내부의 응집력이 약해져서 소성 시 마치 음퐁과 양퐁처럼 균열되기도 하였다. 이 현상이 미세하면 주조 후 완성된 활자균의 활자와 활자 사이에 물갈퀴처럼 나타나지만, 심하면 금속 용액이 주형 밖으로 흘러나와 실패로 나타났다.

이러한 균열의 방지는 가열 속도를 늦춤으로써 가능할 것이다. 700℃까지 가열할 경우 대체로 8시간 정도 소요하면 가능할 것으로 보인다. 어미자균의 밀집 정도를 낮춰서 주형 재료의 접착 부분을 넓혀주는 것도 균열을 방지할 수 있을 것으로 보인다.

2.2.1.3 금속 용액 주입 시의 균열

완전하게 소성된 주형에 금속 용액을 주입하여 활자를 주조하는데, 소성된 주형의 강도가 고르지 못한 경우가 있다. 이때 약한 부분이 금속 용액의 주입

압력을 이기지 못하여 균열 또는 터지는 현상으로 나타나 실패로 이어졌다. 금속 용액의 주입양이 많으면 많을수록 주입 압력이 커지므로 주형의 강도도 그만큼 강해야 했다.

이러한 균열의 방지는 주형의 두께와 어미자군의 가장자리 여유 폭을 충분히 확보하여 강도를 높임으로써 가능할 것으로 보인다.

2.2.2 기능성 재료의 친수성과 혼합 비율

탄분(숯가루)과 수성 탄소(그을음)는 친수성이 강하여 물로 반죽하는 점토계 충전 재료와 잘 혼합되었다. 그러나 유성 탄소와 흑연은 물에 용해되지 않는 성질로 인하여 점토계 충전 재료와 잘 용해되지 못하므로 주형이 쉽게 균열되어 실패하는 결과를 초래하였다. 따라서 부득이 사용할 경우는 가능한 한 혼합 비율을 낮춰야 했다.

2.2.3 종이 섬유와의 혼합 비율

종이 섬유를 혼합하지 않은 경우 실패율이 높았다. 이는 종이 섬유가 점토계 충전 재료가 건조될 때 균열을 방지하는 탁월한 효과를 발휘하고 있음을 의미하였다. 종이 섬유의 혼합 비율은 기능성 재료의 친수성에 따라 0.5~2% 정도인데, 친수성이 강한 재료에는 1%가 최적이었다.

2.2.4 금속의 합금 성분

점토계 주형 재료로는 청동 합금은 활자의 주조가 가능하였지만, 황동 합금은 불가능하였다. 주조 성공률을 떨어뜨리는 가장 큰 요인 중 하나였다. 이는 황동의 금속 용액이 점성이 높아서 주형 안으로 쉽게 흘러들어 가지 못하기 때문으로 보인다.

2.2.5 금속 용액의 주입 압력

주형을 세워서 주입하는 입식이 금속 용액의 주입 압력이 높아서 성공률이 높았다. 그러나 평식 주입은 금속 용액의 낮은 압력으로 인하여 어미자의 공간으로 충분히 흘러들어 가지 못한 결과 실패율이 높았다.

2.2.6 주탕도의 굵기

개량 주조 실험에서 50개 어미자군의 주탕도 굵기 $4.5 \times 5\text{mm}$ 는 $300 \sim 350\text{g}$ 의 금속 용액을 주입하기에는 충분하지 못하여 부분적으로 낮은 성공률을 초래하였다. 80개 어미자군의 주탕도 굵기 $5 \times 9\text{mm}$ 와 직경 9mm 는 충분하였다.

