

工程變數와 MAPP 結合劑가 亂氣流 混合方式에 의하여 製造된
木纖維-폴리프로필렌纖維 複合材의 性質에 미치는 影響*1

윤형운*2 · 박종영*2

**Effects of Process Variables and MAPP Coupling Agent
on Properties of Wood Fiber-Polypropylene Fiber Composite
by Turbulent Air Mixing*1**

Hyoung-Un Yoon*2 · Jong-Young Park*2

ABSTRACT

Effects of processing variables and MAPP (maleic anhydride polypropylene) coupling agent on the properties of composite were discussed for turbulent-air-mixed woodfiber-polypropylenefiber composites. In this research, density, composition ratio, and mat moisture content were established as processing variables, and emulsified MAPP prepared by direct pressure method was incorporated as the coupling agent. And the turbulent air mixer, which was improved in function through alteration of our previous fiber mixer, was used to mix wood fibers and polypropylene fibers.

At the addition level of 1% MAPP, based on oven-dried wood fiber weight, woodfiber-polypropylenefiber composites generally showed enhanced the physical and mechanical properties. And composites with low to medium densities of 0.6 to 0.8 g/cm³ greatly increased in these property values than with high densities of 1.0 g/cm³ or more by adding 1% MAPP. Thus, MAPP addition was thought to be an effective way of enhancing properties for nonwoven web composites. At the mat moisture contents of 5 to 20%, however, the physical and mechanical properties were not enhanced by adding 1% MAPP. In the composites containing 15% polypropylene fibers, the lowest thickness swelling and water absorption values were observed at the 1% MAPP level. The addition of more than 1% MAPP had the adverse effect on the physical and mechanical properties of composites.

Keywords : Wood fiber, polypropylene fiber, nonwoven web composite, MAPP emulsion, process variables, physical and mechanical properties, turbulent air mixing.

*1 접수 1998년 1월 24일 Received January 24, 1998

본 논문은 1996년도 한국과학재단 국내 Post-Doc.(2311-578)에 지원에 의해 수행되었음.

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

1. 서론

목질계 재료와 열가소성 플라스틱재료는 본질적으로 상용성(compatibility)이 낮은 재료이기 때문에 이들을 複合化 하는데 있어서 많은 어려움이 따른다. 최적의 복합효과를 얻고자 할 때 극성 목질재료와 비극성 플라스틱재료 중 어느 한 쪽의 성질을 바꾸어 주는 것이 바람직하다(Kish *et al.*, 1988; Felix & Gatenholm, 1991). 이러한 경우 비극성 물질을 극성 물질로 전환하는 방법은 물리·화학적으로 매우 어렵고 비경제적이기 때문에 극성 물질을 비극성 물질로 전환하는 기술이 보편적으로 사용되는 방법이다. 즉 목재의 수산기를 제거하거나 비극성기로 전환하는 방법이 주로 이용된다(Rowell, 1990·1991; Westin & Simonson, 1992). 목재와 열가소성 플라스틱의 낮은 상용성을 극복하려는 시도로써 열처리(Yam *et al.*, 1990; Felix *et al.*, 1993), 증자처리(Boldizer *et al.*, 1987) 아세틸화처리(Chtourou *et al.*, 1990; 신, 1997), 접착증강제 또는 결합제(Klason *et al.*, 1984)의 이용 등을 들 수 있다. 이중 결합제를 이용하는 방법이 가장 경제적이며 현실적인 방법으로 통용된다. 목질계 재료와 열가소성 재료로 복합재를 제조하고자 할 때 열가소성 재료의 종류마다 사용되는 결합제의 종류는 다양하다. 熔融式 複合材(Melt Blended Composite)의 제조시 폴리프로필렌과 목분 또는 목섬유를 이용하여 복합화할 때 결합제로 MAPP(Maleic Anhydride Polypropylene)가 가장 광범위하게 연구(Woodshams *et al.*, 1984; Kish *et al.*, 1988; Felix & Gatenholm, 1991; Maldas & Kokta, 1990)되고 있고, 不織布式 複合材(Nonwoven Web Composite)의 연구(Krzysik, 1991)에서도 일부 이용된 바 있다.

지금까지 Nonwoven Web 방법을 적용하여 목섬유와 열가소성 섬유로 제조한 복합재를 제조할 때 밀도, 매트함수율, 혼합비율 등의 공정변수에 대한 기초적인 연구가 아직도 미비한 상태에 있으며, 특히 각각의 공정변수하에서 결합제를 사용할 때 이들이 상호적으로 복합재의 성질에 미치는 영향은 아직 보고된 바 없다. 그러므로 본 연구는 각각의 공정변수에 대하여 MAPP 결합제의 첨가 유무가 목섬유-폴리프로필렌 섬유 복합재의 성질에 어떠한 영향을 미치는지를 평가하기 위하여 시행되었다.

2. 재료 및 방법

2.1 목섬유

목섬유는 (주)대성목재산업에서 중밀도섬유판(MDF)용 섬유를 분양 받아 사용하였다. 이 섬유의 수종은 주로 라디에타 파인(radiata pine, *Pinus radiata*)이 대부분이며, 증해온도 160℃, 증해압력 7~10kgf/cm², 증해시간 2~3분으로 증제한 후 디스크 리파이너로 해섬한 것이다. 이를 튜브건조기(tube dryer)에서 건조시킨 후 조습하여 함수율 약 10% 상태에서 폴리에틸렌 백에 담아 보관하여 사용하였다.

2.2 폴리프로필렌섬유

폴리프로필렌(polypropylene)섬유는 주식회사 금성화학에서 토우(tow)상태의 염색되지 않고 크림프(crimp)가 없는 섬유를 분양 받았다. 이 섬유는 두께 3 데니어(denier), 용융지수(MFI) 25g/10min.으로 종이재단기를 사용하여 섬유장이 1±0.2cm 되게 절단하여 사용하였다.

