JCS Journal of Conservation Science

1991-2021 | (사)한국문화재보존과학회 30주년 기념
문화재를 살리는 기술 역사의 빛이 되는 보존과학

Research Article

도교(桃膠)를 이용한 바이오 접착제의 합성 및 물성 평가

Synthesis and Property Evaluation of Bio-adhesives Using Peach Gum(桃膠)

박민선[1], 오승준[1], 위광철[2,*]

[1]한서대학교 문화재보존과학연구센터, [2]한서대학교 문화재보존학과

Min-Seon Park[1], Seung-Jun Oh[1], Koang-Chul Wi[2,*]

[1]*The Research Center of Conservation Science for Cultural Heritage, Hanseo University, Seosan 31962, Korea*

[2]*Department of Cultural Heritage Conservation, Hanseo University, Seosan 31962, Korea*

Received May 25, 2021
Revised June 4, 2021
Accepted June 7, 2021

***Corresponding author**
E-mail: kcwi@hanseo.ac.kr
Phone: +82-41-660-1043

Journal of Conservation Science 2021;37(3):282-288

https://doi.org/10.12654/JCS.2021.37.3.08

pISSN: 1225-5459, eISSN: 2287-9781

ⓒ The Korean Society of Conservation Science for Cultural Heritage

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

초 록 복숭아나무 진액인 도교를 기반으로 한 목공예용 바이오 접착제 개발의 기초 연구로 144 가지 합성 조건 중 가장 우수한 물성을 나타내는 조성을 선택하여 천연 접착제 3 종, 합성 접착제 4 종과 비교 물성 평가를 진행해 적용 가능성을 확인해보고자 하였다. 연구 결과 최적의 합성 조건은 탈이온수 80 mL, NaOH 1.5 g, H_2O_2 1.65 g, pH 8.0 ~ 9.0, NaClO 0.5 g, H_2BO_2 0.5 g을 혼합하였을 때 가장 우수한 접착력을 확인할 수 있었다. 물성 평가 결과, 도교 접착제가 125.39 kgf/cm^{2}의 접착 강도를 나타내었으며, 자외선에 의한 열화에서 $\triangle E^*ab$ 2.75로 가장 낮은 변화와 우수한 가역성, 유해성 및 총호기성생균 시험 결과 불검출로 확인되었다. 이를 통해 도교 기반의 목공예용 바이오 접착제의 적용과 공예품 제작, 복원, 문화재 보존 시 사용되고 있는 천연 및 합성 접착제의 대체 재료로서의 가능성을 확인할 수 있었다.

중심어 도교 (桃膠), 바이오 접착제, 접착제 합성, 목공예용 접착제, 문화재 보존재료

ABSTRACT This basic research was conducted to support the development of woodcraft bio-adhesives using peach gum, which is the resin produced by peach trees. The synthesis conditions of these adhesives were optimized by performing 144 experiments. The application potential of peach gum adhesives was explored by comparing their properties with those of three natural adhesives and four synthetic adhesives. The best adhesive strength was obtained by dissolving the resin in 80 mL of distilled water containing 1.5 g NaOH, 1.65 g H_2O_2 (pH 8.0–9.0), 0.5 g NaClO, and 0.5 g H_2BO_2. The adhesive strength, which showed minimal changes and excellent reversibility, was 125.39 kgf/cm^2. Ultraviolet radiation-mediated deterioration in strength in the absence of total aerobic bacteria was negligible ($\triangle E^*ab$ = 2.75). These data confirm the potential value of peach gum-based bio-adhesives for woodcraft as well as their utility as alternatives for natural and synthetic adhesives used for the manufacture and restoration of handicrafts and preservation of cultural assets.

Key Words Peach gum, Bio-adhesives, Synthesis of adhesives, Adhesives for woodcraft, Materials for preservation of cultural assets

1. 서 론

공예는 조형성과 재료, 기술을 바탕으로 실용성과 예술성을 갖춘 조형물을 제작하는 것을 의미한다(Namgoong, 2010). 공예는 제작 목적에 따라 예술성을 중시하는 '미술공예'와 실용성을 중시하는 '생활공예'로 분류되며 제작 방법에 따라서는 '수공예'와 '기계 공예'로 구분할 수 있다(Yang *et al.*, 2010). 공예 재료 분류에 따르면 금속, 도자기, 섬유, 목공예, 피모, 지공예, 석공예 등으로 분류된다. 그중 목공예는 나무를 기본 재료로 경대, 문갑, 소반 등을 제작하는 소목과 한옥 건축에 사용하는 창호, 활과 화살 등의 궁시(弓矢)와 같이 생활용품뿐만 아니라 악기류, 무기류 등을 제작하는 공예기법으로 널리 사용되어 왔다.