3. 實驗 條件의 設計

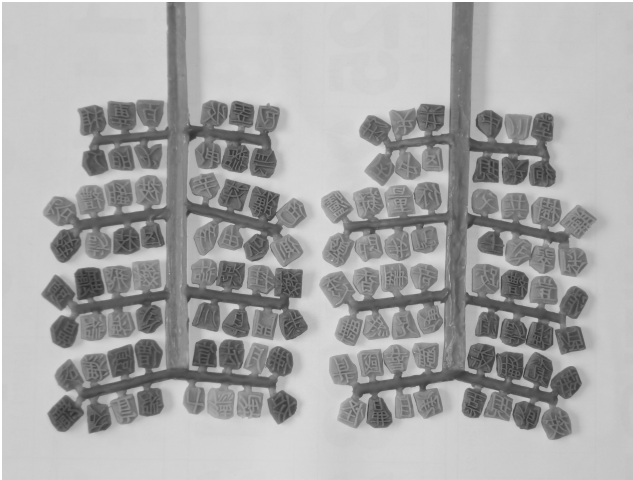
주조의 안정성을 제고하기 위하여 지금까지의 실험에서 분석된 실패 요인을 극복할 수 있도록 조건을 새로이 설계하여 실험을 진행하였다.

3.1 어미자의 材料와 어미자군의 數量

어미자의 재료는 기존 실험에서 유용성이 확인된 왁스(금속 세공용 파라핀)를 사용하여 60~61개의 어미자로 된 어미자군 10개를 조성하였다(사진 2). 이는 금속 용액 주입 시의 균열 방지를 위하여 어미자군의 수량 = 금속 용액의 양을 줄여서 주입 시의 압력을 낮추고, 주형 가장자리의 여유 폭을 충분히 확보하여 주형의 강도를 높이기 위함이다. 이 어미자군의 크기는 대체로 $125 \times 155\text{mm}$ 정도였다. 금속의 양은 약 400g 정도였다.

탕도가 될 밀랍 주봉은 금속 용액 주입에 무리가 없도록 가로 세로(굵기) 길이가

5 × 9 × 210mm짜리를, 중간봉은 3 × 5 × 45mm짜리를, 가지봉은 2 × 3 × 3mm짜리를 사용하였다.



<사진 2> 성형된 어미자군(60개)(악,촉,입,장)

3.2 鑄型의 材料와 比率

건조 수축 시의 균열을 방지할 수 있도록 주형의 재료와 비율을 설정하였다.

3.2.1 충전 재료

충전 재료는 자연 점토인 황토를 용인시 처인구 야산에서 채취하여 사용하였다. 정제 과정은 기존 실험과 동일하였다. 혼합 비율은 89%로 하였다.

3.2.2 기능성 재료

기능성 재료는 종이 섬유와 炭粉(숯가루)을 사용하였다. 이는 전통적으로 많이 사용되었고, 항간에 구전되어 오던 ‘烏土’라는 개념에도 부합한다.

3.2.2.1 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.⁶⁾ 소요량을 측정하기 위하여 완전히 건조시킨 후 다시 고해하였다. 고해 과정은 기존 실험과 동일하였다. 혼합 비율은 1%로 하였다.

3.2.2.2 炭粉(숯가루)

목탄(검탄·열탄)·백탄·활성탄 등이 있는데, 본 실험에서는 활성탄으로 200MESH를 사용하였다. 혼합 비율은 10%로 하였다.

3.3 鑄型의 規格

목재로 제작한 주형틀의 크기는 내경의 가로 세로 높이를 170 × 250 × 50mm로 하였다. 이는 60개 어미자군을 포용하면서 주형 윤곽의 가장자리 여유 폭이 20mm 이상 되도록 하고, 완전 건조 수축된 주형의 두께는 25~32mm 정도를 전제로 한 것이다.⁷⁾ 즉 주형의 두께를 기존의 실험보다 7~10mm 더 두껍게 하였다. 이는 금속 용액 주입 시의 균열과 건조 수축 시의 균열을 방지하기 위함이다.

6) 시장에서 판매하는 서사용 닥나무 한지도 동일한 기능이 있음을 별도의 실험에서 확인하였다.

7) 소성 후에는 두께가 22~28mm 정도까지 수축되었다

3.4 기타 과정

주형의 충전 재료와 기능성 재료에 수분을 40% 혼합하여 주형 재료를 조제하였다. 이 주형 재료로 어미자군을 매몰하여 10개의 주형을 제작하고, 자연 건조 방법으로 건조하였다.