2.3 MAPP 유화액 제조 (Emulsification of MAPP)

Eastman Chemicals사의 유화지침서 F-126의 Direct Pressure 방법(Eastman Chemicals Co, 1986)에 의거하여 Willey Mill에 넣어 분쇄한 Epolene E-43 Wax(MAPP, Eastman Chemical Company, P.O. Box 431, Kingsport, TN 37662, USA) 40부, 물 84부, KOH (86%) 4부, 계면활성제(Igepal Co, 630) 12부를 내압반응기에 넣고 내부온도 165℃에서 약 45분간 반응하여 유화시켰다. 이때 얻은 MAPP 에멀전의 고형분은 약 40% 였다.

2.4 복합재 제조 및 방법

복합재의 크기는 길이, 폭 및 두께를 25cm, 25cm 및 0.3cm로 제조하였다. 복합재의 제조 공정을 간략히 설명하면 다음과 같다. Table 1의 조건에 의하여 우선 목섬유와 폴리프로필렌섬유를 각각의 혼합비에 따라 亂氣流 纖維混合機에 넣는다. 난기류 섬유혼합기안에 7~8kgf/cm²의 압축공기를 혼합기 후면의 5개의 노즐을 통해 분사하면 혼합기 내에서 난기류가 형성된다. 이 난기류와 섬유끼리의 마찰로 인하여 목

섬유와 폴리프로필렌섬유들이 혼합되게 된다. 10~20 초간 혼합하여 섬유간에 충분한 기계적인 결합이 발생하면 혼합기내에서 꺼내어 성형틀에 넣어 성형하였다. 이때 결합제를 사용할 경우 난기류 섬유혼합기에서 혼합하기 전에 드럼형의 도포장치에서 유화시킨 결합제를 스프레이 도포한 다음 난기류 섬유혼합기에서 혼합하였다. 성형틀에서 수작업으로 균일한 분포가 되도록 혼합된 섬유를 매트상태가 되게 하여 2~4kgf/cm²의 압력으로 약 1분 30초 동안 예비가압하였다. 예비가압이 끝나면 열압 스케줄(Table 1)에 의해 열압하고 열압이 끝나면 즉시 냉압기로 옮겨 열압과 동일한 압력으로 정해진 온도에 이르는 시간 동안 냉각과 동시에 냉압을 시켰다. 이때 적용한 냉각 온도는 약 45℃ 정도를 목표로 하였으며, 냉각이 끝난 보드는 두께와 무게를 측정 후 온도 20±1℃, 상대습도 60±3%의 항온항습실에서 수주간 조습처리를 하였다.

2.5 섬유혼합기 구조 개선

윤과 이(1996, 1997)가 부직포식 복합재를 제조하기 위해 제작한 섬유혼합기의 구조를 다음과 같이 개선하여 본 연구에 이용하였다. 섬유혼합기 후면에 약 30°의 경사를 주어 섬유의 정체를 해소하였고, 스프레이 건을 사용하여 압축공기를 불어넣던 방법을 개선하여 5개의 노즐을 혼합기 후면 하부에 장착하여 노즐의 메인 밸브 스위치를 열어 줌으로써 압축공기에 의한 섬유들간의 혼합이 가능토록 하였다. 이러한 방식으로 제작한 난기류 섬유혼합기(Yoon, 1997)는 이전의 방법에 비해 혼합시간을 약 50~60% 정도 단축할 수 있었으며 보다 균일한 혼합이 가능하였다.

2.6 복합재 제조시 공정변수와 결합제의 영향에 관한 실험

복합재의 밀도 범위에 대한 실험은 밀도를 0.6g/cm³에서 1.2g/cm³까지 0.2g/cm³씩 증가시켜 5반복으로 제조하였다. 혼합비율에 대한 영향을 살펴보고자 폴리프로필렌섬유를 5%, 10% 및 15%의 혼합율로 복합재를 제조하였다. 또한 매트 함수율이 복합재의 물리적 및 기계적 성질에 미치는 영향을 검토하고자 매트 함수율을 5%, 10% 및 20%의 수준으로 제조하였다. 이들 세 경우 모두 MAPP 에멀전을 목섬유의 전건무게에 대하여 고휘분 기준으로 1% 첨가하여 결합제와 공정변수가 복합재의 성질에 미치는 상호영향을 평가하였다. 결합제 수준의 영향 실험에 대

해서는 전건 목섬유에 대해 1%, 3% 및 5%를 드럼형 브랜더에서 스프레이 도포하여 첨가하였다.

2.7 복합재의 물리적 및 기계적 성질 평가

복합재의 기계적 성질에 관한 실험은 KS F 3104 (1987)에 의거하여 휨강도적 성질(MOR, MOE), 박리강도, 인장강도를 10반복 측정하였다. 복합재의 물리적 및 성질은 KS F 3104에 의거하여 密度, 含水率, 두께膨潤率(24시간), 吸水量(24시간)을 10반복 측정하였다. 시험편의 수는 보드 1매당 2개씩을 재단하여 실험하였다. 시험편은 제조된 복합재의 양 옆을 1.5cm씩 재단하여 버리고 5cm씩 4개로 길이방향으로 재단한 다음 2개는 인장강도 시험편으로 나머지 2개는 휨강도 시험용으로 사용하였다. 밀도, 함수율, 박리강도 시험편은 휨강도 시험이 끝난 시험편에서 다시 5cm×5cm로 재단하여 시험하였다. 두께팽윤율과 흡수량 시험편은 휨강도 시험편 재단 부위의 나머지 부분에서 재단하여 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 밀도 및 함수율

Table 2는 본 연구에서 제조한 목섬유-폴리프로필렌섬유 복합재의 밀도와 함수율을 나타낸 것이다. MAPP 결합제를 1%를 첨가한 복합재의 밀도가 MAPP 결합제를 첨가하지 않은 복합재보다 높게 나타났다. 또한 함수율은 결합제를 첨가한 복합재가 낮게 나타났다. 결합제를 첨가한 경우와 첨가하지 않은 경우 모두 목표밀도와 주어진 매트함수율에 일치하도록 설계하였기 때문에 이와 같은 차이는 결합제의 도포에 의한 것이라 생각된다. 제조한 복합재를 수주간 항온항습실에서 조습처리하였음에도 평형함수율에 다다르지 못하는 이유는 폴리프로필렌섬유가 복합재내에 용융되어 흡습성을 떨어트리는 역할은 것으로 생각되었다.