이러한 목공예품 제작에는 크게 나무와 공구, 접착제와 같은 재료들이 사용되어 왔으며, 현재까지도 그 명맥을 이어오고 있어 전통 목공예품들이 전승되어지고 있다. 그러나 접착제로 사용되고 있는 아교, 어교, 옻, 도교, 송진, 전분, 해초풀 등은 천연 재료로서 사용성과 보관성 등

의 한계로 일부 문화재 보존용 재료 및 공예품 제작 외 대부분이 합성접착제로 대체되고 있다. 합성접착제는 석유 화학 공업 기반의 석유 화학계 접착제로 작업 및 보관의 편리성, 대량 생산을 통한 물성의 균일함 등을 장점으로 천연 접착제를 대체해 왔으나 휘발성 유기화합물 발생과 환경적 요소(자외선, 산소, 열 등)에 의한 노화 발생, 노화에 따른 물성 변화, 인체의 유해성 등의 문제점이 나타나 바이오 소재를 이용한 친환경 접착제와 천연 소재를 이용한 천연 접착제의 연구 개발이 활발히 이루어지고 있다.

천연 접착 소재로는 아교, 어교, 토끼교, 녹교 등의 동물성과 도교, 옻, 아리비아 고무, 해초류와 같은 식물성이 있으며(Park, 2013), 대부분이 건조된 상태로 시판되고 있어 장기보존성이 우수하다. 또한 농도의 조절을 통해 발림성과 건조성을 유연하게 할 수 있고, 인체에 무해하고 가역성을 가지고 있어 높은 작업성을 보여준다. 그러나 건조된 재료를 중탕해 사용하거나 채취한 수지는 사용자의 숙련도에 따라 수율과 농도가 다르게 나타나며, 이로 인한 물성의 변화와 제조 후 시간에 따른 부패 등 다양한 문제점이 존재한다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 선행 연구로는 해초류를 이용한 천연 접착제 연구(Han *et al.,* 2018), 해양 소재를 기반으로 하는 천연 접착제의 제조 및 응용(Im, 2018), 마늘을 이용한 벽지용 천연물 접착제 제조(Lee, 2008), 목공예용 천연 및 합성 접착제의 특성 연구(Kim *et al.,* 2019), 셀룰로오스계 목재 추출 성분을 이용한 목공예용 천연 접착제의 개발 및 적용 가능성에 대한 복합적 기반 연구(Wi *et al.,* 2019) 등이 이뤄졌으며 주로 해양 식물과 아교 등을 이용한 사례가 확인되었다.

다양하게 진행된 연구 중 셀룰로오스계 목재 추출성분을 이용한 목공예용 천연 접착제의 개발 및 적용 가능성에 대한 복합적 기반 연구는 본 연구의 기초 연구로 도교의 접착 성능을 확인한 연구 결과이다. 또한 도교는 증류수에 불려서 사용할 경우 시간에 따른 부패 및 용해되지 못한 잔여물로 인해 균일하지 못한 발림성과 사용성을 확인하였으며, 이로 인해 나타나는 불안정한 접착력과 최적화된 제조 방법이 없어 농도 조절, 보관성, 균일성, 물성 변화 등의 어려움이 나타났다.

이에 본 연구에서는 도교를 기반으로 첨가제를 혼합하여 접착성, 사용성, 작업성, 보관성, 안전성 등의 기능성이 부여된 액상형 바이오 접착제를 합성하고자 하였다. 이를 위해 접착 성분을 안정적이고 정량적으로 제조하여 현재 목공예품 제작 및 복원 시 사용되어지고 있는 천연 접착제(아교, 어교, 토끼교)와 합성 접착제(PVAc계, Ethyl cyanoacrylate계)의 물성과 비교해 적용 가능성을 검토해 보고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 합성 재료 및 시약

도교(㈜가일전통안료)는 복숭아나무에서 채취되는 천연 수지로 수액을 휘발 건조해 고체화된 상태로 시판되는 재료를 선정하였으며, Waring Blender를 이용해 분쇄한 후 분말 상태로 사용하였다(Figure 1A, B). Sodium hydroxide (98%, bead, NaOH, ㈜삼전순약공업)는 분말 도교의 용해를 위하여 사용하였으며, Hydrogen peroxide(34.5%, H_2O_2, ㈜삼전순약공업)는 천연 수지의 투명도와 착색도를 개선하기 위해 첨가하였다. 중화를 위하여 Hydrochloric Acid (99%, HCl, ㈜삼전순약공업)을 이용하였으며, Sodium hypochlorite Solution(6-14% available chlorine, NaClO, ㈜삼전순약공업)과 Boric acid(99.5%, H_2BO_2, ㈜삼전순약공업)는 항균성을 부여하기 위해 첨가하였다.

