

삭편판과 단판 또는 합판을 구성 접착한 콤플라이 복합재에 관한 연구*¹

李 弼 宇*²

Studies on Comply-composites bonded with Particleboard and Veneer or Plywood*¹

Phil-Woo Lee*²

SUMMARY

The primary objective of this research was to investigate the strength properties of Comply, a composite panel, fabricated with particle board as core material and veneer or plywood as face and back. 20 types of comply composites were manufactured according to the four specific gravity levels (0.5, 0.6, 0.7 or 0.8) of particleboard core and three veneer or two plywood thicknesses for face and back. They were tested and compared with matching particleboard (control) on moisture content, specific gravity, bending properties (MOE, MOR, SPL), nail resistance and internal bond strength.

The obtained results were summarized as follows:

The increasing effect of modulus of elasticity was shown by the increase of face and back veneer or plywood thickness. The modulus of rupture and stress at proportional limit of the comply composites bonded with 3mm thick veneers or 3mm thick plywood face and back were higher than 2mm thick veneer or 2mm thick plywood as face and back. Both of modulus of rupture and stress at proportional limit on bending of Comply were higher than those of control board. Also the modulus of elasticity of Comply showed much higher than that of control board.

The nail resistance of Comply, composed of plywood as face and back was higher than that of veneer. The nail resistance of control board was higher than that of Comply at Sp.Gr 0.7 and 0.8 core boards.

Internal bond of Comply, composed of 1mm and 2mm thick veneer as face and back was higher than that of 3mm thick veneer.

The increasing effect of modulus of elasticity was shown by the increase of shelling ratio

*1. 接受 1990年 11月 10日 Received November 10, 1990.

본 연구는 한국과학재단의 연구비 지원에 의해서 수행되었음.

*2. 서울대학교 농과대학 College of Agriculture, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea

in Comply composed of veneer and plywood as face and back. The modulus of rupture was increased by the increment of shelling ratio in Comply, composed of plywood as face and back. The modulus of elasticity and modulus of rupture of comply were higher than those of particleboard(control) in effect of shelling ratio.

Therefore it was concluded that the mechanical property values of Comply were clearly greater than those of particleboard(control).

1. 서 론

건축과 가구제작 및 목가공품에 대량으로 이용하여 온 주요 목질판상재료인 합판은 그 원료가 되는 대경원목을 생산할 수 있는 삼림자원이 고갈됨으로 인해 원료구득의 어려움과 동시에 원목의 가격이 폭등하게 되었으며 판상재료로서 새로운 대체재의 개발이 필요하게 되었다.

지금까지 연구되어 온 대체재료는 chipboard, waferboard, oriented strandboard 등의 목질재료가 연구개발되어 사용되고 있다. 그럼에도 불구하고 이들 제품들은 기계적인 성질면에서 합판에 비교하여 상당히 뒤떨어지고 있어서 이를 개선하기 위한 연구가 국내외에서 이루어지고 있는 실정이다.

본 연구는 이러한 연구의 한 방편으로 파티클보드와 단판이나 합판을 구성시킨 복합재료로서 콤플라이(Comply)를 제조하여 보다 재료를 경제적으로 이용하고 강도면에서 재질을 개선함으로써 일반적인 목질재료의 제조 가능성을 검토하여 보고자 착수하였다.

Comply는 심판에 파티클보드를 구성하고 표판과 이면판에는 단판이나 얇은 합판을 붙인 재료로, 이의 잇점은 보다 높은 강도의 재료를 얻을 수 있고, 저질재 및 폐잔재를 원료로 쓸 수 있으며, 수종선택의 폭이 넓고 재료를 경제적으로 쓸 수 있다는 점에서 대체효과가 상당히 클 것으로 생각된다.

본 연구에서는 일반적인 공정으로도 쉽게 제작이 가능한 Comply를 제조하여 이들의 기계적 및 물리적 성질이 개선되어 제재목 및 합판의 용도와 거의 같이 사용할 수 있는 대체품을 개발하는 것이 연구의 주목적이다.

특히 심판에 파티클보드를, 표판과 이면판에 단판이나 합판을 붙인 Comply는 그 구조적 특성 및 치수 안정성 그리고 강도면에 있어서 소재 및 합판의 용도에 거의 필적할 수 있으며, 향상된 원료 이용성 및 기계적 그리고 물리적 특성으로 인해 주택구조용 및 마루판등의 다양한 용도로 뿐만 아니라 각종 가구재료 및 목재가공품에 이용할 수 있는 개발 가능성을 기대할 수 있다.

2. 연구사

목재 자원이 고갈됨에 따라 목재의 효율적인 이용에 관한 연구의 한 방법으로 콤플라이 복합재에 관한 연구가 세계적으로 많은 학자들에 의하여 진행되고 있는데 발표한 연구보고중 일부 내용을 살펴보면 다음과 같다.

미국의 Post, P.W.(1961), Hann, R A(1963) 및 Rice, J.T.(1973)등은 파아티클의 크기 및 수지첨가량이 보오드의 기계적 성질 및 치수안정성에 미치는 영향에 대하여 조사하였으며, Gatchell, C.J.등(1966)은 파아티클의 형태, 수지 및 왁스의 첨가량, 열압시의 열압온도 및 압축률등 파아티클보오드 제조에 관한 제반인자에 따른 보오드의 물리적 및 기계적 성질에 관하여 발표하였다.

Chow, P(1972), Countryman, D.(1975) 및 Lyons, B.E(1975)등은 파티클보오드에 베니아를 오버레이하여 제조한 보 또는 콤플라이보오드를 제조하고 그 기계적 성질을 조사하여 보고한 바 있다. Lyons(1975)은 콤플라이보오드와 합판의 기계적 성질을 비교하여 보고하였다. 한편, Lehmann(1974) 및 Geimer(1978)등은 플레이크보오드의 기계적 성질을 향상시켜 구조용

건축재로 사용할 목적으로 플레이크의 형상 및 성질, 배향성, 보오드의 밀도, 첨가제, 제조 조건을 검토하였다. 그리고 Hse(1975)는 배향성 파티클보오드가 무배향성보다 우수한 기계적 성질을 지님을 보고하였다.

또한, 파아티클보오드의 표리면층에 길이와 폭이 큰 파아티클을 구성하여 우수한 휨성질을 지닌 보오드를 제조할 수 있음을 McNatt(1978, 1979)가 보고하였으며 Gaudert등(1978)과 Schmidt등(1983)은 보오드의 표리면층 및 중층까지 크기가 큰 포플라 웨이퍼를 구성시켜 합판과 대등한 휨 강도를 지니는 웨이퍼보오드 개발에 관심을 보였다.

Geimer(1980, 1981, 1982)는 파아티클보오드 제조시 보오드의 두께로 인하여 발생하는 밀도경사를 이용하면 표리면층에 고밀도가 생겨 I-beam과 같은 효과를 얻을 수 있다는 사실을 근거로 하여 실험을 한 바 있으며 배향성파티클보오드와 무배향성파티클보오드의 기계적 성질 비교에서 배향성보오드가 우수한 탄성계수와 파괴계수를 가짐을 시사하였다.

Koenigshof(1983)는 콤플라이 마루판자 가공에 있어서 경제가능성을 분석 검토하였고 Gavy와 Gjovik(1984)는 수용성 방부제를 처리한 콤플라이 콤포지트 목재의 처리와 건조에 관하여 연구하였다. McAlister(1984)는 트라스 이용을 위한 인장강도를 규명하였으며 또 그(1986)는 플레이크보오드와 남부송목재를 구성한 콤플라이 트라스의 성능을 보고하였다. 그리고 McAlister(1990)는 콤플라이에 관하여 미국의 남동부 임업시험장에서 연구개발한 결과를 요약하여 발표하였다.

