

비파괴평가에 의한 라디에타소나무 단판 및 수지함침시트 표면적층 합판의 휨성능*1

서진석*2

Bending Performances of Radiata Pine Veneers and Phenol Resin-Impregnated Sheet Overlaid Plywoods by Nondestructive Evaluation*1

Jin-Suk Suh*2

ABSTRACT

The bending performances were evaluated at the radiata pine plywood through veneer compositions encompassing veneer quality, ply-numbers and overlays of the high density- or medium density-phenol resin impregnated sheets (hereafter abbreviated as resin sheets) on the raw plywood. In addition, a prediction on the bending MOE of veneers and plywoods was carried out by the nondestructive testing with stresswave timer.

The summarized results were as follows:

1. Bending strength and bending MOE of resin sheets-overlaid plywoods in parallel surface grain direction through 5 and 7ply were increased by 13 to 45% and 17 to 34%, respectively. Resin sheets-overlay occurred an increasing effect of the strength efficiency i.e. strength perpendicular-to-grain direction versus that parallel-to-grain direction, showing the phenomenon that the plywood strength becomes greater at the perpendicular-to-grain direction of 7ply than at that of 5ply. Displacement at bending failure had a greater trend at 7ply than at 5ply, and was decreased by resin sheets-overlay.
2. After the nondestructive bending MOEs were measured for individual veneers, these veneers were rearranged in plywood-manufacture. In these plywoods, including resin sheets-overlay, the actual MOE was predictable with feasibility of $R^2=0.53$, and also the nondestructively-evaluated MOE was lower by 20% in raw plywood, and higher 20% in LVL than actual bending MOEs.

Keywords : High density- or medium density-phenol resin impregnated sheets, stresswave timer, resin sheets-overlay, strength efficiency, nondestructive bending MOEs, actual bending MOEs

*1 접수 1998년 2월 17일 Received February 17, 1998

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

1. 서론

최근 산업문명의 발전과 함께 우리가 살고 있는 지구환경의 보존과 자원의 절약이라는 命題가 첨예하게 대두되고 있다. 이에 의해, 지구환경의 寶庫라고 일컬어지고 있는 열대림의 벌채 제한 및 원목금수조치 등에 따라, 과거 합판산업에 있어 양질의 남양활엽수재에 의존하던 합판용재가 침엽수재화 됨으로써 남양재 일변도에서 탈피한지도 5년째 들어서고 있다. 아직도 침엽수재를 합판용재화 함에 있어 생산체제의 정비, 품질관리 철저 및 신뢰성의 확보, 규격의 정비, 그리고 소비자의 인식고취 등 선결되어야 할 부분이 많다. 이를 대비하는 과정에서 임업연구원에서는 침·활 혼용합판의 품질향상과 성능개선에 초점을 맞추어 1994년부터 연구를 실시하여 왔다.

본 연구는 이것과 맥락을 같이하여 침엽수합판의 강도성능을 증진시키고자, 단판구성에 따른 구성형태 및 고밀도와 중밀도수지함침시트의 표면적층(Overlay)에 의해 합판의 휨성능을 평가하고, 비파괴시험(응력파측정법)에 의해 단판 및 합판의 휨성능(MOE)을 예측하는 연구를 실시하였다.

재료의 강도성능을 비파괴적으로 평가하는 수단으로서는 ① 小荷重(重錘)을 載荷하는 방법, ② 등급구분기(Grading machine)에 의한 방법, ③ 변형진동에 의한 방법, ④ 초음파에 의한 방법, ⑤ 탄성파에 의한 방법, ⑥ 타격음의 주파수에 의한 방법, ⑦ 미세음향방출(Acoustic emission)에 의한 방법, ⑧ 'Pilodyn Wood Tester'에 의한 방법의 8가지 방법이 보편적으로 알려져 있다. 그 중 응력파 측정법에 의한 비파괴평가방식은 측정법이 간편하여 보편적으로 사용되고 있으며, 이 평가방식은 강도성능뿐만 아니라, 목질재료의 부후성능 측정시에도 많이 적용되고 있다.

