

Development of Variable Impulse Entry-Level Dochim-machine for Traditional Hanji

전통한지용 충격량 가변식 보급형 도침기 개발

Seong Ha Kim¹, Seong Han Park², Young Seok Lee³, Sung-Young Park⁴

김성하¹, 박성한², 이영석³, 박성영⁴

¹ Graduated Student, Mechanical Engineering Dept., Kongju National University, Korea,
kimseongha0220@naver.com

² Graduated Student, Mechanical Engineering Dept., Kongju National University, Korea,
parkseounghan@naver.com

³ Graduated Student, Mechanical Engineering Dept., Kongju National University, Korea,
soonsoolee@kosha.or.kr

⁴ Professor, Future Automotive Engineering Dept., Kongju National University, Korea,
sungyoung@kongju.ac.kr

Corresponding author: Sung-Young Park

Abstract: Traditional hanji was made according to the Korean traditional method, which is largely divided into 12 processes. Among these processes, the dochim process helps improve the smoothness and density of the Hanji surface. The traditional dochim-machine used in the dochim process is large and manual, and there are problems that require two or more workers and the dochim impulse is not constant. The remodeled dochim-machine, which improves the convenience and operation of the traditional dochim-machine, has a problem of restricting the installation site by power and increasing the production cost due to the use of a 380V motor. In addition, the dochim impulse is fixed, and the installation space is limited due to its large size. In this study, we developed a variable impulse entry-level dochim-machine that improved the problems of traditional dochim-machine and remodeled dochim-machines. The developed dochim-machine was applied with 220V motor to solve the installation and cost problem, and a variable impact amount was implemented through a prefabricated hammer. In addition, Cam was applied to control the vertical movement of the hammer, Pulley was applied to control speed and torque. Foot switch was applied to improve convenience. Finally, the manufactured variable impulse entry-level dochim-machine operated normally with a maximum impulse.

Keywords: Dochim-machine, Entry-level, Traditional Hanji, Variable Impulse

요약: 전통 한지는 한국 전통방식에 따라 만들어진 것으로, 이 방식은 크게 12개의 과정으로 진행된다. 이 과정들 중 도침과정은 한지표면의 평활도 및 밀도 개선에 도움을 준다. 도침과정에 사용하는 전통 도침기는 큰 크기에 수동식이며, 두 명 이상의 작업자가 필요하고 도침 충격량이 일정하지 않다는 문제가 있다. 전통 도침기의 편의성 및 작동성을 개선한 개조 도침기는 380V 모터의 사용으로 전원에 의한 설치 장소의 제약 및 제작단가 상승의 문제가 있다. 또한 도침 충격량이 고정되어 있고, 큰 크기로 인해 설치공간에 제약이 있다. 본

Received: May 04, 2023; 1st Review Result: June 06, 2023; Accepted: August 25, 2023

연구에서는 전통 도침기와 개조 도침기의 문제점들을 개선한 가변 충격량 보급형 도침기를 개발하였다. 개발된 도침기에는 220V 모터가 적용되어 설치 및 비용 문제를 해결하였으며, 조립식으로 만들어진 해머부를 통해 가변 충격량을 구현하였다. 또한 캠을 적용하여 해머의 수직운동을 제어하였으며, 폴리를 적용하여 속도 및 토크를 제어하고, 풋스위치를 적용하여 편의성을 개선하였다. 최종적으로, 제작된 가변 충격량 보급형 도침기는 최대 충격량에서 작동이 정상적으로 이루어졌다.

핵심어: 도침기, 보급형, 전통한지, 가변 충격량

1. 서론

한지는 한국 고유의 전통 방식에 따라 제조한 종이로 UNESCO 세계문화유산에 한지로 제작된 서적들이 등재되어 세계적으로 널리 알려져 왔다. [그림 1]은 UNESCO 세계문화유산에 등재된 서적들로, 한지로 제작되었다. [그림 1] (a)의 훈민정음은 최초 발행일이 1446년이고, [그림 1] (b)의 조선왕조실록은 1413년에 발행되었다[1]. 14세기에 제작된 한지가 현재까지 보존되고 있어 세계적으로 한지의 긴 수명에 관심을 갖고 있는 추세이다. 이러한 한지의 긴 수명은 우수한 내구성을 가진 닥나무를 이용하여 섬유를 손상시키지 않으며 제작되는 제조 기술 때문이다. 한지 제작은 [표 1]에 나타난 순서대로 크게 12개의 과정으로 이루어져 있으며, 제작 과정은 다음과 같다. 한지 제작은 원료로 사용할 닥나무를 채취하면서 시작된다. 채취한 닥나무를 한지의 원료로 만들기 위해 삶고, 세척하고, 두드리는 등 다양한 과정을 거치게 된다. 이후 원료를 물에 넣고 풀어서 한지를 뜨게 된다. 다음으로 한지가 머금은 물을 제거하고, 말려준다. 마지막 과정은 방망이 등으로 표면을 두드리는 과정을 거치는데, 이 과정을 도침이라고 한다. 도침과정은 중국의 선지와 일본의 초지에는 시행되지 않는 한지만의 차별적인 과정이다. 도침 과정은 세계 최초의 표면처리기술로 알려져 있으며, 한지표면의 평활도, 밀도 등을 개선하는 효과가 있다.