2.2. 합성 조건 최적화

탈이온수 60 mL, 80 mL, 100 mL에 분말화한 도교 10 g을 첨가한 후 15.0%와 30.0% NaOH 수용액 10 mL를 첨가하였다. 이 용액을 95°C에서 교반하였으며 45분 가열 후 상온까지 냉각하여 H_2O_2를 1.0 g, 1.65 g 첨가한 후 재 교반

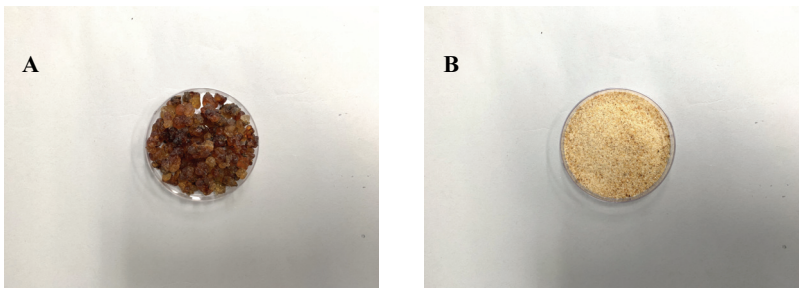

Figure 1. Peach gum. (A) Peach gum solid. (B) Peach gum powder.

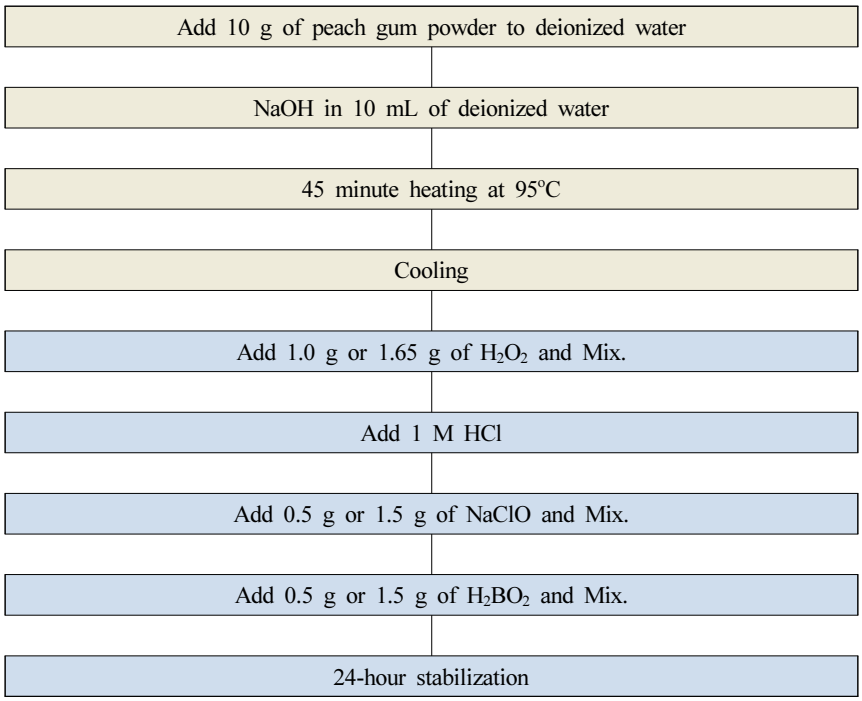

Figure 2. Manufacturing process of adhesive using peach gum.

하였다. pH는 1 M HCl을 첨가하여 pH 4-5, pH 8-9, pH 10-11로 조정하고, NaClO과 H_2BO_2 0.5 g, 1.5 g을 각각 첨가하여 교반한 후 상온에서 24 시간 동안 안정화를 진행하였다. 최적화를 위해 탈이온수 양, NaOH 수용액의 양과 농도, pH, NaClO과 H_2BO_2의 첨가되는 양 등을 조절하여 총 144가지의 도교 접착제를 합성해 최적의 조건을 확인하였다(Figure 2).

