제니핀을 첨가한 아교의 접착 특성과 물성 변화 연구

이준호 | 유지아* | 정용재*¹

한국전통문화대학교 문화재보존과학과
*한국전통문화대학교 문화유산전문대학원 문화재수리기술학과

A Study on Adhesion Characteristics and Physical Properties of Animal Glue Added Genipin

Jun Ho Lee | Ji A Yu* | Yong Jae Chung*¹

Department of Cultural Heritage Conservation Science,
Korea National University of Cultural Heritage, Buyeo, 33115, Korea

*Department of Heritage Conservation and Restoration, Graduate School of Cultural Heritage,
Korea National University of Cultural Heritage, Buyeo, 33115, Korea

¹Corresponding Author: iamchung@nuch.ac.kr, +82-41-830-7365

초록 본 연구에서는 아교의 접착 특성 향상을 위해 가교제(Cross-linking Agent)를 첨가하는 방법으로 젤라틴 결합력을 증대하였다. 제니핀 첨가 아교는 물성 측정, 구조 분석, 색잔류도, 용출도, 파단강도를 측정하였으며, 수분과 자외선에 대한 내수성과 내광성을 비교하였다. 연구 결과 겔강도와 점도는 제니핀 첨가량에 따라 증가하였다. 구조분석 결과, 젤라틴에서는 구조적으로 안정된 콜라겐의 3중 구조의 흡수 피크가 관찰되었다. 색잔류도 결과, 명도가 낮아지기 때문에 피막이 관찰되는 것으로 판단된다. 용출량은 50℃ 증류수에서 제니핀 첨가량이 증가할수록 용출된 아교 양이 증가하였고 파단강도는 제니핀 첨가량에 따라 증가하였다. 내수성과 내광성은 제니핀 첨가에 따른 열화 전·후 양상이 나타나지 않았다. 본 연구 결과를 바탕으로 제니핀 첨가 아교의 접착 특성을 확인할 수 있었으며 아교에 적용 가능한 실험 방법을 고찰하였다. 제니핀을 첨가한 후에도 아교 고유의 특성인 유연성, 재용해성, 접착력, 경화속도가 사라지지 않고 향상되기 때문에 균질한 아교가 확보된다면 문화재 보존 및 아교 제작에 적용이 가능할 것으로 기대한다.

중심어: 아교, 젤라틴, 가교제, 제니핀, 접착제

ABSTRACT In this study, gelatin binding ability was increased by adding cross linking agent to improve adhesive characteristic of animal glue. Animal glue added genipin measured gel strength and viscosity, the structural analysis, the color retention degree, elution degree, and rupture strength. And the water resistance and ultraviolet light resistance with the addition of genipin were compared. As a result of the study, the gel strength and viscosity increased with the amount of genipin. As a result of the structural analysis, in gelatin, the absorption peak of the triple structure of collagen structurally stabilized was observed. As a result of the color retention degree, the film was observed because of the lowered brightness. The amount of elution glue was increased with addition of genipin at 50℃ distilled water condition and rupture strength has increased with the amount of genipin. In the water resistance and light fastness, there was no appearance before and after deterioration due to the addition of genipin. Based on the results of this study, it confirmed the adhesive characteristics of animal glue added genipin and examined the experimental method applicable for animal glue. After the addition of

genipin, flexibility, re-solving, adhesive force, and curing speed, which are unique characteristics of glue, can be improved without disappearing, so it is expected that it will be applicable to production of animal glue and conservation of cultural heritage when homogeneous glue is secured.

Key Words: Animal gule, Gelatin, Cross-linking agent, Genipin, Adhesive

1. 서 론

아교는 동물의 가죽, 힘줄, 연골 등을 구성하는 천연 단백질인 콜라겐을 열수 처리하여 얻은, 불순물이 함유된 젤라틴을 의미한다(Shin, 2012). 아교는 문화재에 사용되는 전통 접착제로 지류 보수, 단청 교착제, 목제품 접착 등의 용도로 사용되고 있다. 젤라틴의 일종인 아교는 빛과 습도 등으로 인해 분자들의 결합이 끊어진다. 따라서 아교가 사용된 문화재는 분자 내 결합력을 유지시켜 열화를 방지하기 위하여 겔 상태로 유지될 수 있는 적합한 환경을 조성해야 한다.

