

도막의 기계적 성질과 포수방법이 단청의 내후성에 미치는 영향

오준석 | 카와노베 와타루*

국립민속박물관 보존과학실
*독립행정법인문화재연구소 동경문화재연구소

Influence of Mechanical Properties of Painting Layers and Priming Methods to Weathering Resistance of Danchung

Joon suk Oh | Wataru Kawanobe*

Conservation Laboratory, The National Folk Museum of Korea, 1-1 Sejongno Jongno-Gu Seoul, Korea
*National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo, 13-43 Ueno-Koen, Taito-Ku, Tokyo, Japan

초록 전통 목조건축물의 단청에서 발생하는 도막의 박리현상을 개선시키기 위해, 목재의 친수성으로 인해 목재와 도막간의 팽윤수축률의 차이에 의해 발생하는 응력이 도막의 내후성에 미치는 영향을, 도막의 기계적 성질(인장성질과 응력완화)과 교착제(아교, 아크릴에멀전(Primal AC-3444), 아크릴수지(Paraloid B-72))에 의한 포수방법으로부터 평가하였다. 아크릴에멀전 도막은, 아크릴에멀전의 유리전이온도가 상온 이하(7°C)로써 외력에 대한 응력완화가 큰 성질을 가지고 있기 때문에, 열화축진실험과 옥외폭로실험에서 박리가 발생하지 않았으며, 다른 교착제를 사용한 도막에 비해 내후성이 가장 뛰어났다. 또 목재에 교착제를 저농도에서 고농도까지 중복칠하는 포수방법이 다른 포수방법들보다 도막의 내후성을 향상시키는 효과가 있었다.

ABSTRACT The exterior of Korean traditional wooden buildings have been painted with Danchung of painting method using glue and pigments. However because of losing traditional techniques and materials through the period of colonization and industrialization, many problems are occurring today. Especially after several years from painting, occurrence of scalings and flakings in painting layer is a serious problem. To improve weathering resistance of painting layer caused by stress from the difference of swelling and shrinkage between painting layer and wood plate, was examined by weathering tests. The stress is due to the hydrophilic property of wood, mechanical properties(tensile property and stress relaxation) of painting layer, and priming methods by various binders such as glue, acrylic emulsion(Primal AC-3444), acrylic resin(Paraloid B-72). Because stress relaxation of acrylic emulsion of which glass transition temperature is below room temperature(7°C) is high, painting layers with acrylic emulsion generate no scalings and flakings and are in the most durable state in all weathering tests. Priming method which starts from low concentration to high concentration, is more effective to improve durability than other priming methods.

1. 서론

한국의 전통목조건축물에는 건축물의 보호와 미관을 목적으로 단청이라는 채색이 행해져 왔다. 그러나 식민지화와 급격한 산업화라는 역사적 배경에 의해 전통적인 재료와 기법이 거의 사라져, 현재 각종 문제가 발생하고

있다. 그 중에서도 채색 후 수년 경과하면 도막의 박리(剝離)가 현저하게 나타나는 것이 문제시되고 있다.

도막(塗膜)의 내후성(耐候性)에 영향을 미치는 인자로는, 목재(수종, 함수율), 도료(조성, 도막물성), 기법(각 공정에서의 도포조건) 등이 있다. 즉 도료를 목재표면에 도포하면, 여러 가지 원인에 의해 도막과 목재간에

Table 1. Pigments, chemical formula and ratios used in Danchung

Color*	Pigment	Chemical Formula	Ratio (wt%)
Noirok (靑綠)	Cyanine Green	-	7.8
	Ultramarine Blue	$3\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{Na}_2\text{S}$	6.7
	Titanium Dioxide	TiO_2	0.8
	Iron Oxide Yellow	$\text{FeO}(\text{OH})\cdot x\text{H}_2\text{O}$	1.1
	Chalk**	CaCO_3	83.6
Yangchung (羊靑)	Cobalt Blue	$\text{CoO} \cdot n\text{Al}_2\text{O}_3$	33.3
	Ultramarine Blue	$3\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{Na}_2\text{S}$	66.7
Sukganjoo (石間硃)	Iron Oxide Red	Fe_2O_3	100
Hoboön (胡粉)	Oyster Shell White	CaCO_3	100

* Colors of noirok, yangchung, sukganjoo and hoboön are green, blue, brown and white.

Table 2. Physical properties of Primal AC-3444 and Paraloid B-72

	Primal AC-3444	Paraloid B-72
Manufacturer	Nippon Acrylic Chemistry Co.	Rohm & Haas
Composition	Methylmethacrylate/Ethylacrylate (65/35)	Ethylmethacrylate/Methylacrylate (70/30)
Tg(°C)	7	40
Concentration(%)	46	-
pH	9.8	-

수축률 차가 발생하지만, 도막은 목재표면에 부착되어 있기 때문에, 폭방향의 신축차가 목재보다도 두께가 얇은 도막 중에 변형(응력)으로써 잔류한다. 목재와 도막과의 신축차에 기인하는 내부응력은 발생원인에 따라 도료의 경화과정 중에 발생하는 응력(경화변형), 도막 형성 후의 온도변화에 의한 도막과 목재와의 열팽창계수의 차에 기인하는 응력(열응력), 목재의 친수성에 기인하는 도막과 목재와의 팽윤수축률의 차에 기인하는 응력(팽윤·수축변형)으로 구분되며, 도막 중에는 이들의 각 응력이 서로 관련되어 부가 또는 상쇄된 크기로 나타난다.

전통목조건축물의 채색에는 도막의 내후성을 향상시키기 위해 교착제(膠着劑)로써 합성수지와 같은 새로운 재료가 많이 사용되어 왔다²⁻⁸. 그러나 목조건축물의 채색에 합성수지를 사용하기 위한 연구는 합성수지 도막의 내후성을 내후성시험기열화축진실험과 옥외폭로실험만으로 평가해 왔다. 따라서 수분에 의한 목재의 팽윤·수축에 따른 도막과 목재와의 팽윤·수축률차에 기인하는 내부응력과 합성수지의 성질의 관점으로부터 도막의 내후성과의 관계에 관한 연구는 없었다.

본 연구는 도막의 내후성에 결점으로써 작용하는 원인 중에서, 목재의 친수성에 의한 도막과 목재와의 팽윤·수축률의 차이에 기인하는 응력(팽윤·수축변형)으로부터 도막의 내후성에 미치는 영향을, 도막의 기계적 성질과 교착제의 포수방법으로부터 평가하는 것을 목적

으로 한다.

2. 실험 및 분석

2.1 재료

실험에 사용된 목재는 한국의 전통 목조건축물에 많이 사용해 온 적송을 사용하였다. 적송을 방사단면 판자로 잘라 사용하였으며, 판자의 규격은 65mm×140mm×10mm(내후성시험기열화축진실험 및 옥외폭로실험)와 65mm×100mm×10mm(건습사이클열화축진실험)이다. 실험에 사용한 단청의 색상은 뇌록(靑綠), 석간주(石間硃), 양청(洋靑)이며, 이들 색상의 안료의 배합비는 Table 1과 같다. 교착제는 아교(Sanzenbon Nikawa, Tokououken), 아크릴에틸렌(Primal AC-3444, Nippon Acrylic Chemistry Co.), 아크릴수지(Paraloid B-72, Rohm and Haas Co.)를 사용하였으며, 합성수지 교착제의 물성⁹은 Table 2와 같다. Paraloid B-72의 용매는 아세톤을 사용하였다.

