우루시올과 아교를 배합한 천연 접착제의 투명성 및 접착 특성 연구

김은경 | 안선아 | 장성윤¹
국립문화재연구소 복원기술연구실

A Study on Transparency and Characteristics of Natural Adhesives Made of Urushiol and Glue

Eun Kyung Kim | Sun Ah Ahn | Sungyoon Jang¹

Restoration Technology Division, National Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon 305-380, Korea

¹Corresponding Author: fkite@korea.kr, +82-42-860-9349

초록 본 연구는 옷과 아교를 배합한 천연 접착제의 투명성을 높이기 위해 옷에서 추출한 우루시올과 아교를 배합하여 천연 접착제를 제조하고 물성 및 접착특성을 파악하였다. 우루시올과 아교를 배합한 천연 접착제는 아교의 배합비율이 증가할수록 아교 단백질과 관련된 N-H 피크들이 생성되고 강도가 증가하는데 반해 우루시올의 메틸렌 결합과 연관된 C-H 피크는 줄어들어 아교의 IR spectra와 유사해지는 경향을 나타냈다. 배합에서 아교의 비율이 증가할수록 색이 밝고 투명해지며 경화 과정 중에도 검게 산화하지 않아 투명성을 높이는 동시에 하루 이내에 건조하며 옷과 아교를 배합한 천연 접착제의 특성은 유지하였다. 배합비율에 따라 Cemedine C부터 에폭시 수지까지 다양한 범위의 점도와 접착 강도를 나타내며 그 중 토기를 피착재로 한 실험에서 우루시올과 아교를 6:4로 배합한 시료가 밝고 투명한 색을 가지는 동시에 Araldite AY103-1/HY956과 유사한 강도를 보여 토기 유물에 적용 가능한 천연 접착제로서의 가능성이 기대된다.

중심어: 옷, 우루시올, 아교, 천연 접착제, 투명성

ABSTRACT This study aims to increase the transparency of the natural adhesives made with lacquer and glue. For the purpose, samples were prepared by mixing urushiol with glue in varied proportion and the characteristics and adhesive properties were investigated. By adding glue on urushiol, IR spectra of the natural adhesives became similar to that of glue as the N-H band related with protein of glue increased, while that of methylene C-H bond related to urushiol decreased. Samples were dried within a day and maintained a bright color without blackening by oxidation during the curing process. The natural adhesives with urushiol and glue showed various range of viscosity and tensile shear strength as Cemedine C or Epoxy resin according to mixing ratio. In addition, the sample of mixing ratio of 6:4 showed bright and transparency in appearance and tensile shear strength similar to that of Araldite AY103-1/HY956 for earthenware layer.

Key Words: lacquer, urushiol, glue, natural adhesives, transparency

1. 서론

접착이란 동종 혹은 이종 간의 접촉면이 접착제에 의해 결합되는 것(Lim *et al.*, 2005)으로 산업 현장이나 일상생활 속에서 자주 관찰되며 사용례도 크게 늘고 있다. 접착제는 성분에 따라 천연 접착제와 합성수지 접착제로 구분할 수 있으며 그 중 산업 혁명을 기반으로 개발되기 시작한 합성수지 접착제는 천연 접착제에 비해 값이 싸고 대량 생산이 가능하며 균일한 품질로 생산되어 산업 전반에서 뿐만 아니라 문화재 보존 처리를 위한 접착제와 복원재료로서도 널리 사용되고 있다. 그러나 합성수지 접착제는 시간이 지남에 따라 산소, 열, 자외선 등의 환경적 요인으로 노화되면서 접착제의 물성 저하 및 변색 등에 의해 유물의 2차적 손상이 나타나 복원된 유물의 미적 가치를 하락시키고 구조적 불안정을 야기한다. 또한 용매와 화학원료에서 발생하는 휘발성 유기화합물(VOC, volatile organic compounds)과 폐기 후에 나타나는 유출물의 독성이 사회적으로 문제화 되고 있어 합성수지 접착제를 대체할 고기능성 천연 접착제의 필요성이 점차 증가하고 있다. 문화재 보존처리 분야에서도 전통 재료에 대한 관심이 증대되면서 과거 선조들이 사용했던 전통 재료와 방식을 조사하고 이를 현대에 맞게 활용하기 위한 연구가 진행되고 있다(Ahn, 2011; Park, 2013).