2.3. 적용성 연구

2.3.1. 비교군

최적화 연구를 통하여 접착력이 가장 우수한 도교 접착제(Figure 3A)에 대하여 바이오 접착제로서의 적용성을 확인하기 위하여 비교 물성 평가를 진행하였다. 비교군으로는 현재 목공예용 접착제로서 사용되는 천연 접착제 3

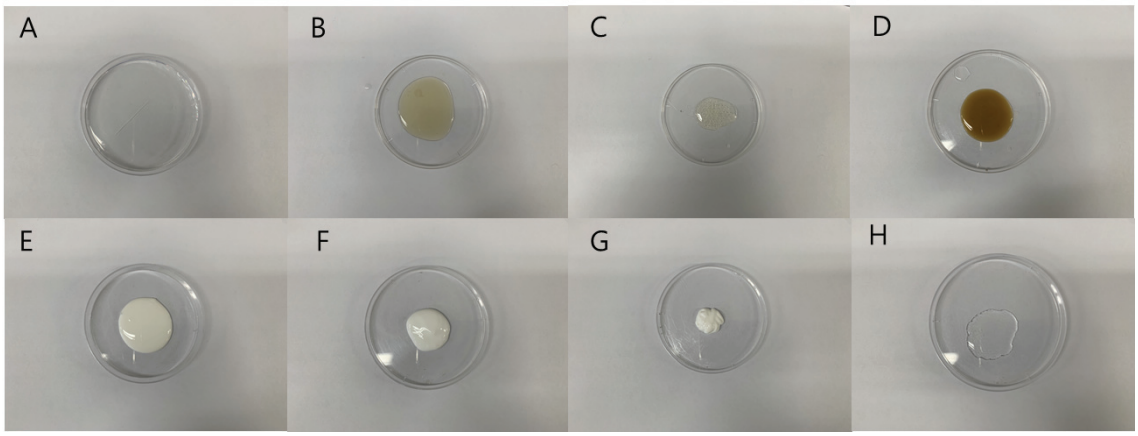

Figure 3. Experimental object and comparison group. (A) Peach gum extract. (B) Glue. (C) Fish glue. (D) Rabbit glue. (E) Synthetic adhesives 1(Hereinafter S.A.1). (F) Synthetic adhesives 2(Hereinafter S.A.2). (G) Synthetic adhesives 3(Hereinafter S.A.3). (H) Synthetic adhesives 4(Hereinafter S.A.4).

종(아교, 어교, 토끼교)을 증류수와 혼합한 후 60~70°C에서 중탕하여 액상으로 제조하여 시편을 제작하였다(National Research Institute of Cultural Heritage, 2014). 현재 천연접착제는 보존처리자에 따라 10 ~ 40% 정도의 다양한 농도로 활용(Kim, 2021)되고 있는 것을 반영하여 보존처리 시, 활용되는 10.0 wt%를 제작하여 접착력 측정을 진행하였다. 접착력 측정을 제외한 4종의 물성실험은 천연접착제가 가진 자체 변화 성상을 파악하고자 50.0 wt%로 제조하여 진행하였다(Figure 3B~D). 합성접착제는 Poly vinyl acetate와 증류수가 혼합된 에멀전형 PVAc계 3종(Figure 3E~G)과 Ethyl cyanoacrylate가 함유된 액상형 1종(Figure 3H)을 사용하였다.

2.3.2. 자외선 열화

슬라이드글라스에 제조된 도교 접착제 0.7 g을 도포하여 24 시간 자연 건조 후 자외선 조사시험기(Exposure to Man-made Ultraviolet Light Test Chamber社, UV tester, Korea)에서 96 시간 UV 조사하여 분광색측계(Minolta社, CM-2600d, Japan)를 사용해 측정하였으며 5 회 측정 후 최댓값과 최솟값을 제외한 평균값을 산출하였다.

2.3.3. 접착 강도

접착 강도는 KS M 3720(접착제의 목재 인장 전단 접착강도 시험방법)에 의거하여 측정(Kim *et al.,* 2019)하였으며, 시편은 목공용 시편(1.0 cm x 2.5 cm)에 2 g씩 도포한 후 목공용 클램프로 접착부를 고정한 후 24 시간 동안 자연 건조하여 만능재료시험기(Shimadzu社, AG-X Plus, Japan)를 이용하여 측정하였다.

2.3.4. 점도 및 pH

점도는 25°C에서 100 mL를 이용하여 회전식 점도계(Fungilab社, V100002, Spain)에 SP: L2-3을 이용해 측정(Kim, 2020)하였으며 5회 측정 후 최댓값과 최솟값을 제외한 평균값을 산출하였다. 최종 접착제의 pH는 pH 측정기(Testo社, Testo 206, Germany)를 사용하여 측정하였고, 5회 측정 후 최댓값과 최솟값을 제외한 평균값을 산출하였다.