(a) Hun-min-jeong-eum



(b) Annals of the Joseon dynasty

[그림 1] 유네스코 세계문화유산에 등재된 한지로 만든 책들[1]

[Fig. 1] Books Made of Hanji Registered as UNESCO World Heritage Sites[1]

[표 1] 한지 제작 과정

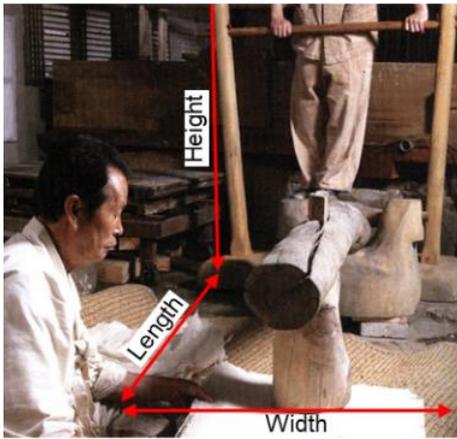
[Table 1] Hanji Production Process

1	Mulberry collection	5	Pick a tee	9	Hanji scoop
2	Dokmuji	6	Wash	10	Drain
3	Lye making	7	Beating	11	Dry
4	Boiling raw materials with lye	8	Fiber unwinding	12	Dochim

많은 과정을 거치고 만들어진 한지는 우수한 성능을 지녔지만, 제작환경과 주원료의 생산감소 등 다양한 요인으로 인해 가격 경쟁력이 약화되면서 한지 산업이 점차 축소되고 있다[2-4]. 최근, 축소하는 한지 산업의 활성화를 위해 한지의 우수한 특성 연구 및 새로운 분야로의 응용에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

선행된 한지 관련 연구로 김형진은 국내 한지 산업 발전을 위한 기반을 마련하고자 현재의 한지 산업 실태를 조사하고 현황을 분석하였으며[5], 장세길은 한지 제품 선택 시, 소비자 혼란을 방지하기 위해 한지의 산업적 정의와 한지의 특성을 이용하여 제품의 표준화에 대한 연구를 진행하였다[6]. 또한, 중국의 선지와 일본의 초지 제작과정에는 없는 도침 과정에 의한 한지의 특성변화에 대한 연구가 다양하게 진행되었다. 김진원과 이상현은 도침 시, 표면에 뿌리는 용액, 도침 횟수, 도침 방법에 따른 도침된 한지의 물리적 특성 및 발목 특성 등에 대해서 연구를 진행하였다[7-11]. 나아가 한지 산업 활성화를 위해 다양한 분야에 접목하기 위한 연구도 진행되고 있다. 이종원은 한지를 건축재료로 활용하기 위해 실내습도 조절 능력 및 공기질 개선 능력에 대해 연구를 진행하였으며[12], 민소희는 한지로 제작한 의상이 일상복으로써 한계가 있고, 화려하며 일회성으로 사용하는 공연의상에 적합하기에 공연의상으로 적용하기 위한 연구[13], 박성림은 한지 특유의 조형성과 감성을 이용하여 조형물로 사용하는 연구 [14]등 한지 사업 활성화를 위한 다양한 연구들이 진행되고 있다.

이러한 선행 연구들은 한지 산업 활성화를 위해 다양한 분야에 접목하기 위한 연구 등이 활발하게 진행되었지만, 한지 제작 과정 중 사용하는 기구에 대한 연구들은 미비한 실정이다. 일반적으로, 전통 도침기[15]는 [그림 2]와 같이 작업에 최소 두 명의 인원이 필요하며, 크기는 가로 3,000 mm, 세로 1,100 mm, 높이 1,000 mm의 크기로 많은 공간을 차지한다. 그리고 도침 시 해머를 사람이 들어올리는 방식으로 낙하높이가 일정하지 않다. 결과적으로, 도침 충격량이 일정하지 않다는 문제가 있다. 개조 도침기는 다양한 형태가 존재하지만 [그림 3] (a)와 같이 스프링 단조기[16]를 개조하거나 [그림 3](b)와 같이 전통 도침기에 캠과 전동기를 부가적으로 설치한 형태[17]가 대부분이다. 이러한 개조 도침기는 대부분 380V의 산업용 전기를 사용하고 있고, 도침에 사용하는 해머의 움직임과 무게가 고정되어 있어 도침량에 따라 충격량을 조절할 수 없는 문제가 있다. 따라서, 본 연구에서는 전통 도침기와 개조 도침기의 문제점을 분석하여 개선된 가변 충격량 보급형 도침기를 설계 및 제작하고, 도침기의 접근성 및 활용성을 높여 한지의 제작 단가를 낮춰 가격 경쟁력을 확보하고자 한다.



Propertise		Traditional dochim-machine
Size	Width[mm]	3,000
	Depth[mm]	1,100
	Height[mm]	1,000
Type of operation		Manual
Required worker		2~3
Work impulse		Inconsistent

[그림2] 전통 도침기 및 사양

[Fig. 2] Traditional Dochim-machine and Specification



(a) Remodeled machine(spring hammer)[16]



(b) Remodeled machine(electric motor)[17]

[그림3] 개조 도침기

[Fig. 3] Remodeled Dochim-machine

2. 도침기 분석

2.1 전통 도침기와 개조 도침기의 문제점 분석 및 컨셉 설계

[표2]는 전통 도침기, 개조 도침기 및 신규로 제안된 가변 충격량 도침기의 문제점 및 장단점을 비교하여 보여주고 있다. 전통 도침기는 사람이 발로 해머부를 수동적으로 들어 올리고, 개조 도침기와 제안된 가변 충격량 도침기는 전기전동기의 동력을 이용하여 작동된다. 개조 도침기는 전통 도침기에 전동기를 부가 설치하거나, 기존의 산업용 단조기를 도침기로 수정하여 제작하였다([그림 3] 참조). 따라서 이들은 대부분 380V의 산업용 전기를 사용하고 있으며, 일반 가정에서 사용하기 위해서는 신규 전력을 설치해야 하는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하고 가내수공업 수준의 사용자 사용편의성을 향상시키기 위하여, 본 연구에서 신규로 제안하는 도침기는 가정용 220V를

