목재공학 33(6): 46~54, 2005
Mokchae Konghak 33(6): 46~54, 2005

목재파티클과 재생폴리프로필렌을 이용한 복합패널 제조 및 물성에 관한 연구*1

한 태 형*2† · 신 랑 호*3 · 권 진 헌*4

Physical Properties of Composite Panel Manufactured from Wood Particle and Recycled Polypropylene*1

Tae-Hyung Han*2† · Rang-Ho Shin*3 · Jin-Heon Kwon*4

요 약

목재파티클의 크기(1/32″,1/4″,1/2″)와 재생폴리프로필렌의 혼합비율(10%, 30%, 50%, 70%)을 달리하여 복합패널을 제조하고 물성을 조사하였다. 목재파티클의 혼합비율이 증가함에 따라 밀도가 다소 증가하였으며, 같은 혼합비율에서 목재파티클이 클수록 밀도가 감소하는 경향을 나타냈다. 흡수두께팽창률과 수분흡수율은 재생폴리프로필렌의 혼합비율이 증가할수록 치수안정성이 매우 우수하였다. 휨파괴계수는 재생폴리프로필렌의 혼합비율이 증가할수록 증가한 반면, 휨탄성계수는 감소하는 경향을 나타냈다. SEM 사진 관찰을 통해 재생폴리프로필렌이 용해되어 목재파티클의 조직내에 일부 침투되어 쐐기 형태의 기계적 결합과 목재파티클을 감싸 매트릭스를 형성하여 결합되어 있는 것을 관찰할 수 있었다.

ABSTRACT

To make the composite panels of wood particles and recycled plastics, the recycled polypropylene was used. In the composite panels the sizes of wood particles were 1/32″, 1/4″ and 1/2″ mesh, and the composition ratios of the recycled plastics were 10%, 30%, 50% and 70%. The physical and mechanical properties of the composite panels were investigated. As the composition ratio of wood particle increases, the density increases, while it decreases at the same composition ratio because the size of

* 1 접수 2005년 8월 9일, 채택 2005년 10월 10일
* 2 국립산림과학원 임산공학부 Forest Products Engineering, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea.
* 3 삼척대학교 디자인대학 College of Design, Samchok National University, Samchok 245-711, Korea.
* 4 강원대학교 산림과학대학 College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea.
† 주저자(corresponding author) : 한태형(e-mail : thhan212@hanmail.net)

wood particle increases. As the composition ratio of recycled polypropylene increases from 10% to 30%, both thickness swelling and water adsorption significantly decrease. As the composition ratio of recycled polypropylene increases, the modulus of rupture in bending strength increases, but the modulus of elasticity in bending strength decreases. SEM shows that the dissolved recycled polypropylene penetrates into tracheid and pit, and bonds mechanically to other wood particle and matrix to increase the bonding strength and improve the physical and mechanical properties of composite panel.

Keywords: composite panels, wood particle, recycled polypropylene

1. 서 론

목재자급률 및 자원재활용률이 극히 낮은 우리나라에서는 폐기물의 소각, 매립에 의한 환경오염 문제와 대체 자원의 확보 문제를 동시에 해결하기 위한 방안으로 저급재, 폐목재 및 폐플라스틱의 재자원화기술 개발에 많은 관심을 갖고 연구가 진행되고 있다.

또한, 우리나라 목질판상재 산업에 있어서 목질 패널 생산량의 70% 이상을 차지하고 있는 파티클보드나 중밀도섬유판 등의 지속적인 생산과 이용을 위하여 첫째, 목재자원의 확보, 둘째, 목질보드 제조용 접착제로 주로 사용되고 있는 요소수지 등의 포름알데하이드 방출 문제, 셋째, 수분변화에 따른 치수안정성이 불량하여 사용범위가 한정되어 있는 문제 등 해결되어야 할 과제를 안고 있다(박, 1997).

현재 목재와 열가소성 플라스틱 복합패널에 대한 연구는 English 등(1996), Nicole 등(1997) 그밖의 많은 연구자들은 플라스틱 산업에서 일반적으로 사용되고 있는 무기물(활석, 탄산칼슘, 유리섬유 등)의 충전재나 강화재 대용으로 목분이나 목재섬유를 첨가하여 복합패널을 제조, 실험하였으며, 또한, Myers 등(1991, 1993), Rowell 등(1994), 윤 등(1998) 많은 연구자들은 목재와 플라스틱의 계면 접착 향상을 위한 상용제(compatiblizer) 사용을 통한 기계적 성능 향상과 결합제의 영향에 대하여 실험을 실시하였다.