2.3.5. 가역성

가역성은 슬라이드글라스에 도교 접착제 0.7 g 도포하여 24 시간 자연 건조 후 증류수 100 mL에 24 시간 침적하였으며 육안 검사 및 촉지 상황, 중량 변화 등을 이용하여 확인하였다.

2.3.6. 유해성

제조된 접착제의 유해성은 총휘발성유기화합물(Total Volatile Organic Compounds), 포름알데하이드(Formaldehyde), 중금속(Heavy metals) 중 납(Pb), 카드뮴(Cd), 크롬(Cr)을 측정하여 판단하였다. 총휘발성유기화합물은 헤드페이스 GC-MSD로 분석하였으며 검출한계는 벤젠(0.00002%), 톨루엔(0.00002%), 에틸벤젠(0.00025%), 자일렌(0.0006%)이었다. 포름알데하이드는 40°C에서 1시간 동안 정제수로 추출한 액을 DNPH (2,4-dinitrophenylhydrazine)와 반응시킨 후 고속액체크로마토그래피(HPLC)를 사용하여 측정하였으며 정량 한계는 40 μg/g이었다. 중금속 Pb, Cd, Cr 분석은 도교 접착제를 산분해한 후 ICP-OES로 분석하였으며, 정량한계는 납 2.0 μg/g, 카드뮴 1.0 μg/g, 크롬 2.5 μg/g이었다.

2.3.7. 총호기성생균

제조된 도교 접착제의 항균성을 확인하기 위해 총호기성생균수 시험을 진행하였다. 세균 수 시험은 Modified letheen agar를 사용하고, 진균 수 시험은 항생물질 첨가 Potato dextrose agar를 사용해 진행하였다. 세균 수 시험은 직경 9 ~ 10 cm 페트리 접시 내에 검액 1 mL를 사용하여 45°C로 식힌 15 mL의 배지를 넣어 혼합 후 검체당 최소 2개의 평판으로 30 ~ 35°C에서 48 시간 배양하여 최대 균집락 수로 총 세균수를 측정하였다. 진균 수 시험은 세균 배양 방법과 동일한 배지를 사용하여 배양 온도 20 ~ 25°C에서 5일간 배양한 후 균집락 수로 총 진균 수를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 합성 조건의 최적화

도교를 기반으로 조성된 조건에 따라 총 144개의 접착제를 제조하여 물성 평가(접착성, 황변성, 점도, pH)를 진행하였다.

접착강도는 pH 8.0~9.0 시료군에서 탈이온수 80 mL를 사용하였을 경우, 60 mL, 100 mL를 사용하였을 때보다 0.9 ~ 4.6 배 높게 측정되었다. 또한 pH 10.0~11.0 시료군과 pH 8.0~9.0 시료군이 pH 4~5 시료군의 평균값과 비교하였을 때, 각각 1.4 배, 1.2 배 높게 측정되어 최적 pH는 8.0~9.0인 것으로 판단할 수 있었다. 점도는 초기 투입 탈이온수를 60 mL로 사용하였을 경우, 80 mL, 100 mL를 사용하였을 때보다 높게 측정되었다.

하지만 접착 강도와 점도와의 상관성을 확인하였을 때, 점도와 접착 강도가 비례적으로 상승하지 않음을 확인할 수 있었다. 이를 종합하여 볼 때 도교 접착제 최적의 조성 조건은 탈이온수 80 mL, 15% NaOH 수용액 10 mL, H_2O_2 1.65 g, pH 8~9, NaClO 0.5 g, H_2BO_2 0.5 g의 조성에서 가장 우수한 접착 강도 및 물성을 확인할 수 있었으며 제조된 최종 생성물의 점도와 접착 강도 결과를 Figure 4에 나타내었다.

3.2. 물성 평가

자외선 조사에 의한 색상 변화량을 확인해 본 결과 도교 접착제는 96시간 경과 후 △E*ab 2.75의 결과가 나타났으며, 천연 접착제의 경우, 아교 △E*ab 4.89, 어교 △E*ab 17.58, 토끼교 △E*ab 11.07의 결과가 확인되었다. 합성 접착제는 S.A. 1 △E*ab 8.54, S.A. 2 △E*ab 11.52, S.A. 3 △E*ab 5.65, S.A. 4 △E*ab 14.46로 확인되었다. 천연접착제들이 합성접착제들보다 자외선에 의한 열화 현상이 적게 나타났으며 특히 도교 접착제가 가장 낮은 변화를 나타내어 자외선에 의한 안정적인 내구성을 가지는 것으로 확인할 수 있었다.

