

耐火藥劑의 處理方法 및 處理單板의 調板形態가
合板의 性能에 미치는 影響^{*1}

孫廷一^{*2} · 趙載晟^{*2} · 徐珍錫^{*2}

Effects of Treatment Methods of Fire-retardant and Layup
of Treated Veneers on the Performances of Plywoods^{*1}

Jung-Il Son^{*2} · Jae-Sung Cho^{*2} · Jin-Suk Suh^{*2}

ABSTRACT

This research was carried out to investigate the development of fire-retardancy treatment technology and performance evaluation of fire-retardant treated plywoods. Radiata pine, keruing, dillenia, calophyllum and terminalia veneers were treated by normal(conventional) pressure soak(NPS) and vacuum-pressure-soak(VPS) using 20% water solution of diammonium phosphate. Then, 4.8mm thick, 3ply plywoods were fabricated with combination of fire-retardant treated, untreated or water-immersion types and several composition types of radiata pine and keruing veneers, i.e. the uniform and the mixed types in species composition, and the homogenous and the alternate layer types in veneer treatment.

In composed species, the retention and the treatment effects of fire-retardant chemicals in radiata pine was still greater than those of keruing. The effect of VPS treatment was larger than that of NPS treatment, however, adhesive bonding strength and bending strength of plywoods treated by these two methods were not necessarily lowered, compared to those of untreated plywood. And also, fire endurance performance of the urea · melamine resin-bonded plywood was greater than that of the phenol resin-bonded plywood. In result, the appropriate combination in veneer species and layer as well as alternate fire-retardant treatments would be more efficiently available in service.

Keywords : fire-retardancy, normal(conventional) pressure soak, vacuum-pressure-soak, diammonium phosphate, uniform and mixed types, homogeneous and alternate layer types

- 요약 -

라디에타소나무, 케루잉, 딜레니아, 터미날리아 및 칼로필룸 단판에 내화약제로서 20% 제2인산암모늄 수용액을 상압 침지 및 진공가압침지 처리한 시험을 실시 하였으며, 라디에타소나무와 케루잉 단판의 구성형태와 내화약제의 침지처리 조건들을 여러형태로 조합한 합판을 요소 · 멜라민 수지와 페놀수지 접착제를 사용하여 제조하였다. 결과, 라디에타

*1 접수 1999년 4월 1일 Received April 1, 1999

*2 임업연구원 Forestry Research Institute, Seoul, 130-012, Korea

소나무가 케루잉보다 약제보유도 및 처리효과가 뛰어났으며, 진공가압침지가 상압침지보다 약제보유면에서는 유효하였다. 그리고, 기계적 성질에 있어 단판침지법으로 내화처리를 하여 제조한 합판이 반드시 접착력 및 휨강도적 성질의 저하를 가져오지는 않았으며, 내화성에 있어서는 요소·멜라민수지 접착이 우수한 성능을 보였다. 결과적으로, 접착·강도성능과 내화성능을 고려한 단판 수종의 적절한 선택, 층간구성(조합) 및 교호약제처리가 실제 사용시 가능할 것이다.

1. 서 론

최근 주택 및 공공의 건축물에 목재의 사용이 증대되고 있으며, 이에는 강도 등의 내구성 뿐만 아니라 방부·내화성 등이 요구되므로 지붕, 벽판 및 바닥재 등으로 사용되는 부재로서 합판의 적절한 내화처리기술 및 성능 평가에 대한 연구가 필요하다.

국내 연구동향으로는 金 등(1984)이 황산암모늄, 제1 및 제2인산암모늄과 혼합약제인 붕사, 붕산 및 minalith의 5종의 내화약제를 매란티합판에 침지처리하고 열판으로 재건조하여 휨강도시험을 실시하여, 약제처리합판이 水처리합판보다 강도가 높고, 붕사·붕산의 효과가 우수하다는 결과를 보고한 바 있다. 또한, 金(1986)은 kapur합판에 대해 제1인산암모늄을 냉액침지 또는 온냉침지하고 열판 재건조하여 내화성능을 분석하였다. Lee와 Schaffer(1981)는 미송 및 포플러합판에 붕사·붕산, 크롬화염화아연, minalith, pyresote와 1種의 商用내화제로 가압처리를 하고 열기 건조와 열판 건조를 실시하여 건조특성을 구명하는 시험을 실시하였으며, 또한, 李와 權(1982)은 합판의 표면에 난연수지실러를 도포한 후 건축재료연소시험기와 경사판시험기를 이용하여 내화도를 측정·비교하는 시험을 실시하였다. 權과 李(1985)는 파티클 및 단판에 황산암모늄, 제1 및 제2인산암모늄, minalith, pyresote의 5種의 내화약제를 처리한 파티클보드와 폼플라이보드를 제조하여 약제흡수량, MOR, MOE, 박리강도, 나사못유지력, 두께팽창율, 착화시간, 잔염시간, 염의 길이, 탄화면적, 중량감소율, 이면온도에 미치는 약제, 농도, 그리고 약제·농도간의 영향도를 분석한 바 있다.

외국에서는 LeVan 등(1990)이 내화약제는 열열화가 일어나는 온도를 낮추어 炭(char)의 양을 증가시키고 可炎性 휘발기체의 양을 감소시키는 機構에 의해 작용한다고 하였으며, 어떤 종류의 내화약제가 가속화된 열열화에 가장 민감하고 어느 온도에서 가속화가 일어나는지를 구명함으로써, 일단 상승된 온도

가 내화약제를 산성의 화학형태로 분해하여 내화기구를 부여하는 형태로 되면, 목재의 열화율은 변화하지 않는다고 하였다. 또한, 산성내화약제의 관건은 목재의 가연성(flammability)을 줄이고 강도적 성질을 유지하는 兩者間的 조화를 이루는 데 있음을 보고하였다. 그러나, LeVan과 Winandy(1990)는 산성의 내화약제와 高温이 조합되면서 材內 산 가수분해율을 증진시키고 이로 인해 강도감소가 야기된다고 하였으며, Winandy 등(1991)은 4조건인 온·습도(54℃-73%, 65℃-76%, 77℃-79%, 77℃-50%) 조합환경에 제1인산암모늄처리 합판을 폭로함으로써 휨 및 인장강도가 무처리시보다 낮아지고 강도열화율이 습도보다는 온도에 더 의존적인 성향이 있음을 구명하였다.

