

난기류 혼합법을 이용한

목섬유 - 열가소성 섬유 복합재에 관한 연구(Ⅱ)*¹

- 공정변수가 복합재의 기계적 성질에 미치는 영향 -

윤형운² · 이필우³

Wood Fiber-Thermoplastic Fiber Composites by Turbulent Air Mixing Process(Ⅱ)*¹

- Effect of Process Variables

on The Mechanical Properties of Composites -

Hyoung-Un Yoon*² · Phil-Woo Lee*³

ABSTRACT

This research was carried out to evaluate the effect of process variables on mechanical properties of the wood fiber - thermoplastic fiber composites by turbulent air mixing method. The turbulent air mixer used in this experiment was specially designed in order to mix wood fiber and thermoplastic polypropylene or nylon 6 fiber, and was highly efficient in the mixing of relatively short plastic fiber and wood fiber in a short time without any trouble.

The adequate hot - pressing temperature and time in our experimental condition were 190℃ and 9 minutes in 90% wood fiber - 10% polypropylene fiber composite and 220℃ and 9 minutes in 90% wood fiber - 10% nylon 6 fiber composite. Both in the wood fiber - polypropylene fiber composite and wood fiber - nylon 6 fiber composite, the mechanical properties improved with the increase of density. Statistically, the density of composite appeared to function as the most significant factor in mechanical properties. Within the 5~15% composition ratios of polypropylene or nylon 6 fiber to wood fiber, the composition ratio showed no significant effect on the mechanical properties. Bending and tensile strength of composite, however, slightly increased with the increase of synthetic fiber content. The increase of mat moisture content showed no significant improvement of mechanical properties both in wood fiber - polypropylene fiber composite and wood fiber - nylon 6 fiber composite.

Wood fiber - nylon 6 fiber composite was superior in th mechanical strength to wood fiber -

*1 접수 1997년 7월 12일 Received July 12, 1997

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

*3 서울대학교 농업생명과학대학 College of Agriculture & Life Sciences, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea

polypropylene fiber composite, which may be related to higher melt flow index of nylon 6 fiber (22g/10min) than that of polypropylene fiber (4.3g/10min).

Keywords : Wood fiber - thermoplastic fiber composite, polypropylene fiber, nylon 6 fiber, process variables, turbulent air mixer, nonwoven web composite, mechanical properties.

1. 서 론

목섬유-플라스틱 복합재(Wood fiber - plastic composite)의 제조 방법에는 압출기를 이용하는 용융혼련기술(Melt blending technology)과 부직포기를 이용하는 부직포기술(Nonwoven web technology)로 크게 나눌 수 있다. 이들 복합재 제조 기술은 생활쓰레기에서 발생한 폐종이류와 폐플라스틱류의 처리에 가장 접근하기 쉬운 뿐만 아니라 대량 생산이 용이한 기술이라 할 수 있다. 특히 부직포 복합재(Nonwoven web or Air-laid composites)는 용융혼련기술에 의해 생산된 복합재에 비하여 목섬유의 혼합량을 높일 수 있으며, 매트 형태에서 하드보드 형태에 이르기까지 또한 패널 형태에서 3차원 형태에 이르기까지 다양한 비중과 다양한 형태의 복합재 제조가 가능한 특징이 있다. 이 복합재의 용도는 저밀도 형태의 필터, 종자발아용 덮개 및 단열재 등이며, 중밀도 또는 고밀도 형태의 중밀도섬유판 또는 하드보드 대체재, 포장재, 건축내장재, 가구부재, 도어스킨 및 각종 성형제품 등이 될 수 있다(Crzysik & Youngquist, 1991; Wegner *et al.*, 1992; Youngquist & Rowell, 1989).

본 연구에서 목섬유와 플라스틱 섬유의 혼합을 위해 고안된 난기류 혼합기는 비교적 짧은 시간에 상당히 짧은 길이(5~10mm)의 플라스틱 섬유와 목섬유를 효과적으로 혼합할 수 있는 특징이 있으며, 일반적으로 장섬유의 플라스틱 섬유(38~52mm)를 혼합한 후 매트를 균질화해주는 needle punching 과정을 생략하는 것이 가능하다.