Table 3은 세 밀도 수준 조건에서 결합제의 첨가 유무가 목섬유-폴리프로필렌섬유 복합재의 물리적 성질에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 복합재의 밀도가 높을수록 두께팽윤율과 흡수량이 낮아지는 결과를 나타내었다. Youngquist 등(1990, 1992, 1993)과 Geimer 등(1993)은 복합재의 밀도가 증가할수록 두께팽윤율이 높아지는 것으로 발표하였으나, 윤과 이(1996), 엄과 윤(1997), 이(1997) 및 신(1997)의 연구에 의하면 밀도가 증가할수록 두께팽윤율이 낮아

Table 1. Experimental design for manufacture of wood fiber-polypropylene fiber composites by process variables and MAPP coupling agent.

Process Variables	Serial No.	Manufacturing Conditions								Cooling time (min)
		Target Density (g/cm ³)	Target Mat MC (%)	Hot Pressing Schedules			Composition Ratios			
				Temp. (°C)	Time (min)	Pressure (kgf/cm ²)	Wood fiber (%)	P.P. fiber (%)	MAPP (%)	
Density	1	0.6	10	195	6	20	90	10	0	6
	2	0.8	10	195	6	40	90	10	0	6
	3	1.0	10	195	6	50	90	10	0	6
	4	1.2	10	195	6	60	90	10	0	6
	5	0.6	10	195	6	20	89	10	1	6
	6	0.8	10	195	6	40	89	10	1	6
	7	1.0	10	195	6	50	89	10	1	6
	8	1.2	10	195	6	60	89	10	1	6
Composition Ratio	1	1.0	10	195	6	50	95	5	0	6
	2	1.0	10	195	6	50	90	10	0	6
	3	1.0	10	195	6	50	85	15	0	6
	4	1.0	10	195	6	50	94	5	1	6
	5	1.0	10	195	6	50	89	10	1	6
	6	1.0	10	195	6	50	84	15	1	6
Mat Moisture Content	1	1.0	5	195	6	50	90	10	0	6
	2	1.0	10	195	6	50	90	10	0	6
	3	1.0	20	195	6	50	90	10	0	6
	4	1.0	5	195	6	50	89	10	1	6
	5	1.0	10	195	6	50	89	10	1	6
	6	1.0	20	195	6	50	89	10	1	6
Coupling Agent	1	1.0	10	195	6	50	89	10	1	6
	2	1.0	10	195	6	50	87	10	3	6
	3	1.0	10	195	6	50	85	10	5	6

Table 2. Density and moisture content of woodfiber-polypropylene fiber composites .

Process Variable		Density (g/cm ³) ^a		Moisture Content (%) ^b	
		MAPP 0%	MAPP 1%	MAPP 0%	MAPP 1%
Target Density (g/cm ³)	0.6	0.60 ^c (0.05) ^d	0.62 (0.04)	5.0 (0.2)	4.2 (0.2)
	0.8	0.76 (0.05)	0.80 (0.08)	4.3 (0.3)	3.9 (0.2)
	1.0	0.95 (0.07)	0.93 (0.23)	4.5 (0.3)	3.0 (0.5)
	1.2	1.10 (0.04)	1.11 (0.05)	4.2 (0.2)	2.7 (0.8)
Composition Ratio (WF : PPF)	95 : 5	0.95 (0.05)	1.04 (0.07)	4.5 (0.2)	3.3 (0.4)
	90 : 10	0.95 (0.07)	0.93 (0.23)	4.5 (0.3)	3.0 (0.5)
	85 : 15	0.96 (0.07)	1.05 (0.04)	4.0 (0.3)	2.1 (0.4)
Mat Moisture Content (%)	5	0.97 (0.07)	0.99 (0.05)	2.6 (0.3)	2.5 (0.8)
	10	0.96 (0.05)	0.99 (0.04)	3.0 (0.8)	2.8 (0.4)
	20	0.98 (0.02)	0.99 (0.05)	3.0 (0.5)	2.7 (0.8)
MAPP Additive Content (%) ^e	1	0.93 (0.23)	0.93 (0.23)	3.0 (0.5)	3.0 (0.5)
	3	0.99 (0.06)	0.99 (0.06)	2.7 (0.5)	2.7 (0.5)
	5	1.02 (0.08)	1.02 (0.08)	3.2 (0.3)	3.2 (0.3)

Notes: ^a Oven-dry volume basis, ^b Oven-dry weight basis, ^c Each value is an average of 10 replications,

^d Each value is a standard deviation of 10 replications, ^e Based on the oven-dried wood fiber weight.

WF : Wood Fiber, PPF : Polypropylene Fiber.