平田(1989)은 목재난연화 기구를 설명한 바, 목재 연소는 發炎 및 無炎연소로 분류되며 가열시 목재는 분해되어 가연성가스를 발생하게 되고, 이 가연성가스가 공기 등의 산화제와 혼합하여 발연연소를 일으킨다고 하였다. 난연화(방염) 기구로서 방화약제의 열분해 개시온도 저하작용, 불연성 기체의 생성 촉진작용, 또한 氣相작용이 있으며, 기상작용은 열분해에 의해 발생한 가연성가스를 목재의 열분해로 생성되는 불연성가스인 CO₂, NH₃, H₂O 등으로 희석함으로써 혼합기체의 농도를 가연한계에 이르지 않도록 하는 것으로서, 암모늄염에는 NH₃, 산성 또는 염기성 약제에서는 목재의 탈수를 촉진하여 수분 등을 발생시키는 역할이 있음을 보고하였다.

본 연구에서는 침·활엽수 단판의 구성 및 내화약제침지처리 조건을 여러 형태로 달리한 합판을 제조하여 그 성능을 살펴 보고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

본 연구를 위해 라디에타소나무(*Pinus radiata*), 케루잉(*Dipterocarpus* spp.), 딜레니아(*Dillenia* spp.),

터미날리아(*Terminalia* spp.), 칼로필름(*Calophyllum* spp.)의 5수종에 대하여 두께 1.2mm(표리판용), 2.4mm(중판용)의 단판을 인천소재 합판공장에서부터 분양 받아 사용하였다.

처리된 내화약제는 제2인산암모늄(diammonium phosphate)으로서, 약제농도를 20%로 조제하여 침지 시험을 실시하였으며, 화학식은 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 분자량은 132.06, pH(M/5 용액)는 7.7~8.2의 조건을 보유했다.

2.2 단판의 약제침지처리

본 연구를 위한 단판의 약제침지시험은 상압침지처리 및 진공가압 침지처리로 분류하여 약제처리효과의 차이를 살펴보고자 하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

- ① 상압침지처리(normal-pressure-soak test: NPS)는 통상 실내조건의 상압하에서 20% 내화약제 수용액을 조제하여 단판침지를 1일간 실시하였으며,
- ② 진공가압침지처리(vacuum-pressure-soak test: VPS)는 단판의 약제투입을 용이하게 하기 위하여 약제침투조 내에서 전배기(진공도 600mmHg)를 2분간 실시하고, 약 2kg/cm²의 가압을 2분간 실시하는 침지 시험을 실시하였다. 이와 아울러, 단판의 수침처리(상압 및 진공가압침지처리 모두 적용)도 함께 실시되었다.

위 ①, ②의 처리와 수침처리에 의해 약제가 침투된 단판을 1일동안 대기상태에 방치한 후, 열풍건조기에 넣어 80~103℃에서 數時間 건조시켜 전건상태로 조절하였다. 이후 全乾단판은 기건상태에 數日동안 퇴적·방치하여 내화약제의 보유도를 측정하였으며, 그 中 케루잉과 라디에타소나무 단판은 합판제조에 사용하였다.

2.3 단판조합 및 합판제조

현재 합판공장에서 침엽수합판 또는 침·활엽수 혼용(복합) 합판을 제조하는 추세가 보편화되어 있어, 가장 일반적으로 사용되고 있는 수종인 케루잉과 라디에타소나무 단판을 여러 구성형태별로 조합하여 합판(3ply, 4.8mm×30cm×30cm)을 4매씩 제조하였다. 처리조건은, 내화약제처리 단판의 접착제 종류에 따른 접착력, 강도성능 및 내화성능의 차이를 살펴보고자 요소·멜라민수지와 페놀수지 접착제를 사용하여, 단판을 全層(H; homogeneous) 또는 交互(A; alternate)로 약제를 처리하거나, 수종을 단일(U; uni-

form) 또는 혼합(M; mix) 구성한 형태로 조합한 합판을 제조하였다. 교호약제처리형태는 표판에는 약제를 처리하고, 중판에는 처리하지 않는 형태를 취하였다(全文上 構成略號는 Table 2 참조).

접착제호 및 도포조건으로서, 요소·멜라민 수지의 경우는 수지원액에 대해 증량제(밀가루) 15%, 염화암모늄을 0.5% 첨가하였고, 도포량은 37g/(30cm)² 하였으며, 온도 120℃, 압력 10kg/cm², 시간 5분을 적용하여 열압을 하였다. 한편, 페놀수지의 경우는 수지원액에 대해 증량제(밀가루) 20%를 혼합하여 36g/(30cm)²를 도포하였으며, 온도 140℃, 압력 10kg/cm², 시간 6분을 적용하여 열압하였다.