본 연구에서는 폐목재나 소경 저질재의 목재 파티클과 폐플라스틱 중 많이 사용되고 있는 폴리프로필렌을 열가소성 접착제로 복합패널을 제조하여 최적의 강도, 치수안정에 영향을 주는 혼합량, 제조 조건시 최적의 열압온도와 폐플라스틱에 따른 접착성능에 대해서 평가하였다. 또한 주사전자현미경을 이용하여 목재 파티클의 형상과 폐플라스틱의 혼합량에 따라 폐플라스틱이 열가소성 접착제로서의 결합형성의 형태를 분석하여 복합패널의 내부결합력을 조사하였다. 그리고 복합패널 제조시 가장 간단한 제조 공정과 결합재 없이 목질판상제품인 합판, MDF, 파티클보드의 대용 가능성을 제시하고 이들 판상제의 단점인 치수안정성을 개선한 내·외장용 복합패널 제조의 기초자료를 얻기 위해 실시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

2.1.1. 목재파티클

본 실험에 사용된 목재파티클은 쥬니퍼(*Juniperus occidentalis Hook.*)로 미국 남서부의 watershed 지역에서 많이 자생하고 있으며, 토양 생태학적으로 유익하지 못하며, 산림자원적 측면에서 미활용 되고 있는 수종이다.

쥬니퍼를 Hammer mill로 파쇄하였고, 이때 1/32″ (0.03 inch, 0.08 cm), 1/4″ (0.25 inch, 0.64 cm), 1/2″ (0.5 inch, 1.27 cm) 크기의 직경 mesh screen으로 목재 파티클을 선별하여 사용하였다.

2.1.2. 폐플라스틱

본 실험에서는 목재용 접착제로 사용하고 있는 포름알데하이드계 열경화성 수지를 사용하지 않고 접착제 대용으로 폴리프로필렌 고분자로 제조한 폐플라스틱을 사용하였다.

주로 플라스틱 우유병으로 사용했던 재생폴리프로필렌(RPP ; Recycled Polypropylene)은 미국 노스캐롤라이나에 있는 Eastern Plastic Company사에서 구형의 pellet 상태로 분양받아 Hammer mill로 파쇄한 후 1/32″(0.03 inch, 0.08 cm) 크기의 직경 mesh screen을 통과한 분말 상태로 제조하여 사용하였다. 비중은 0.90~0.92, 용융점은 약 165~170°C, melt flow index는 3.65 g/10 min., 색상은 흰색이다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 제조공정

보드의 목표 밀도는 1.0 g/cm^{3}로 설정하였다. 목재파티클과 재생플라스틱의 혼합비율은 90% : 10%, 70% : 30%, 50% : 50%, 30% : 70%으로 조절하였다. 보드의 크기는 16″× 16″× 1/2″(40.6 × 40.6 × 1.27 cm)로 제조하였다. 성형방법은 혼합기에 의해 혼합하여 수작업으로 매트를 형성하여 복합패널을 제조한 방법과 사출성형기를 이용하여 스트립을 제조한 후 매트를 성형하는 방법을 실시하였다. 스트립은 5(W) cm × 40(L) cm의 크기로 8개씩 3층으로 서로 교차하게 배열하였다.

열압조건은 증기유압프레스를 사용하였으며, 열압온도는 200°C, 프레스 압력은 500-700-500 psi의 압력을 가하였다. 복합패널의 심층부에 Thermocouple thermometer를 이용하여 내부온도가 190°C까지 도달할 때까지의 시간을 측정하였으며, 냉압은 10분을 주었다.

2.2.2. 측정방법

각각의 복합패널을 제조한 후 한국산업규격 KS F 3104에 따라 밀도, 흡수두께팽창률, 수분흡수율, 내부결합력, 박리강도, 휨강도(MOR, MOE), 습윤시 휨강도와 탄성계수, 포름알데하이드 방출량 등을 측정하였으며, 주사전자현미경을 이용하여 파티클의 형상과 폐플라스틱의 혼합량에 따라 폐플라스틱이 열가소성 접착제로서의 결합형성의 형태를 분석하여 복합패널의 내부결합력을 조사하였다.