주형의 건조가 진행됨에 따라 주형들을 분리한 후, 주형의 측면을 매끈하게 손질하여 잘 접착하도록 하였다. 이는 주형 소성 후의 강도를 높여서 균열을 방지하기 위함이다.

주형 재료가 완전히 건조되기 전에 주입구를 조성하였다. 주입구를 조성하면 주형의 세로가 10mm 정도 짧아진다.

건조가 계속 진행되면서 일부 주형은 돛처럼 볼록하게 변형되어 육안으로도 보이지 않을 만큼의 미세한 균열이 나타나는데, 이 경우 주형을 평평하도록 조정하면서 농도가 묽은 주형 재료로 표면을 덧칠하였다. 이는 건조 수축 시 나타나는 미세한 균열을 방지하기 위함이다. 완전히 건조된 주형의 수축률은 개량 주조 실험(2.94~5.88%)과 비슷하였다.

완전 건조된 주형 내의 어미자군 밀랍을 용출해 내기 위하여 주형을 700℃까지 가열하였다. 가열 요령은 주형의 균열을 방지하기 위하여 초기 가열 속도를 서서히 올렸다. 처음 300℃까지 1시간에 걸쳐서 올린 후 3시간 동안 유지하였다. 500℃까지 30분에 걸쳐서 올린 후 2시간 동안 유지, 700℃까지 30분에 걸쳐서 올린 후 1시간 동안 유지하여 밀랍을 완전히 제거하였다.⁸⁾ 이러한 속도로 가열하여 밀랍 성분을 완전히 제거하면서 주형을 소성하기까지 약 8시간이 소요되었다. 이처럼 서서히 가열 속도를 올린 것은 소성 시의 균열을 방지하기 위함이다. 소성 결과 파손된 주형은 없었다.

금속 용액을 주입할 때에는 주형의 온도를 650℃로 낮췄다.

이상의 실험 조건을 정리하면 <표 4>와 같다.

8) 소성된 주형 재료의 밀랍 흡수 정도가 주조용 석고보다 많지 않아서 최고 온도를 1시간 유지하지 않아도 주조는 가능할 것으로 보인다.

<표 4> 실험 조건

1	어미자의 재료		왁스 1종
2	주형의 재료	충전 재료	황토 89% 1종
		기능성 재료	① 종이 섬유 1%, ② 탄분(숯가루) 10% 등 2종
3	금속의 재료		청동1(구리 70% + 주석 30%) 1종
4	주조 활자의 수량 = 금속 용액의 주입 양		60개 = 약 400g 1종
5	문자면의 방향		측향 1종
6	주형의 소성 온도		700℃ 1종
7	금속 용액 주입 시 주형의 온도		650℃ 1종
8	금속 용액의 주입 방향		입식 1종
9	주탕도의 굵기와 길이		5 × 9 × 210mm 1종
10	금속 용액의 온도		800~1000℃ 1종 ⁹⁾
11	금속 용액의 주입 방법		채래식 직접 주입 1종

4. 實驗 結果의 分析

4.1 鑄造의 成功率과 偏差

주조에 성공한 활자의 수량과 자적은 <표 5> · <표 6>과 같다. 평균 성공률은 $595 \div 606 = 98.18\%$ 였다. 편차는 $100 - 95.0 = 5.0\%$ 에 불과하였다. 이는 지금까지의 실험 중, 성공률이 가장 높았던 개량 실험의 74.0%보다 24.18%나 더 높은 수치이며, 편차 역시 기능성 재료 실험의 3.16%에 비등하는 낮은 수치이다.

실패한 활자를 관찰하면, 두 가지의 특징을 발견할 수 있다. 하나는 주형의 주입구 쪽, 즉 위쪽에 위치한 활자인 점과 다른 하나는 활자의 문자면에 너털이가 생성되어 수정이 불가능한 활자인 점이다. 이는 금속 용액의 부족한 주입 압력과 주형 재료 내에 숨어있는 기포가 원인으로 보인다.

9) 합금 용점은 830℃ 정도, 주입 시의 온도는 850~880℃ 정도.