2.4 성능시험 및 결과분석

본 실험에서는 무처리, 약제 및 수침처리된 단판의 밀도와 약제보유량, 그리고 합판에 대하여 밀도, 접착력(상태, 준내수), 휨강도, 휨탄성계수 및 내화성(이면온도변화, 증량감소율)을 측정하였다. 내화성은 U.S. Product Standard PS 1-83의 4.5.4 Heat durability test項에 의하여 경사판시험기(inclined panel tester)에 의한 연소시험방식을 채택하였다. 그리고 측정치들은 SAS통계패키지에 의해 유의성 검정을 실시하여 결과를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 단판의 내화약제 保留量

5수종의 단판(두께 1.2 및 2.4mm)에 대해 상온상압 침지 및 진공가압침지처리한 약제보유량과 단판의 수침처리결과는 Table 1과 같았다. 진공가압침지(VPS) 및 상압침지(NPS) 처리한 단판의 보유량은 라디에타소나무> 딜레니아> 칼로필름, 터미날리아> 케루잉 順의 경향을 보임으로써, 라디에타소나무의 약제보유도는 양호했던 반면, 케루잉은 불량한 현상을 보였다. 또, 水浸한 단판에서는 추출물이 빠져나간 데 따른 것으로 보이는 실질량의 손실이 초래되었다.

한편, 약제보유량과 단판밀도간에는 負(-)의 비례관계가 있었는데, 단판 밀도가 큰 수종은 약제침투가 잘 이루어지지 않는 경향을 보여 주었다(Fig. 1).

3.2 합판의 밀도

라디에타소나무와 케루잉 단판을 단독 또는 혼용

Table 1. Retention of fire-retardant on veneers and substance loss of veneer soaked in water

Unit : kg/(30.43cm)³

Veneer species	Thick. (mm)	Treatment method of veneer				MC (%)	Density (g/cm ³)
		FR-VPS	FR- NPS	W-VPS	W-NPS		
Radiata pine	1.2	2.99	1.64	-0.28*	-0.28*	13.2	0.46
	2.4	3.06	1.33	-0.82	-0.90	13.9	0.44
Keruing	1.2	1.40	0.94	-0.24	-0.27	12.3	0.58
	2.4	1.10	0.57	-0.19	-0.28	10.1	0.68
Dillenia	1.2	2.10	1.57	-	-	12.5	0.58
	2.4	2.09	1.00	-	-	11.6	0.57
Terminalia	1.2	1.40	1.21	-	-	13.2	0.61
	2.4	1.20	0.99	-	-	10.4	0.60
Calophyllum	1.2	1.43	1.09	-	-	13.5	0.58
	2.4	1.41	0.64	-	-	12.3	0.48

Note) 1. FR : Fire-retardant, W : Water

2. Asterisk(*) marked values represent the substance loss of veneer soaked in water.

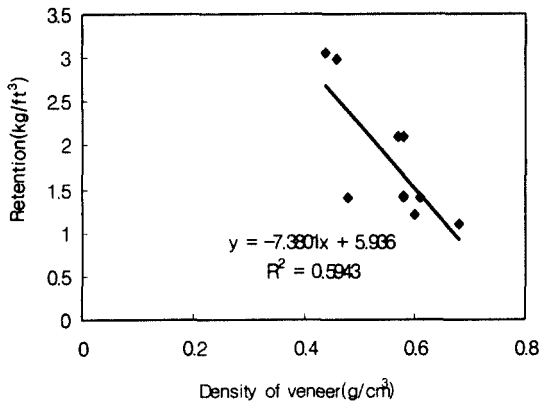


Fig. 1. Relationship between density of veneer and retention of fire-retardant on veneers in VPS treatment.

하여 요소·멜라민 수지 및 페놀수지로 접착·제조한 합판의 평균밀도는 수종구성에서는 케루잉> 라디에타소나무, 침치처리조건에서는 약제처리> 무처리> 수침처리의 경향을 나타냈다. 단판의 약제처리에 따른 합판의 밀도는 무처리의 라디에타소나무(평균밀도 0.56g/cm³) 및 케루잉(평균밀도 0.77g/cm³)과 비교하여, 약제를 VPS처리시 각각 12.5%, 7.8% 증가하였으며, NPS처리시는 7.1%, 3.9% 증가하였다. 水浸처리

시는 라디에타소나무 경우 3.6%, 케루잉의 경우 5.2%의 밀도감소가 일어났다.

약제의 교호 VPS처리시는 라디에타소나무(표층, 약제처리)와 케루잉(중층, 무처리)으로 복합구성한 조건이 0.72g/cm³로서 케루잉(표층, 약제처리)과 라디에타소나무(중층, 무처리)로 구성된 조건의 0.63g/cm³보다 밀도가 약 14% 증가하는 결과가 나타났다. 이러한 증가 현상은 Table 1의 단판의 약제보유량에서 살펴볼 수 있듯이 두께 1.2mm 라디에타소나무 단판이 1.59kg/(30.43cm)³ 더 큰 데 기인한 결과로 파악된다.

3.3 합판의 상태접착력

무처리 합판의 상태(비내수)접착력은 케루잉> 라디에타소나무였고, 단판을 약제처리한 경우, 라디에타소나무 합판은 무처리와 유의차가 없었지만 케루잉은 有意한 접착력의 저하를 보였으며, 요소·멜라민수지 접착시 페놀수지 접착보다 더 저하하는 경향이 일어났다(Table 2). 더욱이, 단판의 水浸後 건조하여 제조한 합판은 접착력 저하현상을 일으켰으며, 케루잉합판의 경우 이 저하현상이 컸으나 페놀수지접착의 適性(compatibility)은 크게 나타났다.