진다고 발표한 바 있다. 본 연구결과는 밀도가 증가할수록 두께팽윤율이 낮아진다는 후자의 연구결과와 일치하였다. 이와 같은 현상에 대한 원인은 다음과 같다. 복합재의 밀도가 증가하면 동일체적에서 받는 内部應力은 저밀도 복합재에 비하여 상대적으로 커지게 된다. 이 내부응력의 증가는 용융된 수지를 매트 내에서 보다 빠르게 이동시키고 보다 넓게 분포하도록 도와주는 역할을 한 것으로 생각된다. 저밀도 복합재와는 달리 고밀도 복합재에서는 용융된 수지가 목섬유를 보다 효과적으로 에워 쌓기 때문에 물분자가 목섬유의 수산기에 접근하는 자체가 근본적으로 어렵워 진다. 즉, 일종의 疏水性 水分遮斷膜 (hydrophobic water barrier)이 생성되기 때문에 두께팽윤율이 낮아지는 것으로 추정되었다. 최근 엄과 윤(1997)은 주사전자현미경(SEM) 사진에서 이와 같은 현상을 확인한 바 있다.

MAPP 결합제 1%의 첨가는 통계처리결과에 나타났듯이 모든 밀도 구간에서 두께팽윤율과 흡수량을 저하시키는 역할을 하였다. 따라서 부직포식 복합재 제조시 결합제의 사용은 복합재의 물리적 성질을 향상시키는데 기여하였다. 또한 그 효과는 두께팽윤율의 경우 전밀도범위에서 약 11~39%의 감소율, 흡수량의 경우 약 25~38%의 감소로 나타났다.

Table 4는 세 수준의 밀도 조건에서 결합제 첨가 유무가 복합재의 기계적 성질에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 본 연구의 결과는 결합제를 첨가하지 않은 조건에서 밀도가 증가하면 복합재의 모든 기계적 성질이 직선적으로 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같은 경향은 Youngquist 등(1993)도 이미 보고했지만 동일 수준의 밀도에서 측정된 휨강도의 절대치에서는 차이가 크게 나타났다. 이들의 연구결과를 인용하면 밀도 1.0g/cm³일 때의 복합재의 휨강도(260kgf/cm²)가

Table 3. Physical properties of woodfiber-polypropylenefiber composites by density levels and MAPP addition.

MAPP Additive Content (%)	Target Density (g/cm ³)	Thickness Swelling (%)	Water Absorption (%)
0	0.6	42.2 ^a (5.7) B ^b	144 (11.0) A ^c
	0.8	50.9 (8.3) A	106 (18.1) B
	1.0	24.6 (4.6) DE	43 (10.1) D
	1.2	9.3 (1.1) F	12 (3.8) E
1	0.6	34.1 (7.1) C	99 (20.9) B
	0.8	31.6 (4.3) CD	65 (14.9) C
	1.0	21.7 (3.0) E	32 (9.9) D
	1.2	5.6 (1.3) F	7.7 (1.0) E

Notes: ^a Each value is an average of 10 replications, ^b Each value is a standard deviation of 10 replications,

^c Results of Tukey's studentized range test; same letters are not statistically different at a 0.05-significance

Table 4. Mechanical properties of woodfiber-polypropylenefiber composites by density levels and MAPP addition.

MAPP Additive Content (%)	Target Density (g/cm ³)	MOR (kgf/cm ²)	MOE (kgf/cm ²)	Tensile Strength (kgf/cm ²)
0	0.6	125 ^a (13.0) E	9930 (1050) ^b E	63 (8.0) D ^c
	0.8	255 (31.0) D	27860 (2229) D	120 (16.6) C
	1.0	518 (59.3) B	52700 (7386) C	270 (28.1) A
	1.2	594 (23.2) B	67590 (3510) B	252 (28.6) A
1	0.6	167 (22.3) E	13400 (2492) E	92 (15.7) CD
	0.8	393 (61.9) C	36870 (4610) D	173 (33.5) B
	1.0	676 (60.1) A	59240 (4640) BC	296 (48.4) A
	1.2	705 (86.2) A	79940 (12589) A	275 (27.7) A

Notes: ^a Each value is an average of 10 replications, ^b Each value is a standard deviation of 10 replications,

^c Results of Tukey's studentized range test; same letters are not statistically different at a 0.05-significance level.

본 연구에서 제조한 복합재의 경우 밀도 0.8 g/cm³의 휨강도(255kgf/cm²)와 유사하다. 따라서 밀도를 제외한 다른 공정변수나 조건 즉, 매트함수율, 냉각방식, 열압온도, 열압시간, 폴리프로필렌섬유의 장과 형상 등에서 발생할 수 있는 차이를 어느 정도 감안하더라도 이와 같은 차이는 쉽게 설명하기 어렵다. 이것은 복섬유와 플라스틱섬유를 혼합하는 공정의 상이함에서 발생하는 것으로 생각되며 더욱 자세한 내용은 다음 보고(Yoon *et al.*, 1998)를 통하여 밝히고자 한다.

모든 밀도 수준에서 MAPP 결합제 1% 첨가는 복합재의 기계적 성질을 뚜렷이 개선하는 것으로 나타났다. MAPP 결합제를 목섬유에 대해 고형분 기준으로 1%를 첨가한 경우 휨강도, 휨탄성, 인장강도의 증가는 각각 18.6~54%, 12.4~34.9%, 9.1~46%로 나타났다. 따라서 결합제의 사용은 복섬유-폴리프로필렌섬유 복합재의 휨강도적 성질 향상에 크게 도움이 되며, 특히 고밀도 영역보다 저밀도영역의 경우에 보다 효과가 크다고 할 수 있다. 인장강도의 경우 저 또는 중밀도 영역에서 결합제의 효과가 있는 것으로 통계처리결과 나타났으나 고밀도의 경우에는 결합제의 첨가 효과는 통계적으로 인정되지 않은 수준이었다.