2.2 포수 및 채색

목재에 대한 도막의 접착력을 향상시키기 위해, 안료

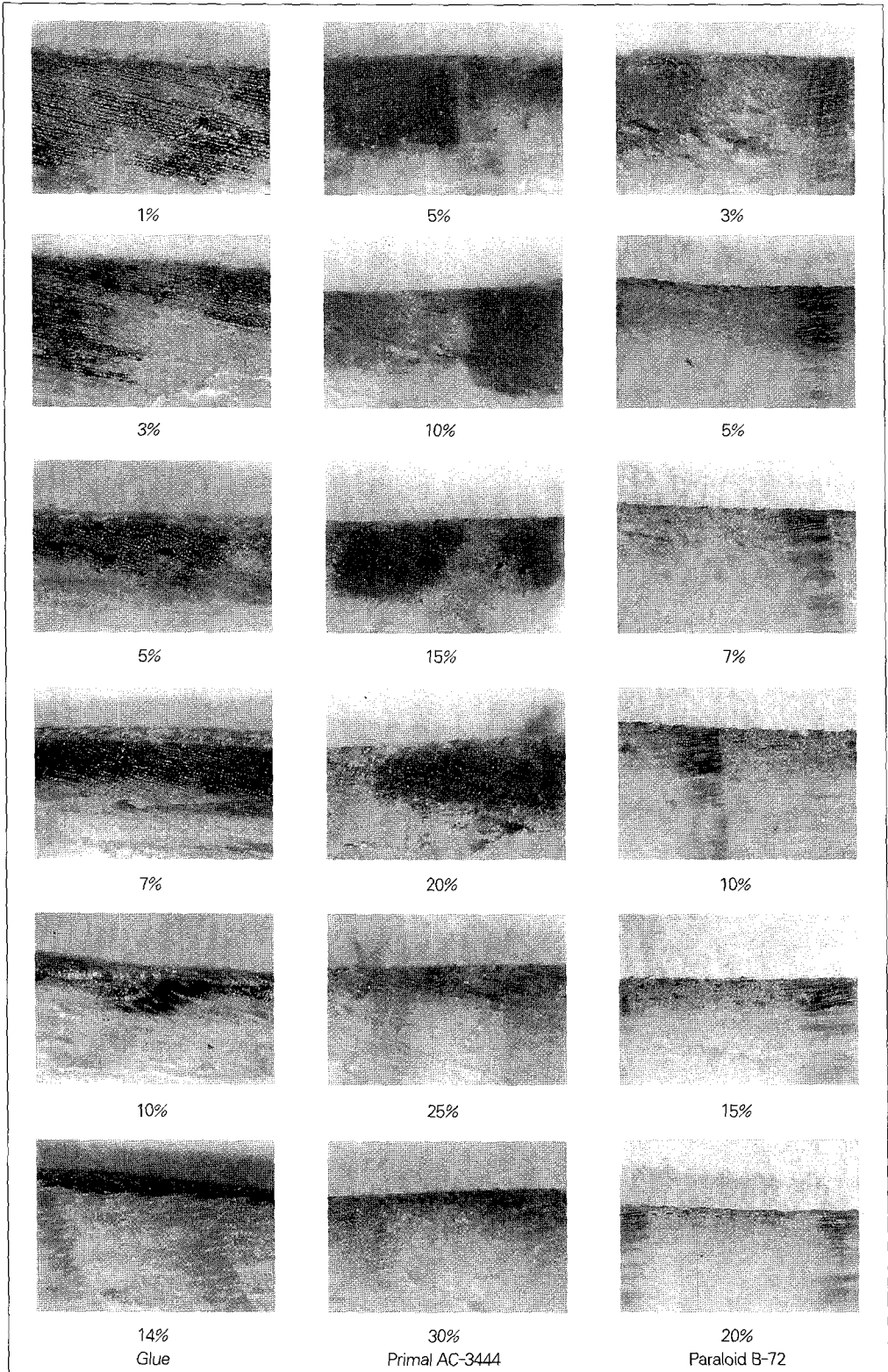


Photo 1. Status of dyed binders penetrated within wooden plate in various concentrations of binders

Table 3. Specifications of primings by binders

Glue	Primal AC-3444	Paraloid B-72
3% four times	10% four times	10%,30%,30% several times
10% one time	30% one time	5% four times
3%,5%,7%,10% several times	20% one time	5%, 10%,20% several times
Bansoo*		

* Bansoo is a priming method by binder which is mixed alum in glue solution.

를 포함하지 않은 교착제를 목재의 조직까지 침투시켜 목재에 침투해 있는 교착제가 목재의 팽윤·수축에도 도막을 지지할 수 있도록(목재에 대한 교착제의 anchor효과10) 프리이머와 같은 작용을 하는 포수(泡水)를 실시하였다. 안료를 포함하지 않은 각 교착제를 농도별로 판자에 도포하여, 교착제가 판자 속에 어느 정도 침투해 있는가를 조사했다. 판자 속에 침투되어 있는 교착제의 모습은, 목재와 반응하지 않는 분산염료가 혼합된 교착제를 농도별로 판자에 칠해 실제현미경으로 관찰했다(Photo 1). 이 결과로부터 판자 내에 교착제가 깊게 침투하는 저농도 수회칠, 얇게 침투하는 고농도 1회칠, 그리고 저농도부터 고농도까지 농도를 서서히 증가시키면서 중복칠하는 3종류의 포수를 행하였다. 그리고 아교용액에 명반을 혼합한 반수(攀水)도 하였다. 각 교착제의 포수 내역은 Table 3과 같다.

도막에서의 각 안료에 대한 교착제의 농도는 가칠(假漆)인 너록 위에 칠하는 양청은 너록보다 낮게, 옥외 기둥에 가칠로써 칠하는 석간주는 너록과 같게, 초칠(初漆)로써 도막의 최하층인 호분은 너록과 석간주보다 높게 농도를 설정하여 채색하였다. 따라서 도막에서의 안료에 대한 교착제의 농도는 너록 7%, 양청 6%, 석간주 7%, 호분 9%로 설정하였다. 시료 내역은 Table 4와 같다.

2.3 열화실험

도막의 내후성을 평가하기 위한 열화실험은 전통목조건축물에서 비가 닿는 부분을 상정한 옥외폭로실험과 내후성시험기열화촉진실험, 비가 닿지 않는 부분을 상정한 건습사이클열화촉진실험을 실시하였다.

2.3.1 옥외폭로실험

옥외폭로실험은 대기오염이 심한 도심(서울 광화문 사거리 건물 옥상)과 그렇지 않은 산중(용인 호암미술관

옥상)을 선정하여 행하였다. 실험대는 남향으로 시료 표면을 수평면에 대해 30°의 각도로 설치하여 5개월 간 옥외폭로실험을 실시하였다.

2.3.2 내후성시험기열화촉진실험

내후성시험기(WEL-SUN-DC(H), Suga Test Instruments Co.)를 사용해 Table 5의 조건에서 600 시간동안 열화촉진실험을 행하였다. 실험기간 600 시간은 일본국 토쿄의 2년 간 옥외폭로실험에 해당한다.

2.3.3 건습사이클열화촉진실험

내후성시험기를 사용해서 Table 5의 조건으로 1000 시간동안 강수가 없이 저습도와 고습도를 반복하는 열화촉진실험을 행하였다. 실험시간 1000 시간의 자외선 조사량(선샤인 카본아크 자외선부의 방사조도 75J/m².sec)은 일본국 토쿄도의 1966년~1988년 수평면 태양광의 자외선부 연평균조사량(256.43MJ/m²)에 상당한다. 그러나 전통 목조건축물의 경우 기둥이나 처마 밑에 칠해진 단청 도막은, 태양광의 남중고도가 높아 지게 되면 지붕에 의해 태양광이 차단되기 때문에, 수평면 태양광의 자외선의 1년 간 조사량에 상당하는 선샤인 카본아크의 1000 시간의 조사는 실제 1년보다 훨씬 긴 시간의 조사량에 해당된다.