측정된 항목의 유의성을 검정하기 위하여 Duncan의 다중검정을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 물리적 특성

3.1.1. 밀도

목재파티클과 재생폴리프로필렌 복합패널의 밀도 측정 값을 Table 1에 나타내었다. 목표 밀도를 1.0 g/cm^{3}로 제조한 목재파티클과 재생폴리프로필렌 복합패널의 평균 밀도는 0.94~1.04 g/cm^3 범위였다. 목재파티클의 크기가 클수록 밀도는 다소 감소하였고, 목재파티클의 혼합비율이 증가할수록 밀도가 증가하는 경향을 보여주었다. 따라서 복합패널의 밀도는 재생폴리프로필렌의 비중이 일정하다고 생각할 때 주로 목재파티클의 압축률과 파티클의 형상 및 크기에 영향을 받는 것으로 생각된다.

3.1.2. 흡수두께팽창률

Table 1과 Fig. 1에서 나타난 바와 같이 목재파티클과 재생폴리프로필렌의 혼합비율 90% : 10%일 때 평균 4.59%로 한국산업규격 KS F 3104 파티클보드의 기준인 12% 이하 보다 낮은 흡수두께팽창률을 나타냈다. 재생폴리프로필렌의 혼합비율이 10%일 때와 비교하여 30%인 경우 평균 1.55%로 흡수두께팽창률이 현저히 감소하였으며, 50% 이상일 경우 1% 미만의 두께팽창률을 보였다. 90% : 10%, 70% : 30%의 목재파티클과 재생폴리프로필렌의 혼합비율에서 목재파티클의 크기에 대하여 뚜렷한 경향이 나타나지 않았으며, 50% 이상의 재생폴리프로필렌이 혼합된 복합패널에서는 파티클의 크기에 관계없이 우수한 치수안정성을 나타냈다.

복합패널의 흡수두께팽창률과 수분흡수율에 있어 재생폴리프로필렌의 혼합비율이 가장 크게 영향을 미치는 인자임을 알 수 있다. 재생폴리프로필렌의 혼합

Table 1. Physical properties of composite panels made from wood particle and recycled polypropylene

Composite type	Composition ratio (WP : RPP)*	Chip size (mesh)	Forming method	Density (g/cm^3)		Thickness swelling (%)		Water absorption (%)	
WP/RPP Composite	90 : 10	1/32″	Hand forming	1.04[a]	A[b]	5.47	A	20.37	A
		1/4″		1.00	BC	3.45	BC	9.54	C
		1/2″		0.99	BC	4.86	A	12.48	B
	70 : 30	1/32″	Hand forming	1.04	A	1.02	CD	3.47	DE
		1/4″		1.01	B	1.98	C	5.50	D
		1/2″		0.98	C	1.66	DE	5.52	D
	50 : 50	1/32″	Hand forming	0.99	BC	0.36	EF	1.35	EFG
			Extrusion	1.00	BC	0.64	EF	1.02	FG
		1/4″	Hand forming	0.96	E	0.65	EF	2.90	EF
		1/2″		0.94	DE	0.79	EF	3.33	DE
	30 : 70	1/32″	Hand forming	0.92	D	0.08	F	0.60	G
			Extrusion	0.95	E	0.18	F	0.28	G

*WP (Wood Particle) : RPP (Recycled Polypropylene)

[a] Each value represents an average of 10 replications.

[b] Mean with same letter is not significantly different at 5 percent level from Duncan's test.

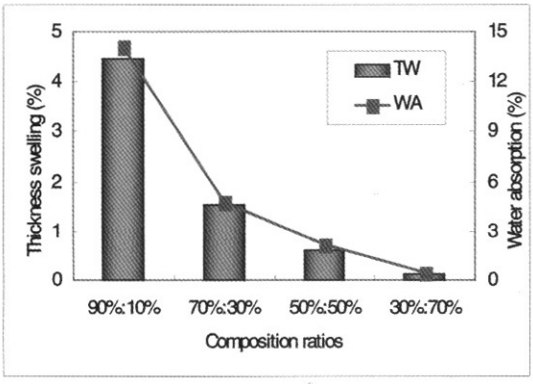


Fig. 1. Thickness swelling of the wood particle and recycled polypropylene composite panels with different composition ratios.