<표 5> 성공한 금속활자의 수량(개, %)

기능성 재료 충전 재료	종이 섬유 1%											평균
	활성탄 10%											
항토 89%	61/61 100	61/61 100	61/61 100	61/61 100	59/60 98.33	59/60 98.33	59/60 98.33	59/61 96.72	58/61 95.08	57/60 95.0	595/606 98.18	

<표 6> 성공한 금속활자의 자적

주형 1(61개)							
渠	渠	渠	頃	頃	覲	豈	瞠
瞠	德	德	頭	頭	麼	漫	漫
覲	默	默	物	物	反	跂	放
父	佛	飛	禪	禪	涉	性	性
性	性	誰	沉	沉	元	用	用
周	于	巍	巍	巍	巍	字	寐
寐	下	除	酒	剔	鐵	翠	七
泰	泰	許	兮	獲	-	-	-

주형 2(61개)							
枯	故	期	期	你	動	動	童
得	得	爐	論	滅	名	明	杳
問	物	反	方	不	相	說	聲
勢	僧	識	心	十	眼	巖	於
偃	如	如	羸	元	用	云	云
一	自	孜	恣	全	切	停	終
坐	坐	珠	即	指	此	遷	清
探	香	賢	皇	獲	-	-	-

주형 3(61개)							
却	覺	故	禁	其	其	難	當
動	得	爐	萬	蒙	物	方	別
丙	丙	相	說	說	隨	僧	是
悉	心	十	我	眼	巖	若	若
偃	贏	往	往	要	用	源	為
為	喻	疑	益	一	子	自	孜
作	輒	終	坐	坐	之	著	千
草	何	學	火	還	-	-	-

주형 4(61개)							
却	鑑	鑑	甲	契	教	舊	卷
記	難	到	頭	來	滅	滅	別
本	四	成	省	聲	隨	擻	僧
時	心	尋	岳	眼	於	悟	牛
源	圓	爲	爲	有	以	立	底
全	絕	尊	拄	珠	重	衆	衆
只	地	指	車	着	千	側	便
必	學	海	兄	哮	-	-	-

주형 5(59개)							
艱	國	奇	期	到	動	得	漫
名	名	名	銘	杳	問	方	方
相	省	勢	承	僧	是	是	是
是	辛	眼	若	於	於	偃	如
云	云	云	以	致	恣	作	作
將	寐	切	切	停	坐	做	衆
地	直	此	剔	遷	鐵	清	清
探	台	兮	-	-	-	-	-

주형 6(59개)							
决	决	共	共	怪	國	覲	肯
奇	豈	你	堂	堂	量	令	嶺
爐	覓	目	泊	跋	訪	法	丙
父	似	消	樹	徇	徇	承	尋
我	禮	腰	于	疑	酌	殘	除
題	曹	終	酒	中	中	即	盡
川	翠	陀	透	便	輻	被	香
現	現	兄	-	-	-	-	-

주형 7(59개)							
艱	甲	乃	多	德	童	頭	頭
令	明	默	門	撥	撥	訪	法
佛	飛	似	色	宣	宣	說	說
涉	俗	俗	收	僧	僧	施	辛
伸	惡	耶	如	禮	腰	容	月
益	翌	酌	殘	杖	諸	拄	旨
枝	川	聽	聽	側	七	台	包
被	許	火	-	-	-	-	-

주형 8(59개)							
教	卷	多	得	萬	名	名	目
門	問	泊	方	方	本	四	相
色	省	聲	消	垂	掛	僧	是
是	是	惡	若	於	於	偃	如
要	牛	云	云	云	以	以	立
子	孜	底	切	絕	坐	做	重
衆	只	紙	此	清	草	透	還
還	灰	哮	-	-	-	-	-

주형 9(58개)							
渠	怪	君	肯	德	量	嶺	麼
漫	漫	默	問	問	方	方	放
法	佛	佛	尚	禪	禪	說	說
收	僧	僧	施	伸	沉	沉	鵝
眼	眼	耶	若	若	如	用	容
月	巍	巍	翌	字	寐	寐	丁
諸	曹	坐	坐	衆	紙	天	陀
怕	包	-	-	-	-	-	-