이러한 아교의 열화를 방지하고자 적합한 환경을 조성하는 것에 더하여 아교 자체의 젤라틴 결합력을 증대시키면 수명은 더욱 증가할 것으로 예상되며 그에 따른 접착 특성에도 효과가 있을 것으로 예상된다. 젤라틴 결합을 증대시키는 연구로는 생체 의료 용품 제조 시 젤라틴에 가교제를 더하여 젤라틴의 구조적 강도를 증대시키는 연구가 보고된 바 있다(Kim, 2009).

가교제는 선형(線形)구조의 고분자의 분자 사이를 가교시켜 망목(網目)구조의 고분자 중합물을 생성시키는 물질

이다. 젤라틴에 사용되는 가교제로는 글루타르알데히드($C_5H_8O_2$), 제니핀($C_{11}H_{14}O_5$) 등이 사용되며 고유의 가교도, 가교 시간을 특징으로 한다. 최근 인체 독성으로 글루타르알데히드는 사용이 줄어들고 있으며 천연 물질에서 추출이 가능한 제니핀에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(Jin *et al.*, 2004).

제니핀은 치자(*Gardenia Jasminoides*) 과실에서 추출되며 인체 내 독성이 없어 생체 의료 용품 제조(Bae *et al.*, 2010)에 사용되고 있다. 젤라틴, 콜라겐, 키토산뿐만 아니라 신소재와의 결합에 대한 연구가 진행 중이며 고유의 발광 영역이 있어 잠재지문 현출에도 사용되고 있다. 현재 명확한 형성 기작은 밝혀지지 않았으나, 산소가 존재하는 조건에서 단백질과 제니핀이 반응할 시 청색을 띄는 특성이 있다(Shin, 2007).

따라서 본 연구에서는 생체 의료 용품 분야에서 구조 안정성(Bae *et al.*, 2010)이 입증된 제니핀을 첨가하여 아교 내 젤라틴 결합을 증대시키고 그에 따른 아교의 기본 물성을 평가하고, 특히 제니핀으로 가교된 젤라틴은 셀룰로오스와의 결합도 가능하기 때문에 아교를 접착제로 사용하

Figure 1. Animal glue samples with genipin. (A : Animal glue, B : Animal glue + Genipin 0.3 mg, C : Animal glue + Genipin 0.5 mg, D : Animal glue + Genipin 1.0 mg).

Figure 2. Gelatin samples with genipin. (A : Gelatin, B : Gelatin + Genipin 0.3 mg, C : Gelatin + Genipin 0.5 mg, D : Gelatin + Genipin 1.0 mg).

Table 1. Physical property measuring condition

Gel-strength	Viscosity
The use of sample : 105 ml	The use of sample : 6.75 ml
Gelation temperature, time : 5℃, 12 hr	Bath temperature, time : 60℃, 30 min
Measuring time : 4 s	Measuring time, RPM : 60 s, 150

는 목재를 활용한 연구를 함께 진행(Mathew *et al.*, 2013) 하여 아교의 접착특성을 평가하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구재료

아교는 문화재 수복용 막대아교(吉祥, JPN)를 사용하였다. 또한 아교의 불순물 영향 여부를 고려하여 고순도의 식용젤라틴(250 B, Geltech, KOR)을 함께 사용하였고 제니핀(TCI, JPN)은 치자에서 추출한 백색 분말상의 제품을 사용하였다. 아교와 식용젤라틴의 액상 농도는 실험에 원활한 진행을 위해 겔화 시간을 고려하여 비교적 저농도인 5 wt%로 설정하였으며, 이에 제니핀을 첨가한 실험군과 첨가하지 않은 대조군으로 실험을 진행하였다. 제니핀 첨가 용액은 앞서 제작한 5 wt%의 접착제 용액에 제니핀을 0.3 mg, 0.5 mg, 1.0 mg 첨가한 후 50℃에서 24시간 동안 교시켜 실험에 사용하였다(Figure 1, 2).

2.2. 연구방법

2.2.1. 물성측정

제니핀을 첨가한 아교의 겔상과 액상의 기본 물성을 평가하고자 겔강도와 점도를 측정하였다. 겔강도는 종합물성측정기(TA1, AMETEK, USA)를 사용하였고 점도는 회전식 점도계(DV2T, Brookfield, USA)를 사용하였다. 측정방법은 「KS M ISO 9665-접착제-아교-시료채취 및 시험방법」, 「KS M 6572-아교 및 젤라틴」를 참고하였다(Table 1).