국내에서는 이와 박(1982)이 표리층에 목질 파아티클을 그리고 중층에 수피를 구성하여 제조한 보오드가 표층, 중층, 이면층에 관계없이 수피를 혼합한 보오드보다 우수하다고 발표하였으며 이와 박(1983)은 플라스틱 망과 철망을 구성하여 제조한 보오드의 기계적 성질조사에서 두께 6mm 보오드의 경우 철망이 3장 구성된 보오드가 1, 2장을 구성한 보오드보다 우수한

휨강도를 나타낸다고 보고하였다. 이와 서(1985)는 철망 구성보오드가 비구성보오드보다 여러가지 기계적 성질면에서 더 우수함을 발표하였다. 또 박과 이(1986)는 목재파티클과 철선을 복합시켰을 때 철선구성층수 및 철선의 수가 많을 수록 기계적 성질이 개선됨을 보고하였다. 이와 박(1985, 1986)은 목재파티클과 철선복합재료로 만든 보오드의 물리적 기계적 성질을 연구하였고 서와 이(1988)는 폴리프로필렌사 칩과 배향사를 결체한 톱밥보오드의 성질에 관하여 연구보고하였다.

3. 재료 및 방법

3.1 공시재료

3.1.1 심판용재료

3.1.1.1 목재 파티클

본 연구에서 사용한 파티클보오드를 제조하는데 사용한 목재 파티클은 팔만치퍼(pallman chipper)로 파쇄한 칩을 사용하였다. 심판으로 사용한 파티클보오드를 제조하는데 사용한 칩의 크기를 일정하게 하기 위하여 선별(-14mesh~+40mesh)작업을 실시하였다. 선별된 칩은 수일간 천연건조시킨 후 함수율을 8%로 조정하였다. 사용한 목재파티클의 물리적 성질은 table 1에 나타낸 바와 같다.

Table 1. Properties of particle, veneer and plywood for comply composition

Part	M.C.	Sp. Gr.	Size(cm)
Particle	9.77		-14~+40mesh
Veneer			
1mm	9.82	0.33	30×20×1
2mm	10.73	0.48	30×20×1
3mm	9.72	0.44	30×20×1
Plywood			
2mm 2ply	9.90	0.35	30×20×2
3mm 3ply	9.87	0.40	30×20×3

a : Based on oven dry specific gravity.

3.1.1.2 접착제 및 기타첨가제

심판용 파티클보드를 제조하는데 사용한 접착제로는 수지율 52.8%의 요소수지 접착제로 목질재료 전건중량에 대하여 10%를 첨가하여 사용하였으며, 경화제로는 10% NH_4Cl 수용액을 수지고형분에 대하여 10% 첨가하여 사용하였다.

3.1.1.3 표판과 이면판용 재료

콤플라이를 제조하기 위해 표판과 이면판에 붙인 재료는 단판과 합판으로 단판은 라왕으로 두께 1mm, 2mm, 3mm인 것을 사용하였으며, 합판은 라왕 합판으로 두께 1mm 단판 2매를 직교접착시킨 두께 2mm 합판과 1mm 단판 3매를 직교접착시킨 두께 3mm 합판을 사용하여 심판의 표판과 이면판에 접착시켰다. 각 단판과 합판의 측정된 비중과 함수율은 table 1에 나타낸 바와 같다.

3.2 실험방법

3.2.1 파티클보드의 제조

선별된 칩을 사용하여 심판용으로 제조한 파티클보드의 크기는 길이 35cm, 너비 25cm로 하였고 두께는 1.0cm, 1.2cm, 1.4cm, 1.6cm로 하였으며 제조된 보오드의 목표비중을 각각 0.5, 0.6, 0.7, 0.8로 하여 제조하였다.

또 각 종류의 보오드는 8반복을 하여 제조하였다. 보오드의 제조는 먼저 칩, 접착제, 그리고 경화제를 믹서(mixer)에서 혼합시킨 후 성형틀에서 고르게 퍼서 성형시킨 후 열압기에 넣어 제조하였는 바 이때 열압온도는 135°C , 열압시간은 총 8분으로 하여 열압하였으며 압력 스케줄은 fig. 1과 같다.

3.2.2 콤플라이의 구성

콤플라이의 제조는 심판용으로 제조한 길이 35cm, 폭 25cm, 두께 1.0cm, 1.2cm, 1.4cm, 1.6cm의 파티클보드의 표판과 이면판에 단판과 합판을 구성하였다. 먼저 단판접착 콤플라이는 심판두께 1.0cm의 파티클보드에는 3mm의 단판을 표판과 이면판에 1매씩 구성시켰고, 심판두께 1.2cm 파티클보드에는 2mm 단판을 표판과 이

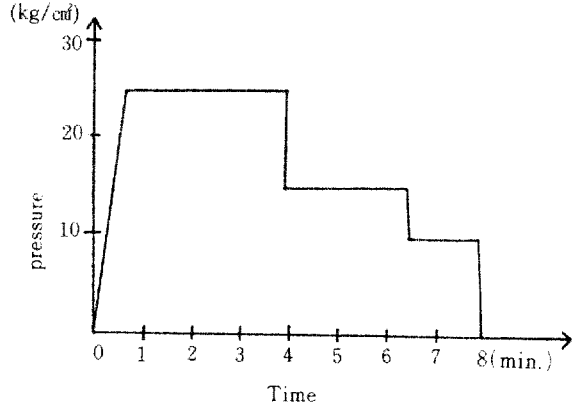


Fig. 1 Hot pressing schedule.

면판에 1매씩 구성시켰으며, 또 심판두께 1.4cm의 파티클보드에는 두께 1mm의 단판을 표판과 이면판에 1매씩 구성시켜 제조후 콤플라이의 최종두께가 1.6cm가 되도록 하여 구성하였다. 합판을 붙인 콤플라이는 표판과 이면판에 두께 1.0mm 단판 2매를 직교접착시킨 2매 합판을 두께 1.2cm 심판에 접착시켰으며, 표판과 이면판에 1.0mm 단판 3매를 직교접착시킨 3매 합판을 두께 1.0cm 심판의 표리면에 구성시켜 제조된 보오드의 최종 두께가 역시 1.6cm가 되도록 구성하였다.

3.2.3 콤플라이의 압체

콤플라이의 제조에는 수지율 52.8%의 요소수지 접착제를 사용하였으며 증량제로 밀가루를 수지중량에 대하여 10%, 경화제로는 10% NH_4Cl 수용액을 10% 첨가하여 제조한 접착제를 도포량 $250\text{g}/\text{m}^2$ 로 단판에 편면도포하여 열압기로 가압하였으며, 이때 열압온도는 110°C , 압체 압력은 $12\text{kgf}/\text{cm}^2$ 로 하여 제조하였고 열압시간은 단판두께 당 1min./mm을 적용하여 제조하였다. 이상과 같이 제조된 보오드는 실온상태의 실험실내에서 방치하며 조습처리 하였다.

3.3 시험방법

3.3.1 물리적 성질

3.3.1.1 비중과 함수율

본 연구에서 제조한 파티클 보오드와 콤플라

이 복합재에 대하여 함수율과 비중을 측정하였는데 함수율은 전건법을 이용하여 측정 산출하였고 비중은 전건비중과 기건비중을 산출하였다. 측정방법은 한국공업규격 KSF 3101(1982)와 3104(1983)의 방법에 의거하여 실시하였다.

3.3.2 보오드의 기계적 성질 조사

3.3.2.1 휨탄성계수와 휨파괴계수 시험

제조된 보오드로부터 ASTM D 1037(1972)에 따라(두께×14+50mm)의 시험편을 보오드 각 1매마다 1개씩 재단하여 만능강도 시험기를 이용하여 측정 산출하였다. 그 각각의 계산식은 다음과 같다.

$$\text{휨탄성계수(M.O.E.,kgf/cm}^2\text{)} = \frac{P \cdot L^3}{4byh^3} \dots\dots 1)$$

$$\text{휨파괴계수(M.O.R.,kgf/cm}^2\text{)} = \frac{3PL}{2bh^2} \dots\dots 2)$$

비례한도내에서의 휨응력 (Spl,Kgf/cm²) =

$$\frac{3P \cdot L}{2bh^2} \dots\dots\dots 3)$$

범예 : P : 최대하중(kgf)

b : 너 비(cm)

h : 두 계(cm)

L : 스 랜(cm)

p : 비례한계하중(cm)

y : 비례한계하중시의 처짐(cm)

3.3.2.2 나사못 유지력 시험

본 연구에서 제조한 파티클 보오드와 콤파라이 복합재의 나사못 유지력 시험은 KSF 3104(1983)의 시험방법에 따라 폭 50mm, 길이100mm의 시험편을 시험용 보오드 1매마다 1개씩 제작한 후 중심에서 좌우로 25mm 떨어진 지점에 지름 2.7mm, 길이16mm의 나사못을 수직으로 약 11mm 돌려 박은 후 만능강도 시험기를 이용하여 측정하였다.