난기류혼합방법(Turbulent air mixing)에 의해 목섬유와 열가소성 섬유로 제조한 복합재의 공정변수에 대한 물리적 성질은 제 1보(1996)에 발표한 바 있다. 본 논문에서는 공정변수가 기계적 성질에 미치는 영향을 중심으로 nonwoven web 복합재의 성질에 대한 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 재료

2.1.1 목섬유

목섬유는 동인보드(주)에서 분양받은 중밀도섬유(MDF)용 섬유로서 수종은 솔송나무(western hemlock, *Tsugu heterophylla*)가 대부분이며, 증해온도 160℃, 증해압력 7~10kgf/cm², 증해시간 2~3분으로 증해한 후 디스크 리파이너에서 해섬한 것이다. 건조기를 거치지 않은 상태인 함수율 50~60%의 섬유를 2~3개월동안 실내에서 천연건조시킨 후 함수율 11~12%인 상태에서 폴리에틸렌 백에 담아 보관한 것을 사용하였다.

2.1.2 열가소성 섬유

폴리프로필렌(polypropylene) 섬유는 금성화섬(주)에서 토우(tow)상태의 섬유를 분양받은 것으로 두께는 10데니어(denier), 용융지수(melt flow index)는 4.3g/10min., 함수율은 1.1%였다. 이를 재단용 가위를 사용하여 섬유장이 1.5±0.2cm 정도 되게 절단하여 폴리에틸렌 백에 담아 보관하였다.

나일론(nylon 6) 섬유는 고려합섬(주)에서 토우(tow)상태의 섬유를 분양받은 것으로 두께는 3데니어, 용융지수는 22g/10min., 함수율은 3.3%였다. 이를 재단용 가위를 사용하여 섬유장이 1.5±0.2cm 정도 되게 절단하여 폴리에틸렌 백에 담아 보관하였다.

2.2 복합재 제조 공정

복합재의 크기는 길이, 폭 및 두께가 25, 25, 및 0.3cm이다. 복합재의 제조공정을 간략히 설명하면 우선 토우상태의 열가소성 섬유를 섬유장이 1.5±0.2cm가 되도록 절단한 다음 목섬유와 일정한 혼합비로 수작업을 통해 저질계 혼합한 후 본 연구자가 고안한 난기류 혼합기(Turbulent air mixer)에 넣어 7~8기압의 압축공기를 난기류 혼합기의 입구에 분사함으로써 혼합기내에서 난기류를 발생시키고, 이 난기류와 섬유들 사이의 마찰로 인

하여 목섬유와 열가소성 섬유들이 혼합되게 하는 방법을 적용하였다.

30~40초간 혼합하여 섬유간에 충분히 기계적인 결합이 발생하면 혼합기로부터 꺼내어 성형공정으로 진행하였다. 수작업으로 성형틀에 섬유매트를 일정하게 조절하여 놓은 다음 2~4kgf/cm²의 압력으로 1분 30초동안 예비가압하였다. 예비가압이 끝나면 열압스케줄에 의해 열압하고, 열압이 끝나면 냉각장치로 제조한 보드를 옮겨서 정해진 시간동안 냉각과 동시에 냉압을 시켰다. 이때 냉각온도는 약 45℃ 정도를 목표로 하였다. 냉각처리가 끝난 보드는 두께와 무게를 잰 후 온도 20±1℃, 상대습도 60±3%의 항온항습실에서 수주간 양생하였다.

2.3 복합재 제조시 공정변수에 관한 실험

2.3.1 열압온도와 열압시간

폴리프로필렌섬유를 이용한 복합재 제조시의 열압온도는 150, 170 및 190℃를 적용하였으며, 이 온도는 폴리프로필렌의 용점 약 165~170℃를 기준으로 설정하였다. 나일론6 섬유를 이용한 복합재 제조시의 열압온도는 205, 220 및 235℃를 적용하였으며, 이 온도는 나일론6의 용점 215~220℃를 기준으로 설정하였다. 열압시간은 6분과 9분을 적용하여 적정 온도조건과 시간조건을 판단하고자 하였다. 이때 다른 공정변수는 밀도 1.0g/cm³, 혼합비율 90 : 10(목섬유 : 합성섬유), 매트함수율 10%의 조건으로 고정하였다.