2.2.2. 구조분석

아교에 제니핀을 첨가한 후 구조변화를 관찰하기 위해 ATR이 부착된 적외선분광분석기(Alpha, Bruker, DEU)를 사용하여 측정하였다. 측정을 위한 시료는 제니핀 첨가 아교를 3 cm × 3 cm 크기 플라스틱 틀에 5 ml씩 넣고 저온 건조기(DS-130S, Deawon SCI, KOR)에서 15℃ 조건으로 72시간동안 건조하여 필름상으로 제조하였다(Figure 3, 4).

Figure 3. Animal glue samples with genipin(a film state). (A : Animal glue, B : Animal glue + Genipin 0.3 mg, C : Animal glue + Genipin 0.5 mg, D : Animal glue + Genipin 1.0 mg).

Figure 4. Gelatin samples with genipin(a film state). (A : Gelatin, B : Gelatin + Genipin 0.3 mg, C : Gelatin + Genipin 0.5 mg, D : Gelatin + Genipin 1.0 mg).

Figure 5. BSA standard graph.

2.2.3. 색잔류도

제니핀은 단백질과 반응할 시 정확한 형성 기작은 밝혀지지 않았으나 산소가 존재하는 조건에서는 청색을 띠는 특성이 있으므로 목판에 도포하였을 때 색도 및 명도의 변화 양상을 파악하고자 제니핀 첨가 아교를 1회, 2회 도포하고 도포 전·후 동일 지점에 대한 목판의 색도 변화양상과 색차를 비교하였다. 측정방법은 분광측색계(ColorMate, Scinco, KOR)를 사용하여 「KS A 0063-색차 표시 방법」의 $L^*a^*b^*$ 표색계의 색차로 표시하였다.

2.2.4. 용출도

아교는 미온수에 재용해되는 가역성이 있으며 제니핀

을 첨가한 후에도 아교의 가역성이 유지되는지 평가하기 위해 용출도 실험을 하였다. 먼저 목재 접선면에 제니핀 첨가 아교를 50 μ L 도포하고 상온에서 5시간동안 건조 한 후 50℃ 증류수에 10분간 침지하여 아교를 용출시켰다. 아교가 용출된 증류수를 분리하여 Biuret 시약과 혼합하고 UV-vis spectrometer(UVmini-1240, SHIMADZU, JPN)를 사용해서 540 nm의 흡광량을 측정하였다. 이후 Bovine Serum Albumin (Sigma-aldrich, USA)을 사용하여 표준 검량 곡선을 구하였다(Figure 5). 측정된 흡광량을 BSA 표준 검량 곡선에 대입하여 용출액 내의 단백질량을 계산하고 용출된 아교 양을 비교하였다.

2.2.5. 파단강도

제니핀을 통한 젤라틴 결합력 증대에 따른 목재 접착력을 평가하기 위해 파단강도 측정을 진행하였다. 먼저 30 mm(R) × 70 mm(L) × 5 mm(T)크기의 육송 목재판을 열풍건조기(WOF-W155, DAIHAN Scientific, KOR)에서 50℃ 온도로 12시간 동안 건조시킨 후 샌드페이퍼(#400)으로 연마하였다. 연마한 목재판에 접착제 용액을 30 μ L씩 도포한 후 접하는 면적이 30 mm(R) × 10 mm(L)가 되도록 두 목재판을 접착한다. 이후 상온에서 3시간동안 600 g의 압력을 가하면서 충분한 경화시간을 부여하였다. 접착이 완료된 목재판은 중합물성측정기(TA1, AMETEK, USA)의 U자형 거치대에 위치시키고 하단 방향의 압력을 가하였다. 그리고 두 목재판이 분리되었을 때 힘을 측정하여 파단강도를 비교하였다.