관련 연구동향을 살펴보면, 국내에서 徐 等(1986~1987)이 낙엽송, 리기다소나무, 잣나무의 국산재와 Western hemlock, Radiata pine, Douglas-fir의 도입재를 사용하여 침엽수재 합판을 제조하고, 비중, 접착 및 강도적 성질을 구명하였다. 1990년대에 들어 徐 等(1995)은 침엽수합판 및 침·활 혼용합판에 있어, 표·중층간의 침·활엽수의 수종조합, 단판두께와 ply수에 따른 단판구성 및 접착제 유형별로 합판의 밀도, 휨성질, 크리프거동과 시멘트표면경화성을 구명함으로써 콘크리트거푸집으로서의 적성을 평가하였으며, 또한, 徐(1996)는 콘크리트거푸집 등 내·외

장용으로 요구되는 표면성능을 증진시키고자, 表裏板에 Radiata pine(無節級 및 AK級), Malas, Keruing, Calophyllum, Dillenia 수종을 구성한 합판과 OSB에 대하여, Tegofilm 또는 중밀도수지함침지(MDO)의 오버레이, 우레탄수지 및 불포화폴리에스테르수지 도장을 실시한 표면처리공법을 함으로써, 밀도, 휨성질, 흡수율, 표면경도, 내마모성, 침지박리성 및 시멘트경화성을 구명하는 연구를 하였다. 한편, 본 연구와 관련하여 徐(1990)는 비파괴강도평가법을 적용하여 국산침엽수집성재의 휨성능을 평가하였다. 또한, 차 등(1994)은 3층의 단판적층재에 있어 할렐과 목리주향이 인장성능에 미치는 영향도를 분석하기 위한 소재재(Strips)를 탄성파로써 평가·선정하였으며, 그 후 車(1996)는 집성용 제재에 있어 흡수율이 탄성파속도와 MOE에 미치는 상관성을 살펴본 바 있다.

한편, 일본의 경우, 日本合板工業組合聯合會(1984)는『南洋材等 代替原料 開發事業』에 의해 낙엽송, 라디에타소나무, 험록(단일 및 라왕단판 혼합구성) 등 합판의 콘크리트거푸집 성능시험과 屋外暴露試驗을 실시한 바 있으며, 同 聯合會(1994)는『原料轉換技術開發事業』의 一環으로 표면에 도장처리 등을 실시한 콘크리트거푸집용 침엽수합판을 제작, 표면성능시험을 실시하고 이를 실제 시공형으로 조립하여 그 성능을 평가·보고한 바 있다.

미국에서 30여년 전에 최종용도성능을 변화시키지 않고 재료의 물리·기계적 성질을 식별코자 하는 비파괴평가 개념으로부터 출발하여, 근래에 木構造物[18세기 맨션, 대학축구경기장, 학교체육관, 부두시설, 교량, 창고, 냉각수탑, 기둥 및 항공기시험대(Trestle) 등]의 기계등급구분(Machine stress grading) 및 현장적인 평가(In-place assessment)로 까지 진전한 이 기술에 의해 다수의 논문이 발표되고 있는 바, Gerhards(1981, 1982)는 材內 용이 및 斜走木理(Cross grain) 등의 결합근처에서는 정상재에 비하여 탄성파형이 변한다는 사실을 보고하였다.

본 연구는, 근년에 친환경적인 원자재 수급변화에 대처하여 현재 합판업계에서 침·활 혼용합판 제조시 중판으로 다량 사용되고 있는 라디에타소나무를 침엽수 단일구성합판으로 전환함에 따른 휨성능을 검토코자 하는 데 중점을 두었으며, 그간 집성재의 라미나 등 제재의 휨성능의 예측에는 여러 비파괴시험방식이 적용·평가되고 있으나, 합판품질의 향상 및 관리차원에서 단판과 합판에 도입·평가한 연구가 없어 본

技法에 의해 합판의 품질평가에의 적용성을 타진해 보고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 單板 및 合板

라디에타소나무단판을 두께 1.2, 1.5, 2.4 및 3.0mm의 4種 단판품질을 無節級과 용이級으로 하여 선창산업(주)에서 분양받아 두께 12mm의 침엽수 단 일구성의 합판을 素板 또는 臺板用으로 제조하였다.

2.2 페놀수지함침시트

표면적충용 재료로서 中密度 페놀樹脂含浸시트(MDO: Medium Density Overlay)와 高密度 페놀樹脂含浸시트(HDO: High Density Overlay)를 사용하였다.

2.3 시험방법

단판의 품질(無節級, 용이級), Ply수에 따른 구성 형태 및 수지함침시트(MDO, HDO)의 적층형태(단 독, 조합)에 따른 합판의 휨성능 평가를 위하여 臺板上에 수지함침시트를 별도의 접착제를 사용하지 않고, 145℃의 열압온도, 15kg/cm²의 압력을 10분간 유지하여 적층하였다.