2.4 분석

2.4.1 교착제의 열화

자외선에 의한 도막의 교착제의 열화경향을 파악하기 위해, IR 카드(Type 62, 3M Co.)의 테트라플루오로에틸렌 필름에 채색한 후 건습사이클열화촉진을 시키면서 매 100 시간마다 Fourier Transform Infrared Spectroscopy(SHIMAZU FTIR-8500, Shimazu Co.)를 사용하여 적외선흡수스펙트럼을 측정하였다.

Table 4. Specifications of samples

Color	Binder	Sample Code	Priming	Painting Layer			Weathering Test					
							Outdoor Exposure		Accelerated Weathering			
				1st Layer	2nd Layer	3rd Layer	Seoul*	Yongin*	Weather-O-Meter	Humidity Cycle		
noirok	Glue	GNP	3%	noirok	-	-	○	○	○	○		
		GNPH	-	Hoboön	noirok	-	-	○	○	○	○	
		GNPJ	10%	noirok	-	-	×	×	○	○		
		GNPJH	-	Hoboön	noirok	-	-	×	×	○	○	
		GNPM	3,5,7,10%	noirok	-	-	○	○	○	○		
		GNPMH	-	Hoboön	noirok	-	-	○	○	○	○	
		GND	Bansoo	noirok	-	-	○	○	○	○		
		GNDH	-	Hoboön	noirok	-	-	○	○	○	○	
		Primal AC-3444	ANP	10%	noirok	-	-	○	○	○	○	
	ANPH		-	Hoboön	noirok	-	-	○	○	○	○	
	ANPJ		30%	noirok	-	-	×	×	○	○		
	ANPJH		-	Hoboön	noirok	-	-	×	×	○	○	
	ANPM		10,20,30%	noirok	-	-	○	○	○	○		
	ANPMH		-	Hoboön	noirok	-	-	○	○	○	○	
	Paraloid B-72	PNP	5%	noirok	-	-	○	○	○	○		
		PNPH	-	Hoboön	noirok	-	-	○	○	○	○	
		PNPJ	20%	noirok	-	-	×	×	○	○		
		PNPJH	-	Hoboön	noirok	-	-	×	×	○	○	
		PNPM	5,10,20%	noirok	-	-	○	○	○	○		
		PNPMH	-	Hoboön	noirok	-	-	○	○	○	○	
	Yangchung	Glue	GYP	3%	noirok	Yangchung	-	○	○	○	○	
			GYPH	-	Hoboön	noirok	Yangchung	-	○	○	○	○
			GYPJ	10%	noirok	Yangchung	-	×	×	○	○	
			GYPJH	-	Hoboön	noirok	Yangchung	-	×	×	○	○
GYPM			3,5,7,10%	noirok	Yangchung	-	○	○	○	○		
GYPMH			-	Hoboön	noirok	Yangchung	-	○	○	○	○	
GYD			Bansoo	noirok	Yangchung	-	○	○	○	○		
GYDH			-	Hoboön	noirok	Yangchung	-	○	○	○	○	
Primal AC-3444			AYP	10%	noirok	Yangchung	-	○	○	○	○	
		AYPH	-	Hoboön	noirok	Yangchung	-	○	○	○	○	
		AYPJ	30%	noirok	Yangchung	-	×	×	○	○		
		AYPJH	-	Hoboön	noirok	Yangchung	-	×	×	○	○	
		AYPM	10,20,30%	noirok	Yangchung	-	○	○	○	○		
		AYPMH	-	Hoboön	noirok	Yangchung	-	○	○	○	○	
Paraloid B-72		PYP	5%	noirok	Yangchung	noirok	-	○	○	○	○	
		PYPH	-	Hoboön	noirok	Yangchung	noirok	○	○	○	○	
		PYPJ	20%	noirok	Yangchung	noirok	-	×	×	○	○	
		PYPJH	-	Hoboön	noirok	Yangchung	noirok	-	×	×	○	○
		PYPM	5,10,20%	noirok	Yangchung	noirok	-	○	○	○	○	
		PYPMH	-	Hoboön	noirok	Yangchung	noirok	-	○	○	○	○
Sukganjoo		Glue	GSP	3%	Sukganjoo	-	-	○	○	○	○	
			GSPH	-	Hoboön	Sukganjoo	-	-	×	×	○	○
			GSPJ	10%	Sukganjoo	-	-	-	○	○	○	○
			GSPJH	-	Hoboön	Sukganjoo	-	-	×	×	○	○
	GSPM		3,5,7,10%	Sukganjoo	-	-	-	○	○	○	○	
	GSPMH		-	Hoboön	Sukganjoo	-	-	×	×	○	○	
	GSD		Bansoo	Sukganjoo	-	-	-	×	×	○	○	
	GSDH		-	Hoboön	Sukganjoo	-	-	×	×	○	○	
	Primal AC-3444		ASP	10%	Sukganjoo	-	-	-	○	○	○	○
		ASPH	-	Hoboön	Sukganjoo	-	-	×	×	○	○	
		ASPJ	30%	Sukganjoo	-	-	-	×	×	○	○	
		ASPJH	-	Hoboön	Sukganjoo	-	-	×	×	○	○	
		ASPM	10,20,30%	Sukganjoo	-	-	-	○	○	○	○	
		ASPMH	-	Hoboön	Sukganjoo	-	-	×	×	○	○	
	Paraloid B-72	PSP	5%	Sukganjoo	-	-	-	○	○	○	○	
		PSPH	-	Hoboön	Sukganjoo	-	-	×	×	○	○	
		PSPJ	20%	Sukganjoo	-	-	-	×	×	○	○	
		PSPJH	-	Hoboön	Sukganjoo	-	-	×	×	○	○	
		PSPM	5,10,20%	Sukganjoo	-	-	-	○	○	○	○	
		PSPMH	-	Hoboön	Sukganjoo	-	-	×	×	○	○	

○ Weathering Tests were carried out. × Weathering Tests were not carried out.

* Seoul is an area of serious environmental pollution and Yongin is an area of unpolluted environment in mountain.

Table 5. Conditions of Accelerated Weathering Tests

		Weather-O-Meter Accelerated Weathering Test	Humidity Cycle Accelerated Weathering Test
Temperature (°C)	Cabinet	42	42
	Black Panel	63	63
Relative Humidity of Cabinet (%)		50	40, 80
Light Source		Sunshine Carbon Arc	Sunshine Carbon Arc
Water Spray		12min/hr	-
Testing Time (Hrs)		600	1000
Remark		-	Humidity Cycle repeats for 25hrs of 40% RH and 25hrs of 80% RH

2.4.2 응력완화 및 인장성질

테트라플루오로에틸렌 테이프 위에 채색하고 나서 하루동안 상온에서 방치한 후 테트라플루오로에틸렌 테이프로부터 분리하여 폭 10mm, 두께 200±20µm의 도막을 얻었다. 그러나 석간주 아교 도막은 건조 과정에서 수축에 의해 도막이 파손되어 도막을 얻을 수 없었다. 그리고 같은 방법으로 교착제 필름을 얻었다.

응력완화는 오토그래프(AGS-50NG, Shimazu Co.)를 사용해서 온도 20°C, 상대습도 50%, 크로스헤드 속도 10mm/min, 파지거리 20mm의 조건에서, 도막을 변형률 0.5%(상대습도가 40%에서 80%까지 변할 때 적송 방식단면의 팽윤·수축률 약 0.5~0.6%를 기준)까지 인장한 후 크로스헤드의 상승을 정지시켜 시간의 경과에 따른 응력완화를 측정하였다.

도막과 교착제 필름의 인장성질(응력-변형률)은 오토그래프를 사용해서 온도 20°C, 상대습도 50%, 크로스헤드 속도 10mm/min, 파지거리 20mm의 조건에서 측정하였다.

2.4.3 박리도

내후성시험기열화촉진실험과 옥외폭로실험한 시료에서 도막의 박리된 부분의 면적으로부터 박리도를 계산했다.