3.3.2.3 발리강도 시험

제조된 보오드의 발리강도 측정은 ASTM D1037(1872)의 시험방법에 따라 시험편을 50×

50(mm)크기로 각 시험용 보오드 1매마다 1개씩을 재단하여 만능강도 시험기를 사용하여 실시하였다.

3.3.3 표리판의 구성비에 따른 기계적 성질 분석

각각의 콤파라이 보오드의 목표 비중별로 표리판의 구성비율(shelling ratio)이 변화함에 따른 기계적성질의 변화 현상을 막대좌표를 통해 나타내고 분석 고찰하였다. 표리판 구성비는 Poo Chow(1972)가 인용한 아래와 같은 공식을 적용 하였다.

$$\text{표리판 구성비} = \frac{2 \cdot t(\text{표판의 두께})}{2 \cdot t + c(\text{심판의 두께})} \dots(4)$$

4. 결과 및 고찰

4.1 비중과 함수율

본 시험에서 제조한 각 종류의 콤파라이에 대한 비중과 함수율을 측정하였는바 그 결과는 table 2에 나타난 바와 같다.

Table 2에서 보는 바와 같이 파티클보오드의 목표비중을 0.5, 0.6, 0.7, 0.8로 하여 보오드를 제조하였으나 실제 파티클보오드의 평균비중은 각각 0.49, 0.57, 0.68, 0.77를 나타내었다.

그러나 비중이 낮은 단판과 합판을 구성한 콤파라이보오드는 table 2에서 보는 바와 같이 대조보오드보다 목표비중에 미치는 영향이 컸으므로 그 편차가 더 크게 나타났다. 즉 심판의 목표비중 0.5인 보오드는 전건비중이 0.5±0.01을 나타내었으며 목표비중 0.6인 보오드는 0.58±0.02를 심판의 목표비중 0.7보오드는 0.63±0.02를 그리고 심판의 목표비중 0.8 보오드는 0.69±0.03을 나타내어 목표비중이 증가할수록 만들어진 콤파라이는 비중변이의 차이가 크게 나타남을 알 수 있다. 두께 1mm 단판을 붙인 콤파라이들을 보면 심판의 목표비중 0.5, 0.6인 것은 0.53과 0.58를 나타내어 목표

Table 2. Composition and measured mean physical properties of Comply**

Type of Comply	Composition of Comply			M.C. (%)	Sp. Gr.		Bending Property			Nail Resistance (Kgf)	Internal Bond (Kgf/cm ²)
	Target	Core P.B	Face and		Oven	Air	M.O.E. (Kgf/cm ²)	M.O.R. (Kgf/cm ²)	SPL (Kgf/cm ²)		
	Sp.Gr	Thick(mm)	Back(mm)								
A	0.5	Control Board(16mm)*		9.76	0.49	0.47	3134.81	31.91	24.27	25.19	2.69
B	0.6	Control Board(16mm)*		9.53	0.57	0.55	7665.44	59.52	47.62	40.38	3.07
C	0.7	Control Board(16mm)*		9.83	0.68	0.66	1932.62	75.50	55.64	58.69	3.63
D	0.8	Control Board(16mm)*		10.02	0.77	0.75	12212.08	90.85	68.84	62.25	3.22
A-a	0.5	14	Veneer 1	9.84	0.53	0.51	6482.51	213.04	157.00	26.25	2.71
B-a	0.6	14	Veneer 1	11.10	0.58	0.56	25696.37	314.55	234.26	42.63	3.27
C-a	0.7	14	Veneer 1	9.79	0.64	0.62	16257.49	332.75	230.20	54.81	3.85
D-a	0.8	14	Veneer 1	10.10	0.73	0.71	23743.63	360.64	223.64	61.63	3.34
A-b	0.5	12	veneer 2	9.90	0.53	0.52	21599.75	235.31	181.00	29.13	2.23
B-b	0.6	12	Veneer 2	9.86	0.60	0.59	19245.93	375.87	291.53	41.06	3.30
C-b	0.7	12	Veneer 2	10.22	0.66	0.64	33132.06	447.42	323.23	52.44	3.71
D-b	0.8	12	Veneer 2	9.95	0.71	0.70	29682.97	432.62	307.66	59.94	3.45
A-c	0.5	10	Veneer 3	9.17	0.52	0.51	34086.59	238.22	201.23	24.00	1.50
B-c	0.6	10	Veneer 3	9.26	0.58	0.57	41371.13	348.11	245.22	29.66	2.97
C-c	0.7	10	Veneer 3	9.92	0.62	0.61	42739.85	296.41	259.45	32.50	2.52
D-c	0.8	10	Veneer 3	9.82	0.67	0.66	39259.78	315.76	212.11	38.00	2.10
A-d	0.5	12	2Ply 2	10.65	0.52	0.51	20012.10	276.29	201.23	38.19	3.11
B-d	0.6	12	2Ply 2	10.16	0.55	0.54	22289.48	360.94	216.94	58.81	4.65
C-d	0.7	12	2Ply 2	10.21	0.61	0.60	19952.38	332.69	212.76	55.50	3.61
D-d	0.8	12	2Ply 2	10.26	0.67	0.65	21531.87	345.64	191.10	56.63	4.35
A-e	0.5	10	2Ply 3	11.40	0.51	0.50	28428.34	296.45	237.59	52.94	3.14
B-e	0.6	10	2Ply 3	10.36	0.58	0.56	31301.61	391.56	276.01	53.06	4.44
C-e	0.7	10	2Ply 3	10.45	0.63	0.61	28514.18	380.82	266.24	59.25	4.41
D-e	0.8	10	2Ply 3	10.70	0.68	0.65	25955.53	447.87	265.17	66.00	4.59

* The values in parentheses are thickness of particleboard(control)

** All values are mean of eight replications on each tested item.

비중에 근접하고 있음을 알 수 있으나 심판의 목표비중 0.7, 0.8은 각각 0.64와 0.74를 나타내고 있어 목표비중에 훨씬 미달함을 알 수 있다. 두께 2mm 단판을 붙인 콤폴라이도 목표비중 0.5, 0.6인 것과 0.53과 0.60를 나타내나 0.7, 0.8은 각각 0.62, 0.67를 나타냄으로서 표판과 이면판을 붙인 단판의 두께가 커질수록 목표비중은 더욱 떨어지는 경향은 보여주고 있다. 2매 합판을

붙인 경우에는 심판 목표비중 0.5, 0.6은 각각 0.52, 0.55 그리고 목표비중 0.7, 0.8인 경우 0.63, 0.68를 보여주어 역시 목표비중에서 크게 미달함을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 목표비중의 심판보오드에 비중이 훨씬 낮은 단판이나 합판을 구성시킴으로서 전체 비중이 감소한데 기인한 것이라고 믿어진다.

제조된 보오드에 있어서 측정된 각각의 함수

율을 나타내면 table 2에서 보는 바와 같으며 대조 보오드의 경우에는 $9.77 \pm 0.25\%$ 이었으며 콤프라이 복합재는 $10.16 \pm 0.53\%$ 로 콤프라이 복합재가 전체적으로 약간 높은 값을 나타내었다. 또한 단판만을 붙인 복합재는 $9.91 \pm 0.48\%$ 이었으나 합판을 표판과 이면판으로 붙인 복합재는 $10.52 \pm 0.40\%$ 로서 함수율이 조금 더 높은 경향을 나타내고 있다.