이와 함께 실패단판 및 40×40cm 단판(비과괴 MOE가 평가된 最頻度數의 실패단판으로부터 선정)에 대하여 밀도를 측정 한 후 應력과측정기(Stress Wave Timer)로 해머타격에 의한 진동을 단판 先端에 부여한 뒤, 그 전달속도(μsec)를 계측하여 재료의 MOE를 측정하는 비과괴시험을 실시하였다. 이후 이들 비과괴측정된 40×40cm 단판을 MOE值별로 구분한 후(Table 4 참조), 측정치의 신뢰성이 높다고 판단한 단판목리에 평행한 방향으로 평가된 단판(Table 4 중의 上部)으로부터 表·中層用 단판을 과대 및 과소 MOE치를 배제한 中位值中에서 선정하여 표층과 중층에 배치하는 형식으로 합판을 제조하였으며, 접착제도포기를 이용하여 中板에 대해 평균 60g/40×40cm의 접착제도포량으로 양면도포를 실시하였다.

최종적으로 제조된 합판과 단판적층재(LVL)에 대해 MOE를 실측 및 비과괴방법으로 측정함으로써 兩者 방법간의 MOE의 相似性에 대하여 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

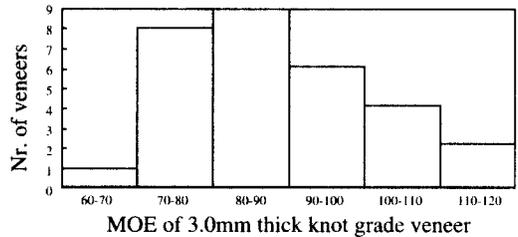
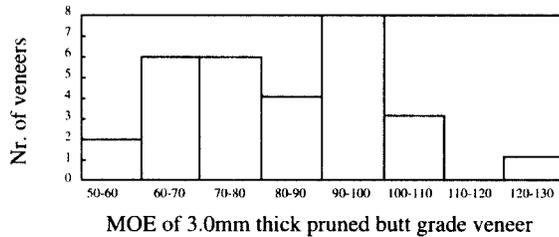
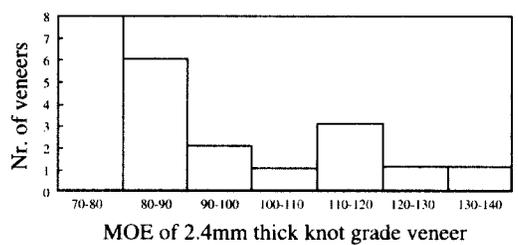
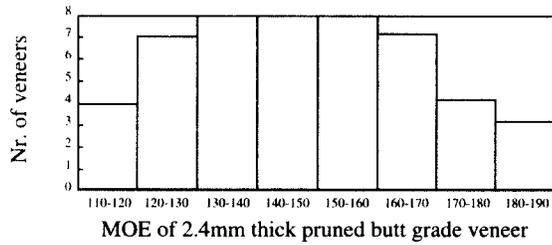
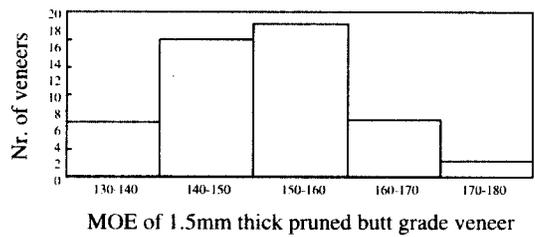
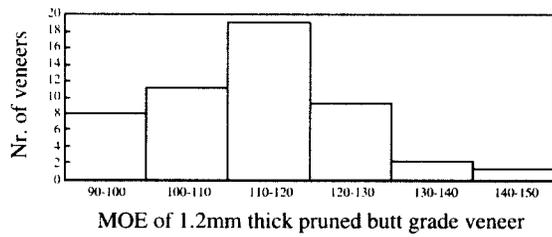
應력과측정기(Stress Wave Timer)에 의해 라디에타소나무 단판(두께 1.2, 1.5, 2.4 및 3.0mm, 무절급 및 용이급 단판의 60×120cm의 실패치수)에 대하여 비과괴평가한 MOE의 분포상태는 Fig. 1과 같다. 이들 그래프는 2.4mm 용이급 단판을 제외하고 대체로 평균치 부근에서 度數가 높은 정규분포형태를 닮고 있었다. 그러면서도, 평균치보다 낮은 쪽으로 歪度가 나타난 형태, 즉 낮은 MOE측의 도수가 높은 MOE측의 도수보다 다소 큰 경향을 띠고 있었다. 예외적으로, 2.4mm의 용이급 단판에서는 MOE가 정규분포와 離反되는 형상으로 나타난 바, 평균치를 중심으로 한 주변이 오목면을 그리고 있다.