비율이 30% 이상 사용된 복합패널에 있어서 매트릭스를 형성하는 재생폴리프로필렌이 목재파티클의 표면에 피막을 형성하여 수분이 목재 내부로 침투하거나 흡수되는 것을 차단할 뿐만 아니라 용해되어 목재 파티클의 조직 내부로 침투하여 기계적 결합을 함으로서 우수한 치수안정성을 나타내고 있다.

3.1.3. 내부온도 측정

목재파티클과 재생폴리프로필렌을 이용한 복합패널을 제조할 때 열압기의 열판 온도가 매트의 중층까지 전달되는 내부온도를 Thermocouple thermometer를 이용하여 측정한 결과를 Fig. 2의 그래프에 나타내었다.

내부 중층까지 전달되는 온도의 전달 속도는 열압시간이 약 7분까지 직선적으로 증가하다가 7분에서 10분까지 약 3분 동안 증가폭이 둔화되었고, 10분 이후 차츰 증가하여 목표 내부 온도(190°C)까지 도달하는데 걸리는 시간이 약 23~25분 소요되었다.

재생폴리프로필렌의 용융온도가 165~170°C로 내부의 매트 중층 온도가 165°C까지 도달한 시간이 평균 14분 30초 정도로 최소 열압시간은 15분으로 추정된다.

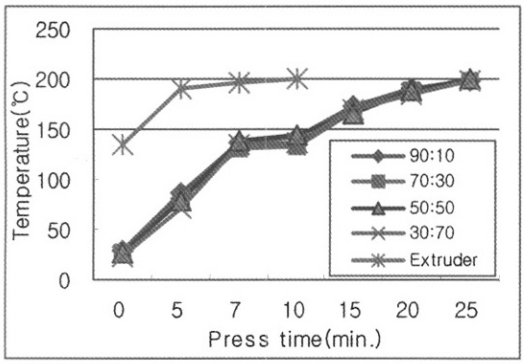


Fig. 2. Effect of press time and composite ratios on internal temperature of the wood particle and recycled polypropylene composite panels.

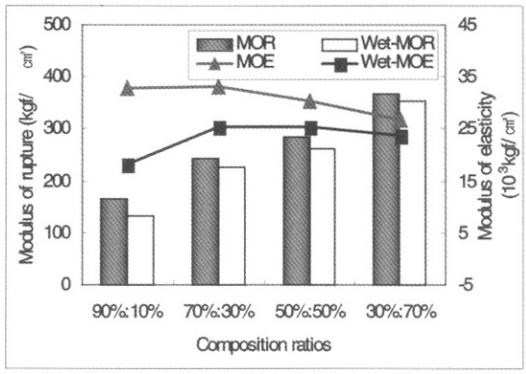


Fig. 3. MOR, Wet-MOR and MOE in bending strength of the wood particle and recycled polypropylene composite panels with different composition ratios.

또한 열압시간이 7분까지 목재파티클의 혼합비율이 증가할수록 열전달 속도가 높게 나타났으며, 파티클의 크기가 클수록 조금 높게 나타났으나 그 이후에는 뚜렷한 경향을 찾을 수 없었다.

사출성형 방법에 의해 제조한 복합패널은 목재파티클의 혼합비율 50%와 30%의 경우 목재파티클의 혼합량이 많을수록 약 5°C의 높은 용융 온도차와 스크루의 RPM이 10정도 낮아졌다. 또한, 사출성형기에서 나온 스트립의 온도는 약 130°C로 열압시간이 3분 정도 경과 후 165°C까지 내부온도에 도달했다.

따라서 사출성형 방법에 의해 제조한 목재파티클과 재생폴리프로필렌의 복합패널과 일반 혼합방법에 의해 제조한 복합패널에 대해 열압시간 만을 비교해 볼 때 사출성형 방법에 의해 제조한 복합패널이 열압시간을 50% 이상 단축되는 것으로 조사되었다.

3.1.4. 포름알데히드 방출량

목재파티클과 재생폴리프로필렌을 이용한 복합패널은 목재용 접착제로 사용하고 있는 포름알데하이드계 열경화성 수지를 사용하지 않고 접착제 대용으로 재생폴리프로필렌을 열가소성 접착제로 사용하여 제조하였기 때문에 포름알데히드 방출량이 목재파티클의 크기나 재생폴리프로필렌의 혼합비율에 거의 영향하지 않는다. 각 조건별 제조된 복합패널의 포름알데히드 방출량은 0.12~0.26 mg/ℓ 범위로 통계적으로 유의성이 나타나지 않았으며, 평균 0.19 mg/ℓ로 포름알데히드 방출량에 따른 구분 E0형(0.5 mg/ℓ 이하)기준보다 매우 낮은 포름알데히드 방출량을 나타냈다.