2.3.2 복합재의 목표밀도

폴리프로필렌 섬유와 나일론6 섬유를 이용한 복합재의 밀도범위에 대한 목표밀도를 0.6, 0.8, 1.0 및 1.2g/cm³으로 밀도를 0.2g/cm³씩 증가시켜 5반복으로 실험하였다. 이때 다른 공정변수는 열압온도 190℃(폴리프로필렌) 및 220℃(나일론6), 열압시간 9분, 혼합비율 90 : 10(목섬유 : 합성섬유), 매트함수율 10%의 조건으로 고정하였다.

2.3.3 혼합비율

열가소성 섬유의 혼합비율에 대한 영향을 살펴보고자 폴리프로필렌 섬유와 나일론6 섬유 모두 5, 10 및 15%씩의 혼합비율로 5반복 실험하였다. 이때 다른 공정변수는 열압온도 190℃(폴리프로필렌) 및 220℃(나일론6), 열압시간 9분, 밀도 1.0g/cm³, 매트함수율 10%의 조건으로 고정하였다.

2.3.4 매트 함수율

매트 함수율이 복합재의 물리적 및 기계적 성질에 미치는 영향을 검토하고자 매트 함수율을 5.5, 11.5 및 17.5%의 수준으로 5반복 실험하였다. 이때 다른 공정변

수는 열압온도 190℃(폴리프로필렌) 및 220℃(나일론6), 열압시간 9분, 밀도 1.0g/cm³, 혼합비율 90 : 10(목섬유 : 합성섬유)의 조건으로 고정하였다.

2.4 복합재의 기계적 성질 평가

복합재의 기계적 성질은 ASTM D 1037-1087(1987)에 의거하여 밀도, 함수율, 휨강도, 휨탄성, 박리강도, 인장강도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 열압온도와 열압시간

목섬유-폴리프로필렌섬유 복합재와 목섬유-나일론6 섬유 복합재의 열압온도와 시간에 따른 기계적 성질은 Table 1에 나타내었다. ANSI AHA A 135.4(1982)의 경질섬유판의 휨강도 요구 기준치인 316 kgf/cm²를 상회하는 수치를 기준으로 하였을 때 폴리프로필렌의 적정 열압온도는 190℃ 이상이 적합하다는 것을 알 수 있었다. 열압온도 190℃에서 열압시간이 길어질수록 휨강도와 인장강도 그리고 박리강도가 증가하는데 이는 상대적으로 긴 열압시간이 매트내의 폴리프로필렌을 좀 더 용융시켜 보드내 결합력을 증진시킨 결과로 보인다. 그러나 95%의 신뢰수준으로 통계 처리한 결과 이 영역의 시간대에서는 유의성이 인정되지는 않았으나 150℃의 영역의 시간대에서는 유의성이 인정되었다. 폴리프로필렌의 용점은 165~170℃ 정도인데 열압온도 170℃에서 기계적 성질이 열압온도 190℃ 조건의 기계적 성질과 차이가 크게 나타난 것은 본 연구에서 사용한 폴리프로필렌의 용융지수(MFI, melt flow index)가 4.3g/10min, 으로 낮기 때문에 발생하는 것으로 생각되었다.

적정 열압온도와 열압시간 조건이라 판단되는 190℃와 9분의 제조 조건에서 휨파괴계수 385kgf/cm², 휨탄성계수 50830kgf/cm², 인장강도 227kgf/cm², 박리강도 2.6kgf/cm²의 값을 나타냈는데 이러한 값은 Youngquist 등(1992)이 190℃의 열압온도와 10분의 열압시간에서 본 연구와 동일한 종류의 복합재를 제조하여 시험한 기계적 성질이 휨파괴계수 296kgf/cm², 휨탄성계수 34880kgf/cm², 인장강도 150kgf/cm², 박리강도 3.16kgf/cm²의 값을 나타냈다고 보고한 결과에 비교해 본다면 본 연구에서 제조한 복합재의 기계적 성질은 박리강도를 제외하고는 상당히 높은 기계적 성질을 나타낸다고 판단되었다. 이러한 기계적 성질을 바탕으로 판단하면 본 연구에서 제작한 압축공기를 이용한 난기류 혼합기의 성능은 상당히 만족스럽고 효과적이었다고 판단

Table 1. Mechanical properties of wood fiber - thermoplastic fiber composites by press temperature and time.