3.2 혼합비율

Table 5에 나타냈듯이 폴리프로필렌섬유의 혼합비율이 5%에서 15%로 증가함에 따라 두께팽윤율과 흡수량이 저하하였다. 이와 같은 결과는 이미 여러 연구 (윤·이, 1996; 엄·윤, 1996; 이, 1996; 신, 1996)에서 확인된 바 있으며, 이는 소수성인 폴리프로필렌의 양이 많아짐에 따라 친수성인 목섬유를 보

다 쉽게 에워싸게 되어 물분자의 접근을 막기 때문이라 생각된다. 특히 폴리프로필렌의 혼합량 5%에서는 두께팽윤율이나 흡수량이 너무 커서 실제 이용에 문제가 있다. 미국 경질섬유관협회의 ANSI AHA A 135.4(1982)에 규정된 24시간 침지시험의 요구기준치는 두께팽윤율 25% 이하와 흡수량 35% 이하로 규정하고 있다. 이 기준에 부합되는 조건은 폴리프로필렌섬유의 혼합비율이 15% 선이라고 판단된다. 그러나 MAPP를 1% 첨가한 경우에는 폴리프로필렌섬유 혼합비율 5%에서도 이 기준을 만족하는 성능을 지닐 수 있었다. 결합제를 첨가하지 않은 경우 혼합비율 10%와 15%간에는 두께팽윤율에 대한 통계적 유의성이 없었다. 또한 결합제를 첨가한 경우 혼합비율 5%와 10%간에는 통계적 유의성이 없었다. 가장 우수한 치수안정적 성질(두께팽윤율 6.1%, 흡수량 11.9%)은 폴리프로필렌섬유의 혼합비율 15%와 MAPP 1% 첨가인 조건에서 나타났다.

Krzysik와 Youngquist(1991)의 연구에 의하면 폴리프로필렌섬유의 혼합비율이 15%인 조건에서 음이온 방법으로 유화시킨 MAPP를 첨가하지 않은 조건과 1% 첨가한 조건에서 24시간 두께팽윤율이 약 35에서 약 29%로 감소되었다고 보고하였다. 이 결과를 본 실험의 결과(Table 5)를 비교하여 볼 때 두께팽윤율이 감소하는 경향은 일치하나 감소의 폭은 상당한 차이가 있다. 본 연구에서는 무처리 경우 두께팽윤율이 약 32%였으며, 1% MAPP 첨가의 경우 약 12%로 나타났다. 이러한 차이는 MAPP를 유화시키는 방법의 차이로 보아지나 정확한 비교실험이 요구된다. 그러나 Eastman Chemical사의 유화지침서(Eastman Chemical Co. 1986)는 MAPP를

Table 5. Physical properties of wood fiber-polypropylene fiber composites by composition ratios and MAPP addition.

MAPP Additive Content (%)	Composition Ratios (WF : PPF)	Thickness Swelling (%)	Water Absorption (%)
0	95 : 5	59.9 ^a (14.5) ^b A	86.2 (11.0) A ^c
	90 : 10	24.6 (4.6) B	42.8 (10.0) B
	85 : 15	22.2 (6.1) B	31.7 (4.1) BC
1	94 : 5	18.0 (3.3) B	27.0 (5.6) C
	89 : 10	21.7 (3.0) B	32.0 (9.9) BC
	84 : 15	6.1 (1.3) C	11.9 (2.6) D

Notes: ^a Each value is an average of 10 replications. ^b Each value is a standard deviation of 10 replications.

^c Results of Tukey's studentized range test; same letters are not statistically different at a 0.05-significance level. WF : Wood Fiber, PPF : Polypropylene Fiber.

유화시킬 때 음이온 방법보다는 Direct Pressure법을 추천하고 있다. 이 지침서에 따르면 음이온 에멀전 방법은 녹는점이 폴리프로필렌보다 낮은 고분자에서 이용하도록 권하고 있다.

폴리프로필렌섬유의 세 혼합비율에 따른 결합제 첨가 유무가 복합재의 기계적 성질에 미치는 영향은 Table 6에 나타내었다. 결합제를 첨가한 경우와 첨가하지 않은 경우 모두 혼합비에 의한 통계적인 차이는 발생하지 않았다. 휨강도의 경우 결합제를 첨가한 효과가 나타나지만 휨탄성계수는 결합제의 첨가에도 불구하고 통계적인 의미를 갖는 차이는 없었다. 인장강도는 혼합비 10%였을 때 가장 우수한 성질을 나타내었으며, 폴리프로필렌섬유의 혼합비율 5%와 10% 간에는 결합제를 첨가한 경우와 첨가하지 않은 경우 모두 통계적으로 유의할만한 차이를 보이지 않았다. 다만 결합제를 첨가한 경우 폴리프로필렌섬유의 혼합비율 15%의 경우에서 인장강도의 저하가 나타났다. 휨강도는 결합제를 첨가하지 않은 조건에서는 혼합비율

15%였을 때 가장 우수한 값을 나타내었다. Krzysik와 Youngquist(1991) 그리고 Krzysik 등 (1990)의 연구에 의하면 폴리프로필렌의 혼합비 15% 조건에서 MAPP를 처리하지 않은 경우와 1%를 처리한 경우 인장강도가 향상된다고 하였는데 본 연구에서는 오히려 감소하였다. 이와 같은 점을 규명하기 위해서는 계면의 상태와 결합제의 에멀전화의 방법에 대한 세밀한 검토가 필요하며 공정의 차이도 함께 검토할 필요성이 있다고 생각된다.

3.3 매트함수율

Table 7에서 나타냈듯이 결합제를 사용하지 않은 경우 매트함수율이 5%에서 20%로 증가함에 따라 두께팽윤율과 흡수량이 감소하였다. 동일 매트함수율 조건에서 결합제를 첨가하면 첨가하지 않는 조건보다 치수안정성이 크게 향상되는 결과를 나타내었다. 그러나 결합제의 첨가시 매트함수율의 차이에 대한 두께팽윤율과 흡수성은 유의성은 없었다. 결합제의 첨

Table 6. Mechanical properties of wood fiber-polypropylene fiber composites by composition ratios and MAPP addition.