3.2. 기계적 특성

3.2.1. 휨강도

Table 2와 Fig. 3에서 나타난 바와 같이 목재파티클과 재생폴리프로필렌으로 제조된 복합패널의 휨강도를 살펴보면, 목재파티클의 혼합비율이 감소함에 따라 밀도는 다소 감소하지만 접착제 대용으로 사용되는 재생폴리프로필렌의 혼합비율이 증가할수록 휨강도는 직선적으로 증가하였다. 재생폴리프로필렌의 혼합비율이 30% 이상일 때 휨강도의 파계괴수 값이 한국산업규격 KS F 3104의 파티클보드의 모든 종류의 기준치(184 kgf/cm²)보다 높게 나타났다. 또한, 일반적으로 파티클보드나 MDF는 습윤시 파괴계수의 측정값이 기건상태의 파괴계수 값과 비교해서 50% 수준으로 급격히 저하되는 반면 목재파티클과 재생폴리프로필렌의 혼합비율이 70% : 30% 수준으로 제조된 복합패널은 수분에 노출된 상태에서도 충분히 휨파괴계수 값을 유지하는 것을 알 수 있다.

Table 2. Mechanical properties of composite panels made from wood particle and recycled polypropylene

Composite type	Composition ratio (WP : RPP)*	Chip size (mesh)	Forming method	MOR (kgf/cm²)		Wet-MOR (kgf/cm²)		MOE (kgf/cm²)		Internal bonding strength (kgf/cm²)	
WP/RPP Composite	90 : 10	1/32″	Hand forming	162.4[a]	A[b]	116.5	A	32,195	ABC	7.44	A
		1/4″		167.9	A	148.5	B	32,632	AB	7.94	AB
		1/2″		168.8	A	135.8	B	33,856	C	9.34	BCD
	70 : 30	1/32″	Hand forming	243.3	B	222.7	C	34,072	C	9.43	BCD
		1/4″		243.2	B	232.5	C	33,694	A	9.44	BCD
		1/2″		245.5	B	221.2	C	31,406	BC	10.81	DE
	50 : 50	1/32″	Hand forming	287.7	C	271.7	D	32,082	ABC	12.17	E
			Extrusion	288.5	C	263.8	DE	30,487	BCD	9.64	CD
		1/4″	Hand forming	281.6	C	257.4	DE	30,020	CD	10.21	D
		1/2″		279.4	C	251.6	E	28,539	D	10.33	D
	30 : 70	1/32″	Hand forming	375.5	D	354.4	F	29,130	D	9.78	CD
			Extrusion	361.1	E	351.1	F	24,316	E	8.31	ABC

* WP (Wood Particle) : RPP (Recycled Polypropylene)

[a] Each value represents an average of 10 replications.

[b] Mean with same letter is not significantly different at 5 percent level from Duncan's test.