Composite Type	Press Temp. (°C)	Press Time (min)	Actual Density (g/cm ³)	MOR (kgf/cm ²)	MOE (kgf/cm ²)	Tensile Strength (kgf/cm ²)	Internal Bond Strength (kgf/cm ²)
WF/PPF Composite	150	6	0.95 ^a (0.03)	120 (14.2) ^b C	9840 (1587) C ^c	80 (15.4) C	0.1 (0.01) C
		9	0.92 (0.05)	189 (13.5) B	24990 (3387) B	101 (25.4) BC	1.0 (0.19) B
	170	6	0.95 (0.03)	209 (22.6) B	31130 (4601) B	135 (34.8) B	0.9 (0.13) B
		9	0.95 (0.06)	195 (37.6) B	31350 (3688) B	138 (29.4) B	1.0 (0.17) B
	190	6	1.04 (0.08)	370 (61.0) A	46200 (7731) A	215 (37.2) A	2.2 (0.48) A
		9	0.99 (0.05)	385 (31.2) A	50830 (6211) A	227 (33.2) A	2.6 (0.60) A
WF/NF Composite	205	6	0.99 (0.03)	313 (62.8) B	36590 (5977) B	242 (45.0) B	1.7 (0.27) B
		9	1.01 (0.02)	435 (75.5) A	42170 (7129) B	261 (40.8) AB	2.5 (0.49) B
	220	6	1.01 (0.03)	486 (52.2) A	44790 (6459) AB	303 (53.9) AB	4.3 (0.93) A
		9	1.05 (0.01)	516 (46.4) A	53400 (7163) A	315 (32.4) A	4.5 (0.74) A
	235	6	1.02 (1.06)	482 (59.5) A	52860 (5376) A	292 (26.2) AB	3.8 (0.05) A
		9	1.03 (0.03)	424 (52.0) A	53480 (2799) A	314 (27.6) A	3.9 (0.74) 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.

PPF : Polypropylene Fiber, NF : Nylon 6 Fiber, WF : Wood Fiber.

되었다. Table 1에서 열압온도 170°C와 190°C 사이에 박리강도의 차이가 심하게 나타난 것은 170°C의 열압온도가 보드의 심층까지 폴리프로필렌섬유를 용융시키는데 부적합한 조건임을 뜻하는 것이다.

본 연구에서 이용한 나일론섬유는 나일론 6섬유로서 용점(T_m)이 약 215~220°C로서 목섬유와 혼합하여 열압을 했을 때 적정 열압온도와 시간에 대한 결과는 표 1에 나타내었다. 세 수준의 온도는 나일론6의 용점을 기준으로 설정하였고 열압시간 6분과 9분은 폴리프로필렌섬유를 이용한 복합재의 연구와 동일한 조건으로 설정한 시간이다. 여섯 조건 중 가장 우수한 기계적 성질을 나타낸 영역은 열압온도 220°C와 열압시간 9분대로 나타났다. 열압온도 205°C와 235°C에서 열압시간이 길어지면 휨강도, 인장강도, 박리강도가 향상되는 것으로 나타났으나 220°C의 열압온도와 9분의 열압시간 조건에서 나타난 강도치에는 미치지 못하였다. 그러나 열압온도 235°C에서는 열압시간이 증가하면 휨과피계수가 감소하는 것으로 나타났다. 열압온도 205°C는 나일론6 섬유를 충분히 용융시켜 주지 못하는 조건이며 열압온도 235°C는 나일론 6섬유를 충분하게 녹여 주는데 반하여 목섬유가 고온에 의한 열화가 진행된 것으로 생각되었다.

Table 1을 통해서 가장 높은 기계적 성질을 나타낸 나

일론6 섬유의 적정 열압조건인 220°C의 열압온도와 9분 대의 열압시간에서 나타난 기계적 성결과 폴리프로필렌 섬유의 적정 열압조건은 190°C의 열압온도와 9분대의 열압시간대에 나타난 결과와 비교하면 나일론6 섬유로 제조한 복합재의 기계적 성질이 폴리프로필렌섬유로 제조한 복합재보다 더욱 우수한 성질을 보인다고 할 수 있다. 섬유 자체의 성질만을 비교하면 나일론6 섬유의 탄성계수는 100~500kg/mm², 인장강도는 4.5~7.5g/d, 신도는 16~40%인데 반해 폴리프로필렌섬유의 탄성계수는 500~1000kg/mm², 인장강도 4.5~7.5g/d 신장도는 30~50%(한국섬유공학회, 1994; 김, 1995)를 나타내어 섬유 자체의 강도적 성질이 크게 차이가 난다고 볼 수 없다. 따라서 폴리프로필렌섬유와 나일론6 섬유의 자체 강도적 성질보다는 용융지수의 차이로 인하여 발생하는 결과라 할 수 있다. 동일한 종류의 섬유에서도 용융지수의 차이에 의한 물성의 차이가 발생할 것으로 예상할 수 있으나 현재까지 이를 설명해줄 수 있는 보고는 발표된 바 없기 때문에 이에 관한 실험이 요구된다.