한편, 두 수종을 혼합구성하는 경우 페놀수지 접착이 대체로 요소·멜라민수지 접착보다 유리한 것으

耐火藥劑의 處理方法 및 處理單板의 調板形態가 合板의 性能에 미치는 影響

Table 2. Dry adhesive bonding strength of plywood manufactured with fire-retardant treated or untreated veneers

Unit : kgf/cm²

Types of fire-retardant treatment	Construction of veneer	Species	Adhesive	Treatment types on veneers					Abbreviations of composition types*	
				VPS of Fire-retardant	NPS of Fire-retardant	VPS in water	NPS in water	Non-treatment		
Homo	Uni	Radiata pine	U · M	12.7±2.2	11.5±0.9	8.6±1.4	9.4±2.2	12.6±1.7	HUR	
				ABCDEFG	DEFGHIJKL	MNOP	JKLMNOP	ABCDEFGH		
			P	10.4±1.5	10.5±1.1	9.8±1.5	9.4±1.7	11.5±2.3		
		Keruing	U · M	10.4±1.7	9.8±1.5	7.2±1.8	5.7±1.2	14.5±3.0		HUK
				FGHIJKLM	IJKLMNOP	PQ	Q	ABC		
			P	13.3±1.4	12.3±1.3	13.0±1.9	10.4±1.1	15.1±1.1		
	Mix	R(F)+	U · M	7.4±1.8	-	-	-	-	HM(R+K)	
				OPQ	-	-	-	-		
		K(M)	P	10.4±0.9	-	-	-	-		
	K(F)+ R(M)	U · M	10.9±1.5	-	7.3±1.5	11.9±1.3	-	HM(K+R)		
			DEFGHIJKLM	-	OPQ	CDEFGHIJK	-			
		P	14.6±1.5	-	12.0±0.8	9.8±0.9	-			
Alternate	Uni	Radiata pine	U · M	13.2±1.5	10.1±1.5	-	-		-	AUR
				ABCDE	HIJKLMN	-	-		-	
			P	11.3±1.1	10.2±1.2	-	-		-	
		Keruing	U · M	8.5±2.1	7.6±1.0	-	-	-	AUK	
				MNOP	NOPQ	-	-	-		
			P	10.4±0.8	11.2±1.4	-	-	-		
	Mix	R(F)+	U · M	9.7±1.6	9.0±0.7	-	-	-		AM(R+K)
				JKLMNOP	LMNOP	-	-	-		
		K(M)	P	11.2±1.0	10.8±0.8	-	-	-		
	K(F)+ R(M)	U · M	11.0±2.6	7.3±1.2	-	-	-	AM(K+R)		
			DEFGHIJKLM	OPQ	-	-	-			
		P	11.7±0.7	13.4±1.5	-	-	-			
			DEFGHIJK	ABCD						

- Note) 1. Statistical analysis of variance was completed in 95% confidence level, and treatment effect was evaluated with Tukey's studentized range test. The rewas no significant difference among values of the same alphabetic letter notified under the values.
2. In species-mixed composition, F or M in the parentheses means face (layer) or middle (layer). Also, and P represent urea · melamine resin and phenol resin, respectively.
3. The asterisk(*) marked abbreviations on composition types were applied through this study.
4. Mean and standard deviation of specimen was calculated with 10 replications.

Table 3. Warm water-proof adhesive bonding strength of plywood manufactured with fire-retardant treated or untreated veneers
Unit : kgf/cm²

Types of fire-retardant treatment	Const-ruction of veneer	Species	Adhe-sive	Treatment types on veneers				
				VPS of Fire-retardant	NPS of Fire-retardant	VPS in water	NPS in water	Non-treatment
Homo	Uni	Radiata pine	U · M	9.4±1.8 BCDE	7.7±0.7 DEFGHIJ	7.4±2.5 DEFGHIJK	5.8±1.0 HIJKLM	8.6±1.1 CDEFG
			P	6.0±0.7 GHIJKLM	6.0±1.4 GHIJKLM	5.4±0.8 IJKLM	5.1±1.7 JKLM	9.0±1.3 BCDEF
		Keruing	U · M	5.9±2.2 HIJKLM	6.2±1.7 GHIJKLM	6.8±1.0 EFGHIJK	3.8±2.3 M	14.8±2.1 A
			P	10.0±1.8 BCD	9.1±1.3 BCDEF	9.1±1.4 BCDEF	8.3±0.9 CDEFGH	10.4±1.1 BC
	Mix	R(F)+	U · M	4.8±2.2 KLM	-	-	-	-
			P	7.6±2.7 DEFGHIJ	-	-	-	-
		K(M)	U · M	8.1±2.1 CDEFGHI	-	5.7±1.4 HIJKLM	5.9±0.8 HIJKLM	-
			P	11.5±1.2 B	-	7.7±1.5 DEFGHIJ	5.4±1.9 IJKLM	-
Alternate	Uni	Radiata pine	U · M	7.4±1.7 DEFGHIJK	5.7±1.1 HIJKLM	-	-	-
			P	7.3±0.8 EFGHIJK	7.1±0.4 EFGHIJK	-	-	-
		Keruing	U · M	4.1±1.3 LM	3.8±1.7 M	-	-	-
			P	6.6±1.4 FGHIJKL	7.0±1.0 EFGHIJK	-	-	-
	Mix	R(F)+	U · M	8.4±0.9 CDEFGH	8.1±2.3 CDEFGHI	-	-	-
			P	7.7±0.9 DEFGHIJ	7.7±0.9 DEFGHIJ	-	-	-
		K(M)	U · M	4.7±2.6 KLM	6.3±1.2 GHIJKLM	-	-	-
			P	7.0±2.1 EFGHIJK	8.3±1.2 CDEFGH	-	-	-

Note) Meaning of the above statistical notification and conditions of manufacture are same to table 1.

로 나타났으며, 페놀수지 접착시 표층에 케루잉을 구성하고, 중층에 라디에타소나무를 구성하는 것이 그 반대인 경우보다 접착력이 큰 경향을 보였다. 특히, 약제를 교호처리한 경우, VPS처리와 NPS처리간에 유의차가 없었으나, 요소·멜라민수지를 접착한 일부 구성(AUR, AM(K+R))은 VPS쪽이 오히려 큰 접착력을 발휘하기도 하였다. 또한, 약제를 교호로 VPS 처리함에 있어 단일수종구성에서 라디에타소나무가 케루잉보다, 혼합수종구성에서는 케루잉(표층)+라디에타소나무(중층) 조합이 라디에타소나무(표층)+케루잉(중층) 조합보다 접착력이 다소 큰 현상을 나타냈다. 全單板 약제처리와 마찬가지로 교호약제처리시 케루잉 단판의 요소·멜라민수지에 대한 접착適性は 크게 低下하였고, 페놀수지에 대한 접착適성은 라디에타소나무 단판보다 상대적으로 더 큰 사실을 示唆해 주었다.