3. 결과 및 고찰

3.1 FT-IR에 의한 교착제의 열화 평가

건습사이클열화촉진시킨 도막에서, 교착제의 자외선

에 의한 열화를 FT-IR을 이용하여 비교 평가하였다. 각 교착제의 열화경향을 파악하기 위해 도막의 적외선흡수 스펙트럼에서 안료의 스펙트럼과 겹치지 않는 교착제의 스펙트럼을 기준 피크로 선정하여, 열화촉진실험 전의 피크의 강도(I₀)에 대한 열화촉진실험 후의 피크의 강도(I)의 비로부터 열화시간에 따른 열화 경향과 각 교착제 간 열화를 비교 평가하였다. 교착제의 열화를 평가하기 위해, 아교는 아미드 I의 1649cm⁻¹, 아미드 II의 1554.5cm⁻¹ 피크를¹¹, Primal AC-3444와 Paraloid B-72는 아크릴의 카르보닐기의 신축진동 1730cm⁻¹ 피크를¹² 기준피크로 하였다.

건습사이클열화촉진실험에서 시간의 경과에 따른 각 교착제의 뇌록 도막의 FT-IR 스펙트럼의 변화는 Fig. 1~3과 같고 기준 피크의 강도비 변화는 Fig. 4와 같다. 아교를 사용한 뇌록 도막은 50 시간의 열화에 이미 아미드 I 피크의 강도가 반이상으로 감소하였고 시간의 증가와 함께 그 강도는 서서히 감소하였다. Primal AC-3444는 열화시간의 증가와 함께 카르보닐기 피크의 강도는 서서히 감소하기 시작하여, 1000 시간 후에는 그 강도가 60% 정도까지 감소하였고, 알데히드나 conjugated double bond의 생성에 의해 카르보닐 피크의 폭이 넓어졌다. 또 주쇄의 분해에 의한 생성물인 비닐기(CH₂=CH₂) 피크(1643cm⁻¹)¹³가 300 시간 후부터 나타나기 시작해서 시간의 경과와 함께 서서히 증가하였다. 한편 Paraloid B-72의 카르보닐기 피크의 강도 감소 속도는 Primal AC-3444에 비해 매우 느리며 비닐기 피크도 600 시간 후부터 나타나고 있다. 이로부터 아교는 합성수지 교착제인 Primal AC-3444와 Paraloid B-72에 비해 자외선과 수분에 대해 매우 불안정함을 알 수 있다. Primal AC-3444는 수지의 에멀전화를 위해 첨가

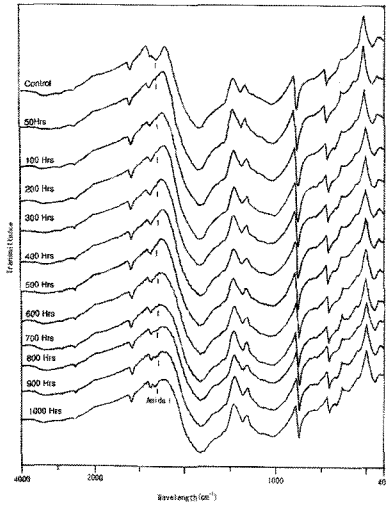


Fig. 1. Infrared spectra of noirok painting layer using glue during humidity cycle accelerated weathering test.

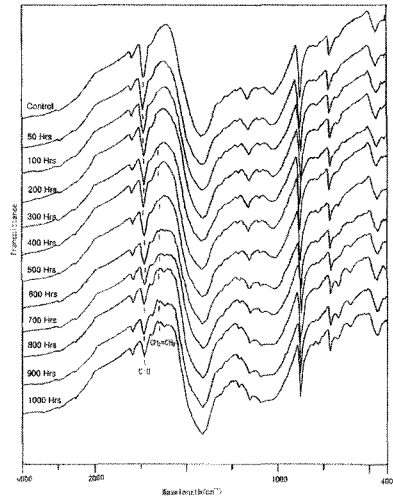


Fig. 2. Infrared spectra of noirok painting layer using Primal AC-3444 during humidity cycle accelerated weathering test.

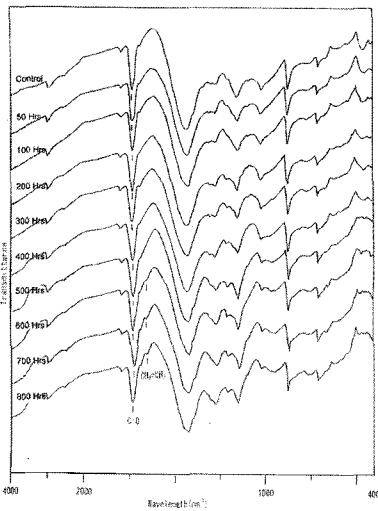


Fig. 3. Infrared spectra of noirok painting layer using Paraloid B-72 during humidity cycle accelerated weathering test.

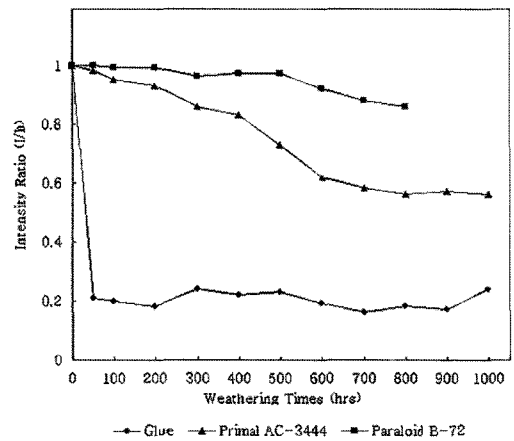


Fig. 4. Intensity ratios of specific peak of binders in noirok painting layers during humidity cycle accelerated weathering test.

된 유화제, 가소제, 분산안정제 등의 분해의 영향을 받아 분해속도가 빠르며, Paraloid B-72의 주성분인 ethyl-methacrylate가 Primal AC-3444의 주성분인 methyl-methacrylate보다 자외선에 대해 안정하기 때문에¹⁴, Paraloid B-72가 Primal AC-3444에 비해 자외선에 의한 분해속도가 늦다고 판단된다. 양청 및 석간주 도막도 뇌록 도막에서의와 비슷한 경향을 보여주고 있다.

3.2 도막의 인장성질

온도 20℃, 상대습도 50%에서의 각 교착제 필름의 인장성질은 Table 6과 같다. 아교는 주쇄의 C=O와 N-H의 수소결합에 의해 유리전이온도(Tg)가 높아 응력과 탄성률이 가장 크며 소성영역이 없기 때문에 매우 딱딱하고 강한 성질을 가지고 있음을 알 수 있다. Primal AC-3444는 Tg가 상온 이하(7℃)이기 때문에 응력과

탄성률은 작으며 변형률이 매우 커서 늘어나기 쉽고 부드럽다는 것을 알 수 있다. Paraloid B-72는 아교와 Primal AC-3444의 중간의 인장성질을 가지고 있다.