3.2 밀도

Table 2에 목섬유-폴리프로필렌섬유 복합재의 기계적 성질에 대한 밀도의 영향을 나타내었는데 복합재의 밀

Table 2. Mechanical properties of wood fiber - thermoplastic fiber composites by density level.

Composite Type	Target Density (g/cm ³)	Actual Density (g/cm ³)	MOR (kgf/cm ²)	MOE (kgf/cm ²)	Tensile Strength (kgf/cm ²)	Internal Bond Strength (kgf/cm ²)
WF/PPF Composite	0.6	0.56 ^a (0.04)	52 (8.2) ^b D	4640 (671) D ^c	42 (2.8) D	0.1 (0.03) D
	0.8	0.80 (0.04)	162 (22.6) C	13670 (2501) C	111 (6.8) C	0.5 (0.06) C
	1.0	0.98 (0.02)	385 (47.7) B	50390 (6276) B	198 (24.1) B	2.2 (0.41) B
	1.2	1.05 (0.04)	517 (32.6) A	60590 (5319) A	252 (38.6) A	4.3 (0.37) A
WF/NF Composite	0.6	0.62 (0.03)	90 (9.4) D	11640 (833) D	62 (8.2) C	0.2 (0.05) C
	0.8	0.84 (0.03)	230 (26.1) C	20160 (3328) C	148 (20.9) B	0.9 (0.17) C
	1.0	1.05 (0.01)	514 (35.9) B	52690 (6178) B	314 (54.7) A	4.2 (0.75) B
	1.2	1.14 (0.03)	584 (68.2) A	78280 (8385) A	324 (31.4) A	5.2 (0.81) 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.

PPF : Polypropylene Fiber, NF : Nylon 6 Fiber, WF : Wood Fiber.

도가 증가할수록 기계적 성질이 향상되는 것으로 나타났다. 밀도의 변화에 따라 복합재의 기계적 성질이 크게 좌우됨을 알 수 있었는데 특히 밀도 0.6g/cm³와 0.8g/cm³ 그리고 밀도 0.8g/cm³와 1.0g/cm³사이의 기계적 성질은 현저하게 차이를 보였다. 이는 열경화성 수지로 제조한 파티클보드나 섬유판과는 다른 양상을 보이는 것으로 생각된다. 즉 밀도의 증가에 따른 변화의 폭이 열가소성 섬유를 이용한 복합재가 열경화성 수지를 이용한 보드보다 비교적 크게 나타난다고 할 수 있다. 이러한 원인은 열경화성 수지를 사용하는 목질보드의 경우 분무식 도포 방법을 적용하여 수지분포를 효과적으로 조절하는데 반하여 nonwoven web 복합재의 경우 일정 이상의 밀도 범위에 이르렀을 때만이 매트내의 압력 증가로 인해 폴리프로필렌섬유가 용융되어 목섬유를 감싸면서 충분한 접착성을 발휘하게 된다는 점에서 서로 다르기 때문이라고 생각되었다.

목섬유-나일론6 섬유 복합재에 있어서 밀도의 영향을 Table 2에 나타내었는데 복합재의 밀도가 증가하면 모든 기계적 성질이 직선적으로 향상되는 것으로 나타났다. 밀도의 영향은 박리강도에서 가장 크게 나타났는데 밀도 0.8g/cm³의 박리강도는 0.9kgf/cm²인데 반해 밀도 1.0g/cm²의 박리강도는 4.2kgf/cm²로 나타나 무려 466%의 증가치를 보였다. 따라서 나일론6 섬유가 매트내에서 용융되어 섬유간의 결합력을 증진하려면 최소 1.0g/cm³의 밀도가 되어야 한다고 생각되었다. 부연하

면 고성능을 지향하는 복합재 제조에는 최소 밀도 범위가 1.0g/cm³ 이상되어야 함을 제시하는 자료라 할 수 있다.