2.2.6. 내수성 평가

젤라틴 결합력 증대에 따른 아교의 내수성을 평가하기

위해 고습 환경에서의 인공 열화 실험을 진행하였다. 먼저 밀폐용기 안에 증류수가 들어있는 비이커를 넣고 방치하여 습도 99% 환경을 조성하였다. 접착제 용액은 슬라이드 글라스에 50 μ L를 도포하고 상온에서 7시간동안 건조시켰다. 이후 슬라이드글라스 시편을 밀폐용기에 넣고 2주간 방치하여 일주일 간격으로 시편을 수거하였다. 수거한 시편은 표면에 잔류한 수분을 제거하고 광학현미경(SMZ25, NIKON, JPN)으로 표면을 관찰하여 내수성을 비교하였다.

2.2.7. 내광성 평가

젤라틴 결합력 증대에 따른 아교의 내광성을 평가하기 위해 「KS M ISO 4892-3(플라스틱-실험실 광원에 의한 폭로 시험방법)」에 의거한 실험을 진행하였다. 먼저 내수성 평가의 접착제 시편과 동일한 시편을 제작한 후 촉진열화 시험기(QUV/se, Q-LAB, USA)에 설치하고 340 nm광원을 8시간 UV/60℃, 4시간 응축/40℃의 주기로 48시간, 96시간 조사하였다. 자외선 조사량은 0.76 W/m²/nm로 설정하고 48시간, 96시간 열화 후 시편을 수거하여 주사전자현미경(EA-30AX, COXEM, KOR)으로 표면을 관찰하여 열화정도를 비교하였다.

3. 연구결과

3.1. 물성측정

3.1.1. 겔강도

겔강도는 동일 조건으로 3회 측정된 후 평균값을 산출하였다. 아교에서는 최대 22.326 gf, 최소 16.703 gf로 측정되었다. 젤라틴은 최대 117.910 gf, 최소 94.505 gf로 측

Figure 6. Changing patterns of gel strength(gf) with Genipin amount.

Figure 7. Changing patterns of viscosity value(cPs) with Genipin amount.

Table 2. Wavelength and functional groups

Wavelength	Classification	Functional groups
3,600~3,200 cm^{-1}	Amide A	N-H stretch
2,920 cm^{-1} , 2,850 cm^{-1}	Amide B	CH_2 stretch
1,800~1,600 cm^{-1}	Amide I	The carbonyl group of peptide stretch
1,600~1,300 cm^{-1}	Amide II	N-H bending, C-N stretch
1,300~600 cm^{-1}	Amide III	N-H bending, C-N stretch->Collagen's triple helix

Figure 8. IR-Spectra of animal glue samples with genipin. **Figure 9.** IR-Spectra of gelatin samples with genipin.

정되어 아교보다 겔강도가 높았다. 제니핀 첨가량에 따라 아교의 겔강도는 각각 17.17%, 4.27%, 2.13% 비율로 증가하였으며, 제니핀을 첨가하지 않은 조건에서 총 24.76% 증가하였다. 젤라틴의 겔강도는 각각 20.57%, 7.89%, 2.75% 비율로 증가하였으며, 제니핀을 첨가하지 않은 조건에서 총 33.66% 증가하였다(Figure 6).

3.1.2. 점도

점도는 동일 조건으로 3회 측정한 후 평균값을 산출하였다. 아교에서는 최대 4.97 cPs, 최소 4.80 cPs로 측정되었다. 젤라틴은 최대 6.37 cPs, 최소 6.16 cPs로 측정되어

Figure 10. Color difference when samples applied once.

아교보다 점도가 높았다. 아교와 젤라틴에 제니핀을 첨가함에 따라 점도는 약간 증가하였다(Figure 7).

3.2. 구조분석

구조분석 결과 아교는 제니핀 첨가량이 증가할수록 N-H신축진동의 $3,200 \text{ cm}^{-1}$ 피크와 N-H굽힘, C-N신축진동의 $1,600\sim1,300 \text{ cm}^{-1}$ 피크가 감소하였으며 젤라틴은 제니핀 첨가량 0.5 mg과 1.0 mg에서 $1,000\sim600 \text{ cm}^{-1}$ 영역 피크가 관찰되었다(Table 2, Figure 8, 9).