옷나무의 수액인 옷(漆)은 산이나 알칼리 등에 대한 내화학적성이 좋고 방수, 방부, 방충 등의 효과를 가지고 있는 우수한 전통 재료로서 산소 반응을 통해 3차원 구조의 고분자를 형성하며 크게 우루시올, 수분, 고무질, 함질소물, 효소로 이루어져 있다. 그 중에서도 옷의 70%를 차지하는 우루시올은 벤젠환에 2개의 수산기를 갖는 카테콜(catechol) 화합물에 탄소원자 15개로 구성된 긴 지방산 곁가지(R)가 결합된 것으로 옷의 주요 특성을 나타내는 성분이다(Shin, 2008). 옷은 칠기 공예 뿐 아니라 원삼국 시대의 대형옹(Cho *et al.*, 2010)이나 일제 강점기 시절 도자기의 구연부에 접착제로 사용했던 혼적(Yang and Seo, 2011)이 남아 있어 유물 수리에도 활용되어 왔음을 알 수 있다. 또한 해저 케이블선이나 선박 등의 무공해 산업 및 약용으로도 이용범위가 확대되고 있어 연구 개발의 가치가 가장 높은 재료 중 하나이다. 아교는 동물의 가죽이나 근육, 뼈 등을 원료로 하여 정제한 젤라틴이 주성분이다. 아교는 접착력이 우수하고 건조속도가 빨라 수천 년 동안 동서양을 막론하고 접착제 및 기초 재료 등으로 광범위하

게 사용되었으며 현대에는 보존처리 재료로서 많이 사용되고 있다(Sim, 2006).

본 연구는 2011년부터 수행된 옷과 교의 배합을 통한 천연 접착제의 제조 및 물성 분석 연구를 바탕으로 하고 있다. 선행연구에서는 옷에 교를 배합함으로써 고온 혹은 고습에서만 경화하는 옷이 상온저습한 환경에서도 건조가 가능하고 배합하는 교의 종류에 따라 도막의 특성이 변하는 것을 파악한 바 있다(Jeong *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2011). 또한 생칠과 아교를 배합한 천연 접착제는 배합비율에 따라 다양한 범위의 점도와 접착 강도를 구현하여 합성수지 접착제와 유사한 접착특성을 가지고 있었다(Kim *et al.*, 2013). 하지만 생칠은 공기 중에서 쉽게 산화하며 경화하는 특성으로 인해 접착제로 사용 시 유물의 미적 부분을 훼손시킬 수 있는 요소를 가지고 있다. 본 연구에서는 이를 보완하기 위해 옷의 주성분인 우루시올을 추출하고 아교와의 배합을 통해 천연 접착제를 제조하였다. 또한 제조된 천연 접착제의 투명성과 접착 특성 등을 조사하여 접착제로서의 활용 가능성을 타진하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1. 천연 접착제 제조

강원도 원주에서 채취한 생칠의 우루시올을 추출하였다. 80 g의 생칠을 400 ml의 아세톤과 교반하여 실온에서 12시간 이상 정치하면 흑갈색의 상층액과 아세톤에 용해되지 않고 침전된 아세톤 파우더층으로 분리된다. 그 중 우루시올이 용해되어 있는 상층액을 감압 회전 증발기를 사용해 아세톤을 증발시킨 후 순수한 우루시올 63.9 g(수득율 80%)을 수득하였다. 추출한 우루시올은 투명한 흑갈색의 액체로 물보다 비중이 낮다(Figure 1). 아교는 시중에서 구입한 소(牛) 막대 아교이며 50% 농도로 물에 24시간 불린 후 60~70℃에서 중탕하여 사용하였다.

Figure 1. Extracted urushiol (a) extraction from lacquer, (b) viscosity, (c) specific gravity.

Table 1. The samples of natural adhesives in this study

Lacquer	Glue	Mixing ratio	Sample
Urushiol	Glue (in 50% aqueous solution)	9:1	UG1
		8:2	UG2
		7:3	UG3
		6:4	UG4
		5:5	UG5
		4:6	UG6
		3:7	UG7
		2:8	UG8
		1:9	UG9
Raw lacquer	Glue (in 50% aqueous solution)	9:1	LG1
		8:2	LG2
		7:3	LG3
		6:4	LG4
		5:5	LG5
		4:6	LG6
		3:7	LG7
		2:8	LG8
		1:9	LG9

우루시올과 아교 용액은 9:1~1:9까지 다양한 비율로 배합하여 천연 접착제 시료(이하 UG sample)를 제조하였으며 시료 목록과 시료명은 Table 1에 기재하였다. 제조한 시료는 생칠과 아교를 배합하여 제조한 천연 접착제 시료(이하 LG sample), 합성수지 접착제(Araldite AY103-1/HY956, Araldite rapid, Cemedine C, Loctite® 401, Paraloid B-72)와 비교·분석하여 물성을 파악하였다.