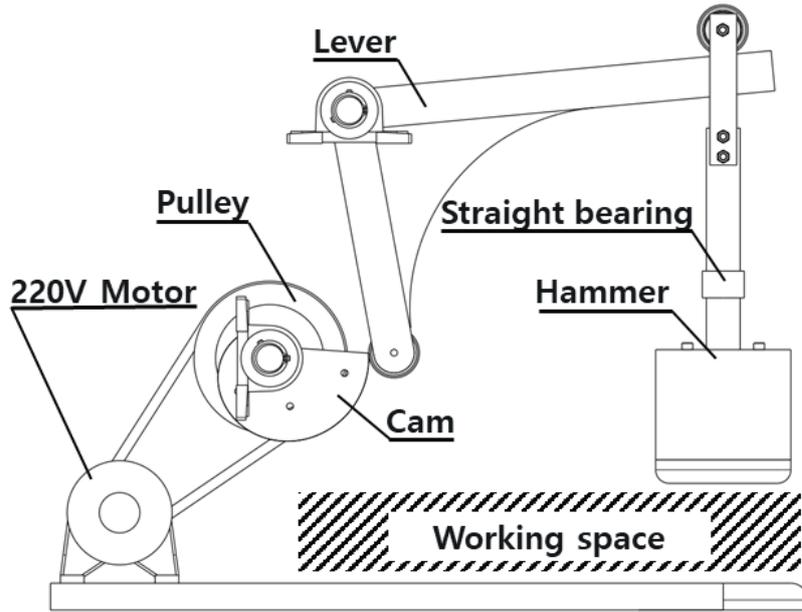
기본 전압으로 설정하였다. 전통 도침기와 개조 도침기, 가변 충격량 도침기는 모두 한지를 옮겨가며 도침을 진행하는 작업자가 필요하며, 전기전동기의 동력을 이용하지 않는 전통 도침기 경우, 해머를 들어올려줄 작업자가 최소 한 명 이상이 더 필요하다. 도침기의 작업성에 대한 측면으로 보면, 반복성과 충격량 가변성에 대해서 고려할 수 있다. 반복성의 경우, 전통 도침기는 사람에 의해서 해머를 들어올리는 방식으로 인해 낙하 높이에 따라 달라지는 도침 충격량이 일정하지 않지만, 개조 도침기와 가변 충격량 도침기는 전동기를 이용하기에 일정한 충격량으로 도침을 진행할 수 있다. 충격량 가변성의 경우, 전통 도침기와 개조 도침기는 해머가 하나의 몸체로 이루어져 충격량을 도침량에 따라 조절할 수 없지만, 가변 충격량 도침기는 해머의 무게를 10가지로 조절할 수 있기에 한지양에 따른 충격량을 조절할 수 있다. 도침기 크기는 체적을 기준으로 측정하였으며, 가장 큰 전통 도침기를 기준으로 하여 개조 도침기는 90~100 %의 크기이고, 가변 충격량 도침기는 13.3 %의 크기로 설계되었다. 도침 작업 전·후에 한지를 쉽게 넣고 뺄 수 있는 공중 정지 기능은 가변 충격량 도침기에서만 가능하다. 도침기의 작동을 제어하는 방식으로 개조 도침기는 온/오프 버튼을 적용하였지만, 이 방식은 수작업인 도침에서 조작성이 불편한 단점이 있다. 작업 중 편의성을 개선하기 위해, 가변 충격량 도침기는 풋 스위치를 이용하여 도침기를 제어할 수 있도록 하였다.

[표 2] 도침기별 장단점

[Table 2] Strengths and Weaknesses of each Dochim Machine

	Traditional machine	Remodeled machine	Proposed new machine
Lifting power	Manual	Electric (380V)	Electric (220V)
Required worker	2~3	1	1
Repeatability	Bad	Good	Good
Variable impulse	X	X	O (10 case)
Size(volume)	100%	90~100%	13.3%
Air stop	X	X	O
On/Off method	-	On/off button	Foot switch

이러한, 전통 도침기와 개조 도침기의 문제점들을 개선하기 위해, 본 연구에서 개발된 가변 충격량 도침기는 [그림 4]와 같은 형태로 설계되었다. 가변 충격량 도침기는 220V Motor 를 적용하여 380V 의 고전압을 추가로 설치할 필요가 없으며, 전원에 의한 설치장소에 제약을 받지 않는다. 또한, 인버터 및 제어기 등의 추가적인 부품을 삭제하고, 크기를 최소화하고자 구동부에 풀리를 적용하였다. 적용된 풀리는 단계적으로 속도 및 토크를 조절할 수 있도록 하였다. 도침 충격량은 작업량에 따라 사용자가 조절할 수 있도록 해머부를 무게 조절이 가능한 조립식 형태로 설계하였다. 작업 공간을 확보하면서 가변 충격량 도침기 크기를 줄이고자, 레버의 형태를 ‘ㄱ’형태로 설계하여 해머부 아래쪽의 작업공간을 확보하였다. 결과적으로 가변 충격량 도침기를 전통 도침기의 13.3 %의 크기로 줄였다. 해머의 움직임을 수직방향으로 제한하고자 직진 베어링을 적용하였다. 모터의 회전운동을 해머부의 수직운동으로 변환하며, 해머부가 공중에서 멈출 수 있도록 구동부에 캠을 설계하여 적용하였다.