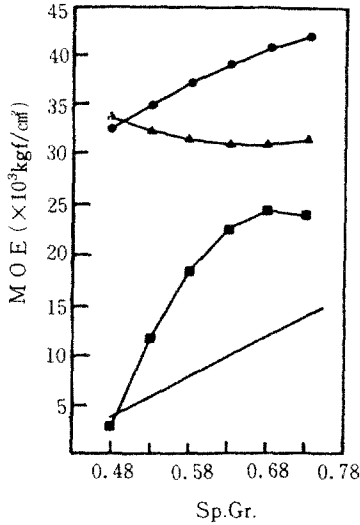
4.2 휨탄성계수(M.O.E.)

본 연구에서는 심판의 비중이 증가함에 따라 휨탄성계수와와의 관계를 알아보고자 하였던 바 본 실험에서 측정 조사된 콤프라이와 대조보오드의 휨탄성계수는 table 2에 나타난 바와 같다. 대조보오드 목표비중 0.5는 $3.13 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$, 0.6은 $7.66 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$, 0.7은 $1.19 \times 10^4 \text{kgf/cm}^2$, 0.8은 $1.22 \times 10^4 \text{kgf/cm}^2$ 으로 비중이 0.5에서 0.6으로 증가함에 따라 가장 큰 변이를 보였으며 비중이 클수록 M.O.E가 커지는 경향을 보였다. 또 계산된 대조보오드의 회귀식은 $Y^{**} = 40030.96X - 15486$ 로서 고도의 유의성을 보임으로서 비중의 증가에 따라 M.O.E의 증가가 뚜렷함을 알 수 있다. 두께 1mm 단판을 붙인 콤프라이 복합재는 목표비중 0.5가 $6.48 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ 을 나타내었다. 비중 0.5에서 0.6으로 증가할 때는 크게 증가하다가 0.7에서 감소하는 경향을 보이다가 0.8에서는 조금 증가함을 보여 주고 있다. 이들의 계산된 회귀식은 $Y^* = -469187X^2 + 651984.7X - 202054$ 의 회귀식으로서 5%의 유의성을 보여주고 있다. 두께 2mm 단판을 표판과 이면판으로 붙인 콤프라이보오드는 목표비중 0.5가 $2.15 \times 10^4 \text{kgf/cm}^2$, 0.6은 $2.92 \times 10^4 \text{kgf/cm}^2$, 0.7은 $3.31 \times 10^4 \text{kgf/cm}^2$, 0.8은 $2.96 \times 10^4 \text{kgf/cm}^2$ 으로서 비중이 0.7까지 증가할 때는 탄성계수도 증가하지만 그 이상일 때는 감소함을 보여 주었으나 비중을 종속변수로 한 이들의 회귀식은 유의성이 없었다. 또 두께 3mm 단판을 붙인 콤프라이 복합재는 목표비중 0.5가 $3.40 \times 10^4 \text{kgf/cm}^2$, 0.6은 $4.13 \times 10^4 \text{kgf/cm}^2$, 0.7은

$4.27 \times 10^4 \text{kgf/cm}^2$, 0.8은 $3.92 \times 10^4 \text{kgf/cm}^2$ 으로서 역시 비중이 0.7까지 증가함에 따라 M.O.E. 값도 증가하나 그 이상에서는 떨어짐을 보여주고 있고 이들의 회귀식은 유의성이 없었다. 두께 2mm의 2매 합판을 붙인 복합재는 목표비중 0.5일 때 $2.00 \times 10^4 \text{kgf/cm}^2$, 0.6일 때 $2.22 \times 10^4 \text{kgf/cm}^2$, 0.7일 때 $1.99 \times 10^4 \text{kgf/cm}^2$, 0.8일 때 $2.15 \times 10^4 \text{kgf/cm}^2$ 을 보여주고 있으며 이들의 회귀식은 유의성을 나타내고 있지 않았다. 두께 3mm의 3매 합판을 표판으로 붙인 복합재는 목표비중 0.5일 때 $2.84 \times 10^4 \text{kgf/cm}^2$, 0.6은 $3.13 \times 10^4 \text{kgf/cm}^2$, 0.7은 $2.85 \times 10^4 \text{kgf/cm}^2$, 0.8은 $2.95 \times 10^4 \text{kgf/cm}^2$ 으로서 0.6까지는 증가하나 그 이후로는 떨어지는 경향을 보여주며 이들의 회귀식도 유의성이 없었다. 단판을 붙인 콤프라이의 비중과 탄성계수와와의 상관관계는 fig.2에 그리고 합판을 붙인 콤프라이의 비중과 탄성계수와와의 상관관계는 fig.3에 보여주고 있는 바와 같다. 각 보오드의 휨탄성계수는 대조보오드보다 콤프라이 복합재에서 월등히 높은 값을 나타냈으며 표판과 이면판에 붙인 단판의 두께가 3mm인 경우에 2mm나 1mm 단판을 붙인 경우보다 매우 높은 탄성계수값을 나타내었으며 두께 3mm의 3매 합판을 붙인 경우에는 두께 2mm의 2매 합판을 붙인 경우보다 높은 탄성계수값을 나타내고 있음을 본 연구를 통해 알 수 있었다.

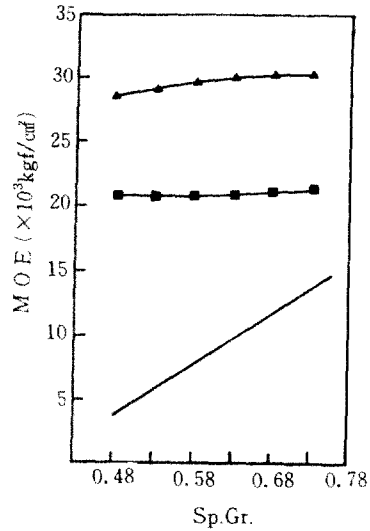
4.3 휨파괴계수(M.O.R)

본 연구에서 제조한 콤프라이와 대조보오드의 휨파괴계수는 table 2에 나타난 바와 같으며 대조 보오드중 비중이 0.5인 것은 31.9kgf/cm^2 , 0.6은 59.52kgf/cm^2 , 0.7은 75.50kgf/cm^2 , 0.8은 90.85kgf/cm^2 으로서 비중이 증가 할수록 파괴계수가 커짐을 알 수 있으며 회귀식은 $Y^{**} = 255.45X - 90.12$ 로서 고도의 유의성이 있었다. 두께 1mm 단판을 붙인 것은 목표비중 0.5가 213.04kgf/cm^2 , 0.6은 341.55kgf/cm^2 , 0.7은 332.75kgf/cm^2 , 0.8은 360.64kgf/cm^2 로서 역시 비중이 클수록 증가함을 보여주며 이의 회귀식은



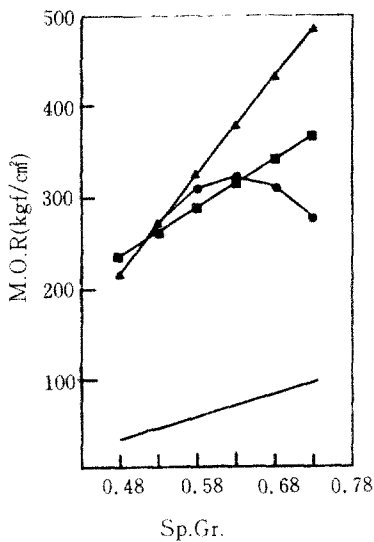
Cont $Y^{**} = 40030X - 15485$
 1mmV $Y^{*} = -469187X^2 + 6519884X - 202054$
 2mmV $Y = 82073.3X^2 - 108024X + 66396$
 3mmV $Y = -57718X^2 + 107394.7X - 583514$

Fig. 2 Relationship between specific gravity and modulus of elasticity on comply composed of veneer face and back