Yellowing 현상을 확인하기 위한 b* 값의 변화량 측정 결과도 △E*ab 결과를 나타내어 도교 접착제가 b* 2.39로 가장 낮아 Yellowing 현상이 가장 적게 나타났다. 어교가 b* 25.13으로 열화 전과 후의 변화량이 가장 크게 나타났으며, S.A. 4는 b* 13.78, S.A. 2가 b* 10.95 순으로 높은 변화량을 확인할 수 있었다(Table 1).

실험 대상인 도교 접착제의 접착 강도는 125.39 kgf/cm^{2}로 확인되었으며, 비교군인 천연 접착제는 아교 131.21 kgf/cm^2, 어교 130.82 kgf/cm^2, 토끼교 139.44 kgf/cm^2,

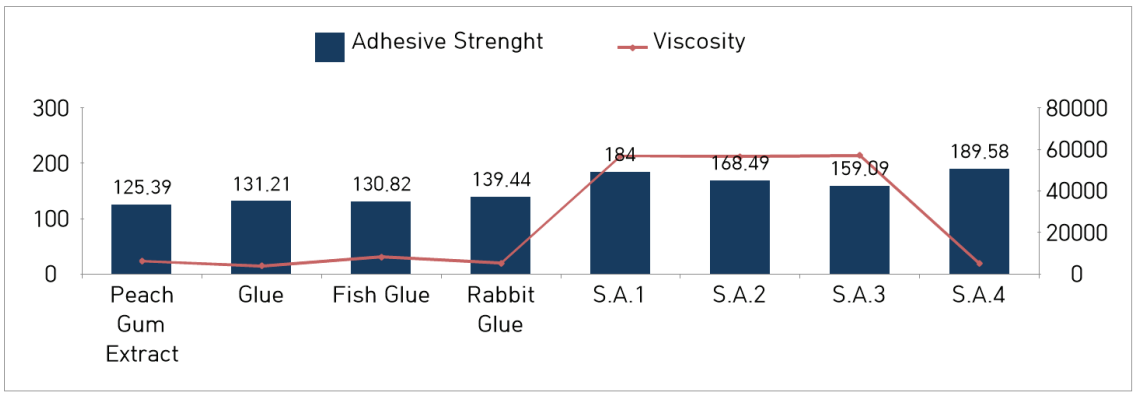

Figure 4. Adhesive strength (kgf/cm^2) and viscosity results (cP).

Table 1. UV deterioration experiment results

Hour	Target	Peach gum extract	Glue	Fish glue	Rabbit glue	S.A. 1	S.A. 2	S.A. 3	S.A. 4
0 H	L*	87.64	83.96	77.65	72.49	85.48	87.51	88.84	77.86
	a*	7.20	0.09	2.01	0.94	2.89	2.83	2.96	2.50
	b*	-10.29	3.88	-6.53	8.82	-8.48	-8.60	-10.11	-8.26
	Color								
96 H	L*	86.50	83.34	70.34	67.76	81.46	85.41	87.39	75.78
	a*	1.98	0.62	2.99	2.93	0.98	-0.09	1.34	-1.37
	b*	-7.90	8.74	9.41	18.63	-1.19	2.35	-4.90	5.52
	△E*ab	2.75	4.89	17.56	11.07	8.54	11.52	5.65	14.46
	Color								

합성 접착제는 S.A. 1 184 kgf/cm^2, S.A. 2 168.49 kgf/cm^2, S.A. 3 159.09 kgf/cm^2, S.A. 4 189.58 kgf/cm^{2}의 결과를 확인할 수 있었다. 접착 강도 비교 결과 도교 접착제는 기존에 사용되어온 천연 접착제와 유사한 접착 강도를 확인하였으며, 합성 접착제에 비해서는 상대적으로 낮은 접착강도가 나타났으나 목공예품 제작 및 복원 시 사용 가능할 범위 내에서의 접착 강도라고 판단된다.