[그림 4] 도침기 컨셉 설계

[Fig. 4] Dochim Machine Concept Design

3. 도침기 설계

3.1 작업공간 확보 및 가변 충격량 도침기의 최소화

가변 충격량 도침기의 크기를 컴팩트하게 설계하기 위해 일반적으로 사용되는 순한지 규격품의 크기[18]를 참고하였다. [표 3]은 순한지 규격품의 규격을 나타낸 것으로 맥순지는 가로 75~149 cm, 세로 93~215 cm의 크기를 가지며 색상은 백색과 미색, 미표백색으로 3개의 색상이 있다. 전통 순지는 가로 63 cm, 세로 93 cm로 단일된 크기에, 미표백색으로 제작된다. 운용지는 가로 75~150 cm, 세로 143~215 cm의 크기를 가지며, 색상은 백색과 자연색 두 종류로 제작된다. 장지는 가로 150 cm, 세로 215 cm로 단일된 크기이며, 색상은 백색과 미색으로 두 종류의 한지가 제작된다. 두방지는 가로 10~70 cm, 세로 15~100 cm의 크기에 백색과 미색으로 제작된다. 맥검정순지는 가로 75 cm, 세로 143 cm의 크기로 한지 이름과 같이 검정색으로 제작된다. 그러므로, 가변 충격량 도침기에서 최소한의 한지 작업공간을 확보하기 위해서 한지의 최대 크기를 기준으로 가로 150 cm, 세로 215 cm의 한지를 수용할 수 있도록 설계하고자 하였다. 한지의 작업영역을 넓히기 위해 세로방향에 개방된 설계를 하였으며, 가로 방향은 한지를 돌려가며 작업이 이루어지기에 해머의 중심 위치부터 가변 충격량 도침기의 프레임 보강대까지의 거리를 75 cm 이상 확보하여 설계하였다. 가변 충격량 도침기의 안정성을 높이기 위해서 가변 충격량 도침기의 모터와 같이 무거운 장치들은 아래쪽에 배치하여 도침기 작동 중 흔들림 및 진동을 최소화하고자 하였다. 또한 모터에서 발생한 동력으로부터 해머를 들어올리는 경로를 줄이고, 해머 아래쪽의 작업공간을 확보하기 위해 [그림 4]와 같이 레버를 ‘ㄱ’ 형태로 설계하였다.

[표 3] 순한지 규격표[18]

[Table 3] Pure Hanji SPEC Table[18]

Product number	Name	Size [cm]		Color
		Length	Width	
00-03	Mcsunji	75-95	93-215	White
04-06		75-95	143-215	Cream
07-09		75-149	143-215	White
10-12		75-95	143-215	Cream
13-15		75-95	143-215	Unbleached
16-21	Traditional sunji	63	93	Unbleached
22	Un-yongji	75-150	143-215	White
23		75-150	143-215	Natural
24-29	Jangji	150	215	White
30-35		150	215	Cream
36	Dubangji	10-70	15-100	White
37		10-70	15-100	Cream
38-40	Black mcsunji	75	143	Black

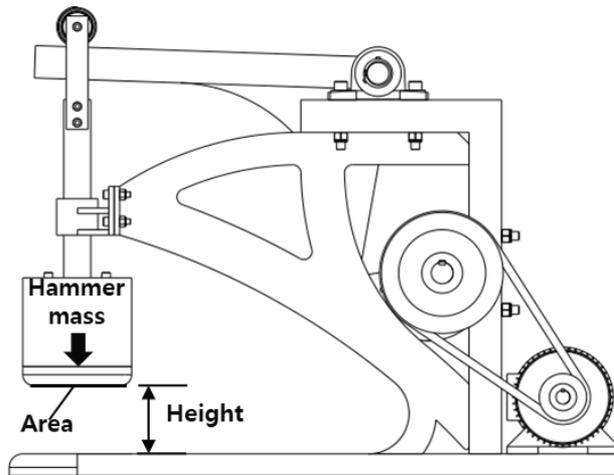
3.2 해머 무게 및 높이 설정

해머의 충격량을 계산하기 위해 [그림 5]와 같이 해머의 질량, 해머의 낙하 높이, 해머의 접촉 단면적을 설계변수로 설정하였다. 이는, 전통 도침기와 단위 면적당 충격량을 동등하게 하기 위하여, 전통 도침기의 해머의 크기, 무게 및 낙하 높이를 참고하였다. 본 연구에서 기준으로 설정한 전통 도침기 해머의 질량은 33 kg이며, 직경은 20 cm로, 접촉 단면적은 314.2 cm²이고, 낙하 높이는 30 cm로 단위 면적당 충격량은 2,560 kg/m·s이다. 설계하고자 하는 가변 충격량 도침기는 해머의 단면적을 전통 도침기와 동일하게 직경을 20 cm로 하여 동일한 접촉 단면적인 314.2 cm²로 하였으며, 낙하 높이는 15 cm로 적용하였다. 그리고 해머의 질량은 최소 15 kg부터 최대 52 kg으로 가변적인 질량을 가진다. 해머의 충격량을 계산하기 위해서 식 (1)을 이용하였다. I 는 충격량, m 은 질량, v 는 충돌직전의 속도, v_0 는 충돌 후의 속도이다. 여기서 충돌 후에 해머는 바닥과 붙어 있으므로 0이 된다. 그러므로 충격량은 질량과 속도의 곱으로 계산된다.

$$I = m(v - v_0) = mv \quad (1)$$

해머의 충돌 직전 속도는 $v = \sqrt{2gh}$ 를 이용하여 계산하였다. g 는 중력가속도, h 는 낙하 높이이다. 해머는 중력가속도에 의해서 높이 h 부터 가속하여 충돌 직전의 속도는 v 를 가진다. 속도 v 를 식 (1)에 적용하면 충격량은 식 (2)와 같이 질량과 낙하 높이를 변수로 갖는다. 그러므로 작은 크기의 가변 충격량 도침기 안에서 전통 도침기와 동일한 충격량을 갖도록, 낙하 높이를 15 cm로 고정하고 질량을 조절하여 819 ~ 2,839 kg/m·s까지 가변적인 단위면적당 충격량을 갖도록 설계하였다.