도막의 인장성질이 도막의 내후성에 미치는 영향을 추측하기 위해, 건습사이클열화촉진실험 전후 도막의 인장성질을 측정하였고(Table 7), 뇌록 도막의 응력-변형률 곡선은 Fig. 5와 같다. 인장성질 측정용 아교도막은 1000 시간동안 건습사이클열화촉진시켰을때 수축에 의한 변형으로 인장성질의 측정이 불가능하여, 600 시간동안 열화시킨 도막으로부터 인장성질을 비교하였다. 원래의 아교도막은 응력과 탄성률이 매우 크고 소성영역이 나타나지 않아 도막이 매우 단단함을 알 수 있다. 600 시간동안 열화시킨 후에는 아교의 자외선에 대한 분해되기 쉬운 성질로 인해 강도 및 탄성률이 크게 감소하였고, 변형률도 적송 방사단면의 팽윤·수축률(상대습도가 40%로부터 80%까지 변화할 때 약 0.5~0.6%)이하로 감소하였다. 따라서 자외선에 열화된 아교 도막의 내후성이 나쁠 것으로 예상되나, 아교를 정제한 젤라틴의 인장성질은 상대습도가 높아짐에 따라 젤라틴에 의한 수분 흡수에 의해 흡수된 수분이 가스제로 작용함으로써 변형률이 급격한 증가하기 때문에^{15,16}, 실제 목재로부터의 도막의 박리나 갈라짐의 발생이 적을 것이라 판단된다. Primal AC-3444 도막은 교착제의 Tg가 상온 이하이기

때문에, 아교보다 응력과 탄성률은 낮지만 소성영역이 매우 넓어 도막이 매우 부드럽다는 것을 알 수 있다. 그리고 600 시간동안 열화시킨 후에는 교착제의 분해로 인해 생성된 가교결합¹⁷에 의해 탄성률은 증가하고, 변형률은 적송 방사단면의 팽윤·수축률정도까지 감소하였으며 소성영역도 사라졌다. Paraloid B-72 도막은 응력과 탄성률이 낮고 변형률도 적송의 방사단면의 팽윤·수축률정도로 낮았으며 소성영역도 나타나지 않아 도막이 매우 부서지기 쉽다는 것을 알 수 있다. 600 시간동안 열화시킨 후에는 응력이나 변형률에서는 큰 변화가 나타나지 않았지만, 분자쇄의 분해에 의해 생성된 가교결합으로 인해 탄성률은 증가하였다. 양청 및 석간주 도막의 인장성질도 뇌록 도막과 비슷한 경향을 보이고 있다.

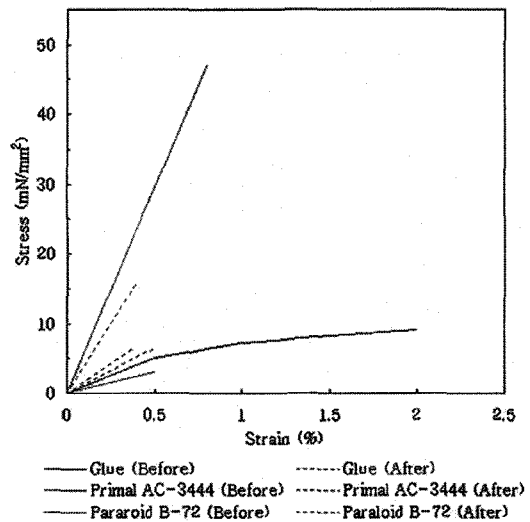


Fig. 5. Stress-strain curves of separated noirok painting layers before and after humidity cycle accelerated weathering test (600hrs).

Table 6. Tensile properties of binder films at temperature 20℃ and relative humidity 50%

Binder	Stress (mN/mm ²)	Strain (%)
Glue	683.6	3.0
Primal AC-3444	13.5	846.0
Paraloid B-72	31.4	28.5

Table 7. Tensile properties of separated painting layers before and after humidity cycle accelerated weathering test(600hrs) at temperature 20℃ and relative humidity 50%

Binder	Color	Before		After	
		Stress (mN/mm ²)	Strain (%)	Stress (mN/mm ²)	Strain (%)
Glue	Noirok	47.3	0.8	15.8	0.4
	Yangchung	25.1	1.4	1.5	0.2
Primal AC-3444	Noirok	9.1	2.0	6.5	0.5
	Yangchung	4.1	5.3	4.3	0.5
	Sukganjoo	3.4	2.8	-	-
Paraloid B-72	Noirok	3.0	0.5	6.7	0.4
	Yangchung	1.6	0.5	9.2	0.5
	Sukganjoo	1.8	0.5	-	-

3.3 도막의 응력완화

목재의 친수성에 의한 팽윤·수축 때문에 도막에 가해진 응력의 변화를 도막의 응력완화성질로부터 평가하였다. Fig. 6은 온도 20℃, 상대습도 50%에서의 뇌록 도막의 응력완화곡선이다. 아교 도막은 시간의 경과에 따른 응력완화는 거의 나타나지 않지만 Paraloid B-72와 Primal AC-3444 도막은 시간의 경과와 함께 응력완화가 나타났으며 특히 Primal AC-3444는 응력완화 현상이 현저하게 나타났다. 양청과 석간주 도막에서도 비슷한 경향을 보였다.

이와 같이 도막의 교착제에 따른 응력완화 거동에서의 차이가 나타나는 것은 교착제의 Tg때문이다. Primal AC-3444의 Tg는 7℃로써 상온 이하이기 때문에, 상온에서 Primal AC-3444의 분자쇄의 마이크로브라운운동에 의해 도막에 가해진 응력이 시간의 경과와 함께 급격히 감소하였지만, Paraloid B-72는 Tg가 40℃로써 상온 이상이기 때문에 응력완화현상이 완만하게 나타남을 알 수 있다. 연구에 사용된 아교의 Tg는 알려져 있지 않지만 Flory 등에 의해 젤라틴의 Tg가 약 95℃라고 보고되어 있기 때문에¹⁸, 이로부터 아교의 Tg가 매우 높을 것이라 추정된다. 따라서 아교의 응력완화가 거의 일어나지 않는 것은 높은 Tg때문이라는 것을 알 수 있다. 각 교착제 도막의 응력완화의 결과로부터, 50%의 일정 상

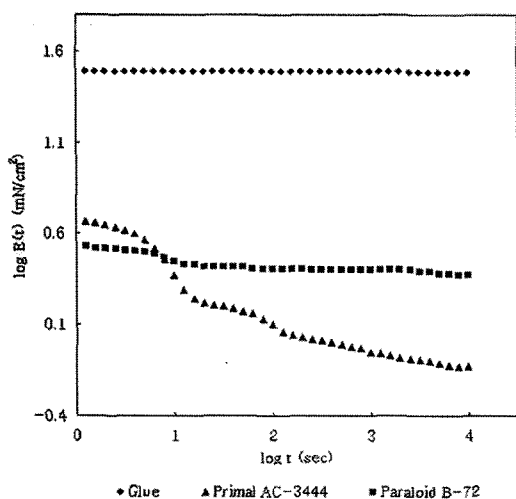


Fig. 6. Stress relaxation curves in separated noirok painting layers at temperature 20℃ and relative humidity 50%.

대습도에서 목재의 친수성에 의한 팽윤·수축 때문에 도막이나 목재와 도막의 접촉면에 가해진 응력은 아교, Paraloid B-72, Primal AC-3444 순으로 완화가 크며, 따라서 도막의 박리나 갈라짐의 발생이 감소할 것이라 판단된다. 그러나 콜라겐은 상대습도가 증가함에 따라 주쇄인 C=O와 N-H에 의해 흡수된 수분이, protofibril과 배향의 packing을 변화시켜¹⁹ free volume의 증가에 의한 급격한 응력완화가 일어난다²⁰. 그러므로 변성 콜라겐인 아교를 사용한 도막은 고습도와 저습도가 반복되는 자연환경 조건 하에서 목재의 팽윤·수축에 의해 도막이나 목재와 도막의 접촉면에 가해진 응력은 응력완화에 의해 줄어들 것이라 판단된다.