2.2. 물성분석

2.2.1. 구조분석

천연 접착제의 구조는 FT-IR 중 전반사 측정법(ATR; attenuated total reflection)으로 분석하였다. 원액 상태의 우루시올은 한밭대학교 공동실험실습관의 FT-IR(Magna IR 550, Nicolet)로, 우루시올과 아교를 배합한 천연 접착제는 슬라이드 글라스에 도포하여 제작한 시료 도막을 채취한 후 국립문화재연구소 보존과학연구실의 FT-IR(Hyperion 3000, Bruker)로 분석하였다.

2.2.2. 표면분석

시료의 초기 배합 상태에서 발림성, 경화 전·후의 상태 변화 및 건조 시간 등을 확인하기 위해 슬라이드 글라스에 시료를 도포한 후 항온항습(25±2℃, 50±5%)의 환경에서 건조시키며 표면 변화를 관찰하였다.

Figure 2. Specimen for measurement of tensile shear strength. (a) KS M 3734, (b) actual size of specimen.

2.2.3. 색도

색도계(Elrepho, Lorentzen & Wettre)를 이용하여 천연 접착제 시료의 색을 측정하였다. 측정 기준은 국제조명위원회에서 정한 $L^*a^*b^*$ 값을 이용하였으며 $L^*a^*b^*$ 표색법은 L 을 종축으로 하고 a 와 b 를 직교 좌표로 하여 색상을 나타낸다. L 값은 명도를 표시하며 수치가 클수록 명도값이 증가하여 $L^*=100$ 이면 순수한 백색이고 $L^*=0$ 이면 흑색을 나타낸다. a^*, b^* 는 채도를 나타내어 a^* 의 +값이 클수록 적색, -값이 클수록 녹색을 나타내며, b^* 는 +값이 클수록 황색, -값이 클수록 청색을 나타낸다. 중앙은 무채색으로 $a^*=0, b^*=0$ 의 위치에 해당하며 a^*b^* 가 증가할수록 중심에서 멀어지면서 채도가 높아져 맑은 색을 나타낸다.

2.2.4. 점도

시료의 점도는 진동식 점도계(VM-10A, Sekonic)를 사용하여 측정하였다. 진동식 점도계는 검출 단자가 시료를 일정한 진폭으로 진동시켜 점도를 측정하는데 본 실험에서는 $M(0.01\sim5 \text{ Pa}\cdot\text{s})$ 과 $MH(0.5\sim30 \text{ Pa}\cdot\text{s})$ 단계의 점도계를 사용하여 우루시올과 아교를 배합한 천연 접착제의 점도를 측정하고 이를 생칠과 아교를 배합한 천연 접착제 및 합성수지 접착제와 비교하였다.

2.2.5. 인장전단 접착 강도

천연 접착제의 인장전단 접착 강도 측정을 위해 KS M 3734(접착제의 인장전단 접착 강도 시험 방법)에 준하여 용기토를 1,100℃의 전기 가마에서 소성하여 100×25×10 mm의 크기의 토기 시편으로 제작하였다. 토기 시편은 KS에서 제시한 규격보다 더 두껍게 제작하였는데 이는 규격 조건에 따라 제작한 토기 시편이 얇은 두께로 인해 소성 중 휘어지는 문제가 발생하여 이를 보완하기 위해서이다.

(Figure 2). 천연 접착제 시료로 접착한 토기 시편은 항온 항습의 환경에서 완전 경화시킨 후 만능재료시험기(AG-X plus 20 kN, Shimadzu)로 인장전단 접착 강도를 측정하였으며 비교를 위해 선별한 합성수지 접착제 5종을 동일한 방법으로 시편 제작한 후 인장전단 접착 강도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 구조분석 결과

기본적인 생칠의 FT-IR spectra는 O-H 신축 진동에 의한 $3,500\sim3,200\text{ cm}^{-1}$ 의 넓은 흡수 밴드, 결사슬의 불포화 알킬그룹(unsaturated alkyl chain) =CH- 신축 진동에 의한 $3,011\text{ cm}^{-1}$, -CH_2 포화 알킬그룹(saturated alkyl chain)에 의한 $2,920\text{ cm}^{-1}$, $2,852\text{ cm}^{-1}$, 게집게다리(crab leg) 모양의 페닐링 -CH=CH- 불포화 알킬그룹에 의한 $1,618\text{ cm}^{-1}$, $1,594\text{ cm}^{-1}$, 퀴논(quinone)-올레핀(olefin), 디벤조푸란(dibenzofuran)의 C-O-C $1,474\text{ cm}^{-1}$, $1,075\text{ cm}^{-1}$, aromatic ether $1,185\text{ cm}^{-1}$, O-H $1,355\text{ cm}^{-1}$, $1,278\text{ cm}^{-1}$, 공주게이션된(conjugated) 다이엔 그룹(diene chain)에 의한 983 cm^{-1} , 944 cm^{-1} 의 피크를 확인할 수 있다(Niimura and Miyakoshi, 2006; Xia *et al.*, 2011).