주형 10(57개)							
契	舊	禁	乃	動	頭	得	落
落	來	論	漫	滅	問	百	法
霜	霜	石	石	說	成	省	聲
雖	雖	僧	時	識	悉	心	沉
眼	眼	巖	巖	也	也	樣	圓
喻	長	長	將	輒	題	尊	坐
坐	盡	聽	聽	輻	海	賢	還
灰	-	-	-	-	-	-	-

4.2 活字 字跡의 特徵

「직지」는 한 옆에 자양이 일치하는 문자가 없다. 그러나 본 연구에서 성공한 복수의 자양을 살펴보면 대부분이 완전히 일치하고 있다.¹⁰⁾ 이는 실험에 소요되는 시간과 비용을 절감하기 위하여 하나의 주형으로 다량의 어미자를 제작하여 사용하였기 때문이다. 이처럼 자양이 완전히 일치하는 문자가 나타났다는 점은 역설

10) 지금까지의 실험에서 渠德頭漫默物法不佛禪性沈如巍寂賊下的 17자는 두 개의 어미자를 사용하였다.

적으로 본 연구가 추적한 활자 주조 방법이 어미자의 자양을 충실하게 주조해 낼 수 있을 만큼 완벽하다는 사실을 설명하고 있다. 따라서 조각한 어미자 역시 그 자양대로 활자를 주조해 낼 수 있음을 충분히 예견할 수 있을 것이다.

성공한 활자에서 부정적인 현상이지만 여러 가치를 추출할 수 있다. 특기할 점은 이들 특징이 모두 「직지」에서도 발견되는 현상이다.¹¹⁾ 따라서 필자가 추적한 밀랍주조법은 직지활자를 주조하기 위하여 사용했던 방법일 가능성이 높은 것으로 보인다.

4.2.1 斷筆 문자

필획이 끊어진 현상이 나타난 문자가 있다. 주형1에는 渠渠觀豈悵悵德頭麼漫覓默默物物放飛禪禪涉性性誰用魏魏魏寂酒剔鐵翠泰獲 등 34개가 있다. 주형2에는 枯動童爐論滅名明不說聲勢僧心眼巖偃如如羸孜姿全停終坐此遷清探香賢皇 등 33개가 있다. 주형3에는 難當動爐蒙物丙丙相說說僧是悉心我眼巖羸往往要爲凝益子孜作甄終之何學火還 등 35개가 있다. 주형4에는 鑑甲契教難到滅滅別本四成聲隨擲僧時岳眼悟圓爲爲全絕尊珠衆車千側便必學海哮 등 36개가 있다. 주형5에는 艱國到動得漫名名銘方相承僧是是眼若於偃如云孜作作將寂切停做衆地直剔遷鐵清清採台 등 40개가 있다. 주형6에는 觀奇你堂堂量覽訪似徇承我禮酌殘除題卽翠陀輻香現 등 23개가 있다. 주형7에는 艱甲乃多童明門撥訪飛似色說說涉收僧僧施伸如禮腰益殘諸拄聽聽被 등 30개가 있다. 주형8에는 多得名名目門問方本相聲消樹僧是於如要以孜衆紙清還還 등 25개가 있다. 주형9에는 量麼漫漫默問佛尙禪禪說說收僧僧眼眼耶用魏魏翌寂寂紙 등 25개가 있다. 주형10에는 契舊禁動論漫滅霜說聲雖雖僧識沈眼眼巖巖也樣圓喻長長將甄題尊聽賢還 등 32개가 있다. 모두 합하면 313개로 51.65%(「직지」는 10.42%)에 이른다.

11) 曹炯鎭, “「直指」의 字跡에 나타난 直指活字의 特徵 研究,” 『書誌學研究』 제38집(2007. 12), 173-191. 이러한 특징은 의도하지 않았음에도 나타난 점으로 미루어 직지활자도 의도한 것이 아니었을 것으로 판단된다.