이후 최다도수 MOE치의 실패단판으로부터 40×40cm 치수의 단판으로 재단하여 MOE를 재평가·분류하고, 이들 단판으로 합판과 LVL을 제조하였으며, 이를 臺板으로 하여 수지함침시트를 조합·적층한 합판에 의하여 실측 및 비과괴적 휨성능을 평가하였다.

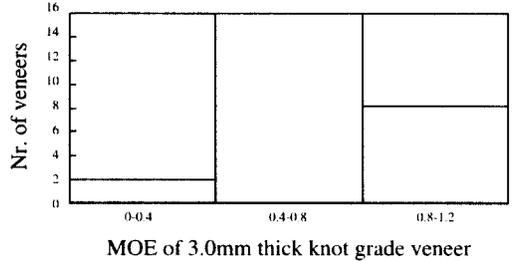
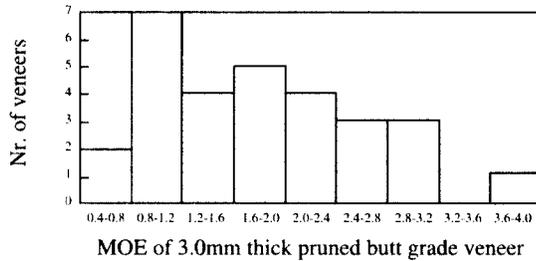
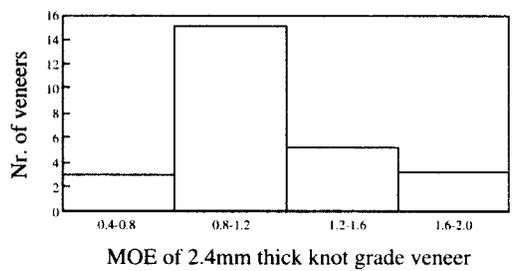
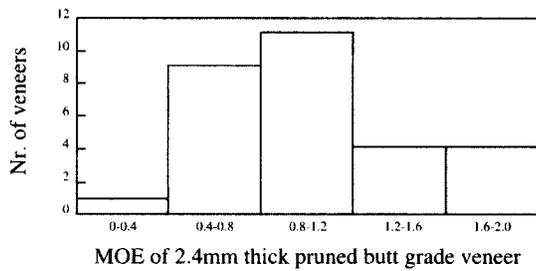
Table 1~Table 2와 같이 수지함침시트를 적층하여 제조한 5 및 7ply 합판(표면목리에 평행한 방향)에 있어 무처리에 비하여 휨강도는 무절급 13%, 용이급 45%, 휨탄성계수는 무절급 17%, 용이급 34%가 증가됨으로써, 용이급에서 무절급보다 더 높은 增強(또는 增強)효과를 가져왔다. 5% 수준에서 有意差를 검정한 결과 각 5, 7ply 구성에 있어 평행·직각 방향간에는 대체로 유의차가 인정되었다. 또한, 무절급 단판의 사용에 의해서도 수지함침시트 적층의 경우와 마찬가지로 증강효과가 있었다. 그러나, 5ply 구성에 있어서는 수지함침시트의 적층에 의한 직각방향의 휨강도 개선효과가 대체로 HDO 적층에 의해 다소간 나타나고 있었다. 반면, 7ply 구성에 있어서는 수지함침시트 적층에 의해 직각방향의 휨강도가 전체적으로 개선되는 양상을 띠었다.

물론, LVL과 합판간에는 목리평행방향에 있어 유의차가 있었고, 합판의 목리평행방향에 있어서는 용이급의 무처리합판과 여타구성의 합판, 즉 무절급 합판 또는 이에 수지함침시트를 적층한 합판과는 뚜렷한 차이를 나타냈다.

합판의 목리직각방향에 있어서는 7ply 구성의 경우 5ply 구성과는 대조적으로 增強率이 커서 최대 69%에 이르며, 절대치도 529kg/cm², 427kg/cm²로서 무처리에 비하여 수지함침시트 적층효과가 뚜렷



Loading to the parallel grain direction of veneer



Loading to the perpendicular grain direction of veneer

Fig. 1. MOE of veneers nondestructively-tested by each veneer thickness and veneer grade in parallel and perpendicular surface grain direction to loading.

Note; Unit : MOE = tonf/cm².

하였고, 5ply 구성에서의 동일 처리조건과도 有意한 차이를 보여주어, 수지함침시트를 적층하면 素板상태 로 콘크리트거푸집을 사용하는 경우의 표면결점(웅이, 거치름, 결파임 등)을 보완할 수 있을 뿐만 아니

Table 1. Moduli of rupture of plywoods and LVL in static bending test.