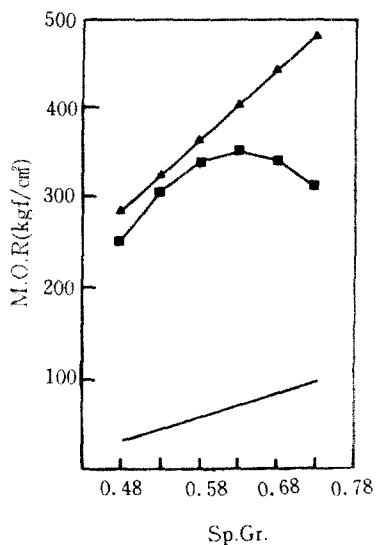
Cont $Y^{**} = 40030.96X - 15485$
 2mmP $Y = 15673.45X^2 - 16455X + 25147.06$
 3mmP $Y = -31360.8X^2 + 45291.54X + 14029.49$

Fig. 3 Relationship between specific gravity and modulus of elasticity on comply composed of plywood face and back



Cont $Y = 255.45X - 90.12$
 1mmV $Y^{**} = 525.23X - 15.62$
 2mmV $Y^{**} = 1075.4X - 298.68$
 3mmV $Y = 4644X^2 + 5878.2X - 1537$

Fig. 4 Relationship between specific gravity and modulus of rupture on comply composed of veneer face and back



Cont $Y^{**} = 255.45X - 90.12$
 2mmP $Y = -4315.03X^2 + 5454.8X - 1372.9$
 3mmP $Y^{*} = 785.53X - 91.93$

Fig. 5 Relationship between specific gravity and modulus of rupture on comply composed of plywood face and back

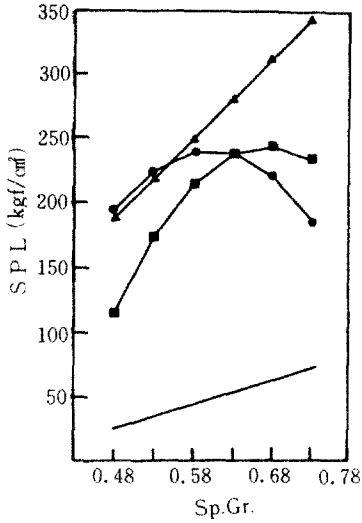
$Y^{**} = 525.23X - 15.62$ 로 고도의 유의성을 보여 주었다. 두께 2mm 단판을 붙인것은 목표비중 0.5일때 235.31kgf/cm², 0.6일때 375.87kgf/cm², 0.7일때 447.42kgf/cm², 0.8일때 432.62kgg/cm²를 보여주었다. 이들의 회귀식은 $Y^{**} = 1075.43X - 298.68$ 으로 고도의 유의성을 보여주었다. 두께 3mm 단판을 붙였을 때는 목표비중 0.5일때 238.22kgf/cm², 0.6일때 348.11kgf/cm², 0.7일때 296.41kgf/cm², 0.8일때 315.76kgf/cm²로서 비중 0.6까지 증가할때는 휨파괴계수도 증가하고 0.7일때 약간 떨어지지만 다시 증가하는 경향을 보였다. 이들의 회귀식은 유의성을 나타내지 않았다. 2매 합판을 표판과 이면판으로 붙인 경우에는 목표비중 0.5일때 276.64kgf/cm²으로 비중이 0.6까지 증가할때는 휨파괴계수도 증가하다가 0.7일때 약간 감소하고 다시 증가하는 현상을 보여주었다. 두께 3mm의 3매 합판을 표판과 이면판으로 붙인 경우에는 목표비중 0.5일때 296.45kgf/cm², 0.6일때 391.56kgf/cm², 0.7일때 386.82kgf/cm², 0.8일때 447.87Kfg/cm²으로 나타났으며 이들의 회귀식은 $Y^* = 785.53X - 91.93$ 로 5%의 유의성을 보여주었다. 단판을 붙인 콤파라이의 비중과 휨파괴계수와의 상관관계는 fig.4에 그리고 합판을 붙인 콤파라이의 비중과 휨파괴계수와의 상관관계를 나타내면 fig.5에 보여주고 있는 바와 같다.

대조 보오드에서 휨파괴계수는 보오드의 비중이 높아질 수록 비례하여 증가하였으며 표판과 이면판에 두께 1mm 단판을 붙인 콤파라이복합재는 두께 2mm나 3mm 단판을 붙인 콤파라이복합재보다 낮은 휨파괴계수를 보였고 두께 2mm나 3mm를 붙인 경우에 있어서는 2mm 단판을 붙인 경우에 약간 더 높은 휨 파괴계수를 나타내었다. 표판과 이면판에 두께 2mm의 2매 합판과 두께 3mm의 3매 합판을 붙여 제조한 복합재에 있어서는 3매합판을 붙인 경우에 더 높은 휨파괴계수 값을 얻을 수 있었고 3매 합판을 붙인 경우에 단판만을 붙인 콤파라이복합재의 경우보다 더 높은 경향을 보여주었다. 파티클 보오드로만 제조한 대조보오드보다 콤파라이 시켰을때 뚜렷하

게 높은 재질개선 효과를 볼 수 있었다.

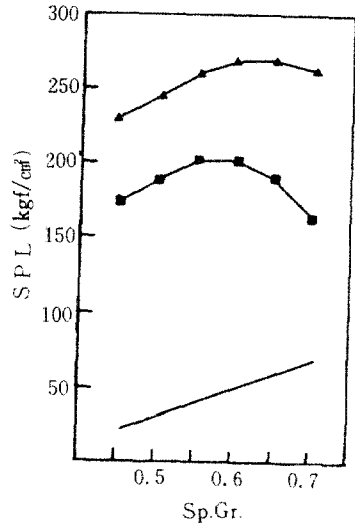
4.4 비례한도에서의 휨응력(S.P.L.)

각 보오드의 Spl은 table 2에 보는 바와 같다. 대조보오드의 Spl은 목표비중 0.5일때 24.26kgf/cm², 0.6일때 47.62kgf/cm², 0.7일때 55.64kgf/cm², 0.8일때 68.84kgf/cm²로서 비중이 증가할때마다 비례한도에서의 응력이 증가함을 알 수 있으며 이들의 회귀식은 $Y^{**} = 184.56X - 62.58$ 로서 고도로 유의하다. 두께 1mm 단판을 붙였을때는 목표비중 0.5일때 157.00kgf/cm², 0.6일때 234.26kgf/cm², 0.7일때 230.20kgf/cm², 0.8일때 223.64kgf/cm²로서 비중이 0.6까지는 증가하다가 그 이후로 점점 감소하는 경향을 보여주었으며 이들의 회귀식은 $Y^{**} = -3461.3X^2 + 4655.56X - 1321.97$ 로 고도로 유의함을 보여주었다. 두께 2mm 단판을 표판과 이면판으로 붙였을 때는 목표비중 0.5일때 181.00kgf/cm², 0.6일때 291.53kgf/cm², 0.7일때 323.23kgf/cm², 0.8일때 307.66kgf/cm²로서 이들의 회귀식은 $Y^{**} = 619.73X - 111.09$ 로 고도로 유의함을 보여주었다. 두께 3mm 단판을 붙였을 경우 목표비중 0.5일때 201.51kgf/cm², 0.6일때 245.22kgf/cm², 0.7일때 254.45kgf/cm², 0.8일때 212.11kgf/cm²을 나타내었으며 이들의 회귀식은 유의성이 없었다. 두께 2mm의 2매 합판을 붙인 경우 목표비중이 0.5일때 201.53kgf/cm², 0.6일때 216.94kgf/cm², 0.7일때 212.76kgf/cm², 0.8일때 191.10kgf/cm²을 나타내었다. 0.6까지는 증가하다가 그 이후로는 감소하는 경향을 나타내었다. 이들의 회귀식은 유의성이 없었다. 두께 3mm의 3매 합판을 붙인 경우 목표비중 0.5일때 237.59kgf/cm², 0.6일때 276.01kgf/cm², 0.7일때 266.24kgf/cm², 0.8일때 265.17kgf/cm²을 나타내었으며 이들의 회귀식도 역시 유의성이 없었다. 단판을 붙인 콤파라이의 비중과 비례한도 응력과의 상관관계는 fig.6에 그리고 합판을 붙인 콤파라이의 비중과 비례한도응력과의 상관관계를 나타내면 fig.7에 보여주고 있는 바와