4.2.2 氣泡 문자

문자면의 일부가 미세한 홈처럼 움푹 패인 결과 자적에 하얀 반점이 나타난 문자가 있다. 주형1에는 渠頭漫性沈沈兮 등 7개가 있다. 주형2에는 期你得得用云指獲 등 8개가 있다. 주형3에는 却覺禁僊用喻子坐坐着何 등 11개가 있다. 주형4에는 却鑑卷心岳源有立尊指着便 등 12개가 있다. 주형5에는 動名沓省是辛眼於恣坐做遷清兮 등 14개가 있다. 주형6에는 怪國肯凝中透便現 등 8개가 있다. 주형7에는 俗惡容酌台 등 5개가 있다. 주형8에는 聲垂云云云子 등 6개가 있다. 주형9에는 漫放若如月 등 5개가 있다. 주형10에는 落來霜石時悉喻灰 등 8개가 있다. 모두 합하면 84개로 13.86%(「직지」는 7.73%)다.

4.2.3 너덜이 문자

너덜이가 있어서 잡먹이 나타난 문자가 있다. 주형1에는 德用魏丁翠 등 5개가 있다. 주형2에는 枯期動物相用 등 6개가 있다. 주형3에는 難當蒙我益 등 5개가 있다. 주형4에는 鑑甲難衆地 등 5개가 있다. 주형5에는 勢恣切鐵 등 4개가 있다. 주형6에는 決量消香 등 4개가 있다. 주형7에는 撥의 1개가 있다. 주형8에는 門消如哮 등 4개가 있다. 주형9에는 怪漫僧曹 등 4개가 있다. 주형10에는 乃雖雖 등 3개가 있다. 모두 합하면 41개로 6.77%(「직지」는 7.94%)다.

4.2.4 筆劃이 어긋난 문자

필획이 교차하는 부분에서 하나의 필획이 두 획처럼 어긋난 문자가 있다. 주형4에 拄哮의 2개가 있다. 주형9에는 量, 주형10에는 甄의 각각 1개씩 있다. 주형1·2·3·5·6·7·8에는 없다. 모두 합하면 4개, 0.66%(「직지」는 2.41%)다.

4.2.5 缺筆 문자

필획의 일부가 나타나지 않은 문자가 있다. 주형1에는 跋翠 등 2개가 있다. 주형2에는 聲識 등 2개가 있다. 주형4에는 聲 등 1개가 있다. 주형5에는 銘探 등 2개가 있다. 주형6에는 決堂 등 2개가 있다. 주형8에는 聲惡 등 2개가 있다. 주형9에 鵝의 1개가 있다. 주형10에는 舊漫聲題 등 4개가 있다. 주형3과 7에는 없다. 모두 합하면 16개, 2.64%(『직지』는 20.12%)다.

4.2.6 筆劃이 변형된 문자

굵거나 윤곽이 모호하거나 특이하게 변형된 문자가 있다. 주형2에는 期十 등 2개가 있다. 주형3에는 十一 등 2개가 있다. 주형6에 輻의 1개가 있다. 주형7에는 包의 1개가 있다. 주형1·4·5·8·9·10에는 없다. 모두 합하면 6개, 0.99%(『직지』는 0.58%)다.

4.2.7 墨等 문자

필획 주변이 메워져서 까맣게 먹 덩어리로 나타나는 문자가 있을 수 있다. 유일하게 주형2에 用의 1개, 0.17%가 있다. 기타의 주형에는 없다. 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 것일 수도 있지만, 주조 과정상에서 나타날 수도 있는 현상임을 예측하게 하는 근거가 될 수 있다. 즉 어미자의 필획을 완전하게 조각하였다 할지라도, 주조 과정상의 인위적인 조절이 불가능한 실수로 인하여 필획 사이의 일부가 메워져서 주조되어 나온 경우가 있다. 이는 실패한 활자로 간주하여 폐기하여야 하나, 활자 부족 등의 이유로 사용한 결과 나타난 현상일 가능성이 있음을 짐작할 수 있다.

4.3 活字의 完成度

4.3.1 자적의 특징에 의한 완성도

자적의 특징은 기술상의 문제로서 의도하지 않았던 부정적인 현상들이다. 이 현상이 많을수록 완성도는 떨어질 수밖에 없다(<표 7> 참조). 본 실험에서는 주형9가 59.02%로 가장 낮았고, 주형5가 100.0%로 가장 높았으며, 평균치는 76.73%였다.