Types of panels	Ply	Surface Grain Direction to Loading	Veneer Grade	Overlays	MOR (kgf/cm ²)	Strength Increase/Decrease Ratio (%)	Significance Test
Plywood	5	Parallel	Prunedbutt	Non-treat	730	-	C, D, E
				MDO	825	13	B
				HDO	769	5	B, C, D
				MDO+HDO	786	8	B, C
			Knot	Non-treat	571	-	H, I
				MDO	702	23	C, D, E, F, G
				HDO	826	45	B
				MDO+HDO	767	34	B, C, D
		Perpendicular	Prunedbutt	Non-treat	377	-	K, L, M
				MDO	349	-7	K, L, M
				HDO	401	6	K, L, M
				MDO+HDO	329	-13	L, M, N
			Knot	Non-treat	326	-	L, M, N
				MDO	309	-5	M, N
				HDO	374	15	K, L, M
				MDO+HDO	340	4	K, L, M, N
	7	Parallel	Prunedbutt	Non-treat	626	-	G, H
				MDO	691	10	D, E, F, G
				HDO	673	8	E, F, G
				MDO+HDO	647	3	E, F, G, H
			Knot	Non-treat	504	-	I, J
				MDO	534	6	I
				HDO	629	25	F, G, H
				MDO+HDO	722	43	C, D, E, F
		Perpendicular	Prunedbutt	Non-treat	313	-	M, N
				MDO	356	14	K, L, M
				HDO	332	6	K, L, M, N
				MDO+HDO	529	69	I
Knot	Non-treat	253	-	N			
		MDO	427	69	J, K		
		HDO	421	66	J, K, L		
		MDO+HDO	389	54	K, L, M		
LVL	10	Parallel	Prunedbutt	-	1110	-	A
			Knot	-	493	-	I, J
		Perpendicular	Prunedbutt	-	54	-	-
			Knot	-	45	-	-

Notes: 1. Strength increase/decrease ratio(SI/DR) denotes the ratio of strength of overlaid plywood versus non-treated plywood at each veneer grade.

2. In Duncan's Multiple Range test, there were no significant differences among the descriptions of same letter at the 5% level.

라. 5ply의 층구성 또는 무처리시의 낮은 강도를 증가시킬 수 있는 兩面效果가 부각되었다. 단, HDO 적층시 표판 결점의 내버침(Show through)현상이 따르므로 化粧用이 아닌 거푸집으로 적용하는 것이

무난할 것으로 여겨지며, 내장용으로 사용할 때는 하 이그로시 등 불투명 착색도장을 고려해 보는 것도 바람직하다고 생각된다.

휨탄성계수에 있어서는, 먼저 5ply구성의 경우 각

Table 2. Moduli of elasticity at static and nondestructive bending MOE test of plywoods and LVL.

Types of panels	Ply	Surface grain direction to loading	Veneer grade	Overlays	MOE (tonf/cm ²)			Significance test of actual MOE in bending failure
					Static	SI/DR (%)	Nondes- tructive	
Plywood	5	Parallel	Pruned butt	Non-treat	94.3	-	75.1	D, E
				MDO	99.9	6	65.8	B, C, D
				HDO	108.7	15	75.5	B
				MDO+HDO	102.7	9	75.1	B, C, D
			Knot	Non-treat	86.4	-	68.4	E, F
				MDO	87.8	2	68.4	E, F
		HDO		104	20	72.7	B, C	
		MDO+HDO		98.9	14	72.5	C, D	
		Perpendicular	Pruned butt	Non-treat	39.9	-	46.7	N, O, P
				MDO	44.1	11	58.1	L, M, N, O
				HDO	66.5	67	60.2	H, I
				MDO+HDO	42.3	6	40.5	M, N, O, P
	Knot		Non-treat	44.7	-	41.8	L, M, N, O	
			HDO	42.5	-5	51.1	M, N, O, P	
	7	Parallel	Pruned butt	Non-treat	67.8	-	58.9	H, I
				MDO	73.3	8	58.1	G, H
				HDO	79.3	17	55.8	F, G
				MDO+HDO	70.5	4	54.0	G, H
			Knot	Non-treat	58.8	-	56.1	I, J
				MDO	66.8	14	53.3	H, I
		HDO		72.6	23	53.0	G, H	
		MDO+HDO		78.8	34	63.4	F, G	
		Perpendicular	Pruned butt	Non-treat	38.3	-	54.0	O, P
				MDO	44.8	17	51.7	L, M, N, O
HDO				48.4	26	64.6	K, L, M, N	
MDO+HDO				79.2	107	84.0	F, G	
Knot	Non-treat		33.8	-	47.6	P		
	MDO		53.2	57	62.3	J, K, L		
LVL	10	Parallel	Pruned butt	-	129	-	141.5	A
			Knot	HDO	74.5	-	88.5	G, H
		Perpendicular	Pruned butt	-	6.3	-	9.3	-
	Knot		HDO	4.4	-	6.2	-	