밀도가 증가함에 따라 두 복합재 모두 기계적 성질이 향상되는 것으로 나타났으며 밀도의 수준에 의한 기계적 성질이 크게 차이를 보이기 때문에 밀도의 범위가 두 복합재의 기계적 성질에 미치는 영향이 크다고 판단되었다. Geimer 등(1993)은 복합재의 휨성질이 목섬유의 혼합량보다는 목섬유의 압축 정도에 의해 영향을 받는다고 한 의견과 일치하고 있는데 주사전자현미경 사진에서도 이러한 결과를 확인할 수 있었다.

밀도에 대한 박리강도의 변화는 다른 기계적 성질보다 크게 영향받는 것으로 나타났다. 이는 열가소성 물질이 충분히 용융되기 위해서는 일정 범위 이상의 밀도 한계가 뚜렷이 존재한다고 보여진다. 같은 밀도 범위에서는 나일론 6 섬유를 혼합한 복합재가 폴리프로필렌섬유를 혼합한 복합재보다 우수한 기계적 성질을 지닌 것으로 확인되었다. 이러한 차이는 열가소성 물질이 주어진 열압온도와 열압 시간에서 용융되는 속도에 의한 것이라고 생각된다.

3.3 혼합비율

Table 3에 나타난 바와 같이 혼합비율에 따른 목섬유-폴리프로필렌섬유 복합재의 기계적 성질은 열가소성 섬유의 혼합량이 증가하면 휨강도와 인장강도가 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나 박리강도의 경우 폴리프

Table 3. Mechanical properties of wood fiber - thermoplastic fiber composites by composition ratio.

Composite Type	Composition Ratio (WF : TPF)	Actual Density (g/cm ³)	MOR (kgf/cm ²)	MOE (kgf/cm ²)	Tensile Strength (kgf/cm ²)	Internal Bond Strength (k gf/cm ²)
WF/PPF Composite	95 : 5	0.96 ^a (0.04)	333 (75.3) ^b B	42660 (7293) B ^c	199 (22.0) B	2.4 (0.57) A
	90 : 10	0.97 (0.06)	384 (37.8) B	49653 (5788) AB	201 (15.2) B	2.6 (0.50) A
	85 : 15	1.01 (0.05)	478 (78.6) A	54660 (6462) A	251 (24.4) A	2.7 (0.57) A
WF/NF Composite	95 : 5	1.01 (0.04)	476 (45.1) A	49650 (6477) A	274 (41.0) B	4.1 (0.54) A
	90 : 10	1.04 (0.04)	515 (89.9) A	53560 (8063) A	310 (12.5) A	4.3 (0.61) A
	85 : 15	1.03 (0.04)	522 (89.6) A	54390 (7324) A	304 (21.6) AB	4.5 (0.64) 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.

TPF : Thermoplastic Fiber, PPF : Polypropylene Fiber, NF : Nylon 6 Fiber, WF : Wood Fiber.

로필렌섬유의 혼합을 10%와 15%간에는 차이가 없었으며 통계 처리를 한 결과 세 수준의 혼합율에 따른 차이는 인정되지 않았다. ANSI AHA A 135.4(1982)의 기준(휨강도 316kgf/cm², 인장강도 182kgf/cm², 박리강도 6.3kgf/cm²)과 비교하면 폴리프로필렌의 혼합비율이 10% 이상이었을 때 휨강도와 인장강도가 기준을 상회하는 값을 나타냈으며 박리강도는 기준에 미치지 못하였다. Krzysik와 Youngquist(1991)는 폴리프로필렌의 혼합비율을 15%에서 30%로 증가시키면 휨강도와 인장강도가 소폭으로 감소한다고 보고한 바 있으나 본 연구에서 적용한 혼합비율과 동일한 연구 보고가 없기 때문에 보다 넓은 범위의 혼합비율에 따른 기계적 성질 평가가 요구된다고 생각되었다.