3.3. 색잔류도

제니핀 첨가량에 따른 목재의 색도 및 명도를 측정하였다. 도포 전·후 색차를 측정된 결과 1회 도포 시 아교는 제니핀 첨가량 0.3 mg에서 색차값이 4.09까지 증가한 후 감소하였다. 젤라틴은 제니핀 첨가량 0.5 mg에서 4.80까지 증가한 후 감소하였다(Figure 10). 2회 도포 시에는 아교와 젤라틴 모두 제니핀 첨가량 0.5 mg에서 색차값이 각각 7.09, 10.33까지 색차값이 증가한 후 제니핀 첨가량 1.0 mg

에서 감소하였다(Figure 11). 색도값은 1회, 2회 도포 모두 증가하였고 특히 2회 도포에서는 a값과 b값이 일정한 그룹으로 증가하는 경향을 관찰할 수 있었다(Figure 12, 13). 명도는 1회, 2회 도포 모두 감소하였다. 1회 도포 시에는 제

니핀을 1.0 mg 첨가한 젤라틴에서 3.34만큼 감소하여 가장 크게 감소하였고 2회 도포 시에는 제니핀을 0.5 mg 첨가한 젤라틴에서 9.49만큼 감소하여 가장 큰 폭으로 감소하였다(Figure 14, 15).

3.4. 용출도

아교를 25℃, 50℃ 증류수에서 용출한 후 용출액의 흡광도(ABS)를 측정하여 단백질 양을 산출하여 용출량을 비교하였다. 25℃ 증류수에 용출한 결과 아교는 제니핀 첨가량 0.3 mg일 때 용출량이 가장 많았으며 젤라틴은 제니핀 첨가량에 따라 용출량이 점차 줄어드는 경향을 보였다. 5℃ 증류수에 용출한 결과 아교와 젤라틴의 용출액 흡광도는 제니핀 첨가량에 따라 증가하여 용출된 단백질량 또한 증가하였다(Table 3).

Figure 11. Color difference when samples applied twice.

Figure 12. Chromaticity when samples applied once.

Figure 13. Changing patterns of chromaticity when samples applied twice.

Figure 14. Lightness change when samples applied once.

Figure 15. Lightness change when samples applied twice.

Table 3. Elution degree by Genipin inclusion amount

Elution temperature	Genipin inclusion amount (mg)	Absorbance of animal glue (ABS)	Absorbance of gelatin (ABS)	Elution amount of animal glue (mg/ml)	Elution amount of gelatin (mg/ml)
25℃	0	0.0522	0.0454	1.5493	1.3818
	0.3	0.0531	0.0442	1.5714	1.3522
	0.5	0.0518	0.0400	1.5394	1.2488
	1.0	0.0501	0.0393	1.4975	1.2315
50℃	0	0.0627	0.0744	1.8079	2.0961
	0.3	0.0726	0.0867	2.0517	2.3990
	0.5	0.0820	0.1011	2.2833	2.7537
	1.0	0.1048	0.1318	2.8448	3.5099

Table 4. Change of animal glue's surface by Genipin inclusion amount at 99% humidity(Optical microscope ×200)

Genipin inclusion amount Conditions	0 mg	0.3 mg	0.5 mg	1.0 mg
Immediately after curing
1 week
2 weeks

3.5. 파단강도

파단강도를 측정한 결과 아교에서 최대 15.868 N, 최소 2.721 N으로 측정되었다. 젤라틴은 최대 33.421 N, 최소 10.882 N으로 측정되어 아교보다 파단강도가 높았다. 아교와 젤라틴은 제니핀 첨가량이 증가할수록 파단강도는 증가하였고 아교에서는 제니핀 첨가량 1.0 mg, 젤라틴에서는 제니핀 첨가량 0.3 mg에서 증가폭이 가장 넓었다 (Figure 16).

Figure 16. Changing patterns of rupture strength(N) by Genipin inclusion amount.

3.6. 내수성 평가

아교는 경화 직후와 다르게 열화 후 아교 내 불순물이 건조된 피막의 외곽부에서 관찰되었다. 피막의 균열 및 요철이 발생했는지 관찰하기 위해 불순물의 위치와 이동 양

상을 살펴본 결과 1주, 2주 열화에서 뚜렷한 차이는 관찰되지 않았다(Table 4). 젤라틴은 경화 직후와 1주, 2주 열화 후에도 불순물이 관찰되지 않았고 2주간 열화시킨 피막 중 제니핀을 첨가한 경우 외곽선이 얇아진 것이 관찰되어 피막의 두께가 감소한 것을 볼 수 있었다(Table 5).