MAPP Additive Content (%)	Composition Ratios (WF : PPF)	MOR (kgf/cm ²)	MOE (kgf/cm ²)	Tensile Strength (kgf/cm ²)
0	95 : 5	533a(56.5) B	55250 (3823) ^b A	263 (28.5) AB ^c
	90 : 10	518 (59.3) B	52760 (7386) A	270 (28.1) AB
	85 : 15	550 (29.7) B	51740 (4236) A	237 (32.8) BC
1	94 : 5	661 (72.7) A	58370 (5625) A	285 (46.0) AB
	89 : 10	676 (60.1) A	59240 (4640) A	296 (48.4) A
	84 : 15	659 (61.6) A	59740 (6122) A	206 (31.5) C

Notes: ^a Each value is an average of 10 replications, ^b Each value is a standard deviation of 10 replications, ^c Results of Tukey's studentized range test; same letters are not statistically different at a 0.05-significance level. WF : Wood Fiber, PPF : Polypropylene Fiber.

Table 7. Physical properties of wood fiber-polypropylene fiber composites by mat moisture contents and MAPP addition.

MAPP Additive Content (%)	Mat Moisture Content (%)	Thickness Swelling (%)	Water Absorption (%)
0	5	46.0 ^b (7.5) ^b A	82.0 (12.2) A ^c
	10	33.0 (7.1) B	55.0 (13.7) B
	20	23.7 (6.5) C	40.6 (7.9) BC
1	5	20.5 (3.2) C	33.0 (8.3) C
	10	20.0 (4.8) C	39.2 (14.1) C
	20	21.2 (3.1) C	32.7 (3.0) C

Notes: ^a Each value is an average of 10 replications, ^b Each value is a standard deviation of 10 replications, ^c Results of Tukey's studentized range test; same letters are not statistically different at a 0.05-significance level.

가는 고매트 함수율보다 저매트 함수율 상태에서 효과적이다. 결합제 첨가시 매트함수율의 차이에 대한 영향이 전혀 나타나지 않는 이유는 확실하지 않으나 결합제의 치수안정적 개선 효과가 매트함수율의 차이에서 발생하는 것보다 크기 때문이라고 생각되었다.

물리적 성질과 마찬가지로 위와같은 유사한 경향이 기계적 성질 결과(Table 8)에서도 나타났다. 특히 휨강도적 성질은 매트함수율이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다. 휨강도적 성질은 복합재의 두께방향 밀도경사 뿐만 아니라 매트와 매트간의 긴밀성에 의해 영향을 받는다. 매트함수율이 높아지면 매트와 매트간의 긴밀성이 높아져서 섬유간의 접촉면적이 확대되므로 접착성이 개선이 되는 것이 일반적인 견해이다. 통상 매트함수율의 차이는 열압시간과 온도로 그 차이를 조절할 수 있으나 본 연구에서는 열압온도와 시간의 차이를 두지 않고 실험하였다. 결합제를 첨가하지 않은 경우 인장강도만을 제외하고 매트함수율의 영향이 나타났으며, 첨가했을 경우에는 매트함수율간의 차이에 대한 영향이 나타나지 않았다. 인장강도는 다른 어떤 요인보다 목질섬유의 양과 섬유장의 영향이 큰 것이 일반적인 견해이다. 따라서 본 연구에서도 매트함수

율이나 결합제의 첨가는 큰 영향을 미치지 못한 것으로 생각된다.

3.4 결합제 첨가수준

Table 9는 결합제의 첨가수준이 복합재의 물리적 성질에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 압선 공정변수 실험결과에서도 이미 증명되었지만 결합제(MAPP 1%)의 첨가는 복합재의 물리적 및 기계적 성질의 향상을 가져온다는 사실이다. 그러나 Table 9를 통해서 결합제 첨가수준이 1%를 초과한 경우 복합재의 물리적 성질이 더 이상 향상되지 않거나 오히려 더 열악해진다는 것을 알 수 있다. 결합제의 과다사용은 목섬유와 목섬유간의 접착력 증대에 역효과를 나타낼 것이다. 결합제를 첨가하여 목섬유의 극성기를 비극성으로 전환시키면 접착력이 커진다는 것은 당연하지만 지나친 첨가는 분자량이 낮은 결합제의 특성상 물성의 저하를 동시에 초래하기 때문에 첨가량을 조절해야 할 것이다. 따라서 본 연구결과는 전건 목섬유에 대해 고휘분 기준으로 MAPP 에멀전을 1%를 첨가하는 것이 복합재의 물리적 성질을 개선하는데 효과적이라고 판단되었다.

Table 8. Mechanical properties of wood fiber-polypropylene fiber composites by mat moisture contents and MAPP addition.

MAPP Additive Content (%)	Mat Moisture Content (%)	MOR (kgf/cm ²)	MOE (kgf/cm ²)	Tensile Strength (kgf/cm ²)
0	5	470 ^a (28.6) D	41490 (1555) ^b B	210 (32.9) A ^c
	10	514 (55.2) DC	46400 (4308) B	218 (39.2) A
	20	589 (38.2) BC	56890 (5130) A	236 (29.4) A
1	5	606 (72.2) AB	54880 (6044) A	223 (16.9) A
	10	632 (69.6) AB	56680 (4740) A	243 (30.7) A
	20	680 (48.9) A	59740 (3946) A	231 (24.2) A

Notes; ^a Each value is an average of 10 replications, ^b Each value is a standard deviation of 10 replications, ^c Results of Tukey's studentized range test; same letters are not statistically different at a 0.05-significance level.

Table 9. Physical properties of woodfiber-polypropylenefiber composites by MAPP additive levels .