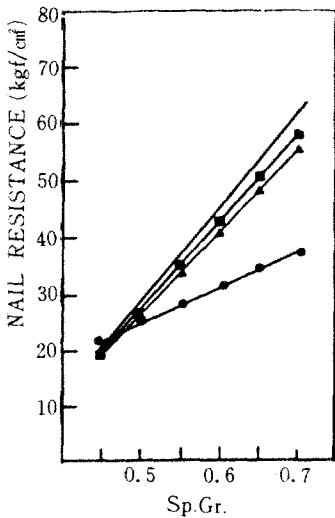
— Cont $Y^{**} = 184.56X - 62.58$
 ■ 1mmV $Y = 3461.3X^2 + 4655.56X - 1321.9$
 ▲ 2mmV $Y^{**} = 619.73X + 111.09$
 ● 3mmV $Y = 3278X^2 + 3933.5X - 9.40$

Fig. 6 Relationship between specific gravity and stress at proportional limit on comply composed of veneer face and back



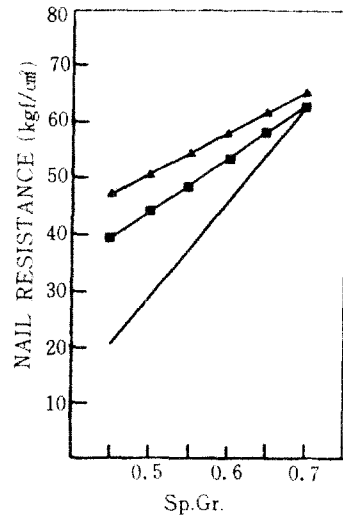
— Cont $Y^{**} = 184.56X - 62.58$
 ■ 2mmP $Y = -1531.7X^2 + 1931.2X - 339.5$
 ▲ 3mmP $Y = -2574.64X^2 + 29724X - 655.15$

Fig. 7 Relationship between specific gravity and stress at proportional limit on comply composed of plywood face and back



— Cont $Y^{**} = 167.48X - 54.75$
 ■ 1mmV $Y^{**} = 154.23X^2 - 49.87$
 ▲ 2mmV $Y^{**} = 147.84X - 47.69$
 ● 3mmV $Y^* = 63.85X - 7.20$

Fig. 8 Relationship between specific gravity and nail resistance on comply composed of veneer face and back



— Cont $Y^{**} = 167.48X - 54.75$
 ■ 2mmP $Y^* = 92.64X - 2.35$
 ▲ 3mmP $Y^* = 72.36X - 14.71$

Fig. 9 Relationship between specific gravity and nail resistance on comply composed of plywood face and back

같다.

모든 콤파라이보드는 대조보드보다 월등히 높았으며 두께 2mm 단판을 붙인 복합재가 두께 1mm 단판을 붙인 복합재보다 높았으며 두께 3mm 단판은 이 보다 더 낮았다. 두께 3mm의 3매 합판은 두께 2mm의 2매 합판보다 더 높았다.

4.5 나사못 유지력

각 보오드의 나사못유지력은 table 2과 같다.

대조 보오드의 나사못 유지력을 보면 목표비중이 0.5일때 25.19kg, 0.6일때 40.38kg, 0.7일때 58.69kg, 0.8일때 62.25kg이며 이들의 회귀식은 $Y^{**}=167.48X-54.71$ 으로 고도의 유의성을 나타내었고 두께 1mm 단판을 붙였을 경우 목표비중 0.5일때 26.25kg, 0.6일때 42.63kg, 0.7일때 54.81kg, 0.8일때 61.63kg이며 이들의 회귀식은 $Y^{**}=154.23X-49.87$ 으로 고도로 유의하다. 두께 2mm 단판을 붙였을 때 비중의 증가함에 따라 나사못 유지력은 증가하며 이들의 회귀식은 $Y^{**}=147.84X-47.69$ 으로 고도로 유의함을 보여주었고 두께 3mm 단판을 붙였을 경우 목표비중 0.5는 24.00, 0.6일때 29.66, 0.7일때 32.50, 0.8일때 38.00으로 이들의 회귀식은 $Y^*=63.85X-7.10$ 으로 5%의 유의성을 보여주었다. 두께 2mm의 2매 합판을 붙였을 경우 목표비중 0.5일때 38.19, 0.6일때 58.81, 0.7일때 55.50, 0.8일때 56.63으로서 이들의 회귀식은 $Y^*=92.64X-2.35$ 로 비중의 증가에 따라 역시 5%의 유의성이 있음을 알 수 있고 두께 3mm의 3매 합판을 붙였을 경우 목표비중 0.5일때 52.9kg, 0.6일때 53.06kg, 0.7일때 59.25kg, 0.8일때 66.00kg으로 이들의 회귀식은 $Y^*=71.86X+14.71$ 로 5%의 유의성을 나타내었다. 단판을 붙인 콤파라이의 비중과 나사못 유지력과의 상관관계는 fig.8에 그리고 합판을 붙인 콤파라이의 비중과 나사못 유지력과의 상관관계는 fig.9에 보여주고 있는 바와 같다.

두께 1mm 단판을 표판과 이면판으로 붙인 것이

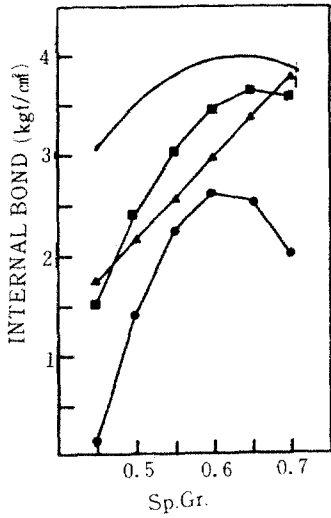
두께 2mm와 3mm 단판을 붙인 것보다 더 컸으며 합판을 붙인 것이 단판을 붙인 것보다 나사못유지력이 더 크며 두께 3mm의 3매 합판을 붙인 것이 두께 2mm의 2매 합판을 표판과 이면판에 붙인 것보다 더 크다.

4.6 박리강도

각 보오드의 박리강도는 table 2에 보는 바와 같으며 대조 보오드의 경우 비중에 관계없이 거의 일정한 값을 가지며 이들 사이의 유의성은 없었다. 표판과 이면판에 두께 1mm와 2mm 단판을 붙인 경우에는 각각 모두 유사한 값을 보여 주었으며 이중 두께 2mm 단판을 붙였을 때만 $Y^*=0.31X^2+7.76X-1.80$ 로 5%의 유의성을 나타내었다. 그러나 두께 3mm 단판을 붙였을 경우는 오히려 강도가 저하되는 경향을 나타내었는데 이는 사용된 두께 3mm 단판의 접합면이 1mm나 2mm 단판의 접합면보다 거칠었으므로 접착이 불량했기 때문이라 사료된다. 표판면과 이면판에 두께 2mm의 2매 합판과 두께 3mm의 3매 합판을 붙인 경우의 복합재의 강도가 단판을 붙인 강도보다 높은 값을 나타내었고 그 두 경우에는 큰 차이가 없었다. 단판을 붙인 콤파라이의 비중과 박리강도와의 상관관계는 fig.10에 그리고 합판을 붙인 콤파라이의 비중과 박리강도와의 상관관계는 fig.11에 보여주고 있다.