약제처리 합판은 수침 합판보다도 접착력이 우세하였는데 단판에 充塡(loading)된 내화제가 수침에 의해 實質이 빠져나간 상태의 합판보다도 접착력 발현에 유리하게 작용한 때문으로 생각된다.

3.4 합판의 준내수 접착력

요소·멜라민수지 접착의 경우, 무처리시 케루잉>라디에타소나무, 약제처리시 라디에타소나무>케루잉의 준내수접착력을 발휘하였으며, 케루잉은 약제처리에 따라 접착력 저하현상이 심하여 기준치에 미달하였으며 무처리의 접착력과는 유의차가 인정되었다(Table 3).

페놀수지 접착의 경우에는, 무처리 및 약제처리 합판의 준내수 접착력은 요소·멜라민 수지 접착에서와는 달리 케루잉이 라디에타소나무보다 컸으며, 약제처리된 라디에타소나무 합판은 기준치(7.0kgf/cm²)를 下廻하였고 무처리의 접착력과 유의차가 있었다.

결과로서, 단판의 全層(全單板)을 VPS로 약제처리한 합판의 준내수 접착력은 두 수종이 다른 양상을 나타낸 바, 라디에타소나무는 요소·멜라민수지 접착, 케루잉은 페놀수지 접착시 무처리와 유의차가 없는 양호한 접착력을 발휘하였다. 또한, 全單板의 VPS처리시에는 접착제를 막론하고 케루잉을 표층, 라디에타소나무를 중층에 구성한 조건(HM(K+R))은 라디에타소나무를 표층, 케루잉을 중층에 구성한 조건(HM(R+K))보다 접착력이 큰 경향을 나타냈다.

한편, 교호로 단판에 약제를 처리한 경우, 페놀수지로 접착한 합판은 대부분 기준접착력을 상회하였

고, 단판구성조건간에 편차가 크지 않아 기준치인 7.0kgf/cm² 群(유의수준 EFGHIJK)과 비교하여 全구성이 유의차가 없는 결과를 나타냈다. 그러나 요소·멜라민수지로 접착한 경우는 라디에타소나무가 케루잉보다 접착력이 컸고, AM(R+K)>AM(K+R)로서 全層 약제처리때와는 상반되는 層間의 수종혼용 구성효과를 나타냈다. 그러나 케루잉과 AM(K+R) 구성은 기준치 이하로서 上압(NPS)으로 水浸한 단판의 접착력과 동등한 수준을 나타낼 정도로 접착력 저하현상이 심화되었다. 따라서, 단판상에 약제를 교호로 처리할 경우, 요소·멜라민 수지접착시에는 케루잉이 라디에타소나무보다 適性이 저하하여, 케루잉 단판(두께 1.2mm)을 前位에 구성하지 않는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 특히, 수종을 혼용구성한 경우 페놀수지 접착에 의해 유의차가 없이 고르고 높은 접착성을 얻을 수 있었다.

3.5 합판의 휨강도

약제를 VPS처리하고 페놀수지 접착한 HM(K+R) 구성이 1,263kgf/cm²로서 최대치를 나타냈고, 무처리 또는 전층약제처리된 케루잉 합판의 휨강도는 각각 1,198kgf/cm² 및 1,134kgf/cm²으로서 高强度群에 속하였으며, AM(K+R)구성 및 AUK 구성이 이들과 유의차가 없는 높은 수준을 유지하였다. 특히, 약제처리와 단판(수종) 혼합구성의 조합효과면에서는 HM(K+R)>HM(R+K)로서, 라디에타소나무보다 고밀도인 케루잉 단판이 표층부위에 구성되었을 때, 약제처리 유무에 관계없이 높은 강도를 유지하였다. 또한, 접착제별로는 전구성에 걸쳐 페놀수지가 요소·멜라민수지보다 고강도 발현에 유리함을 顯示하였다(Table 4).

그리고 단판에 교호약제처리시 NPS처리에 대한 VPS처리의 상대적인 약제처리영향(휨강도의 低減率)은 케루잉보다 라디에타소나무에서 높게 나타났다. 결과로서, 케루잉 합판의 저감율은 17~27%(183~284kgf/cm²)에 달하였다. 또한, 표층에 약제처리한 케루잉 단판과 중층에 무처리의 라디에타소나무 단판을 구성(AM(K+R))한 경우 강도저감율이 약 12%에 달함으로써, 단판 수종과 層구성, 접착제 종류 및 약제처리(VPS와 NPS)가 有關하게 작용하여 휨강도 발현에 영향을 미치게 됨을 推料할 수 있었다.

한편, 단판을 약제처리하여 제조한 합판은 대체로 무처리 합판보다 다소 낮아지는 강도치를 나타냈으나 유의차는 없었으며, 단판을 수침처리한 합판에 비

Table 4. Bending strength of plywood manufactured with fire-retardant treated or untreated veneers