생칠과 우루시올의 FT-IR spectra를 비교해 보면 $3,500\sim3,200\text{ cm}^{-1}$ 의 넓은 흡수 피크는 우루시올 페닐기에 있는 O-H 신축 진동에 의한 것으로 생칠과 우루시올에서 모두 확인할 수 있다. $3,012\text{ cm}^{-1}$ 의 피크는 우루시올 결사슬에 있는 불포화 알킬그룹의 신축 진동에 의한 것이고 $2,920\text{ cm}^{-1}$, $2,850\text{ cm}^{-1}$ 의 피크는 우루시올 메틸렌기의

C-H로 두 피크 모두 생칠과 우루시올에서 특징적으로 나타나는 것을 확인할 수 있다. 우루시올에서 $1,720\text{ cm}^{-1}$ 의 C=O 피크가 강하게 나타났는데 이것은 추출 과정에서 사용된 아세톤의 영향으로 생각되며 $1,621\text{ cm}^{-1}$, $1,595\text{ cm}^{-1}$ 에서 나타나는 두 쌍의 날카로운 피크는 페닐링의 -C=C- 진동에 의한 피크이다(Figure 3(a)).

아교의 IR spectra에서 나타나는 $3,600\sim3,200\text{ cm}^{-1}$ 피크 밴드의 Amide A 영역은 N-H 신축 진동과 관련이 있고 $2,920\text{ cm}^{-1}$, $2,850\text{ cm}^{-1}$ Amide B 영역의 피크는 CH_2 의 신축 진동을 나타낸다. $1,800\sim1,600\text{ cm}^{-1}$ 피크 밴드의 Amide I 영역은 펩타이드(peptide)의 카보닐(carbonyl) 그룹 신축 진동에 의한 것으로 단백질의 2차 구조를 알 수 있으며 $1,600\sim1,300\text{ cm}^{-1}$ 피크 밴드의 Amide II 영역은 N-H 굽힘과 C-N 신축 진동과 연관이 있다. $1,300\sim600\text{ cm}^{-1}$ 의 Amide III 영역 최대 피크 밴드는 N-H 굽힘과 C-N 신축 진동에 의한 것으로 콜라겐의 3중 나선 구조와 관련이 있다(Muyonga *et al.*, 2004; Yoo, 2009).

우루시올과 아교를 배합한 천연 접착제의 IR spectra를 살펴보면 아교의 배합비가 점점 높아질수록 우루시올의 특징적인 피크인 페닐링의 O-H 신축 진동에 의한 $3,500\sim3,200\text{ cm}^{-1}$ 의 피크가 점점 $3,300\text{ cm}^{-1}$ 의 N-H 신축 진동 피크 방향으로 자라나는 것을 확인할 수 있다. 이와 동시에 아교 단백질로 추정되는 카보닐 그룹 신축 진동에 의한 $1,633\text{ cm}^{-1}$, N-H 굽힘과 C-N 신축 진동에 의한 $1,542\text{ cm}^{-1}$, $1,452\text{ cm}^{-1}$, $1,404\text{ cm}^{-1}$, $1,336\text{ cm}^{-1}$ 피크들이 점차 증가하고 이와는 반대로 우루시올 메틸렌기의 C-H 신축 진동에 의한 $2,920\text{ cm}^{-1}$, $2,850\text{ cm}^{-1}$ 피크들이 점차 사라지며 아교의 IR spectra와 유사해지는 것을 볼 수 있다(Figure 3(b)).

Figure 3. Results of FT-IR spectra of samples. (a) lacquer and urushiol, (b) comparison of FT-IR spectra according to the adding of the glue on urushiol.

3.2. 표면 분석

슬라이드 글라스에 시료를 도포할 때 순수한 우루시올은 유리 표면에서 응집되는 성질을 보였다. 또한 우루시올에 배합하는 아교의 비율이 증가할수록 점성이 증가하여 끈적끈적한 점착성을 보이며 고르게 도포되지 않으나 시료의 색이 점점 밝아지는 것을 육안으로 확인하였다(Figure 4).