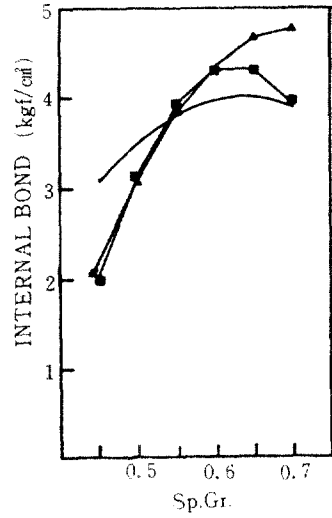
4.7 표리면판의 구성비(Shelling Ratio)

보오드의 구성비와 강도와의 관계를 고찰하여 보면 먼저 탄성계수에 있어서 fig.12에 나타나 있는 막대좌표와 같이 단판의 경우에는 모든 목표비중에서 구성비가 증가함에 따라 강도가 모두 뚜렷하게 증가하고 있음을 알 수 있으나 비중이 증가하고 표리면판의 구성비가 증가한다고 하여도 탄성계수가 이에 상응하여 반드시 증가한다고 볼 수는 없는 현상을 보여주고 있다. 그리고 합판의 경우에 있어서 표리면판의 구성비가 증가함에 따라 모든 목표비중에서 보



— Cont $Y = -27.5X^2 + 34.93X - 7.09$
 ■ 1mmV $Y = -46.63X^2 + 61.82X - 1625$
 ▲ 2mmV $Y^* = 0.31X^2 + 7.76X - 1.8$
 ● 3mmV $Y = -91.44X^2 + 112.71X - 32.09$

Fig. 10 Relationship between specific gravity and internal bond on comply composed of veneer face and back



— Cont $Y = -275X^2 + 3493X - 7.09$
 ■ 2mmP $Y = -7617X + 9539X - 2552$
 ▲ 3mmP $Y = -437X + 6089X - 1646$

Fig. 11 Relationship between specific gravity and internal bond on comply composed of plywood face and back

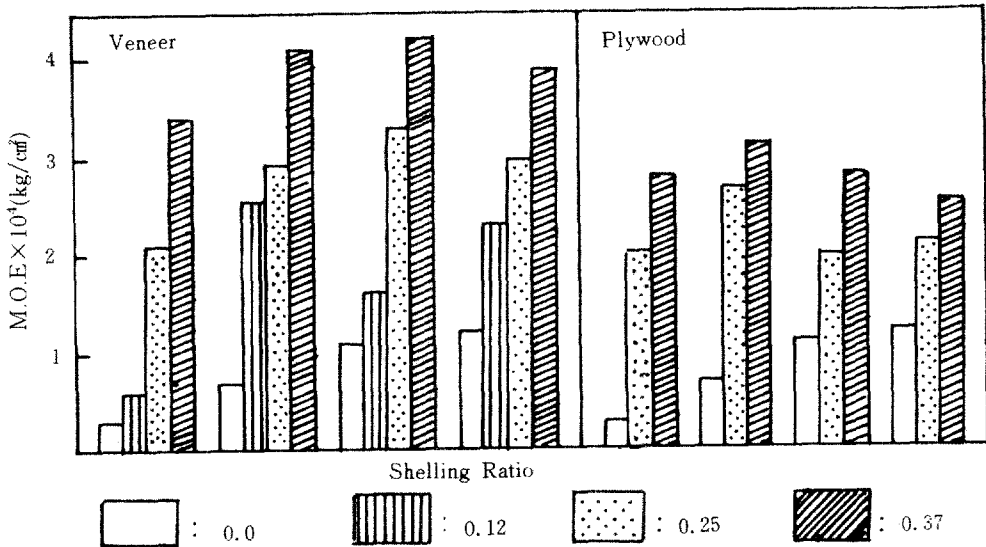


Fig. 12 The histogram of modulus of elasticity by shelling ratio on comply composed of veneer and plywood as face and back.

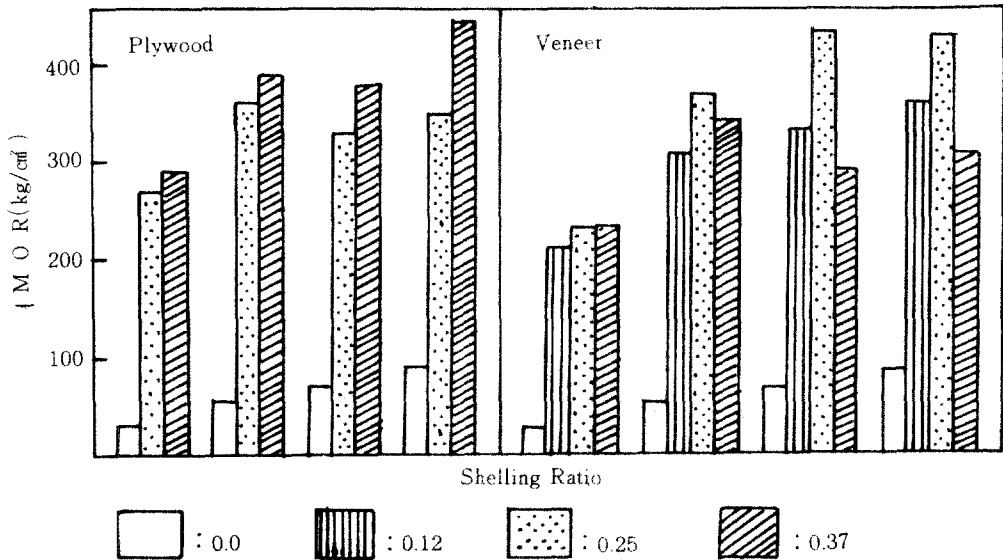


Fig. 13 The histogram of modulus of rupture by shelling ratio on comply composed of veneer and plywood as face and back

여주고 있는 바와 같이 탄성계수의 값도 뚜렷하게 증가하고 있다. 그러나 비중이 증가하고 표리면판의 구성비가 일정할때 탄성계수의 절대 값은 오히려 비슷한 값을 보여주거나 낮은 값을 나타내고 있어서 구성비(shelling ratio)가 일정하고 비중이 증가한다고 하여도 탄성계수에는 큰 영향을 미치지 못한다는 것을 알 수 있다.

또 파괴계수에 있어서는 fig.13에 나타나 있는 바와 같이 단판의 경우 대체로 비중이 증가하고 표리면판의 구성비가 증가함에 따라 증가하고 있는 경향을 나타내고 있으나 저비중치(0.5)를 제외한 모든 목표비중에서 구성비 0.25까지는 강도가 증가하나 그 이상의 구성비인 0.37에서는 오히려 감소하는 현상을 보여주고 있어서 표리면판의 구성비가 높은 것이 반드시 좋다고 말할 수 없다. 그리고 합판의 경우에 있어서는 대체로 모든 목표비중에서 표리면판의 구성비가 증가함에 따라 강도가 모두 증가함을 보여주고 있어서 단판의 경우와는 다른 경향을 나타내고 있다.

한편 대조 보오드와 합판과 단판으로 표리면판을 구성시킨 보오드의 표리면판구성비가 휨성질에 미치는 효과를 비교할때 탄성계수와 파괴계수에 모두 뚜렷하게 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

심판의 재료로 파티클보오드를 사용하고 표면과 이면판의 재료로 두께 1.0, 2.0, 3.0mm 단판과 두께 2mm의 2매 합판 두께 3mm의 3매 합판을 적층접착시킨 콤플라이 복합재를 제조하여 물리적 및 기계적 특성을 시험조사하여 재질 개선 여부를 분석 검토하고자 한 본 연구를 수행하여 얻은 결론을 지으면 다음과 같다.

(1) 본 연구에서 제조한 각 보오드의 휨탄성계수는 대조보오드에서 보다 콤플라이 복합재에서 월등히 높은 값을 나타냈으며 표판과 이면판에 붙인 단판의 두께가 3mm인 경우에 2mm나 1mm인 경우에서 보다 매우 높은 탄성계수 값을

나타냈고, 두께 3mm의 3매 합판을 붙인 경우에는 두께 2mm의 2매 합판을 붙인 경우보다 높은 탄성계수 값을 나타냈다.

(2) 대조보오드에서 휨과피계수는 보오드의 비중이 높아질수록 휨과피계수는 보오드의 비중에 비례하여 증가하였다. 콤폴라이 복합재에 있어서의 휨과피계수도 비중이 높아 질수록 증가하는 경향을 보여 주었으며 표판과 이면판에 두께 1mm 단판을 붙인 콤폴라이 복합재는 두께 2mm나 3mm 단판을 붙인 콤폴라이 복합재보다 낮은 휨과피계수를 보였고 두께 2mm와 3mm를 붙인 경우에 있어서는 두께 2mm 단판을 붙인 경우에 약간 더 높은 휨과피계수를 나타냈다.