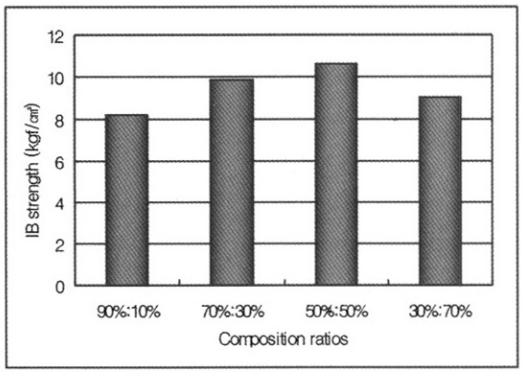


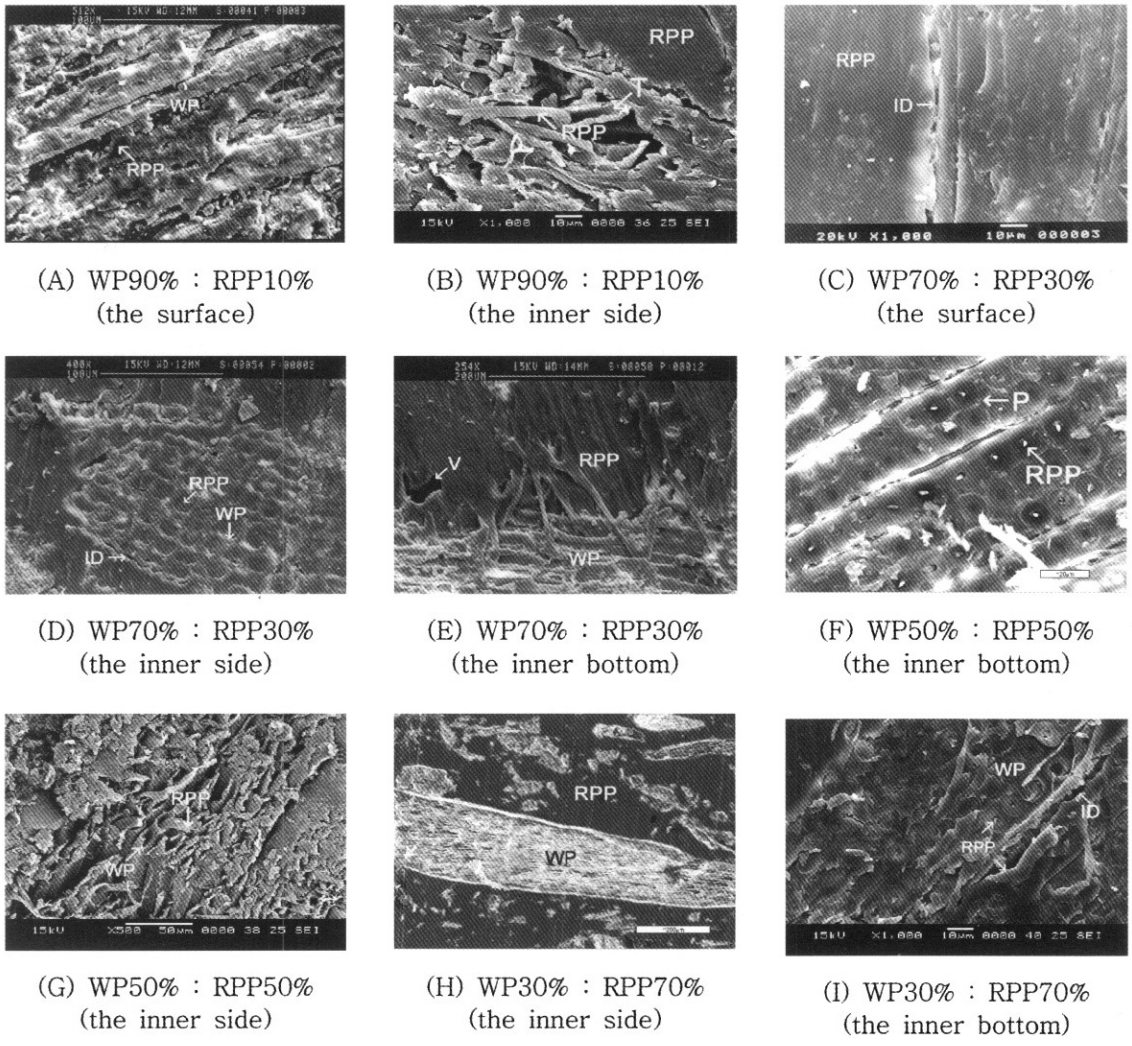
Fig. 4. Internal bonding strength of the wood particle and recycled polypropylene composite panels with different composition ratios.

목재파티클과 재생폴리프로필렌의 혼합비율이 90% : 10%와 70% : 30%일 때 휨탄성계수는 각각 평균 32,894 kgf/cm²과 33,057 kgf/cm²로 유사한 값을 나타냈으며, 50% : 50%일 때 30,282 kgf/cm², 30% : 70%일 때 26,723 kgf/cm²로 재생폴리프로필렌의 혼합비율 50% 이상 증가할수록 감소하는 경향을 보였다.

전체적으로 70%의 목재파티클 혼합비율로 제조한 복합패널의 탄성계수 값이 가장 높게 나타났으며 재생폴리프로필렌의 혼합비율이 증가할수록 복합패널의 탄성계수 값이 감소하는 경향을 나타냈다.