$$I = m\sqrt{2gh} \quad (2)$$

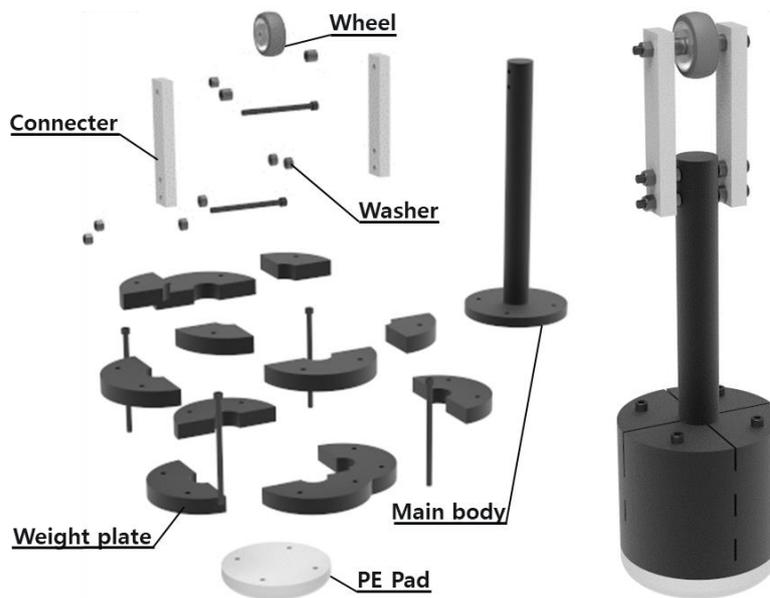


Value	Traditional	Variable impulse
Hammer mass[kg]	33	15-52
Height[cm]	30	15
Area[cm ²]	314.2	314.2
Impulse[kg·m/s]	80.06	25.73~89.20
Impulse per area[kg/m·s]	2560	819~2,839

[그림 5] 전통 도침기와 가변 충격량 도침기의 설계 변수 및 사양

[Fig. 5] Design Parameter and Specification of Traditional Dochim-machine and Variable Impulse Dochim-Machine

3.3 해머부 설계



[그림 6] 해머부 구성도

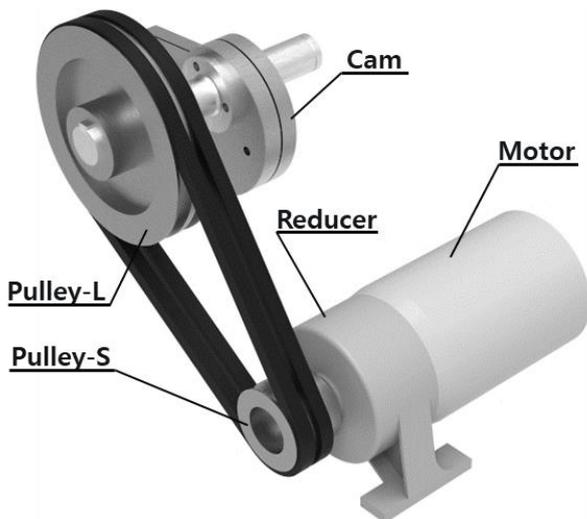
[Fig. 6] Hammer Part Configuration Diagram

해머부의 충격량을 가변적으로 조절하기 위해 해머부의 무게추를 추가 및 제거가 가능한 조립식으로 설계하였다. [그림 6]은 해머부의 구성도를 나타냈다. 해머부는 휠(Wheel), 와셔 (Washer), 무게추(Weight plate), 몸체(Main body), PE판(PE Pad),

연결부(Connector)로 구성되어 있다. 무게추는 원판이 용접된 몸체의 위쪽에 크게 2~4등분되어 양 옆에서 추가로 설치할 수 있도록 설계하였다. 체결방법은 원판의 가공된 탭에 볼트를 위쪽에서 아랫방향으로 체결하였다. 또한, 여러 개의 무게추를 사용하기 위하여 볼트길이 45~175 mm까지의 볼트를 채택하였다. 따라서, 몸체, 무게추, PE판이 하나의 몸체로 결합된다. PE판은 한지와 직접 접촉하는 부품으로 한지의 표면정리 및 평탄화기능을 가지고 있으며, 유지 보수 및 내구성을 위해 소재는 PE 재질을 적용하였다. 해머의 상단부에는 레버와의 충돌 및 마찰을 방지하기 위하여 고무재질의 휠을 적용하였으며, 휠과 몸체를 연결해주기 위해 연결부 두 개를 설계에 적용하였다. 레버에 의해 해머가 들어올려질 때, 뒤틀림이 발생하지 않도록 몸체의 기둥과 동일한 축에서 레버와 휠이 접촉할 수 있는 구조로 설계하였다. 또한, 연결부가 연결되는 빈 공간에 와셔를 채워 볼트체결을 용이하게 하였다.

3.4 감속비 및 RPM 설정

가변 충격량 도침기의 목표 도침속도를 설정하기 위해, 전통 도침기의 도침 속도를 참고하였다. 전통 도침기의 경우, 도침 시 평균적으로 분당 30~40회의 도침을 진행하였다. 가변 충격량 도침기의 컴팩트한 크기와 제작단가를 낮추기 위해 인버터 및 제어기 등의 부품을 제거하고 [그림 7]과 같이 구동부에 풀리를 적용하여 가변 충격량 도침기의 감속비 및 회전수를 제어하였다. 또한, 구동부에 감속기가 일체형으로 부착된 모터를 적용하여 컴팩트한 구동부를 구성하고자 하였다. 각 파트별 회전속도와 기어비는 [그림 7]과 같이 설정하였다. 우선, 모터와 감속기의 선정은 풀리를 통한 속도 및 토크 제어가 용이하도록 약 40 RPM이 되는 것을 선정하였다. 선정된 모터는 400 W의 모터로 1,730 RPM으로 작동한다. 연결된 감속기는 40:1의 감속비를 가지고 있으며, 이를 통과하여 약 43 RPM에 88.31 N·m의 토크로 회전한다. 이후에, 초기 가변 충격량 도침기의 작동 속도는 작업자의 안전을 위해 전통 도침기의 작동속도인 30~40 RPM 보다 느린 20 RPM으로 선정하였으며, 이를 달성하기 위해 풀리의 기어비를 7.5:3.5로 설정하였다. 따라서, 캠에서 토크 189.25 N·m, 회전속도 20 RPM으로 동작하도록 설계하였다.