단판등급에 있어 HDO를 처리함으로써 무처리와 비교하여 유의한 효과를 보이고 있다. 또한, 7ply구성에 있어서도 同 합침지 적층에 의해 무처리의 강도와 유의차를 보여줌으로써 增剛효과를 확연히 가져올 수 있었다.

한편, 수지합침시트 적층에 의해 5ply에 있어서는 무절급 15%, 용이급 20%, 7ply에 있어서는 무절급 17%, 용이급 34%의 增剛효과를 얻었으며, 이들 MOE値는 순서대로 108.7, 104, 79.3 및 78.8tonf/cm²로서 각 5, 7ply 구성내에서는 적층효

Table 3. Displacements at bending failure of plywoods and LVL.

Types of panels	Ply	Surface grain direction to loading	Veneer grade	Overlays	Displacements at bending failure (mm)	Significance test
Plywood	5	Parallel	Pruned butt	Non-treat	15	C
				HDO	13	C, D, E
				HDO	11	E, F, G, H
				MDO+HDO	11	E, F, G, H
			Knot	Non-treat	10	F, G, H
				MDO	12	D, E, F, G
		HDO		13	C, D, E	
		MDO+HDO		11	E, F, G, H	
		Perpendicular	Pruned butt	Non-treat	14	C, D
				MDO	11	E, F, G, H
				HDO	11	E, F, G, H
				MDO+HDO	11	E, F, G, H
	Knot		Non-treat	11	E, F, G, H	
			MDO	10	G, H	
	7	Parallel	Pruned butt	Non-treat	22	A
				HDO	19	B
				HDO	15	C
				MDO+HDO	15	C
			Knot	Non-treat	15	C
				MDO	13	C, D, E, F
		HDO		14	C, D	
		MDO+HDO		15	C	
		Perpendicular	Pruned butt	Non-treat	12	D, E, F, G
				MDO	11	E, F, G, H
HDO				10	G, H	
MDO+HDO				9	H	
Knot	Non-treat		10	F, G, H		
	MDO		11	E, F, G, H		
10	Parallel	Pruned butt	-	9	H	
		Knot	-	6	I	
		Perpendicular	Pruned butt	-	8	-
	Knot		-	9	-	

Table 4. Comparative moduli of elasticity at static bending test and nondestructive test of veneers and plywoods.

Types of panels		MOE at static bending test (tonf/cm ²)		MOE at nondestructive test (tonf/cm ²)	
		Pruned butt	Knot	Pruned butt	Knot
Veneer	Veneers of grain parallel to panel's long dimension	-	-	1.2mm (90-130), 1.5mm (130-160), 2.4mm (110-140), 3.0mm (70-80)	2.4mm (60-80), 3.0mm (70-80)
	Cross grain directional veneers	-	-	2.4mm (1-4), 3.0mm (2-4)	2.4mm (1.5-2), 3.0mm (1-2)
Plywood	5ply	94	86	75 (80%)	68 (79%)
	7ply	68	59	59 (87%)	56 (95%)
	LVL	129	75	142 (110%)	89 (119%)

Notes; 1. Veneers for the manufacture of plywood and LVL were nondestructively evaluated on size 40 × 40cm.

2. Values in parentheses are ratios of nondestructively-evaluated MOE versus actual static bending MOE.

Remarks; Calculation formular of nondestructively-evaluated MOE :

$$\text{Nondestructive MOE} = \rho v^2 / g = \rho v^2 / (9.80665 \times 10,000) = \rho v^2 / 98,066.5 \text{ (} 10^3 \text{kg/cm}^2 \text{)}$$

In which, ρ : Panel density (g/cm³), v : Delivery velocity of stress wave (m/sec),

g : Gravimetric accelerated velocity(m/sec).

Also, $v = \text{Actual measured distance}(\text{span; m}) / \text{Delivery time of stress wave}(\text{sec})$. Accordingly, Delivery time of stress wave(sec) is calculated by the timer's time countings(μsec) × 10⁻⁶sec/ μsec .