3.4 도막의 내후성 평가

3.4.1 내후성시험기열화촉진실험

내후성시험기열화촉진실험에 의해 600 시간동안 열화를 시킨 뇌록 도막은 Photo 2와 같다. 아교 도막은 강수에 의해 실험초기에 도막이 전부 물에 용해되어 내후성 평가는 불가능하였다. Primal AC-3444 도막은 600 시간 후에도 도막의 박리나 갈라짐이 발생하지 않았고, 전 시료에서 안료의 백아화(白亞化, chalking)가 발생하였다. 그리고 도막 표면에 생긴 반점은 판자 내부의 송진이 표면으로 스며 나와 생긴 것으로 판단된다. Paraloid B-72 도막은 50 시간 경과 후부터 박리와 갈라짐이 발생하기 시작하여 600 시간 후에는 전 시료에서 scaling(넓은 면적의 박리)과 cracking(목재 표면이 보일 정도의 갈라짐)이 발생했다. 이와 같은 Primal AC-3444와 Paraloid B-72 도막의 열화거동 차이는 도막의 기계적 성질의 분석결과와 잘 일치한다. 그리고 양청과 석간주 도막에서도 뇌록 도막과 비슷한 경향을 보였다.

포수가 도막의 내후성에 미치는 영향을 박리도로부터 평가하였고, Paraloid B-72 뇌록 도막의 박리도는 Table 8과 같다. 이 결과로부터 교착제를 저농도부터 고농도까지 중복칠로 포수한 시료 중에서 호분 초질을 하지 않은 시료(PNPM, PYPM, PSPM)에서 박리도가 낮은 경향을 보임을 알 수 있다. 이와 같이 교착제를 저농도에서 고농도까지 중복칠한 도막의 박리도가 낮은 것은, 저농도의 교착제가 판자 내로 깊게 침투해 있고 판자의 표면에는 고농도의 교착제가 머물러있기 때문에, 도

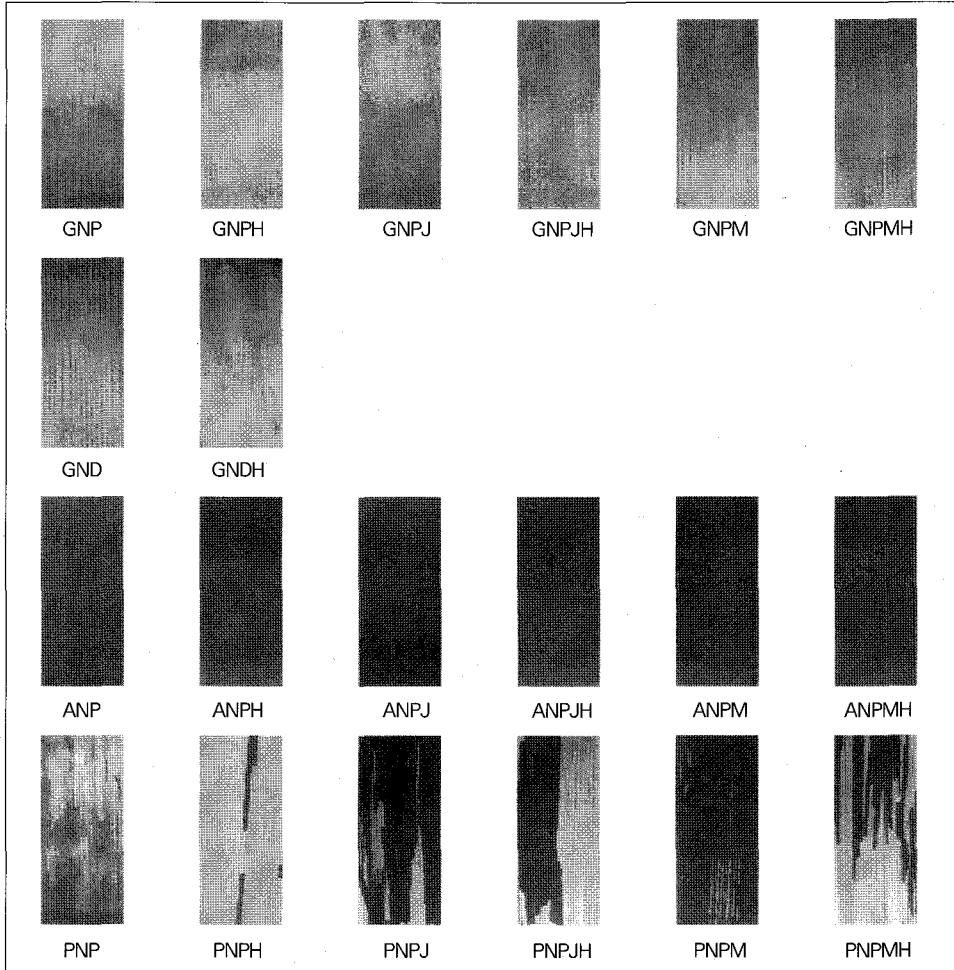


Photo. 2. Noirok painting layers weathered by weather-o-meter accelerated weathering test for 600 hours.

Table 8. Degrees of scaling and flaking of Paraloid B-72 noirok painting layers after weather-o-meter accelerated weathering test and outdoor exposure weathering test

Weathering Test	Sample Code	Degree of Scaling and Flaking* (%)	Sample Code	Degree of Scaling and Flaking* (%)	Sample Code	Degree of Scaling and Flaking* (%)	
Weather-O-Meter Accelerated Weathering Test	PNP	90.5	PYP	84.4	PSP	34.9	
	PNPH	93.7	PYPH	54.6	PSPH	81.8	
	PNPJ	21.1	PYPJ	59.1	PSPJ	28.4	
	PNPJH	55.7	PYPJH	68.8	PSPJH	31.8	
	PNPM	7.5	PYPM	14.3	PSPM	11.9	
	PNPMH	58.5	PYPMH	25.4	PSPMH	80.7	
Outdoor Exposure Weathering Test	PNP	53.7	PYP	87.0	PSP	30.8	
	PNPH	54.6	PYPH	24.8	-	-	
	PNPM	0.9	PYPM	9.3	PSPM	26.9	
	PNPMH	2.2	PYPMH	3.5	-	-	
	Seoul	PNP	67.6	PYP	34.3	PSP	31.1
		PNPH	73.4	PYPH	30.3	-	-
PNPM		5.4	PYPM	29.6	PSPM	30.8	
PNPMH		65.1	PYPMH	5.1	-	-	
Yongin	PNP	67.6	PYP	34.3	PSP	31.1	
	PNPH	73.4	PYPH	30.3	-	-	
	PNPM	5.4	PYPM	29.6	PSPM	30.8	
	PNPMH	65.1	PYPMH	5.1	-	-	

- They were not carried out weathering tests.

* Degree of scaling and flaking was measured from area scaled and flaked after weathering test.

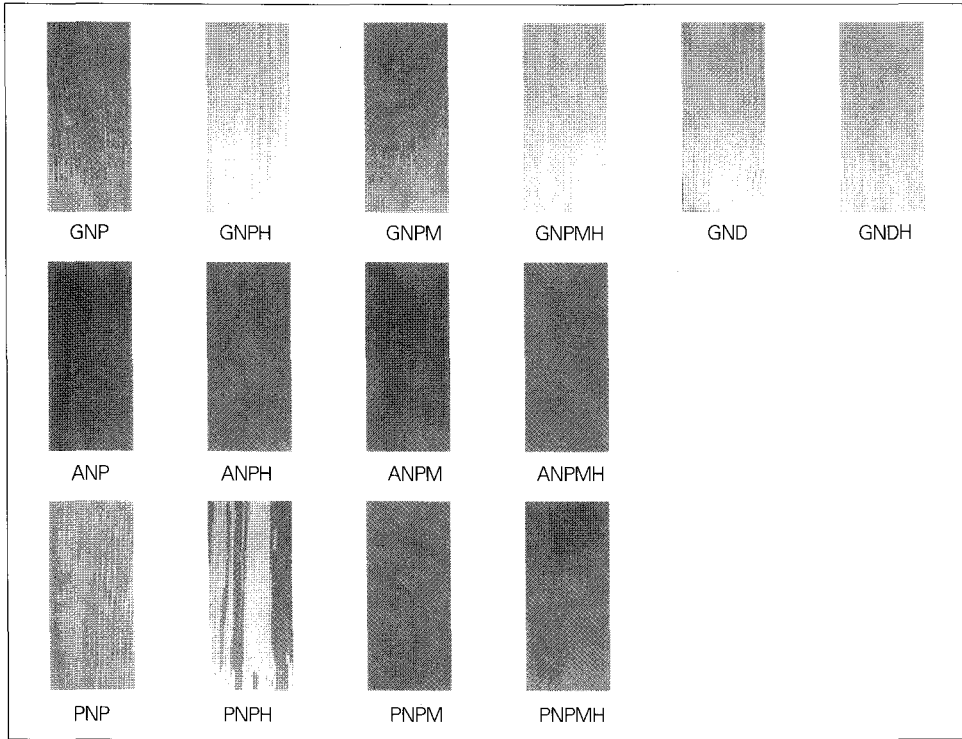


Photo. 3. Noirok painting layers weathered by outdoor exposure weathering test for 5 months (Seoul).