MAPP Additive Content (%)	Thickness Swelling (%)	Water Absorption (%)
0.0	24.6 ^a (4.6) ^b BC	42.8 (10.0) A ^c
1.0	21.7 (3.0) C	32.0 (9.9) A
3.0	28.3 (5.2) AB	32.5 (5.3) A
5.0	33.3 (5.4) A	45.3 (12.4) A

Notes; ^a Each value is an average of 10 replications, ^b Each value is a standard deviation of 10 replications, ^c Results of Tukey's studentized range test; same letters are not statistically different at a 0.05-significance level.

Table 10. Mechanical properties of wood fiber-polypropylene fiber composites by MAPP additive levels .

MAPP Additive Content (%)	MOR (kgf/cm ²)	MOE (kgf/cm ²)	Tensile Strength (kgf/cm ²)
0.0	518 ^a (59.3) C	52700 (7386) ^b AB	270 (28.1) A ^c
1.0	676 (60.1) A	59240 (4640) A	296 (48.4) A
3.0	631 (73.3) AB	49480 (4568) B	267 (47.0) A
5.0	582 (68.1) BC	47560 (6260) B	274 (43.9) A

Notes; ^a Each value is an average of 10 replications, ^b Each value is a standard deviation of 10 replications, ^c Results of Tukey's studentized range test; same letters are not statistically different at a 0.05-significance level.

Table 10은 결합재의 첨가수준에 따른 복합재의 기계적 성질에 관한 결과이다. 휨강도적 성질의 경우 결합재 첨가수준 1%를 기점으로 하여 증가 후 감소하는 추세이며 인장강도는 크게 차이가 없었다. 이러한 결과는 Krzysik 등 (1990)이 MAPP 3% 첨가시에도 캔틸레버 빔 강도가 증가한다고 발표한 결과와 다르다. 물론 열판의 온도, 폴리프로필렌섬유장 및 제조시스템이 다르기 때문에 보다 명확한 대비 연구가 수행되어야 하지만 이론적으로 결합재를 사용량을 일정수준이상 증가시키면 휨강도와 휨탄성계수의 감소가 발생한다. 그 이유는 MAPP 결합재의 분자량이 폴리프로필렌섬유보다 훨씬 적기 때문이다. 하지만 Nonwoven Web Process에서 제조한 복합재에 있어서 이상적인 결합재 첨가수준에 관한 믿음만한 연구발표는 아직 없다. Melt Blended Composite의 경우 Maldas와 Kokta(1993)는 적절한 결합재의 사용은 복합재의 기계적 성질을 향상시켜 주지만 이 이상의 사용은 복합재의 기계적 성질을 저하시킨다고 하였으며, Myers 등(1991)은 결합재 첨가는 기계적 성질의 향상을 부여하지만 제조비용을 높게 한다고 하였고, 5%의 첨가에서도 기계적 성질이 약간 향상된 결과를 보였다고 보고한 바 있다. 본 연구에서 결합재 첨가량 1%는 가장 우수한 기계적 성질을 갖는 것으로 나타났기 때문에 이 이상의 결합재의 사용은 아무 의미를 지니지 못하는 것으로 생각되었다.

4. 결 론

극성인 목재와 비극성인 폴리프로필렌을 결합시키는 방법은 극성인 목재를 비극성으로 바꾸어 주는 것이다. 이러한 역할을 해주는 것이 결합제인데 본 연구에서는 Direct Pressure 법을 이용하여 MAPP 에멀전을 제조하였으며 부직포식 복합재의 결합제로써 이용하였다. 또한 다양한 공정변수 조건에서 결합

재의 첨가 유무가 목섬유-폴리프로필렌섬유 복합재의 성질에 미치는 영향을 평가하였다.

목섬유-폴리프로필렌섬유 복합재 제조시 결합재의 첨가는 복합재의 물리적 및 기계적 성질을 뚜렷이 향상시키는 효과가 있음이 증명되었다. 따라서 부직포식 복합재 제조에도 MAPP 결합재는 아주 유용하게 사용될 수 있다고 판단되었다. 고밀도 영역보다 저·중밀도 영역에서 결합재의 효과가 보다 크게 나타났다. 5%, 10% 및 20%의 매트 함수율 범위 내에서 결합재 첨가효과는 극히 미미하였다. 본 연구의 공정 변수조건 중 15%의 폴리프로필렌섬유의 혼합조건에서 1%의 결합재 첨가는 가장 낮은 두께팽윤율과 흡수량의 수치 (6.1%, 11.1%)를 나타내었다. 1%를 초과하는 결합재 첨가는 복합재의 물리적 및 기계적 성질에 오히려 역효과를 내었다.

참 고 문 헌

1. American Hardboard Association. 1982. American National Standards Institute. Basic Hardboard, ANSI-AHA A 135.4 (Reaffirmed Jan. 11, 1988.) Palatine, Illinois
2. Boldizar, A., C. Klason, J. Kubat, P. Naslund, and P. Saha. 1987. Prehydrolyzed cellulose as reinforced filler for thermoplastics. *Int. J. Polym. Mater.* 11 : 229~262
3. Chtourou, H., B. Riedi, and A. Ait-kadi. 1992. Reinforced polyolefins with wood fiber. *J. Reinf. Plast. Compos.* 2 : 342~394
4. Eastman Chemicals Co. 1986. The emulsification of epolene E-type waxes. Pub. No. F-256C
5. Felix, J. M., and P. Gatenholm. 1991. The nature of adhesion in composites of modified cellulose fibers and polypropylene. *J. Appl. Polym. Sci.* 42 :