Unit : kgf/cm²

Types of fire-retardant treatment	Const- ruction of veneer	Species	Adhe- sive	Treatment types on veneers				
				VPS of Fire-retardant	NPS of Fire-retardant	VPS in water	NPS in water	Non- treatment
Homo	Uni	Radiata pine	U · M	860 ± 105 FGHIJKLM	886 ± 36 DEFGHIJKL	823 ± 91 GHIJKLMNOP	798 ± 87 GHIJKLM	747 ± 95 JKLM
			P	937 ± 181 CDEFGHIJK	870 ± 122 EFGHIJKL	982 ± 81 BCDEFGHI	872 ± 112 EFGHIJKL	1,007 ± 138 BCDEFG
		Keruing	U · M	900 ± 72 DEFGHIJKL	921 ± 107 CDEFGHIJK	838 ± 72 FGHIJKLM	722 ± 67 KLM	961 ± 173 CDEFGHIJ
			P	1,134 ± 93 ABC	1,110 ± 103 ABCD	1,055 ± 72 ABCDEF	902 ± 99 DEFGHIJKL	1,198 ± 17 AB
	Mix	R(F)+	U · M	811 ± 108 HIJKLMNOP	-	-	-	-
			P	982 ± 104 BCDEFGHI	-	-	-	-
		K(F)+	U · M	954 ± 83 CDEFGHIJ	-	887 ± 126 DEFGHIJKL	764 ± 147 IJKLM	-
			P	1,263 ± 52 A	-	1,019 ± 41 BCDEFG	933 ± 113 CDEFGHIJK	-
Alternate	Uni	Radiata pine	U · M	808 ± 67 GHIJKLM	764 ± 65 IJKLM	-	-	-
			P	966 ± 97 CDEFGHIJ	986 ± 52 BCDEFGHI	-	-	-
		Keruing	U · M	775 ± 17 HIJKLM	1059 ± 39 ABCDEF	-	-	-
			P	881 ± 64 DEFGHIJKL	1,064 ± 42 ABCDEF	-	-	-
	Mix	R(F)+	U · M	632 ± 56 M	676 ± 79 LM	-	-	-
			P	870 ± 85 EFGHIJKL	802 ± 78 GHIJKLM	-	-	-
		K(F)+	U · M	897 ± 47 DEFGHIJKL	1,024 ± 85 BCDEFG	-	-	-
			P	996 ± 155 BCDEFGH	1,097 ± 89 ABCDE	-	-	-

Note) 1. Meaning of the above statistical notification and conditions of manufacture are same to table 1.

2. Mean and standard deviation of specimen was calculated with 6 replications.

耐火藥劑의 處理方法 및 處理單板의 調板形態가 合板의 性能에 미치는 影響

Table 5. MOE in bending of plywood manufactured with fire-retardant treated or untreated veneers

Unit : tonf/cm²

Types of fire-retardant treatment	Construction of veneer	Species	Adhesive	Treatment types on veneers					
				VPS of Fire-retardant	NPS of Fire-retardant	VPS in water	NPS in water	Non-treatment	
Homo	Uni	Radiata pine	U · M	96.7 ± 13.4 LMNO	103.5 ± 7.9 JKLMNO	101.5 ± 11.4 JKLMNO	102.7 ± 13.6 JKLMNO	83.3 ± 13.1 O	
			P	110.3 ± 15.2 HIJKLMNO	104.0 ± 95.2 JKLMNO	107.4 ± 55.4 HIJKLMNO	99.7 ± 14.4 KLMNO	101.3 ± 18.2 JKLMNO	
		Keruing	U · M	126.4 ± 14.5 CDEFGHIJK	128.0 ± 14.4 CDEFGHIJ	120.1 ± 12.4 DEFGHIJKL	112.7 ± 19.1 HIJKLMN	140.2 ± 14.8 BCDEF	
			P	137.5 ± 15.6 BCDEFG	132.8 ± 9.7 CDEFGH	145.7 ± 11.1 ABCD	109.0 ± 15.7 HIJKLMNO	167.8 ± 5.3 A	
	Mix	R(F)+	U · M	119.1 ± 10.7 DEFGHIJKL	-	-	-	-	
			P	116.4 ± 9.3 FGHIJKLM	-	-	-	-	
		K(M)	U · M	131.1 ± 10.4 CDEFGHI	-	113.8 ± 13.7 FGHIJKLMN	89.8 ± 25.3 MNO	-	
			P	150.5 ± 5.6 ABC	-	120.8 ± 9.7 DEFGHIJKL	106.6 ± 14.1 HIJKLMNO	-	
	Alternate	Uni	Radiata pine	U · M	101.6 ± 9.6 JKLMNO	100.6 ± 8.9 KLMNO	-	-	-
				P	107.1 ± 86.9 HIJKLMNO	118.3 ± 4.6 EFGHIJKL	-	-	-
Keruing			U · M	90.4 ± 8.5 MNO	163.1 ± 0.9 AB	-	-	-	
			P	112.5 ± 8.4 GHIJKLMN	144.2 ± 9.4 ABCDE	-	-	-	
Mix		R(F)+	U · M	87.1 ± 8.4 NO	84.6 ± 11.4 O	-	-	-	
			P	104.3 ± 6.0 IJKLMNO	104.7 ± 8.6 IJKLMNO	-	-	-	
		K(M)	U · M	108.8 ± 9.6 HIJKLMNO	115.4 ± 18.3 FGHIJKLM	-	-	-	
			P	125.0 ± 12.2 CDEFGHIJK	126.7 ± 11.9 CDEFGHIJK	-	-	-	

Note) Meaning of the above statistical notification and conditions of manufacture are same to table 1.

하여서는 약 28%까지 향상된 강도치를 나타냈다.
Winandy 등(1991)은 목재와 합판에 내화약제처리를 하고 재건조하는 등의 초기가공(initial processing) 중에 10~25% 강도가 저하된다는 사실을 보고한 바

있는데, 본 연구에서는 강도의 저감폭이 좁았으며 그 이유로서 합판구성 층수가 3ply로서 합판전체 profile로 보아서 약제처리 단면적이 적었던 데 연유한 것으로 여겨진다.