순수한 우루시올과 UG1, UG2 시료는 항온항습의 환경 하에서 7일 이후에도 완전 경화되지 않았으며 다른 시료들은 최소 2시간에서 최대 12시간 이내에 완전 건조하였다.

3.3. 색도

우루시올에 아교를 배합한 천연 접착제의 명도를 측정하고 이를 생칠에 아교를 배합한 천연 접착제와 비교 분석하였다. 우루시올에 아교를 배합한 천연 접착제는 배합비율에 따라 45.19에서 77.84, 생칠에 아교를 배합한 천연 접착제는 배합비율에 따라 5.21에서 40.74 범위의 명도값을 보이며 두 시료 모두 아교의 비율이 증가할수록 색이 밝아졌다(Figure 5(a)).

우루시올에 아교를 배합한 천연 접착제는 아교의 비율이 증가할수록 a^*b^* 값이 0에 가까워져 무채색에 가까워지고 생칠에 아교를 배합한 접착제는 아교의 비율이 증가할수록 a^*b^* 값 역시 증가하여 색의 채도가 높아지는 것을 확인하였다(Figure 5(b)). 이는 투명한 흑갈색 액체인 우루시올에 얻은 황색인 아교의 배합비율이 증가할수록 투명성이 증가하는 것으로 생각된다.

3.4. 점도

우루시올의 점도는 0.04 Pa·s이고 아교의 점도는 1.82 Pa·s로 우루시올에 배합하는 아교의 비율이 증가할수록 점도 역시 증가하다 일정 비율 이상에서는 다시 감소하는 경향을 보인다. 우루시올과 아교의 배합비율이 3:7인 UG7 시료에서 가장 높은 점도(2.55 Pa·s)를, 배합비율이 9:1인 UG1 시료에서 가장 낮은 점도(0.06 Pa·s)를 나타냈고 이는 우루시올과 비슷한 점도이다(Figure 6).

우루시올에 아교를 배합한 천연 접착제와 생칠에 아교를 배합한 천연 접착제의 점도를 비교한 결과 우루시올에 아교를 배합한 시료가 동일한 배합비율 상에서 상대적으로 매우 낮은 점도를 보였고 생칠에 아교를 배합한 천연 접

Figure 4. Sample preparation by mixing urushiol with glue in varied proportion.

Figure 5. Chromaticity variation of UG and LG samples. (a) brightness, (b) chromaticity.

Table 2. Viscosity of natural adhesives and synthetic resins

Viscosity (Pa·s)	Natural adhesives (Pa·s)		Synthetic resins (Pa·s)
	UG sample	LG sample	
0~0.5	U (0.04)		Axia 031 (0.003) Epo-Tek 301-1 (0.06) Loctite® 401(0.21)
	UG1 (0.06)		
	UG2 (0.08)		
	UG3 (0.24)		
0.5~1	UG5 (0.53)	L (0.75)	Araldite AY103-1/HY956 (0.73)
	UG4 (0.58)		
1~2	UG6 (1.55)	G (1.82)	Cemadine C (1.78)
	UG8 (1.67)		
	UG9 (1.85)		
2~3	UG7 (2.55)	LG9 (2.58)	-
		LG1 (2.77)	
3~5	-	LG8 (3.63)	Paraloid B-72 (3.15)
		LG7 (4.33)	
5~7	-	LG6 (5.31)	Devcon 5 minute (6.82)
		LG2 (5.92)	
7~10	-	LG5 (7.21)	-
over 10	-	LG4 (10.73)	Araldite rapid (12.63)
		LG3 (12.17)

Figure 6. Results of viscosity for LG and UG samples.

착제는 생칠의 비율이 아교보다 높은 시료에서, 우루시울에 아교를 배합한 천연 접착제는 아교의 비율이 우루시울보다 높은 시료에서 각각 가장 높은 점도를 보인다. 이는 자체적으로도 점성을 가지고 있는 생칠과 점성이 비교적 낮은 우루시울의 물성 차이에서 비롯된 것으로 생칠에 아교를 배합한 천연 접착제는 배합되는 아교의 비율이 증가할수록 수분 역시 증가하여 점착적으로 점도가 낮아지는 것에 비해 점성이 낮은 우루시울은 아교 자체의 점성이 추가되면서 점착적으로 점도가 증가하는 것으로 생각된다.