3.2.2. 내부결합력

목재파티클과 재생폴리프로필렌으로 제조한 복합패널의 내부결합력의 결과를 Table 2에 나타냈다. Fig. 4에서 보여주는 바와 같이 내부결합력은 재생폴리프로필렌의 혼합비율이 10%, 30%, 50%로 증가함에 따라 비례적으로 증가하였으나 혼합비율이 70%인 경우 내부결합력은 다소 감소하는 경향을 보였다. 파



(A) WP90% : RPP10% (the surface)

(B) WP90% : RPP10% (the inner side)

(C) WP70% : RPP30% (the surface)

(D) WP70% : RPP30% (the inner side)

(E) WP70% : RPP30% (the inner bottom)

(F) WP50% : RPP50% (the inner bottom)

(G) WP50% : RPP50% (the inner side)

(H) WP30% : RPP70% (the inner side)

(I) WP30% : RPP70% (the inner bottom)

Fig. 5. Scanning electron micrographs of the surface, the inner side and the inner bottom of the composite panel with different composition ratios.
*WP: Wood Particle, RPP: Recycled Polypropylene, P: Pit, T: Tracheid, V: Void, ID: Interfacial dislocation between wood particle and molten recycled polypropylene.

티클의 크기에 따른 내부결합력은 90% : 10%, 70% : 30%의 혼합비율에서는 목재파티클의 크기가 클수록 내부결합력이 조금 높게 나타났다. 그러나 70% : 30%의 혼합비율에서 1/32″와 1/4″ mesh의 파티클 크기와 50% : 50%의 혼합비율에서 1/4″와 1/2″ mesh의 파티클의 크기에 대한 결과 값은 통계적으로 유의성이 나타나지 않았다. 본 실험에서 30% 이상의 재생 폴리프로필렌이 혼합된 복합패널의 내부결합력 실험을 실시한 결과, 접착층에서 파괴되는 경우가 많은 것으로 볼 때 실질적으로 더 높은 내부 결합력을 가지고 있다고 생각된다. 또한 목재용 접착제나 결합재 없이 10%의 재생폴리프로필렌을 접착제 대용으로 사용하여도 한국산업규격 KS F 3104의 파티클보드의 모든 기준이상인 0.30 N/mm^2 (3.1 kgf/cm^2)을 상위하는

결과 값을 보였다.

3.3. SEM 관찰

Fig. 5(A)의 SEM 관찰을 통해 목재파티클의 크기가 클수록 표면의 여러 부위가 노출되거나 갈라진 틈 등이 많이 관찰되었으며, 10%의 재생폴리프로필렌으로 표면을 안전히 도포하기에는 혼합비율이 적은 것으로 생각되며, 흡수두께팽창률이나 수분흡수율을 향상시키기 위해서는 10% 이상의 도포가 요구된다.

(B), (D)에서 Miles와 Rostami (1992)의 SEM 관찰에서 보여준 바와 같이 계면에서의 틈이 관찰되었다.

(B), (F), (G), (I)의 SEM 사진에서 관찰된 것과 같이 재생폴리프로필렌이 용해되면서 목재파티클의 가도관을 통해 일부가 내부로 침투되었다가 가도관의 벽공을 통해 재생폴리프로필렌이 목재세포 외부로 나와 있는 것이 관찰되었으며, (D), (E), (H)의 SEM 사진에서 보는 바와 같이 직접적으로 목재파티클과 결합하지는 않지만 목재파티클과의 경계면 틈이 재생폴리프로필렌으로 연결되어 있거나 강한 결합력을 유지할 수 있도록 매트릭스를 형성하고 있다.

SEM 관찰을 통해 재생폴리프로필렌의 혼합비율이 증가하여도 계면의 틈은 형성되어 있으며, 이러한 이유는 목재파티클과 재생폴리프로필렌이 극성이 다르기 때문에 화학적 결합이 이루어지지 않으며, 복합패널의 제조공정에서 열압과 냉압을 하는 과정에서 수축과 팽창이 생겨 경계면의 틈이 생성되는 것으로 생각된다. 그러나 재생폴리프로필렌의 혼합비율이 증가할수록 목재파티클과 재생폴리프로필렌의 경계면과 interphase 층이 재생폴리프로필렌이 매트릭스를 형성하여 완전히 감싸고 있어 경계면과 interphase 층이 현저히 줄어들어 견고한 결합을 하고 있음이 관찰되었다.