3.6 합판의 휨탄성계수

순단판에 약제를 VPS처리한 HM(K+R)구성 합판(요소·멜라민수지 접착 131.1tonf/cm², 페놀수지 접착 150.5tonf/cm²)은 무처리 라디에타소나무합판보다 휨강성이 有意하게 높았고, 무처리 케루잉합판보다는 휨탄성계수가 낮았으나 유의차는 없었다. 그리고 위 구성은 전층을 약제처리한 케루잉합판(HUK)과도 유의차가 없는 수준을 유지하였으며, 약제처리에도 불구하고 무처리의 케루잉합판에 버금가는 높은 剛性을 나타냈다. 全層 약제처리에 따른 강성 증감양상은, 휨강도의 경향과 마찬가지로 라디에타소나무에서는 무처리시와 비교하여 유의차는 없으나 다소간 증가하는 현상을 보였으며, 케루잉에서는 감소하여서 페놀수지를 접착한 경우 그 低減幅이 컸다.

교호 약제처리에 있어서는, VPS처리시 구성간의 편차가 크지 않고 수종구성(단일·혼용)에 따른 유의차가 없었으나, 페놀수지로 접착한 경우 표층에 약제처리 케루잉을 구성하고 중층에 무처리 라디에타소나무를 구성한 조건(AM(K+R))은 교호처리내의 타구성들과 유의차를 나타냈으며, 高剛性을 나타낸 HM(K+R)와는 유의차를 나타내지 않았다. 한편, NPS처리시는 VPS처리에 비해 층간의 약제처리와 수종구성에 따른 결과로 보여지는 강성의 편차(유의차)가 큰 경향을 교호약제처리의 AUK구성에서 나타냈다.

3.7 합판의 휨과괴시 변형량

무처리합판의 휨과괴시 변형량은 7.5mm(라디에타소나무, 요소·멜라민수지 접착)에서 10.1mm(라디에타소나무, 페놀수지 접착)에 걸쳐 있었으며, 약제처리를 함으로써 무처리보다도 변형량이 저하되는 결과를 초래하였다. 이는 내화약제를 수용액상태로 처리하고 재건조함에 따라 합판의 脆性化가 일어난 데 따른 것으로 보이며, LeVan과 Winandy(1990)가 내화처리합판을 지붕덮개(roof sheathing)와 같은 고온의 사용환경에 폭로한 경우 검게 변하고 취성으로 쉽게 부서지고 목리를 가로질러 할렬이 발생하는 등 열화현상이 진전된 사실을 지목한 바 있어, 약제처리제의 열화현상의 일부로 해석이 가능할 것으로 여겨진다.

약제가 교호처리된 구성에 있어서는, AUK > AUR, AM(K+R) > AM(R+K)의 경향을 보임으로써 케루잉단판을 약제 처리하여 합판의 표판에 구성하는 경우 라디에타소나무보다 쉽게 파괴되지 않는 耐負荷性(靱性)이 있음을 추정케 하였다.

3.8 경사판시험기에 의한 燃燒性 (합판의 裏面온도와 중량감소율)

경사판시험기에 의해 내화처리된 합판의 연소시험을 실시하고 단판의 이면온도(Fig. 2의 막대그래프)와 중량감소율(Fig. 2의 꺾은선그래프)을 측정하였다.

Fig. 2. Temperature of back side of plywood and weight loss at combustion. (Left : Urea · Melamine resin, Right : Phenol resin)

먼저, 요소·멜라민수지 접착의 경우, 합판의 이면온도는 무처리시 라디에타소나무가 케루잉보다 높았으나, 약제처리시는 HUK>HUR>HM(K+R), HM(R+K)로 나타났다. 따라서, 약제처리에 따른 내화효과(무처리時 對比 연소시 이면온도의 감소에 따른 내화기여도)는 라디에타소나무에서 크게 나타났다.

중량감소율은 전층약제처리에 있어 HUR, HM(R+K), 교호약제처리에 있어서는 AM(R+K)구성(VPS & NPS처리)이 2.4~2.6%로 낮았다. 무처리는 라디에타소나무가 케루잉보다 현격히 감소율이 컸다.

약제를 교호처리한 경우에는, 이면온도가 AM(K+R)구성이 AM(R+K)구성보다 높았고, AUK와 AUR간에는 요소·멜라민수지 접착의 경우는 케루잉, 페놀수지 접착의 경우는 라디에타소나무가 미소하나마 높은 경향을 보여주었다. 중량감소율은 AM(K+R)가 AM(R+K)보다 확연히 컸다. 따라서 내화도는 AM(R+K)구성이 AM(K+R)구성보다 더 큰 사실이 확인되었다. 위 사실로써, 약제보유량이 높은 라디에타소나무 단판이 全層 또는 表層에 구성될 경우 내화처리효과를 높일 수 있음이 입증되었다. 본樹脂접착에 있어, 무처리, 약제처리 및 수침처리군의 이면온도와 중량감소율은 각기 136~240℃ 및 5.2~10.3%, 106~182℃ 및 2.4~5.6%, 149~219℃ 및 5.6~9.7%를 나타냈다.

한편, 페놀수지 접착의 경우에는, 합판의 이면온도는 무처리시 라디에타소나무가 케루잉보다 다소 컸으며, 單單板에 약제를 VPS처리한 경우는 HUK>HM(R+K)>HM(K+R)> HUR, NPS처리한 경우에는 HUK>HUR의 경향을 보였다. 교호약제처리시 이면온도는 AUR, AM(K+R)>AM(R+K)>AUK의 경향을 나타냈다. 중량감소율은 무처리시 라디에타소나무가 케루잉보다 컸으며, 수침처리시에도 라디에타소나무합판의 중량감소가 케루잉합판보다도 현저하였다. 그러나, 약제처리를 함으로써 라디에타소나무의 중량감소율이 급격히 감소하여 케루잉의 내화도 수준으로 접근하는 현상이 요소·멜라민수지 접착에서와 마찬가지로 확연히 나타났다. 따라서 약제를 처리한 HUR와 HUK 구성은 3.0~4.0%, 3.1~4.2%로서 두樹脂間뿐만 아니라 요소·멜라민수지로 접착했을 때와 동등한 수준의 감소율을 나타냈다. HM(R+K)는 중량감소율이 2.3%로 최저치를 보였으며, 교호약제처리시는 AM(K+R)(5.2~5.7%)>AM(R+K)(3.1~3.7%)로서 표층에 약제처리 라디에타소나무, 중층에 무처리 케루잉을 구성한 조건이 내화도가 크다고 할 수