두 천연 접착제와 합성수지 접착제의 점도(Nam *et al.*, 2012)를 비교한 결과 우루시울은 Axia 031, 생칠은 Araldite

AY103-1/HY956, 아교는 Cemadine C와 유사한 점도를 보인다. 천연 접착제 중 가장 높은 점도를 보이는 UG7과 LG3는 각각 Paraloid B-72, Araldite rapid와 비슷한 점도를 보이고 가장 낮은 점도는 보이는 UG1과 LG9는 각각 Epo-Tek 301-1, Paraloid B-72와 유사한 점도를 나타낸다(Table 2).

3.5. 인장전단 접착 강도

우루시울에 아교를 배합한 천연 접착제는 배합비율이 6:4인 UG4 시료에서 가장 높은 강도인 3.44 N/mm^2 를, 배합비율이 9:1인 UG1 시료에서 가장 낮은 강도인 0.21 N/mm^2 를 나타냈고 순수한 우루시울은 점도가 매우 낮고 접착력이 약하여 강도 측정 전 계면이 분리되어 접착 강도가 측정되지 않았다(Figure 7). 우루시울과 아교의 배합이 9:1 (UG1)과 8:2 (UG2)인 시료에서는 접착 강도가 매우 낮거나 측정되지 않았고 아교의 비율이 높은 1:9 (UG9)와 2:8 (UG8) 시료에서도 접착 강도가 매우 낮게 나타났다. 이러한 비율의 배합에서는 우루시울과 아교의 화학적 반응보다는 우세한 재료의 접착 특성을 나타내는 것으로 생각된다. 그러나 우루시울과 아교의 배합비율이 7:3 시료부터는 접착 강도가 증가하기 시작하여 배합비율이 3:7 시료까지 $1.00 \sim 3.44 \text{ N/mm}^2$ 범위의 비교적 높은 접착 강도를 나타냈다. 이 구간에서는 우루시울과 아교의 화학적 반응

Table 3. Tensile shear strength of natural adhesives and synthetic resins

Tensile shear strength (N/mm ²)	Natural adhesives (N/mm ²)		Synthetic resins (N/mm ²)
	UG sample	LG sample	
0~0.5	UG1 (0.21) UG2 (0.28)		
0.5~1	UG9 (0.52) UG8 (0.58) UG7 (1.00)	LG9 (0.59) LG8 (0.98)	Cemadine C (1.00)
1~1.5	UG5 (1.15)	LG3 (1.44) LG4 (1.46)	Paraloid B-72 (1.03)
1.5~2	UG3 (1.59) UG6 (1.67)	LG2 (1.59) LG1 (1.69) G (1.70)	
2~3		LG7 (2.50) LG5 (2.67) L (3.00)	
over 3	UG4 (3.44)	LG6 (3.20)	Araldite rapid (3.09) Araldite AY103-1/HY956 (3.26) Loctite [®] 401 (3.72)

Figure 7. Results of tensile shear strength for LG and UG samples.

이 진행되어 우루시올의 고분자화에 따른 경화과정에도 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. 또한 우루시올과 아교의 배합비율이 6:4 (UG4)인 시료에서는 문화재 보존처리에 많이 사용되는 에폭시계 접착제보다 다소 높은 3.44 N/mm²의 접착 강도가 나타나 배합비율에 따라 화학 반응과 기계적 특성이 달라지는 것으로 생각된다.

생칠과 아교를 배합한 천연 접착제는 배합비율이 2:8 (LG8)인 시료와 1:9 (LG9)인 시료를 제외하고는 모두 접착 강도 1.44 ~ 3.20 N/mm²의 범위를 보이며 배합비율이 4:6 (LG6)인 시료에서 가장 높은 접착 강도를 나타냈다. 생칠과 아교를 9:1~6:4까지의 비율로 배합한 시료들(LG1, LG2, LG3, LG4)은 생칠과 아교보다 점도가 증가하여 가장 높은 점도는 에폭시계 수지와 유사한 값을 나타냈으나

접착 강도는 아교와 유사하거나 더 낮게 나타났다. 이는 접착제의 접착 특성에 있어 점도 이외에 생칠과 아교의 화학적 반응이 영향을 미친 것으로 생각되며 생칠 내의 다른 성분, 효소, 당단백, 함질소물 등의 요소들이 아교와의 결합 반응에 미치는 영향을 고려한 연구를 통해 추후 해석이 더 필요할 것으로 보인다. LG8, LG9 시료에서는 다른 LG sample에 비해 매우 낮은 접착 강도를 보이며 이는 배합에 있어 비율이 우세한 아교로 인해 수분량이 증가하면서 낮아진 점도가 강도 저하의 주요 원인인 것으로 생각된다.