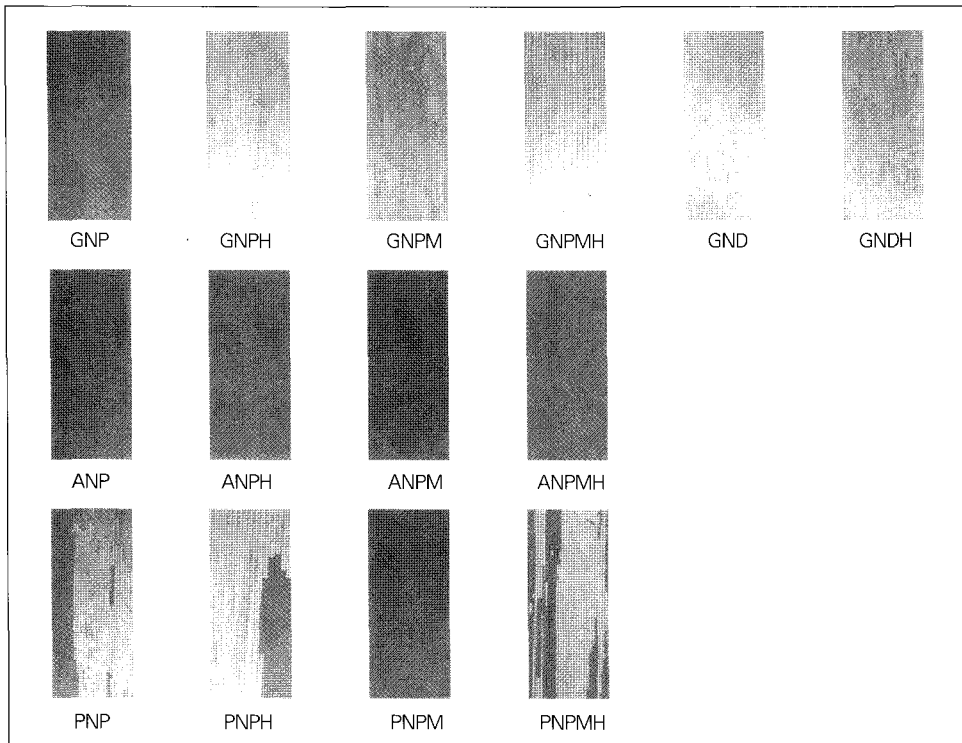


Photo. 4. Noirok painting layers weathered by outdoor exposure weathering test for 5 months (Yongin).

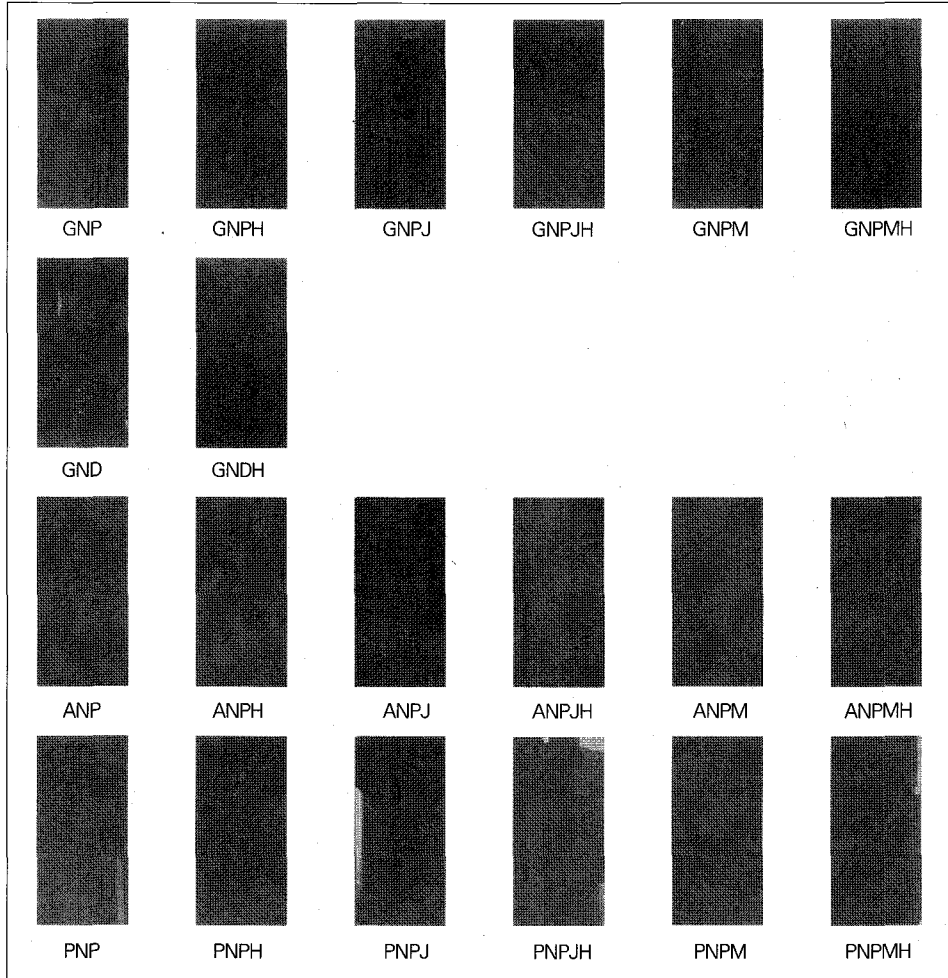


Photo. 5. Noirok painting layers weathered by humidity cycle accelerated weathering test for 1000 hours.

막과 판자와의 접착력이 교착제에 의해 판자의 내부로부터 표면에 걸쳐 지탱되어 판자의 팽윤·수축에 의해 도막과 판자의 접착면에서 발생하는 외력에 견디기 쉽기 때문이라 판단된다.

3.4.2 옥외폭로실험

도심과 산중에서 5개월 간 열화시킨 너록 도막은 Photo 3과 Photo 4와 같다. 내후성시험

기열화촉진실험의 결과에서와 같이 아교 도막은 빗물에 의해 도막이 전부 용해되어 내후성 평가는 불가능하였으며, Paraloid B-72 도막은 내후성시험기로 열화촉진시켰을 때와 비슷하게 scaling과 cracking이 나타났

다. Primal AC-3444 도막은 내후성시험기로 열화촉진시켰을 때는 나타나지 않았던 일부 도막 표면에서의 checking(얇은 갈라짐)이 나타난 것(서울 설치 시료 ANP와 ANPM) 이외에는 내후성시험기열화촉진실험 결과와 차이가 없었다. 이와 같은 Primal AC-3444 도막에서의 checking은 내후성시험기열화촉진실험에서는 고려되지 않았던 대기오염의 인자(산성비, 황산화물, 질소산화물, 오존, 분진 등)에 의한 열화 때문일 것으로 추정된다. 그리고 대기오염에 기인하는 것으로 추정되는 시료 표면에서의 검은 오염이 나타났다. 박리도(Table 8)는 포수를 저농도에서 고농도까지 중복칠한 시료(PNPM, PNPJH, PYPM, PYPMH, PSPM)에서 낮

은 경향을 보이고 있다. 또 박리도는 전체적으로 내후성 시험기로 열화촉진시킨 시료에 비해 높았지만, 예상과 달리 산중에서 옥외폭로시킨 시료의 박리도가 도실에서 옥외폭로시킨 시료에 비해 높게 나타났다.