과를 가져왔으나, 5·7ply간에는 대체로 유의한 격차를 감소시킬 수는 없었다. 따라서, Table 2의 유의차 검정에서 F로 표시된 구성들처럼 7ply의 적층처럼 5ply의 용이급의 일부구성과 단지 동등한 수준을 유지하고 있음을 알 수 있었다. 목리직각방향에 있어서는, 휨강도와 마찬가지로 7ply의 수지함침시트 적층효과가 5ply의 경우보다도 높게 나타났다.

휨파괴시 처짐량은, 목리평행방향에 있어 7ply가 5ply보다 큰 편이었고, 목리의 직각방향에 있어서는 근소하나마 1~2mm 더 작은 경향을 보여주고 있다 (Table 3). 前者의 경우, 7ply의 무절급에 있어서는 무처리가 22mm, MDO 적층이 19mm로서 여타 구성의 최고치인 15mm와 유의한 차를 나타냄으로써 7ply > 5ply의 크기경향이 나타났으며, 수지함침시트 적층에 의해 처짐량은 대체로 감소되었다.

단판과 합판의 파괴 및 비파괴시의 MOE를 요약해 보면 Table 4와 같이 평가되었는데, 1차 평가된 MOE值에 있어 最多度數 또는 이에 근접한 度數로 나타난 60 × 120cm의 실대합판으로부터, 2차로 40cm × 40cm 치수로 재단하여 다시 비파괴평가한 단판의 경우, 두께 1.2, 1.5, 2.4mm의 무절급 단판이 90~160tonf/cm² 이상, 두께 2.4mm의 용이급 단판 및 3.0mm 단판(무절급 및 용이급)이 60~

80tonf/cm² 이하를 기록하였다.

합판과 LVL의 파괴 및 비파괴시험에 의한 MOE의 평가에 있어서, 합판의 경우 약 -20%로 작게, LVL에 있어서는 약 20% 크게 파괴시 MOE에 대한 비파괴時 MOE가 평가되어 ±20% 오차범위에서 實測 MOE의 예측이 가능하였다. 5ply와 7ply 구성간의 파괴시험시의 실측휨탄성계수에 대한 비파괴시험시의 휨탄성계수의 비를 살펴보면, 5ply에 대해서는 목리평행방향 80%, 직각방향 68%로서 실제 파괴시의 강도보다 20%, 32% 감소된 值, 7ply에 대해서는 목리평행방향 87%, 직각방향 95%로서 실제 파괴시의 강도보다 13%, 5% 감소된 值가 나타남으로써 7ply 구성의 경우 5ply 구성보다 편차가 더 적게 나타나는 양상을 보여주었다. 다시 말하여, 7ply쪽이 비파괴시험에 의한 휨강성의 예측신뢰성이 더 크다는 사실을 시사하였다. 이에 대하여, LVL은 목리평행방향이 110%, 직각방향이 119%로서 실제 파괴 휨강도보다도 크게 평가되었는데, 이로써 응력과 전달속도는 목리배향성, 즉, 단판의 목리배열방향이 한방향인지 또는 횡단방향이 관여하는지에 따라 더 증폭 또는 감소되는 경향이 있음을 유추할 수 있었다. 결과로서, 합판의 경우 파괴 및 비파괴간 MOE의 상관관계 R² = 0.53으로써 나타났다(Fig. 2). Ross 등(1991)

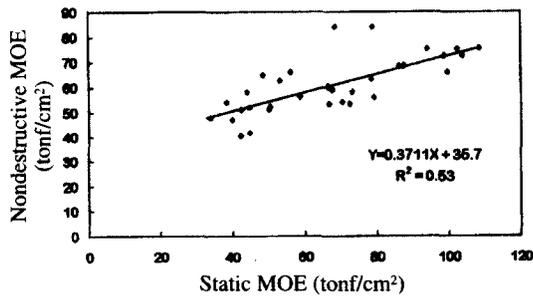


Fig. 2. Correlation between Moduli of elasticity of plywoods at static bending test and nondestructive test.

이 0.7에 근접한 상관계수(R)이면 정의 관계(Positive relationship)라고 한 사실에 비추어 의미있는 결과로 주목되었다.