<표 7> 활자 자적의 특징 출현 빈도

기능성 재료 충전 재료	종이 섬유 1%										평균
	활성탄 10%										
황토 89%	48/61	52/61	53/61	56/61	60/60	38/60	37/60	37/61	36/61	48/60	465/606
	78.69	85.25	86.89	91.80	100.0	63.33	61.67	60.66	59.02	80.0	76.73

4.3.2 시각적 완성도

직관법에 의한 시각적 관점의 완성도가 있다. 수치로 표현할 수는 없지만, 완성된 활자의 자적을 육안으로 관찰하여 문자 전체의 자형, 특히 문자 필획의 윤곽이 주조된 정도가 저본인 어미자에 어느 정도 근접한가 하는 완성도이다. 본 실험에서 성공한 활자의 자적은 문자 필획의 윤곽이 살아있는 상태가 한눈에 판단할 수 있을 만큼 전반적으로 어미자의 필서체 자양에 가까웠으며, 기존 실험의 결과보다도 비교되지 않을 만큼 완성도가 매우 높았다.

5. 結 論

이상으로 금속활자를 안정적으로 주조할 수 있는 밀랍주조법의 조건을 실험으로 도출하였다. 그 구체적인 과정과 원리를 각 단계별로 요약하면 다음과 같다.

(1) 어미자의 재료와 어미자군의 수량: 왁스(금속 세공용 파라핀)를 사용하여 60개 정도의 어미자군이 효과적이었다. 금속의 양은 약 400g이었다.

(2) 주형의 재료와 비율: 충전 재료로 황토 89%, 기능성 재료로 종이 섬유 1%와 활성탄 10%를 혼합한 주형 재료는 유용하였다.

(3) 주형의 규격: 주형의 가로 세로 높이(두께)를 $170 \times 250 \times 30 \sim 35\text{mm}$ 정도로 하여 어미자군을 포용하면서 가장자리 여유 폭이 20mm 이상이어야 효과적이었다.

(4) 주탕도의 굵기와 길이: 주탕도는 $5 \times 9 \times 210\text{mm}$ 의 크기가 효과적이었다. 특히 주탕도의 길이는 금속 용액의 주입 압력을 높여서 성공률에 절대적인 영향을 미쳤다.

(5) 주형 건조 시의 조정: 주형이 건조 수축됨에 따라 주형틀을 분리한 후, 주형이 잘 접촉되도록 측면을 매끈하게 손질하고, 주형이 둥글면 변형되면 평평하게 조정하면서 묶은 주형 재료로 덧칠하여야 효과적이었다.

(6) 주형의 소성 온도와 가열 속도: 주형의 소성을 위하여 700°C 까지 가열하되, 8시간에 걸쳐서 서서히 가열 온도를 올리는 것이 효과적이었다.

(7) 주조의 성공률과 편차: 최고의 성공률은 100%로 4개의 주형에서 나타났다. 전체의 평균 성공률은 98.18%였다. 편차는 5.0%였다.

(8) 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 특징이 모두 『직지』에서도 발견된다는 사실이다. 활자의 완성도는 자적의 특징에 의한 완성도와 시각적 완성도에서 모두 기존의 실험과는 비교되지 않을 만큼 매우 높았다.

이상의 실험 결과에 의하면, 본 연구가 제시한 밀랍주조법은 직지활자를 안정적

으로 주조하기 위하여 사용했던 방법일 가능성이 대단히 높은 것으로 판단된다.

(9) 실패의 원인: 실패율이 1.82%(11/606개)에 불과하지만, 그 원인으로 금속 용액의 부족한 주입 압력과 주형 재료 내에 숨어있는 기포 등을 지적할 수 있다. 이를 극복하기 위하여 금속 용액의 양을 충분히 주입하고, 주형 재료 내의 기포를 제거하는 주의가 필요하였다.

(10) 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, 주조 여건이 갖추어지지 못한 부득이한 경우의 임시방편이나, 호기심 등에 의하여 예외적으로 시도해 볼 수 있는 정도로 짐작된다. 금속활자를 주조하는 다른 방법이 있다면 굳이 밀랍주조법을 쓸 필요가 없을 것이다.