3.4.3 건습사이클열화촉진실험

1000 시간동안 건습사이클로 열화촉진시킨 뇌록 도막은 Photo 5와 같다. 아교 도막은 50 시간 후부터 전 도막에서 흑화(黑化)가 나타나기 시작하였다. 600 시간 후에는 도막 표면에서 checking이 발생하기 시작하여, 1000 시간 후에는 전 시료에서 checking이 발생하였으며, 일부시료(GYPM, GYPMH, GSP, GSPH, GSPJ, GSPM)에서는 flaking(좁은 면적의 박리)이 발생하였다. Primal AC-3444 도막에서는 박리나 갈라짐이 발생하지는 않았지만 자외선에 의한 교착제의 분해에 의해 안료층의 백아화가 발생하였다. Paraloid B-72 도막은 50 시간 후부터 도막의 갈라짐, 부품, 박리가 일부 시료에서부터 나타나기 시작하여, 1000 시간 후에는 전 시료에서 도막의 scaling과 cracking이 발생하였다. 이와 같이 아교와 Paraloid B-72 도막이 열화거동에서 차이가 생기는 것은, 아교 도막은 고습도에서 아교의 급격한 응력완화와 변형률의 증가에 의해 판자와 도막과의 접착면이나 도막에 가해진 응력이 저하되어, 도막의 박리나 갈라짐이 심하지 않은 것으로 판단된다. 그리고 양청, 석간주 도막에서도 열화 시간의 경과와 함께 비슷한 경향을 보였다.

4. 결론

단청 도막의 내후성을 향상시키기 위해, 도막에 결점으로써 작용하는 인자중의 하나인, 목재의 친수성에 의해 발생하는 목재와 도막과의 팽윤·수축률의 차에 의한 응력(팽윤·수축변형)이 도막의 내후성에 미치는 영향을, 도막의 기계적 성질과 교착제의 보수방법으로부터 평가하였다.

Primal AC-3444 도막은 열화촉진실험이나 옥외폭로 실험에 의해 Primal AC-3444 분자쇄가 자외선에 의해 분해가 일어나 인장성질이 떨어진다고 하더라도, Tg가 상온 이하로 상온에서의 응력완화가 크기 때문에, 목재

의 팽윤·수축이 판자와 도막간의 접착면이나 도막내에 가하는 응력을 감소시킨다고 판단된다. 따라서 열화촉진 실험이나 옥외폭로실험 결과, 도막의 박리나 갈라짐이 거의 발생하지 않았고, 교착제의 분해에 의한 도막 표면에서 안료층의 백아화만이 일어났다.

목재와 도막간의 접착력을 강화시키기 위해, 판자에 교착제를 저농도부터 고농도까지 중복으로 포수를 하였을 때, 도막의 박리를 줄일 수 있는 효과를 얻었다.

목재의 친수성에 기인하는 목재의 팽윤·수축에 의해 도막에 미치는 영향으로부터, 도막의 내후성을 평가한 결과, 시간의 경과와 함께 큰 응력완화성질을 가진 교착제(Primal AC-3444)의 사용과 목재에 교착제를 저농도부터 고농도까지 중복칠하는 포수를 하면, 단청 도막의 내후성 향상에 효과가 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. H. Saizo, "Film Durability of Wood Coating", *Japan Society of Colour Material*, 57, 280 (1984).
2. 김병호, "단청안료개발시험", *문화재*, 7, 43 (1974).
3. Editing Committee of Historic Cultural Property, *Natural Scientific Investigation of Archaeology and Art History*, A. Nishigawa, S. Higuchi, T. Nakasato, A. Mogi, T. Nishiura, "Durability of Minimum-color Painting" p.568, (1980).
4. T. Nishiura, W. Kawanobe, M. Okabe, "Studies on the Characteristics of Exterior Paintings on a Historic Wooden Building (I) - Weatherometer Deterioration Test of Minimum-color Painting -", *Conservation Science*, 30, 21 (1991).
5. T. Nishiura, W. Kawanobe, M. Okabe, "Studies on the Characteristics of Exterior Paintings on a Historic Wooden Building (II) - Exposure Test of Minimum-color Painting (1) -", *Conservation Science*, 31, 69 (1992).

6. T. Nishiura, M. Okabe, W. Kawanobe, "Studies on the Characteristics of Exterior Paintings on a Historic Wooden Building (Ⅲ) - Exposure Test of Minimum-color Painting (2) -", *Conservation Science*, 35, 77 (1996).
7. T. Nishiura, M. Okabe, W. Kawanobe, "Studies on the Characteristics of Exterior Paintings on a Historic Wooden Building (Ⅳ) - Exposure Test of Minimum-color Painting (3) -", *Conservation Science*, 36, 21 (1997).
8. Y. Takenouchi, "Investigation of Artificial Wood used in Historic Wooden Building and Suggestion for its Improvement" Masters diss., *Tokyo National University of Fine Arts and Music*, (1997).
9. C. V. Horie, *Materials for Conservation*, p.103, Butterworth-Heinemann Ltd, (1987).
10. Y. Hidano, B. Tomida, H. Mizumachi, "Anchor Effect of Wood Adhesive", *Wood Industry*, 37, 181 (1982).
11. K. Kaminska and A. Sionkowaka, "Effect of UV Radiation on the Infrared Spectra of Collagen", *Polymer Degradation and Stability*, 51, 19 (1996).
12. Dieter O. Hummel, *Atlas of Polymer and Plastics Analysis Vol 2 Plastics, fibres, rubbers, resins : starting and auxiliary materials, degradation products Pt. b. 1*, p.373, Hanser, (1988).
13. N. S. Allen, C. J. Regan, R. McIntyre, B. W. Johnson and W. A. E. Dunk, "The Photooxidation and Stabilization of Water-Borne Acrylic Emulsions", *Progress in Organic Coatings*, 32, 9, (1997).
14. K. Morimoto and S. Suzuki, "Ultraviolet Irradiation of Poly(alkyl Acrylates) and Poly(alkyl Methacrylates)", *Journal of Applied Polymer Science*, 16, 2947 (1972).
15. E. Bradbury and C. Martin, "Mechanical Properties and Structure of Sol-Type and Gel-Type Gelatine Film", *Nature*, 168, 837 (1951).
16. E. Bradbury and C. Martin, "The Effect of the Temperature of Preparation on the Mechanical Properties and Structure of Gelatine Films", *Proceedings of the Royal Society of London*, 214, 183, (1952).
17. K. Morimoto and S. Suzuki, "Ultraviolet Irradiation of Poly(alkyl Acrylates) and Poly(alkyl Methacrylates)", *Journal of Applied Polymer Science*, 16, 2947 (1972).
18. P. J. Flory and R. R. Garret, "Phase Transition in Collagen and Gelatine Systems", *Journal of American Chemical Society*, 80, 4836 (1958).
19. R. S. Bear, "Stability of Proteins-Collagens", *Advances in Protein Chemistry*, 7, 69 (1952).
20. A. Tanika, E. Jojima, K. Miyasaka and K. Ishikawa, "Effect of Water on the Mechanical Properties of Collagen Films", *Journal of Polymer Science : Polymer Physics Edition*, 11, 1489 (1973).