4. 결 론

본 연구는 목재파티클과 재생폴리프로필렌을 이용한 복합패널의 제조 및 물성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 목재파티클의 혼합비율이 증가함에 따라 밀도가 다소 증가하였으며, 같은 혼합비율에서 목재파티클이 클수록 밀도가 감소하는 경향을 나타냈다.

2) 흡수두께팽창률과 수분흡수율은 재생폴리프로필렌의 혼합비율이 증가할수록 감소하였으며, 10%의 재생폴리프로필렌 혼합비율의 복합패널과 비교해서 30%로 증가시킬 때 치수안정성이 매우 우수하였다.

3) 내부결합력은 재생폴리프로필렌의 혼합비율이 50%까지는 직선적으로 증가하다가 70%의 혼합비율에서 다소 감소하는 경향을 보였다.

그러나, 10%의 재생폴리프로필렌 혼합비율로도 접착제 대용으로 사용하여도 우수한 내부결합력을 보여주었다.

4) 휨파괴계수는 재생폴리프로필렌의 혼합비율이 증가할수록 증가하였고 목재파티클의 혼합비율이 70%까지는 파티클의 크기가 클수록 파괴계수 값이 증가하였으나, 휨탄성계수는 재생폴리프로필렌의 혼합비율이 증가할수록 감소하는 경향을 나타냈다.

5) SEM 사진 관찰을 통해 재생폴리프로필렌이 용해되어 목재파티클의 조직내에 일부 침투되어 쐐기형태의 기계적 결합과 매트릭스를 형성하여 목재파티클을 코딩하여 감싸는 형태로 결합되어 있는 것을 관찰할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Berger, M. J. and N. M. Stark. 1997. Investigations of species effects in an injection-molding grade, wood-filled polypropylene. The fourth international conference on wood fiber-plastic composites. pp 19~25.
2. English, B. W. and H. F. Robert. 1996. Factors that 4affect the application of woodfiber-plastic composites. Woodfiber-plastic composites, pp 189~194.
3. Myers, G. E. and Clemons, C. M. 1993. Properties of Melt-Blended Composites from Post-Consumer Polypropylenes and Wastepapers. ANTEC'93. pp 3213~3215.
4. Miles, I. S. and S. Rostami, 1992. Eds. Multicomponent Polymer Systems. Science and Tech-

nology Series. Longman Scientific & Technical, ISBN 0582037559.
5. Nicole, M. Stark, Robert, H. White, and Craig, M. Clemons. 1997. Heat Release Rate of Wood-Plastic Composites. SAMPE Journal. Vol 33, No. 5, pp 26~31.
6. Krzysik, A. M. 1989. Procedures for Physical Property Measurements of Wood/Polymer Mixtures. Forest Products Laboratory Internal Publication. pp 87~90.
7. Oksman, K. 1997. Improved properties of thermoplastic wood flour composites. Doctoral thesis. Wisconsin Department of National Resources. U. S. D. A. Forest Service, Forest Products Laboratory. pp 5~12
8. Rowell, R. M. and C. M. Clemons. 1992. Chemical modification of wood fiber for thermoplasticity, compatibilities with plastics, and dimensional stability. In: Proceedings: 26th international particleboard/composite materials symposium; March pp 51~69.
9. Youngqiust, J. A., G. E. Myers, J. M. Muehl, A. M. Krzysik, and C. M. Clemons. 1993. Composites from Recycled Wood and Plastic. Final Report for U. S. Environmental Protection Agency, Forest Products Laboratory.
10. Youngquist, J. A., G. E. Myers, J. H. Muehl, A. M. Krzysik, C. M. Clemons, and L. Brown. 1994. Composites from recycled wood and plastics. Project summary prepared for U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. pp 20~26.
11. 박종영. 1997. 한국목질패널 산업의 경쟁력 강화방안. '97 한국 합판 · MDF · 파티클보드 심포지엄. pp 99~124.
12. 윤형운, 박종영. 1998. 공정변수와 MAPP 결합제가 난기류 혼합방식에 의하여 제조된 목섬유-폴리프로필렌 복합재의 성질에 미치는 영향. 목재공학 26(1): pp 76~86.
13. 한국 산업규격. 1997. KS F 3104 파티클보드.