점도 측정 결과, 도교 접착제는 6297.2 cP, 아교 3964.9 cP, 어교 8339.7 cP, 토끼교 5350.2 cP, S.A. 1 56934 cP, S.A. 2 56687 cP, S.A. 3 57107 cP, S.A. 4 5270.1 cP로 나타났다. 합성 접착제의 경우 S.A. 1, S.A. 2, S.A. 3에서 비교적 높은 점도를 나타내고 있었으며, S.A. 4는 천연 접착제와 유사한 점도로 측정되었다. 이러한 결과 점도와 접착강도가 반드시 비례하는 것은 아닌 것으로 확인되며, 혼합 재료의 특성 및 접착제의 휘발성 등에 의한 영향으로 추정된다.

pH 측정 결과, 도교 접착제가 pH 7.75, 아교 pH 5.95, 어교 pH 5.65, 토끼교 pH 5.35, S.A. 1 pH 5.04, S.A. 2 pH 3.88, S.A. 3 pH 4.10, S.A. 4 pH 4.79의 결과를 확인할 수 있었다. 도교 접착제가 pH 7.75로 중성으로 나타났으며 천연 접착제는 약산성을 나타내었으며, 합성접착제는 S.A. 1을 제외하고 산성으로 확인되었다. 이는 접착제의 pH가 Yellowing 현상 및 자외선에 의한 열화 및 산화가 빠르게 진행되는 것과 비례하는 것으로 추정되며 산성 접착제들의 목재에 대한 안정성에도 문제가 있을 것으로 사료되어 중성인 도교 접착제가 피착제들의 안정성과 내구성을 동시에 확보할 수 있었던 것으로 판단된다.

가역성 테스트 결과 도교 접착제 및 천연 접착제에서 모두 100% 제거가 가능하여 가역성이 우수한 것으로 확인되었다. 그러나 합성 접착제의 경우 S.A. 3에서 일부 물에 의한 들뜸 현상을 확인할 수 있었지만 100% 제거되지는 않았으며, 다른 3 종의 합성 접착제 모두 가역성이 없는 것으로 확인되었다(Table 2).

유해 물성 실험 결과 도교 접착제와 천연 접착제, 합성 접착제에서 총휘발성유기화합물, 포름알데하이드 모두 불검출로 확인되었으며, 중금속 측정 결과 Pb, Cd, Cr 모두 불검출로 확인되었으나 합성 접착제 S.A. 2에서 3.61 μg/g의 크롬이 검출되었다. 이를 통해 도교 접착제의 인체 무해성을 확보하고 바이오 접착제로서의 최적화 기반이 구축되어진 것으로 볼 수 있었다.

합성된 도교 접착제의 총호기성생균수 측정 결과 Modified letheen agar 배지 상에서의 48 시간 배양하고 Potato dextrose agar 배지 상에서 5 일 이상 배양 후 0 cfu/g으로 확인되어 곰팡이 배양이 이루어지지 않은 것으로 나타났다. 이는 제조 시에 첨가된 NaClO나 boric acid에 의해 항균성이 부여된 결과로 볼 수 있었으며 또한 제조 후 상온에서 3 개월 이상 호기성 균류에 의한 곰팡이 배양 문제뿐만이 아니라 점도 변화, 접착도의 변화가 나타나지 않고 있어 별도의 처리 없이도 항균성과 보존성이 있는 접착제로 판단할 수 있었다.

4. 결 론

건조된 도교의 사용성과 작업성을 개선하고 기존 재료와 유사한 접착 강도를 가지며, 항균성과 보존성, 인체 무해성을 확보하기 위해 최적의 조성으로 도교 접착제를 합성하였다.

도교 접착제의 접착강도가 125.39 kgf/cm^{2}로 기존에 사용되어온 천연 접착제와 유사하게 확인되어 접착제로써의 기능을 충분히 확보한 것으로 사료되며, 안정적인 중성의 pH 값과 가역성이 확인되었다. 또한 자외선 열화에 대한 내구성도 비교군 대비 약 1.7 ~ 6.3 배 우수한 결과를 나타내어 접착제 도포 후 발생되는 변색 및 탈색 현상을 최소화하고, 물성 변화로 인한 재처리 주기를 장기간 확보할 수 있어 문화재 및 목공예품의 피로도를 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 총휘발성유기화합물, 포름알데하이드, 중금속과 같은 유해 물질이 검출되지 않아 바이오

Table 2. Result of physical properties measurement (adhesion strength, viscosity, pH, reversible)

Experiment \ Target	Peach gum extract	Glue	Fish glue	Rabbit glue	S.A. 1	S.A. 2	S.A. 3	S.A. 4
Adhesion strength (kgf/cm^2)	125.39	131.21	130.82	139.44	184.00	168.49	159.09	189.58
Viscosity (cP)	6297.2	3964.9	8339.7	5350.2	56934	56687	57107	5270.1
pH	7.75	5.95	5.65	5.35	5.04	3.88	4.10	4.79
Reversible	O	O	O	O	X	X	X	X

접착제로서의 기반을 갖추었으며, 이는 천연 접착제를 대체해오던 합성 접착제를 다시 대체할 수 있을 것으로 기대한다.