Part	Reducer ratio	RPM
Motor	-	1730
Reducer	40:1	43
Pulley-S	1:1	43
Pulley-L	7.5:3.5	20
Cam	1:1	20

[그림 7] 구동부 파트 및 파트별 RPM

[Fig. 7] Driving Unit Parts and RPM by Part

3.5 캠 설계

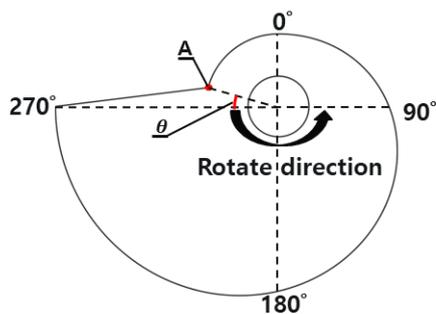
모터에서 발생한 회전운동을 해머부의 수직운동으로 변환하기 위해 구동부에 캠을 적용하였다. 가변 충격량 도침기 해머부의 자유낙하를 구현하기 위해 다양한 형상의 캠들 중 달팽이 형상 캠을 선정하였다. [그림 8]은 캠의 단면도 및 동작각도에 따른 해머와 캠의 수직방향 이동 거리, 속도, 가속도 값을 나타냈다. [그림 8](a)는 해머의 움직임을 제어할 캠의 단면도이고, 캠의 0° 부터 270° 구간은 해머를 들어올리는 스트로크 구간이다. 270° 부터 0° 구간의 설계에서는 캠 자체의 강성을 확보하고자 하였다. 강성 확보를 위해 회전의 중심에서 270° 부터 점 A까지의 각도인 θ 를 최대한 크게 설계하였다. 해머의 자유낙하 시간 t 는 해머의 낙하 높이 h 와 중력가속도 g 값을 식 $t = \sqrt{2h/g}$ 를 이용하여 계산된다. 20 RPM으로 작동하는 캠에서, 해머가 자유낙하하는 동안 캠의 회전각도는 식 (3)로 계산된다. t_0 는 20 RPM으로 회전했을 때, 1회전에 걸리는 시간이다. 여기서, t 는 앞서 식 $t = \sqrt{2h/g}$ 를 통해 계산한 낙하시간이다. θ_0 는 해당 RPM에서 t 시간 동안 회전하는 각도로, θ_0 가 약 21° 라는 결과를 도출하였다. 이를 토대로 20 RPM보다 낮은 속도를 고려하여 $\theta < \theta_0$ 인 15° 로 설계하였다.

$$\theta_0 = 360t/t_0 \quad (3)$$

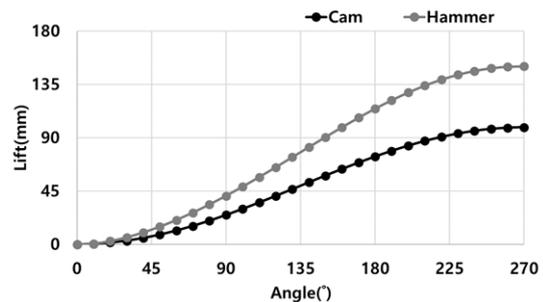
해머와 캠 사이의 안정적인 구동을 위해 캠은 과형의 곡선을 이용하였다. 과형의 캠은 스트로크 중 속도와 가속도의 변화가 부드럽게 이어지기 때문에, 해머를 들어올리는 동작 중에 안정적인 움직임을 보일 수 있다. 이 곡선은 캠의 리프트값 L 을 구하기 위해 스트로크의 길이 H 와 회전각도 θ_r , 스트로크 각도 θ_s 를 식(4)에 대입하여, 캠의 프로파일을 생성하였다.

$$L = \frac{H}{2} \left(1 - \cos \frac{\pi\theta_r}{\theta_s}\right) \quad (4)$$

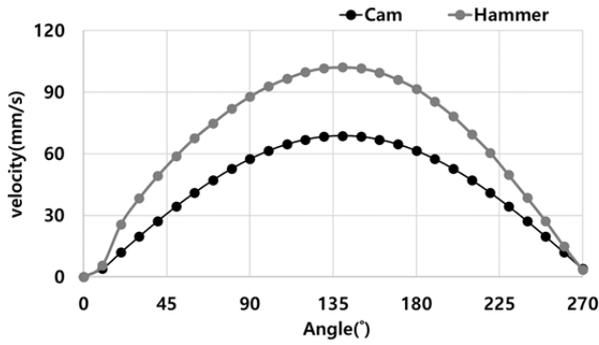
[그림 8] (b)는 식 (6)을 기반으로 설계된 캠과 캠에 의해 움직이는 해머의 움직임에 대한 그래프이다. 캠 회전각도별 캠과 해머의 리프트 값을 나타냈다. 캠과 해머의 리프트값 비율이 각각 약 2:3이었다. 해머와 캠 프로파일 사이의 접촉 충격을 최소화하기 위해, 램프구간을 설정하였다. [그림 8] (c)는 해머와 캠의 속도 분포를 보여주고 있다. 중간지점인 135° 부근에서 최고속도에 도달하고 다시 속도가 감소한다. [그림 8] (d)는 해머와 캠의 가속도를 나타낸 것이다. 가속도 그래프에서 해머의 가속도 값이 구동 초기에 급상승하여 152.8 mm/s^2 의 가속도 값을 가지는 부분이 발생하였다. 이는 해머의 자유낙하를 위해 약 2 mm의 간극을 적용하였기에, 해머가 가속해서 온 Lever와 접촉하는 순간에 가속도가 급상승 한 것이다.