Table 5. Change of gelatin’s surface by Genipin inclusion amount at 99% humidity(Optical microscope ×200)

Genipin inclusion amount	0 mg	0.3 mg	0.5 mg	1.0 mg
Conditions				
Immediately after curing				
1 week				
2 weeks				

Table 6. Change of animal glue’s surface by Genipin inclusion amount in UV exposure(Scanning electron microscope ×2,000)

Genipin inclusion amount	0 mg	0.3 mg	0.5 mg	1.0 mg
Conditions				
Immediately after curing				
48 hr				
96 hr				

3.7. 내광성 평가

용액이 건조된 피막의 외곽부에서 표면과 일부 단면을 관찰한 결과 제니핀을 첨가하지 않은 아교에서는 열화가 진행될수록 단면이 매끄럽게 관찰되었다. 제니핀을 첨가한 아교에서는 열화가 진행된 후 거친 단면이 관찰되었고 제니핀 첨가량 1.0 mg의 표면에서는 결을 이루는 요철이 관찰되었다(Table 6). 젤라틴은 단면부가 아교보다 매끄러웠으며 제니핀을 첨가하였을 때 열은 결이 관찰되었다. 제니핀을 첨가하지 않은 경우 96시간 열화 시 표면에 갈라짐이 관찰되었고 제니핀을 첨가한 젤라틴은 일부 요철이 관찰되지만 갈라진 형상은 나타나지 않았다(Table 7).

4. 결론 및 고찰

본 연구에서는 젤라틴 가교제인 제니핀을 첨가하여 아교의 젤라틴 결합력을 증대시키고 그에 따른 접착 특성을 평가하였으며, 아교에 적합한 실험 방법을 고찰하였다. 물성 측정 결과 젤강도와 점도는 제니핀 첨가량에 따라 증가하였다. 제니핀 첨가에 따른 가교도의 변화는 제니핀 첨가량에 비례한다는 연구(Bae *et al.*, 2010)가 보고된 바 있다. 따라서 제니핀과 젤라틴 분자의 가교도가 증가하여 분자

량이 커짐에 따라 젤강도와 점도가 증가한 것으로 판단되어 접착력과 경화시간 조절이 가능할 것으로 사료된다. 아교와 젤라틴을 비교할 시 젤라틴의 순도가 더 높기 때문에 분자량에 비례하여 측정값에 차이가 있는 것으로 확인된다. 구조분석 결과 제니핀 첨가량이 증가할수록 $3,200\text{ cm}^{-1}$ 피크와 $1,600\sim 1,300\text{ cm}^{-1}$ 영역의 피크가 감소하였으며 이는 제니핀이 아민기와 가교한 것으로 판단된다. 특히 젤라틴에서는 제니핀 첨가량 0.5 mg, 1.0 mg에서 $1,000\sim 600\text{ cm}^{-1}$ 흡수 피크가 관찰되었으며 해당 피크는 콜라겐의 3중 구조와 관련이 있다(National Research Institute of Cultural Heritage, 2014). 해당 피크가 관찰된 것은 가교된 젤라틴 분자 수가 증가하여 콜라겐과 유사한 구조를 이루는 것이며 구조적으로 안정화되는 것으로 보인다. 제니핀과 셀룰로오스 결합과 관련하여 목재 시편을 사용한 연구를 진행한 결과, 먼저 색잔류도에서 제니핀 첨가 아교가 건조 후 황색과 적색의 색도가 증가하지만 명도가 낮아지기 때문에 피막 형태로 관찰되는 것으로 판단된다. 용출된 아교 양을 살펴보면 제니핀 첨가량이 증가할수록 검출된 아교 양이 증가하였다. 이는 제니핀이 셀룰로오스와 결합이 가능하다는 연구(Mathew *et al.*, 2013)에 근거하여 셀룰로오스와의 결합력보다 강하여 젤라틴 분자들이 큰 사슬을 형성하며 용출된 것으로 판단하였다. 용출한 온도 조건에서는

Table 7. Change of gelatin's surface by Genipin inclusion amount in UV exposure(Scanning electron microscope $\times 2,000$)

Genipin inclusion amount	0 mg	0.3 mg	0.5 mg	1.0 mg
Conditions				
Immediately after curing
48 hr
96 hr