(3) 표판과 이면판에 두께 2mm의 2매합판과 두께 3mm의 3매 합판을 붙여 제조한 콤폴라이 복합재에 있어서는 3매합판을 붙인 경우에 훨씬 더 높은 휨과피계수 값을 얻을 수 있었고 3매 합판을 붙인 경우에는 단판만을 붙인 콤폴라이 복합재의 경우보다 더 높은 경향을 보여 주었다.

(4) 휨과피계수도 휨탄성계수와 마찬가지로 파티클보오드로만 제조한 대조보오드 보다 월등히 높은 값을 나타내어 콤폴라이 시켰을 때 뚜렷한 재질개선 효과를 볼 수 있었다.

(5) 나사못 유지력은 대조보오드와 콤폴라이 복합재 모두에서 비중이 높아질수록 현저하게 증가하는 양상을 보여 주었다. 콤폴라이 복합재에 있어서 나사못 유지력은 비중 0.5와 비중 0.6에서는 대조보오드보다 높은 값을 나타냈으나 비중 0.7과 비중 0.8에서는 오히려 대조보오드보다 낮은 나사못 유지력을 보여 주었다. 단판과 합판을 붙인 콤폴라이에서 나사못 유지력은 합판을 붙인 경우에 단판을 붙인 경우보다 월등히 높은 값을 나타내었으며 단판을 붙인 경우에 있어서는 두께 1mm과 2mm 단판을 붙인 경우에 두께 3mm 단판을 붙인 경우 보다 높은 값을 나타내었다.

(6) 박리강도는 표판과 이면판에 단판을 붙인 경우에 두께 1mm와 2mm 단판을 붙인 경우에는 유사한 값을 나타냈으나 두께 3mm 단판을 붙였을 경우에는 오히려 강도가 저하되는 경향을 보였

는데 이는 사용된 3mm 단판의 접착면이 1mm나 2mm 단판보다 거칠었던 때문에 콤폴라이 시킬 때 접착이 불량해졌기 때문으로 사료된다. 표판과 이면판에 두께 2mm의 2매합판과 두께 3mm의 3매합판을 붙인 콤폴라이 복합재의 박리강도는 단판을 접착시킨 경우보다 높은 강도를 나타내었으며 그 두 경우에는 큰 차이가 없었다.

(7) 보오드의 비중에도 불구하고 표리면판의 구성비율(shelling ratio)이 증가함에 따라 단판이나 합판을 구성할 경우 모두 탄성계수값이 뚜렷하게 증가하였으나 과피계수에 있어서는 합판의 경우만 탄성계수와 같은 경향을 나타내었고 단판을 구성한 경우에는 다른 경향을 나타냈다. 그러나 단판과 합판을 구성시킨 표리면판의 구성비율의 다소에도 불구하고 대조보오드(파티클보오드)보다 훨씬 높은 휨성질을 나타냈다.

(8) 이상과 같은 결과를 종합해 볼 때 파티클보오드를 심판으로하고 표판과 이면판에 단판과 합판을 붙여 제조한 콤폴라이 복합재는 휨강도, 박리강도 그리고 나사못 유지력에 있어서 대조보오드보다 매우 우수한 재료적 특성을 나타냄을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Countryman D. 1975. Reserarch program to develop performance specifications for the Veneer-Particleboard Composite Panel. For. Prod. J. 25(9):44-49.
2. Gavy, L.I., and L.R.Gjovik. 1984. Treating and drying composite lumber with waterborne preservatives: part. I. Short specimen testing. For. Prod. J. 34(2):23-26.
3. Gatchell, C.J., and B.G.Heebink. 1966. Influence of component variables on properties of particleboard for exterior use. For. Prod. J. 16(4):19-29
4. Gaudert, P.C.L., and T. Sazbo. 1978.

- Reduced boiling and cooling times for the waferboard bonding test. Canada Forintek, Eastern lab. Tech. Report 536ER, 5pp.
5. Geimer, R.L., and E.W. Price. 1978. Construction variables considered in fabrication of a structural flakeboard. U.S.D.A For. Ser. WO-5:69-80.
 6. Geimer, R.L. 1980. Predicting flakeboards properties ; Improvement in bending properties by aligning a mixture of flake. Proceeding of 14th International Symposium on Particleboard. Washington State Univ. Pullman, Wash.:59-75.
 7. Geimer, R.L. 1981. Predicting shear and internal bond properties of flakeboards. Holz als Roh und Werkstoff 39:409-415.
 8. Geimer, R.L. 1982. Feasibility of producing reconstituted railroad ties on a commercial scales. USDA For. Ser. FPL 411.
 9. Hann, R.A., and J.M. Blacke. 1963. How durable is particleboard? For. Prod. J. 13 (5) : 169-174.
 10. Hse, C.Y. 1975. Exterior structural composite panels with southern pine veneer faces and core of southern hardwood flakes. For. Prod. J. 26(7) : 21-27.
 11. Koenigshof, G.A. 1983. Economic feasibility of manufacturing Comply floor joists, U.S.D.A. Forest Service Research Paper SE-241, Comply Report 26, 37pp.
 12. Lehmann, W.F. 1974. Properties of structural particleboard. For. Prod. J. 24 (1) : 19-26
 13. Lyons, B.E. 1975. Performance of plywood and composite panels under concentrated and impact load. For. Prod. J. 25(9)
 14. McAlister, R.H. 1984. Tensile strength of composite truss lumber as affected by veneer species and lumber width. U.S.D.A. Forest Service Research Paper SE-246. Comply Report 27. 9pp.
 15. McAlister, R.H. 1986. Performance of truss plate joints in structural flakeboard and southern pine dimension lumber, For. Prod. J. 36(3):41-44
 16. McAlister, R.H. 1990. The reserarch and development of comply lumber. U.S.D.A Forest Service General Technical Report SE-53, P.23
 17. McNatt, J.D. 1978. Manufacture and performance of full-size structural flakeboards from Douglas-fir forest residues. USDA For. Ser. WO-5:118-132.
 18. Poo Chow. 1972. Modulus of elasticity and shear deflection of walnut-veneered-particleboard composite beams in flexure. For. Prod. J. 22(11):33-38
 19. Post P.W. 1961. Mechanical and dimensional properties of flakeboards. For. Prod. J. 11(1):34-37
 20. Rice, J.T. 1973. Particleboarded from "Silage" sycamore-Lab. production and testing. For. Prod. J. 23(2):28-35
 21. Schmidt, E.L., H.J. Hall, R.O. Gertjejanen, and C.G. Carl. 1983. Biodeterioration and strength reduction in preservative treated aspen waferboard. For. Prod. J. 39(11/12) : 45-53.
 22. 이필우, 박 현, 1982. 수피보오드의 물리적 성질에 관한 연구. 목재공학 10(6) : 8-15.
 23. _____, _____. 1983. 보강재료를 첨가한 톱밥보오드의 물리적 성질에 관한 연구. 목재공학 11(3) : 31-38.
 24. 이필우. 1985. 목재파티클과 철망결체가 보오드의 물리적 성질에 미치는 영향. 목재공학 13(3) : 3-26.
 25. 이필우, 서진석. 1985. 철망구성이 톱밥보오드의 휨성질에 미치는 영향. 목재공학

- 13(4) : 67-72.
26. 박 현, 이필우. 1986. 목재 파티클과 철선 복합체가 보오드의 물리적 기계적 성질에 미치는 영향. 목재공학 14(1) : 3-44.
27. 이필우, 박 현. 1988. 목재 파티클과 플라 스틱망의 결체가 보오드의 물리적 및 기계적 성질에 영향. 목재공학 16(1) : 21-44.
28. 서진석, 이필우. 1988. 폴리프로필렌사칩과 배향사를 결체한 톱밥보오드의 물리적 및 기계적 성질에 관한 연구. 목재공학 16(2) : 1-41.