다만, 수분에 의한 가역성이 고습의 환경에서 장기간 지속적으로 노출되었을 경우 접착제 성상의 변화가 나타날 수 있으나 문화유산 또는 공예품의 제작이나 수장환경 등 지속적으로 수분에 노출되는 사례는 현저히 낮다고 사료된다. 또한 일부 습도에 의한 가역성은 천연 접착제의 유연성과도 연결되어 목공예품 중 악기류와 궁시 등 접착제의 유연함을 필요로 하는 제작기법에 적절히 사용된다면 아교의 강도와 어교의 유연성을 동시에 확보할 수 있는 접착제로 판단된다.

또한 대량 생산 및 상품화를 위해서는 장기 보관에 따른 변화 양상, 추가적인 기능성 개선, 첨가제의 혼합에 따른 안정성의 지속적이고 장기적으로 모니터링이 이루어져야 할 것으로 사료된다. 추가적으로 총호기성생균시험을 통해 도교 접착제의 보존성과 항균성이 확인되어 천연 접착제의 취약점이었던 사용성과 보관성이 개선될 수 있을 것으로 판단된다. 이는 재료 수급 문제를 일부 해소해줄 수 있고 제조할 때마다 다르게 나타나는 천연 접착제 물성을 일정한 물성으로 일정기간 지속적으로 사용할 수 있다는 점이 개선될 수 있을 것으로 볼 수 있었다.

이와 같은 결론을 바탕으로 보다 세분화되고 정량화된 도교 기반의 바이오 접착제가 개발된다면 목공예품의 다양한 용도, 크기, 중량, 제작기법 등에 최적화된 맞춤형 접착제가 적용될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 연구, 개발에서 머무르지 않고 원천기술 확보를 위한 기능성 연구와 평가기준 및 사용 매뉴얼 개발 등을 통해 대량생산 기술과 공정 시스템 체계 구축이 이루어져 실제 목공예품 제작 및 복원, 문화재 보존 현장에서 사용 가능한 바이오 접착제 상품화가 이루어질 수 있을 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 2021년도 한국연구재단(2019R1I1A3A01059171)의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

REFERENCES

Han, W.S., Oh, S.J., Kim, Y.M., Lee, Y.J., Kim, Y.J., Park, M.S. and Wi, K.C., 2018, Base study related with development of natural bio-adhesives using seaweeds. Journal of Conservation Science, 34(6), 595-604. (in Korean with English abstract)

Im, T.J., 2018, Preparation and application of bio-adhesive based on marine materials. Master's dissertation, Chonnam National University, Gwangju, 1-57.

Kim, Y.M., 2020, A study on potential for application to cultural properties according to extraction methods of polysaccharide. Master's thesis, Hanseo University, Seosan, 31.

Kim, Y.M., 2021, A study on the conservation treatment of artworks which have Bark. Master's thesis, Korea National University of Cultural Heritage University, Buyeo, 7.

Kim, S.E., Lee, J.K., Lee, C.H. and Chung, Y.J., 2019, Study on the physical properties and characteristics of adhesives for woodcraft. Journal of Conservation Science, 35(6), 681-688. (in Korean with English abstract)

Lee, J,H., 2008, Manufacture of natural adhesives for wallpaper using garlic. Master's thesis, Gyeongnam National University, Jinju, 1-55.

Namgoong, S., Jeong S.K. and Kim, T.H., 2010, Traditional crafts for the use of modern technology. The Journal of the Korea Contents Association 10(12), 181-189. (in Korean with English abstract)

National Research Institute of Cultural Heritage, 2014, Study on the adhesive properties of lacquer and glue, 26-27.

Park, S.J., 2013, Adhesion characteristics of blended natural glues for the conservation of wooden objects. Master's thesis, Chungbuk National University, Cheongju, 1-13.

Wi, K.C., Oh, S.J., Han, W.S. and Park, M.S., 2019, A study on multiple bases for development of natural adhesives for woodcraft using cellulose extracts from wood and their application potential - Focused on salicis radicis cortex, hibiscus, Chinese wild peach resin -. The Korean Society of Science & Art, 37(5), 239-248. (in Korean with English abstract)

Yang, S.Y., Yoon, H.R., Kim, N.Y., Kim, M.S., Kim., D.Y., Kim., C.S., Park, Y.H., Park, M.O., Lee, E.Y. and Lee, H.S., 2010, Dictionary of Music and Art Concepts. 212.