현재, 합판공장에서 이루어지고 있는 합판의 비파괴품질평가를 들면, 합판 제조, 정치수 재단, 연마공정을 거친 후 가벼운 타격을 가함으로써 접착불량상태를 소리로서 감지하는 수준에 그치고 있다. 그러나, 위에서 고찰한 응력파측정에 의한 비파괴평가방법은 평이하면서도, 시간을 요하지 않고, 인력을 많이 소요하지 않으므로 이러한 등급구분시스템이 생산현장 또는 연구실험실에서 간이평가방법으로서 적용되면 품질관리에 적극 기여할 수 있으리라고 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 라디에타소나무 단판구성(품질, 두께별 Ply수) 및 고밀도 및 중밀도수지합침시트(HDO, MDO)의 표면적층(오버레이)에 의한 합판의 휨성능 평가와 아울러 비파괴시험(응력파측정법)에 의한 단판 및 합판의 휨성능(MOE) 예측이 이루어졌다. 사용된 단판은 두께 1.2, 1.5, 2.4, 3.0mm의 무절급·옹이급 품질이었고, 표면적층재료로서 고밀도 및 중밀도수지합침시트(HDO, MDO)가 사용되었다. 그 주요한 결과는 다음과 같다.

1. 수지합침시트를 표면적층한 5 및 7ply 합판의 표면목리와 평행한 방향에 있어서의 휨강도는 옹이급의 경우 45%, 무절급의 경우 13% 증가하였으며, 휨탄성계수는 옹이급의 경우 34%, 무절급의 경우 17% 증가되었다. 단판구성형태에 있어서는 7ply의 직각방향에서 5ply의 직각방향에서보다 더 큰 增強(또는 增剛)현상을 보였다. 따

라서 강도효율성(목리직각방향의 강도 : 목리평행방향의 강도)면에서 수지합침시트 적층은 뛰어난 효과를 나타낼 수 있는 것으로 판단되었다. 또한, 적층방식에 있어서는 HDO 단독적층방식에 의해 HDO + MDO의 조합적층방식보다 강도성능을 효율적으로 발휘할 수 있는 일면이 있었다. 한편, 휨파괴시의 처짐량은 7ply > 5ply의 크기경향이 나타났으며, 수지합침시트 적층에 의해 처짐량은 감소되었다.

2. Stresswave timer에 의한 응력파측정에 의해 개별단판의 MOE를 비파괴방식으로 평가한 후, 이를 단판구성시 재배치하는 방식으로 합판을 제조하고, 이에 수지합침시트를 적층하는 방식으로 제조된 합판에 대해서 휨성능(MOE)의 예측이 가능하였으며($R^2 = 0.53$). 무처리합판에 대해서는 -20%限, LVL에 대해서는 +20%限의 오차범위에서 비파괴적 휨성능(MOE)이 제시되었다.

참 고 문 헌

1. Cha, J. K., and R. G. Pearson. 1994. Stress analysis and prediction in 3-layer laminated veneer lumber: Response to crack and grain angle. *Wood & Fiber Sci.* 26(1) : 97~106
2. Logan, J. D., P. E.. 1993. Continuous ultrasonic veneer testing: Sorting veneer for structural application
3. Kimmel, J. D., and J. J. Janowiak. 1995. Red maple and yellow-poplar LVL from ultrasonically rated veneer. *Forest Prod. J.* 45(7/8) : 54~63
4. Ross, R. J., R. F. Pellerin. 1991. Nondestructive testing for assessing wood members in structures-A review. USDA Forest Service FPL General Technical Report FPL-GTR-70 : 27
5. 徐珍錫, 朴鍾瑩. 1988. 針葉樹材의 樹種에 따른 單板 切削·乾燥性 및 合板의 品質에 關한 研究. 林業研究院 研究報告 37 : 55~62
6. 徐珍錫, 朴龍吉. 1990. 非破壞強度評價法을 適用한 國產針葉樹集成材의 휨性能. 林業研究院 研究報告 40 : 84~92
7. 徐珍錫, 金奎湜. 1995. 콘크리트거푸집用 針葉樹材合板의 휨·크리프性能 및 시멘트硬化學動. 山林科學論文集 52 : 11~20
8. 徐珍錫. 1996. 表面處理加工에 따른 針·闊葉樹

- 混用合板의 휨性能 및 表面性質, 山林科學論文集 54 : 81~93
9. 日本合板工業組合聯合會, 1984, 南洋材等代替原料開發促進事業報告書 123號
 10. 日本合板工業組合聯合會, 1994, 原料轉換技術開發事業報告書 : 119
 11. 田中俊成, 1988, 各種非破壞試驗による強度性能の推定 - スギ穿孔性害蟲被害材への適用, 木材工業 43(2): 20~25
 12. 佐藤敬一, 山口勝也, 安藤直人, 伏谷賢美, 1989, 合板のAE非破壞試験機の開發- AEによる合板の接着不良の檢出, 木材工業 44(5): 14~18
 13. 차재경, 1996, 국산소경재를 이용한 집성재 개발을 위한 응력파 연구(1)- Glulam 부재의 응력파에 대한 함수율 영향, 목재공학 24(3): 90~100