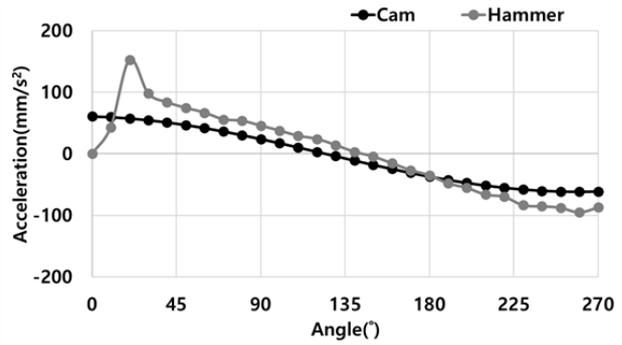
(a) Cam profile



(b) Cam and Hammer lift



(c) Cam and Hammer velocity



(d) Cam and Hammer acceleration

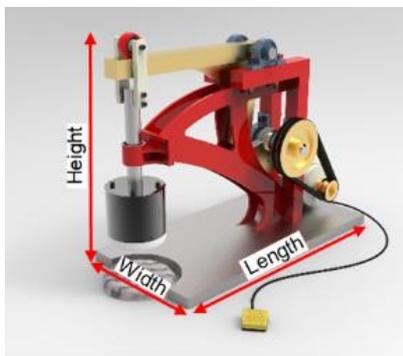
[그림 8] 캠 프로파일 및 캠과 해머의 움직임

[Fig. 8] Cam Profile and Movement of Cam and Hammer

4. 도침기 제작

4.1 최종 설계 모델 및 제작 모델

전통 도침기와 개조 도침기의 문제와 단점을 개선하기 위해, 설계한 구동부들을 배치하고 [그림 9] (a)와 같이 설계하여 [그림 9] (b)와 같이 제작하였다. 프레임에는 각 파이프를 적용하여 부품들의 탈 부착 및 유지보수가 용이하게 하였다. 보강판을 이용하여 응력이 많이 발생하는 부분의 힘이 분산되도록 하였다. 또한 해머부의 정비성을 위해서 프레임에 각 부품들을 볼트로 체결하여, 간편하게 분해 및 재조립할 수 있도록 하였다. 또한, 가변 충격량 도침기의 작동 및 정지를 간편하게 조작하기 위해 풋 스위치를 적용하여 손으로 작업을 하면서도 조작이 가능하게 하였다. 최종적으로 제작한 가변 충격량 도침기의 사양은 [표 4]과 같다. 크기는 가로 1,100 mm, 세로 500 mm, 높이 800 mm의 크기로 제작하였다. 한지와 직접 맞는 PE판의 직경은 20 cm이며, 무게추는 15 ~ 52 kg까지 10단계로 가변적으로 적용할 수 있게 제작하였다. 사용한 모터는 220V 단상 모터로 출력은 400 W, 회전속도 1730 RPM으로 작동한다. 회전속도 감속 및 토크증대를 위해 모터에 장착된 감속기와 풀리의 감속비는 각각 40:1, 7.5:3.5이며 총 감속비는 85.7:1이다. 결과적으로, 캠의 작동회전수는 20 RPM이고, 발생토크 189.25 N·m이다.



(a) CAD model



(b) Production model

[그림9] 최종 CAD 모델과 제작 모델

[Fig. 9] Final CAD Model and Production Model

[표 4] 제안된 가변 충격량 도침기 사양

[Table 4] Proposed Variable Impulse Dochim-machine SPEC

Properties		Value	Unit
Total Size	Length	1,100	mm
	Width	500	
	Height	800	
Hammer	Diameter	20	cm
	Mass	15-52	kg
Reduction ratio		85.7:1	-
Rotational speed		20	RPM

5. 결론

기존 전통 도침기는 대규모 작업공간이 필요하며, 2인 이상의 작업자가 수동으로 작업하는 등의 문제점이 있었다. 이를 개선하기 위해 나온 개조 도침기들의 경우 380V 모터를 적용하여 작업 편의성을 증대하였으나 제작 비용 상승, 사용장소 제약 및 충격량 조절이 안된다는 문제점이 있었다. 따라서, 전통 도침기와 개조 도침기들이 가지고 있는 문제점들을 극복하고자 본 연구에서는 가변 충격량 도침기를 개발하였다.

- 1) 최근 개조 도침기들이 380V 모터를 사용하면서 제품단가와 설치장소에 제약이 있었지만, 본 연구에서 개발된 가변 충격량 도침기는 220V 모터를 사용하여 제작비용 절감, 설치공간 최소화 및 보급화에 적합할 것으로 판단된다.
- 2) 캠은 파형 곡선 설계를 적용하여 해머가 들어올려지는 과정에서의 안정성을 확보하였으며, 해머가 자유낙하하는 시간동안 캠의 접촉을 방지하고, 캠의 강성을 확보하였다.
- 3) 전통 도침기는 도침 시 충격량이 일정하지 않다는 문제가 있었고, 개조 도침기는 고정된 충격량만을 도침에 사용하여 도침량에 따라 조절이 불가하다는 문제가 있었다. 이를 개선하고자 가변 충격량 도침기의 해머부를 조립식으로 설계하여 도침량에 따라 적절한 충격량을 여러 단계로 조절할 수 있도록 설계 및 제작하였다.
- 4) 전통 도침기 및 개조 도침기들은 큰 크기로 인한 설치공간 제약이 있었고, 이를 해결하기 위해 레버의 형상 등을 변경하는 최소화 설계를 진행하였다. 이를 통해 전통 도침기의 크기 대비 86.7%가 감소하였다. 최종적인 가변 충격량 도침기의 크기는 가로 1,100 mm, 세로 500 mm, 높이 800 mm로 제작되었다.