제조한 천연 접착제와 기존의 합성수지 접착제의 인장 전단 접착 강도를 비교한 결과는 Table 3에 나타내었다. 생칠은 Araldite rapid, 아교는 Paraloid B-72와 유사한 강도를 보이며 천연 접착제는 낮게는 Cemadine C부터 높게는 에폭시계 수지인 Araldite AY103-1/HY956과 비슷한 강도값을 보여 배합비율에 따라 다양한 강도를 나타냈다.

접착력은 크게 기계적인 것과 화학적인 것으로 구분할 수 있다. 기계적 접착력은 피착재 표면의 미세한 공극에 접착제가 유입되어 경화함으로써 마치 결쇠와 같은 작용을 하여 결합하는 것을 의미하고 화학적인 결합은 피착재와 접착제 사이의 화학 반응이 일어나는 것과 피착재와 접착제 사이의 분자간력에 의해 결합하는 것을 뜻한다(Seo, 2006). 우루시올과 아교를 배합한 천연 접착제는 상대적으로 우루시올의 배합비율이 높은 시료에서, 생칠과 아교를 배합한 천연 접착제는 상대적으로 아교의 배합비율이 높은 시료에서 높은 접착 강도를 보이며 최상의 배합비율이 다소 다르게 나타났다. 이는 생칠 혹은 우루시올이 아교와

의 배합에서 구조·화학적 안정성을 이루는 결합 반응이 서로 다르게 진행되는 것으로 예측된다. 또한 두 천연 접착제 시료 모두 최고 점도값을 나타낸 UG7, LG3 시료가 아닌 UG4, LG6에서 최고 강도값이 나타난 것을 통해 2종으로 배합된 접착제는 기공으로 스며드는 기계적 접착력과 더불어 피착재와의 안정적인 결합을 통한 화학적 접착력의 극대화를 이끌어낼 수 있는 배합비율이 중요함을 확인할 수 있다.

또한 우루시울과 아교의 천연 접착제는 유기용제보다 60~70℃의 물에서 차츰 용해되어 제거되는 특성을 보였다. 용제에서의 물성 변화는 접착제의 화학적 특성과 관계가 깊으므로 추후 연구에서는 체계적인 가역성 실험과 함께 천연 접착제의 구조·화학적 해석 등의 보완 연구가 필요하다.

4. 결 론

생칠과 아교를 배합한 천연 접착제는 상온저습한 환경에서도 건조가 가능하고 합성수지 접착제 못지않은 점도와 접착 강도를 구현하여 접착제로서의 활용가능성을 보여주었다. 그러나 쉽게 산화하며 경화되는 옷의 특성으로 인해 유물의 미적인 부분을 훼손시킬 수 있어 접착제로서의 사용이 어려웠다. 이에 본 연구에서는 천연 접착제의 장점을 살리고 투명성을 높이기 위해 옷의 주요 성분인 우루시울을 추출하고 아교와 배합하여 새로운 천연 접착제 시료를 제조하였다. 또한 그 물성 및 접착 특성을 분석하여 합성수지 접착제와 비교하였다.

우루시울과 아교를 배합한 천연 접착제는 아교의 배합비율이 높아질수록 단백질 피크인 $3,300\text{ cm}^{-1}$ 의 N-H 피크와 카보닐 그룹의 피크들이 증가하는 동시에 우루시울의 특징적인 메틸렌기의 C-H 피크들이 사라지면서 아교의 IR spectra와 유사해지는 피크 변화를 보인다.

생칠과 아교를 배합한 천연 접착제에 비해 우루시울과 아교를 배합한 천연 접착제는 7~8배 높은 명도를 보이며 아교의 비율이 증가할수록 투명한 황색을 나타낸다. 또한 경화 과정 중에도 쉽게 산화되지 않고 밝고 투명한 빛을 유지한 채 경화되며 우루시울과 우루시울의 비율이 높은 UG1, UG2 시료를 제외한 나머지 시료들은 모두 하루 이내에 완전 건조하였다.