- 609~602
6. Felix, J. M., P. Gatenholm, and H. P. Schreiber. 1993. Controlled interactions in cellulose-polymer composites. I. Effect on mechanical properties. *Polym. Compos.* 14(6) : 449~457
 7. Geimer R. L., C. M. Clemons, and J. E. Wood, Jr. 1993. Density range of compression-molded polypropylene-wood composites. *Wood & Fiber Sci.* 25(2) : 163~169.
 8. Kishi, H., M. Yoshiaka, A. Ymanoi, and N. Shiraishi. 1988. Composites of wood and polypropylene. *Mokuzai Gakkaishi* 34(2) : 133~139.
 9. Klason, C., J. Kubat, and H-E. Stromvall. 1984. The efficeincy of cellulosic fillers in common thermoplastics. I. Filling without processing aids or coupling agents. *Int. J. Polym. Mater.* 10 : 159~187.
 10. Krzysik, A. M., and J. A. Youngquist. 1991. Bonding of air-formed wood fibre/polypropylene fibre composites. *Int. J. Adhesives.* 11(4) : 235~240.
 11. Krzysik, A. M., J. A. Youngquist, G. E. Myers, I. S. Chahyadi, and P. C. Kolosick. 1990. Wood-polymer bonding in extruded and nonwoven web composit panels. In: Proc. Symp. wood adhesives 1990 - wood/nonwood composites. conner, A. H. ed. USDA Forest Serv., Forest Products Laboratory. Madison, Wis. : 183~189
 12. Maldas, D., and B. V. Kokta. 1990. Effect of coating treatments on the mechanical behavior of wood-fiber-filled polystyrene composites. *J. Appl. Polym. Sci.*, 40 : 917~928.
 13. Maldas, D., and B. V. Kokta. 1993. Role of coupling agents and treatments on the performance of wood fiber-thermoplastic composites. In : Wood fiber/polymer composites : Fundamental concept, process, and materials option. Wolcott, M. P. ed., West Virginia, Morgantown, W. Va. : 112~120
 14. Myers, G. E., I. S. Chahyadi, C. Gonzalez, and C. A. Coberly. 1993. Wood flour and polypropylene or high density polyethylene composites : Influence of maleated polypropylene concentration and extrusion temperature on properties. In : wood fiber/polymer composites : Fundamental concept, process, and materials option. Wolcott, M. P. ed., West virginia, Morgantown, W. Va. : 49~56
 15. Rowell, R. M. 1990. Acetyl balance for the acetylation of wood particles by a symplified procedure. *Holzforchung* 44(4) : 263~269
 16. Rowell, R. M., J. A. Youngquist, J. S. Rowell, and J. A. Hyatt. 1991. Dimensional stability of aspen fiberboard made from acetylated fiber. *Wood & Fiber Sci.* 23(4) : 558~566
 17. Westin, M., and R. Simonson. 1992. High performance composites from acetylated wood fiber. Pacific Rim Bio-Based Compo. Symp. : 235~242
 18. Woodhams, R. T., G. Thomas, and D. K. Rogers. 1984. Wood fiber as reinforcing filler for polyolefins. *Polym. Eng. Sci.* 24(15) : 1166~1171
 19. Yam, K. L., B. K. Gogoi, C. C. Lai, and S. E. Seeke. 1990. Composites from compounding wood fibers with recycled high density polyethylene. *Polym. Eng. Sci.* 30(1) : 693~699
 20. Yoon, H. U. 1997. Characteristics and development prospect of wood fiber - Polypropylene fiber composite by turbulent air mixing. In : Proceeding of Inter. Symp. on Forest Science in the 21st century. Institute of Forest Science, Kookmin Univ., Oct. 15. Seoul, Korea : 91~100
 21. Youngquist, J. A., A. M. Krzysik, J. H. Muehl, and C. Carll. 1993. Properties of wood fiber and polymer fiber composites. In : Wood fiber/ polymer composites : Fundamental concept, process, and materials option. Wolcott, M. P. ed., West virginia, Morgantown, W. Va. : 79~86
 22. Youngquist, J. A., A. M. Krzysik, J. H. Muehl, and C. Carll. 1992. Mechanical and physical properties of air-formed wood-fiber/polymer-fiber composites. *Forest Prod. J.* 42(6) : 42~48
 23. Youngquist, J. A., J. Muehl, A. Krzysik, and T. Xin. 1990. Mechanical and physical properties of wood/plastic fiber composites made with air-formed dry-process technology. Proceedings of 1990 Joint International conference on processing

- and utilization of low grade hardwoods and international trade of forest-related products, S. Y. Wang and R. E. Tang, eds. National Taiwan Univ., Taiwan : 159~162
24. 신용수. 1997. 아세틸화 목섬유와 열가소성 섬유로 제조한 복합재의 치수안정성. 서울대학교. 석사학위논문
 25. 엄영근, 윤형운. 1996. 목질계섬유-폴리프로필렌 섬유 복합재의 치수안정성 개선에 관한 연구. 국민대학교 산림과학 9: 129~139
 26. 엄영근, 윤형운. 1997. Nonwoven web composite의 두께팽윤에 관한 전자현미경적 연구. 미 발표.
 27. 윤형운. 1996. Nonwoven web법을 이용한 목섬유-열가소성 섬유 복합재의 성질과 공정 개선에 관한 연구. 서울대학교. 박사학위논문
 28. 윤형운, 이필우. 1996. 난기류 혼합법을 이용한 목섬유-열가소성 섬유 복합재에 관한 연구(Ⅰ) - 공정변수가 복합재의 물리적 성질에 미치는 영향 -. 목재공학 24(3):101~109
 29. 윤형운, 이필우. 1997. 난기류 혼합법을 이용한 목섬유-열가소성 섬유 복합재에 관한 연구(Ⅱ) - 공정변수가 복합재의 기계적 성질에 미치는 영향 -. 목재공학 25(3):58~65
 30. 이철주. 1997. 신문고지섬유-목섬유-열가소성섬유 복합재의 물리적 및 기계적 성질. 서울대학교. 석사학위논문
 31. 한국공업규격. 1987. KS F 3104. 공업진홍청. 서울