② 점토계 주형 재료의 한계: 주형의 균열을 방지하기 위하여 주형을 가능한 한 얇게 제작하여야 한다. 따라서 높이가 높거나 굵은 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 완전연

12) 어미자의 재료를 밀랍으로 할 경우에는 조각 능률이 더 떨어져서 8시간에 6개 정도이다.

13) 보편적인 서적을 인출하기 위한 활자는 많게는 수십만 개, 적게는 수만 개가 필요하다. 예로 甲寅字 20여만 개, 甲辰字 30여만 개, 戊申字 112,700여 개, 洛東契字 85,830개, 顯宗實錄字 40,825개, 元宗字 10,634개 등이다(曹炯鏞, 『中韓兩國古活字印刷技術之比較研究』(臺北:學海出版社, 1986), 225-236).

14) 曹炯鏞, “直指活字的鑄造·組版方法研究,” 『書誌學研究』 제39집(2008. 6), 80-82.

소가 가능하여야 하며, 주형 재료도 주물사가 아닌 점토를 충전 재료로 사용한다. 그러나 금속활자는 음양 분리가 가능한 주물이다. 따라서 밀랍주조법은 금속활자에는 최적이지 아니다.

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>

- 曹炯鎭. “金屬活字 蜜蠟鑄造法 復原을 위한 文獻의 研究.” 『書誌學研究』 제33집(2006. 6). 41-77.
- 曹炯鎭. “금속활자 밀랍주조법의 대량 주조 실험 연구.” 『書誌學研究』 제49집(2011. 9). 203-233.
- 조형진. “금속활자 밀랍주조법 주형재료: 유성 탄소의 복원실험 연구.” 『韓國科學史學會誌』 제29권 제2호(2007. 12). 351-373.
- 曹炯鎭. “金屬活字 蜜蠟鑄造法 鑄型材料: 炭粉+紙纖維의 復原實驗 研究.” 『書誌學研究』 제32집(2005. 12). 107-130.
- 曹炯鎭. “金屬活字 蜜蠟鑄造法 鑄型材料: 炭粉의 復原實驗 研究.” 『書誌學研究』 제30집(2005. 6), 183-221.
- 曹炯鎭. “金屬活字 蜜蠟鑄造法 鑄型材料: 黑鉛의 復原實驗 研究.” 『書誌學研究』 제31집(2005. 9), 33-56.
- 曹炯鎭. “금속활자의 내화토를 이용한 밀랍주조법 실험 연구.” 『書誌學研究』 제48집(2011. 6). 153-190.
- 曹炯鎭. “금속활자의 밀랍주조법의 개량 실험 연구.” 『書誌學研究』 제50집(2011. 12). 47-88.
- 曹炯鎭. “금속활자의 백토를 이용한 밀랍주조법 실험 연구.” 『書誌學研究』 제44집(2009. 12), 119-160.

書誌學研究 第57輯(2014. 3)

曹炯鎭. “금속활자의 산청토를 이용한 밀랍주조법 실험 연구.” 『書誌學研究』 제45집(2010. 6). 259-293.

曹炯鎭. “금속활자의 옹기토를 이용한 밀랍주조법 실험 연구.” 『書誌學研究』 제47집(2010. 12). 129-167.

曹炯鎭. “金屬活字의 靑土를 이용한 蜜蠟鑄造法 實驗 研究.” 『書誌學研究』 제46집(2010. 9), 199-235.

曹炯鎭. “金屬活字의 黃土를 이용한 蜜蠟鑄造法 實驗 研究.” 『書誌學研究』 제43집(2009. 9), 41-92.

曹炯鎭. 『中韓兩國古活字印刷技術之比較研究』. 臺北: 學海出版社, 1986.

曹炯鎭. “『直指』의 字跡에 나타난 直指活字의 特徵 研究.” 『書誌學研究』 제38집(2007. 12). 163-192.

曹炯鎭. “直指活字의 鑄造·組版 方法 研究.” 『書誌學研究』 제39집(2008. 6), 69-86.