두 천연 접착제는 배합비율에 따라 다양한 범위의 점도와 접착 강도를 구현하며 Cemedine C 부터 Araldite

Ay103-1/HY956에 못지않은 강도를 보여주었다. 특히 우루시울과 아교를 배합한 천연 접착제는 우루시울과 아교의 비율이 크게 우세한 UG1, UG2, UG8, UG9를 제외한 UG3~UG7 시료들에서 접착 강도의 증가를 보여 우루시울과 아교의 기계·화학적 결합 반응이 진행되었을 것으로 생각된다. 본 연구에서 우루시울과 아교를 6:4로 배합한 시료가 비교적 밝고 투명한 색을 나타냈고 토기를 피착재로 사용하는 경우 생칠과 아교를 배합한 천연 접착제 시료 중 가장 높은 강도를 가진 LG6와 에폭시계 수지와도 비슷한 강도를 보여 접착제로서의 활용가능성이 가장 높을 것으로 생각된다. 추후 연구를 통해 다양한 재질을 피착재로 하여 천연 접착제의 적절한 배합비율을 조사하고 환경적 요인에 의한 열화 특성과 가역성 등을 주제로 한 심화 연구가 진행된다면 옷과 아교를 활용한 천연 접착제의 현장 활용이 가능할 것으로 기대된다.

REFERENCES

- Ahn, J.Y., 2011, A study on adhesive characteristic of glue which is used for conservation and restoration of oriental painting, Yongin University, Department of Conservation of Cultural Heritage, Graduate School of Cultural Heritage. (in Korean with English abstract)
- Cho, N.C., Kim, S.C., Kim, W.H. and Shin Y.S., 2010, A study on the bonding materials used for the great jar of the proto-three kingdoms period from Daechuri site, Pyeongtaek, Journal of Conservation Science, 26, 371-376. (in Korean with English abstract)
- Jeong, S.R., Kim, E.K. and Yu, J.E., 2011, Study on properties of natural adhesives with lacquer for ceramic conservation. Journal of Adhesives and Interface, 12, 111-116. (in Korean with English abstract)
- Kim, E.K., Jeong, S.R. and Yu, J.E., 2011, Analysis of mixing ratio of lacquer and glue for lacquer drying in low relative humidity environment. Conservation Studies, 32, 36-52. (in Korean with English abstract)
- Kim, E.K., Park, D.W. and Jang, S.Y., 2013, A study on preparation and characteristics of natural adhesives with lacquer and animal glue for ceramic conservation. Journal of Adhesives and Interface, 14, 128-134. (in Korean with English abstract)

- Korean Standards Association, 2011, KS M 3734 (Testing methods for shear strength of adhesives bonds by tensile loading). Korean Industrial Standard. (in Korean)
- Lim, D.H., Kim, S.M., Do, H.S., Park, Y.J., Joo, H.S. and Kim, H.J., 2005, The review on environmental friendly adhesives and high-performance adhesives. Trends in Agriculture&Life Scienses, 3, 28-43. (in Korean with English abstract)
- Muyounga, J., Cole, C. and Duodu, K., 2004, Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopic study of acid soluble collagen and gelatin from skins and bones of young and adult Nile perch (*Lates niloticus*), Food Chemistry, 86, 325-332.
- Nam, B.J., Jeong S.R. and Jang. S.Y., 2.12, Study on the demand characteristics of epoxy resins applied to the restoration of ceramics. Journal of Adhesives and Interface, 13, 171-181. (in Korean with English abstract)
- Niimura, N. and Miyakoshi, T., 2006, Structural study of oriental lacquer films during the hardening process, TALANTA, 70, 146-152.
- Park, S.J., 2013, Adhesion characteristics of blended natural glues for the conservation of wooden objects. Chungbuk National University, Department of Cultural Heritage Science, Graduate School of Cultural Heritage Science (in Korean with English abstract)
- Seo, S.H., 2006, A study on the pigments binder-The durability of lead red and glue-acrylic-. Kyonggi University, Department of Antique Appraisal, Graduate School of Traditional Arts. (in Korean with English abstract)
- Shin, S.P., 2008, The evaluation of conservation characteristics on lacquer coats by reproduction experiment, Kongju National University, Department of Cultural Heritage Conservation Science, Graduate school of Cultural Heritage Conservation Science (in Korean with English abstract)
- Sim, Y.J., 2006, A study of glue properties according to composition. Hanseo University, Department of Conservation of Culture, Graduate School of Arts. (in Korean with English abstract)
- Xia, J., Lin, J., Xu, Y., Chen, Q., 2011, On the UV-induced polymeric behavior of Chinese lacquer, Applied Materials & Interfaces, 3, 482-489.
- Yang, P.S. and Seo, J.H., 2011, A study on the change process repair and restoration methods of ceramic. Journal of Conservation Science, 27, 49-59. (in Korean with English abstract)
- Yoo, S.J., 2009, Processing optimization and physicochemical properties of gelatin and collagen from yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) abdominal skin. Pukyong National University, Department of food science and Technology, Graduate school. (in Korean with English abstract)