50℃에서 용출된 아교양이 더 많은 것을 확인되었다. 이를 통해 제니핀과 셀룰로오스와의 결합력이 존재하지만 아교가 충분히 용해될 수 있는 온도 조건에서는 아교의 가역성이 발현될 수 있는 것으로 판단된다. 또한 제니핀의 가교도에 관한 연구(Bae *et al.*, 2010), 가교에 따른 젤라틴 분자의 밀도 변화 사례(Kim and Park, 2005)를 적용하여 가역성이 아교와 비교하여 우수한 것을 확인하였다. 파단강도에서 아교는 파단강도가 비교적 일정한 폭으로 증가하지만 젤라틴은 제니핀 첨가 초기에 급격히 증가하였다. 이는 제니핀 첨가량에 따른 가교도(Bae *et al.*, 2010)에서 입증된 바 있어 젤라틴의 순도에 따라 제니핀 결합 수의 차이가 발생하는 것으로 판단되며 젤라틴과 비교하여 실험한 결과 아교의 순도가 파단강도에 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 파단강도가 높을수록 아교의 접착력이 우수한 것이므로 제니핀을 혼합하는 것이 아교의 접착력 향상에 더 좋은 것으로 확인되었다.

내수성을 비교한 결과 아교에서 관찰된 불순물은 열화 후 위치 변화가 없었으며 따라서 아교가 열화 후에도 피막의 두께를 유지하는 것으로 판단된다. 내광성 평가에서 젤라틴은 제니핀을 첨가하였을 때 건조 직후부터 표면 응축에 따른 결이 관찰되며 제니핀을 첨가한 경우가 내광성이 우수하였다. 아교의 경우 제니핀을 첨가하였을 때 단면의 거친 부분이 열화 후에도 관찰된 것으로 보아 아교뿐만 아니라 불순물 또한 형태를 유지하는 것으로 판단된다.

본 연구 결과를 바탕으로 제니핀 첨가 아교의 접착 특성을 확인할 수 있었으며 아교에 적용 가능한 실험 방법을 고찰하였다. 제니핀을 첨가한 후에도 아교 고유의 특성인 유연성, 재용해성, 접착력, 경화속도가 사라지지 않고 향상되기 때문에 균질한 아교가 확보된다면 적용이 가능할 것으로 기대한다. 향후 본 연구는 접착 대상 및 사용자의 작업성에 대한 연구와 원자재로부터 아교의 수율 향상에 관한 연구에도 적용이 가능할 것으로 기대한다.

REFERENCES

- Bae, M.S., Kim, S.E., Na, J.S. and Kwon, I.K., 2010, Preparation and characterization of genipin crosslinked gelatin/chitosan porous scaffold for tissue engineering. *Tissue Engineering and Regenerative Medicine*, 7(2), 50-55. (in Korean with English abstract)
- Jin, J., Song, M. and Hourston, D.J., 2004, Novel Chitosan-based films cross-linked by Genipin with improved physical properties. *Biomacromolecules*, 5, 162-168.
- Kim, B.H. and Park, J.W., 2005, Studies on the physical and thermal properties of the chitosan/gelatin blend. *Korea J. Food SCI. Technol.*, 37(1), 30-31. (in Korean with English abstract)
- Kim, D.W., 2009, BMP-2 Immobilized Gelatin- β -Chitosan Scaffold for Bone Regeneration Potential. Ph. D. dissertation, Kyunghee University, Seoul, 2-5. (in Korean with English abstract)
- Mathew, A.P., Oksman, K., Pierron, D. and Harmand, M., 2013, Biocompatible fibrous networks of cellulose nanofibres and collagen crosslinked using genipin: potential as artificial ligament/tendons. *Macromolecular Bioscience*, 13(3), 289-298.
- National Research Institute of Cultural Heritage, 2014, Study on the adhesive properties of lacquer and glue. 19-77. (in Korean)
- Shin, H., 2012, A study on the glue in oriental painting. Ph. D. dissertation, Dongduk Womens University, Seoul, 5-43. (in Korean with English abstract)
- Shin, H.J., 2007, A trend in research and development of natural gardenia pigments. *Korea J. Biotechnol. Bioeng.*, 22(5), 274-275. (in Korean with English abstract)