본 연구에서는 전통 및 기존 도침기들의 단점 및 문제점을 개선하고자, 가변 충격량 도침기를 설계 및 제작하였다. 최종적으로 제작된 가변 충격량 도침기의 작동성 확인을 위해 최대 충격량 2,839 kg/m·s로 도침 테스트를 완료하여, 정상적인 작동성을 확인하였다. 한지의 제작 과정 중 하나인 도침작업과정을 개선하고자 본 연구를 수행하였으며, 전통 도침기와 개조 도침기들의 단점들을 해결할 기구적 개념을 구현하고자 하였다. 본 연구를 통해 개발된 가변 충격량 도침기는 ‘한지용 도침기’로 특허 출원되었다[19]. 본 연구결과를 바탕으로, 향후에는 작업에 맞춰 좀더 간단하고 편하게 충격량 및 속도를

제어할 수 있는 완성도 높은 시스템으로 지속적인 연구와 개발을 진행할 예정이다.

References

- [1] <https://www.cha.go.kr/main.html>, Jun 2 (2023)
- [2] T. H. Choi, The Manufacture and Culture of Hanji, Forest Culture Collection, (2020), Vol.14, No.3, pp.91-134.
Available from: <https://www.earticle.net/Article/A389253>
- [3] J. E. Song, D. H. Kim, H. J. Kim, A Study on the Characteristics of Traditional Hanji, Xuan Paper, and Washi for UNESCO Registration, Journal of Korea TAPPI, (2023), Vol.55, No.1, pp.92-102.
DOI: <https://doi.org/10.7584/JKTAPPI.2023.2.55.1.92>
- [4] S. H. Jeong, A study on manufacturing technologies and excellence of Korean traditional paper, Korean Journal of Cultural Heritage Studies, (2015), Vol.48, No.1, pp.96-131.
DOI: <https://doi.org/10.22755/kjchs.2015.48.1.96>
- [5] H. J. Kim, Y. R. Choi, H. J. Cho, B. G. Kim, An Analysis of the Characteristics of the Hanji Industry by the Publication of Hanji, Journal of Korea TAPPI, (2010), pp.85-92.
- [6] S. G. Jang, A Study on Standardization Plan to Foster Hanji Industry, Journal of Agricultural Extension & Community Development, (2014), Vol.21, No.3, pp.121-154.
DOI: <http://dx.doi.org/10.12653/jecd.2014.21.3.012>
- [7] J. W. Kim, Y. J. Lee, J. Y. Shim, C. H. Kim, T. H. Choi, Basic Research of Traditional Dochim Processing on the Hanji, Journal of Korea TAPPI, (2017), p.53.
- [8] J. W. Kim, Effect of Dochim Processing Technique on the Characteristics of Korean Traditional Paper (Hanji), Chungbuk National University, Master Thesis, (2020)
Available from: https://m.riss.kr/search/detail/DetailView.do?p_mat_type=be54d9b8bc7cdb09&control_no=19c35bf67eaa538cffe0bdc3ef48d419#redirect
- [9] J. W. Kim, S. H. Lee, T. H. Choi, Physical Characteristics of Korean Traditional Paper (Hanji) According to Dochim Processing Technique, Proceeding of Spring Conference of KTAPPI, pp.69-70, (2022)
- [10] J. W. Kim, S. H. Lee, T. H. Choi, Ink Spreading Characteristics of Dochim Processed Hanji, Proceeding of Spring Conference of KTAPPI, p. 59, (2021)
- [11] S. H. Lee, T. H. Choi, Basic Characteristics of Dochim processed Hanji, Proceeding of Spring Conference of KTAPPI, p.416, (2016)
- [12] J. W. Lee, H. Y. Hwang, A Study on the Performance of Controlling Indoor Humidity and Air Quality of the Traditional Korean Paper(Hanji) as Building Materials, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, (2007), Vol.23, No.5, pp.211-218.
UCI: G704-A00167.2007.23.5.021
- [13] S. H. Min, Development of New Hanbok Performance Custom Design Applying Najeon & Hanji craftwork, Gachon University, Master Thesis, (2022)
Available from: https://m.riss.kr/search/detail/DetailView.do?p_mat_type=1a0202e37d52c72d&control_no=3083c86bb4b450f37ecd42904f0c5d65
- [14] S. R. Park, A Study for Inherent Sensibility and Its Formativeness of Hanji, Journal of Basic Design & Art, (2020), Vol.21, No.2, pp.61-72.
DOI: <http://dx.doi.org/10.47294/KSBDA.21.2.5>
- [15]<https://www.chf.or.kr/brd/board/696/L/menu/314?brdType=R&thisPage=1&bbIdx=110644&searchField=contentAll&searchText=%ED%99%8D%EC%B0%BD%EC%9B%90>, Jun 2 (2023)
- [16] <http://hammering.co.kr/%EB%8B%A8%EC%A1%B0%EA%B8%B0/>, Jul 11 (2023)

[17] <https://www.hanjivil.com/index.9is?contentUId=0000000051201f43015138ef8a58005b>, Jul 11(2023)

[18] <https://blog.naver.com/dstkjkk/222083483969>, Jun 12 (2023)

[19] S. Y. Park, S. H. Kim, S. H. Park, M. A. In, Dochim machine for korean paper, Korean Patent 10-2023-0020798, (2023)