있었다. 이로써, 페놀수지접착의 경우, 무처리, 약제처리 및 수침처리군의 이면온도와 중량감소율은 각각 232~254℃ 및 9.1~15.2%, 155~213℃ 및 2.3~6.1%, 198~269℃ 및 7.3~16.6%의 분포를 나타냈다. 특히, 진공가압수침한 라디에타소나무 단판을 페놀수지로 접착한 합판의 경우, 최고의 이면온도와 중량감소율을 나타냈으며, 본 연구에 있어 페놀수지 접착은 요소·멜라민수지 접착보다 내화도가 크게低下하는 현상이 顯在하였다.

이상의 결과로부터, 요소·멜라민수지로 접착한 합판은 내화성이 크다고 할 수 있었는데, 이는 합판의 연소·열분해시 아민계 접착제로부터 연소를 저해하는 암모늄계 성분 등이 생성되어 耐火機構에 기여한데 근거한 것으로 추려되었다. 그러나, 실제 사용환경에 있어서는 내화처리 합판의 기계적 성질도 함께 고려되어야 할 것이므로 두 성능을 조화 또는 상승시키는 측면의 연구가 이루어져야 할 것이다.

4. 결 론

현재 축조되고 있거나, 미래 목조주택과 공공건축물의 수요확대를 위하여, 부제는 이에 합당한 내구성 및 내화요건을 구비해야 할 것이다. 이를 위해 본 연구에서는 합판의 내화처리기술을 개발하고 그 성능을 평가하는 데 역점을 두었다. 현재 합판회사에서 중판용으로 쓰이는 라디에타소나무를 비롯하여, 케루잉, 딜레니아, 칼로필름, 터미날리아와 같은 표판용으로 사용빈도가 높은 활엽수종 단판(두께 1.2 및 2.4 mm)에 대하여, 농도 20%의 제2인산암모늄으로 삼압침지 및 진공가압침지 처리를 실시하였으며, 그 중 사용빈도가 높은 케루잉과 라디에타소나무 단판을 여러 구성형태와 침지처리조건과 결부함으로써 각 조합조건별로 3ply 합판을 제조하여 그 성능을 평가하였다. 시험결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

1. 단판의 침지처리에 따른 내화약제 보유량은 라디에타소나무>딜레니아>칼로필름, 터미날리아>케루잉 順의 경향을 보였으며, 진공가압침지법에 의해 약제처리시 단판의 약제보유량과 밀도간에는 負(-)의 비례상관이 있었다($R^2=0.59$). 그리고, 내화약제의 침지 및 처리효과는 진공가압침지처리가 삼압침지처리보다도 컸다.

2. 준내수접착력에 있어 라디에타소나무는 요소·멜라민수지, 케루잉은 페놀수지에 대한 適性이 높았

으며, 휨성능은 페놀수지 접착쪽이 높았다. 또한, 단판침지법으로 내화약제를 처리하여 제조한 합판에 있어 반드시 접착력 및 강도적 성질의 저하가 초래되지는 않았다. 그러나, 단판의 水浸처리는 합판의 접착력을 저하시키고, 내화성의 저하를 초래하였다.

3. 내화성능에 있어 라디에타소나무가 캐루잉보다 약제처리효과면에서 뛰어났으며, 요소·멜라민수지 접착이 페놀수지 접착보다 우수하였다.

4. 내화처리합판의 기계적 성질(접착력·휨성능 등)과 내화성을 고려하여 단판수종의 적절한 선택, 층간구성(수종조합) 및 교호약제처리의 조합이 가능하다.

참 고 문 헌

1. Lee, P. W. and E. L. Schaffer. 1981. Redrying fire-retardant-treated structural plywood. Mokchae Konghak 9(4): 1-21
2. Levan, S. L. and J. E. Winandy. 1990. Effects of fire retardant treatments on wood strength: A review. Wood and Fiber Science 22(1): 113-131
3. LeVan, S. L., R. J. Ross and J. E. Winandy. 1990. Effects of fire retardant chemicals on the bending properties of wood at elevated temperatures. USDA, Forest Service, FPL, Research Paper FPL-RP-498: 24pp
4. Winandy, J. E., S. L. LeVan, R. J. Ross, S. P. Hoffman and C. R. McIntyre. 1991. Thermal degradation of fire-retardant-treated plywood-Development and evaluation of a test protocol. USDA, Forest Service, FPL, Research paper FPL-RP-501: 21pp.
5. 權震憲, 李弼宇. 1985. 耐火處理가 파아티클보오드와 콤폴라이보오드의 機械的性質 및 耐火도에 미치는 影響. 목재공학 13(4): 3-57
6. 金鍾萬, 鄭雨陽, 李弼宇. 1984. 數種 耐火藥劑로 處理된 合板의 機械的 性質에 關한 比較研究(I)- 處理合板의 휨強度에 미치는 浸漬時間의 影響. 목재공학 12(2): 20-26
7. 金鍾萬. 1986. 合板의 耐火處理에 關한 研究 III. 第1磷酸암모늄處理合板의 耐火度. 목재공학14(4): 21-28
8. 李弼宇, 權震憲. 1982. 建築材料燃燒試驗機와 傾斜板試驗器를 利用한 合板의 耐火度 測定比較. 목재공학 10(2): 22-27
9. 平田利美. 1989. 木材難燃化のメカニズム. 日本木材工業 44(5): 2-7