목섬유에 대하여 나일론6 섬유의 혼합비율이 증가함에 따라 휨파괴계수, 휨탄성계수, 인장강도, 박리강도가 약간씩 증가하는 경향을 보였으나 통계 처리 결과 휨파괴계수와 휨탄성계수 그리고 박리강도는 95% 신뢰수준에서 유의성이 인정되지 않았고 인장강도의 경우 5% 혼합비율과 15% 혼합비율에서 유의성이 있는 것으로 나타났다. 나일론6 섬유의 혼합비율이 5%일 때 복합재의 기계적 성질은 ANSI AHA A 135.4(1982)의 기준중 박리강도 기준(6.3kgf/cm²)에만 미치지 못할 뿐 휨강도와 인장강도는 기준치를 훨씬 상회하고 있음을 상기할 때 나일론6 섬유의 혼합비율을 5%선으로 낮추어도 좋다고 판단할 수 있었으며 열경화성 수지나 결합제의 첨가 없이 기준치에 부합하는 박리강도의 향상은 기대할 수 없었다고 할 수 있다.

3.4 매트 함수율

Table 4는 세 수준의 매트 함수율에 대한 목섬유-폴리프로필렌섬유 복합재의 기계적 성질을 나타낸 것이다. 휨파괴계수와 휨탄성계수 그리고 인장강도는 매트 함수율이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였으며 통계 처리 결과 매트 함수율 5.5%와 11.5%에서는 차이를 보이지 않았고 17.5%에서는 차이를 보인 것으로 나타났다. 특히 매트 함수율 17.5%에서 휨파괴계수와 휨탄성계수 그리고 인장강도가 높은 값을 나타내는 것은 매트내 수분이 열전달을 촉진시켜 열가소성 섬유를 녹이는데 일정한 역할을 한다고 보아야 할지 아니면 목섬유의 가소화를 촉진시켜 나타나는 결과인지 결론 내릴 수는 없으나 이들 두 요인이 함께 작용한 결과로 믿어진다. Youngquist 등(1992)은 nonwoven web 복합재의 제조시 매트 함수율이 10% 이하이면 정전기를 발생시켜 불규칙한 web의 성형이 일어나는 현상이 발생하고 12% 이상이면 성형기 내에서 섬유들끼리 엉겨 붙는다고 기술하고 있으나 매트 함수율에 관한 실질적인 실험 자료는 지금까지 보고된 바가 없다.

Hawke 등(1992)이 경질섬유판의 매트 함수율을 8, 15, 22 및 28%로 설정하여 실험한 결과 휨강도는 15% 선까지 증가하다가 감소하였고 박리강도는 매트 함수율이 증가함에 따라 직선적으로 감소하였다고 보고한 자료에 비추어 볼 때 본 연구에서 제조한 복합재 역시 이와 유사한 경향을 나타냈다고 할 수 있다.

매트 함수율의 변화에 따른 목섬유-나일론6 섬유 복합재의 기계적 성질의 변화를 Table 4에 나타내었다. 매

Table 4. Mechanical properties of wood fiber - thermoplastic fiber composites by mat moisture content .

Composite Type	Mat Moisture Content (%)	Actual Density (g/cm ³)	MOR (kgf/cm ²)	MOE (kgf/cm ²)	Tensile Strength (kgf/cm ²)	Internal Bond Strength (kgf/cm ²)
WF/PPF Composite	5.5	0.98 ^a (0.04)	369 (58.1) ^b B	47960 (4588) B ^c	205 (29.5) B	2.3 (0.69) A
	11.5	0.95 (0.06)	382 (61.4) B	49470 (5967) B	213 (25.9) B	2.5 (0.29) A
	17.5	1.04 (0.03)	524 (75.8) A	62320 (7178) A	257 (43.2) A	2.2 (0.23) A
WF/NF Composite	5.5	1.02 (0.05)	511 (80.5) A	51860 (3749) A	299 (53.5) A	3.8 (0.58) A
	11.5	1.05 (0.01)	513 (73.9) A	52670 (7316) A	310 (19.5) A	4.4 (0.70) A
	17.5	1.03 (0.04)	575 (52.5) A	57920 (7478) A	300 (36.7) A	1.9 (0.34) B

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.

PPF : Polypropylene Fiber, NF : Nylon 6 Fiber, WF : Wood Fiber.

트 함수율이 휨강도적 성질에 미치는 영향은 통계 처리상 유의성이 없는 것으로 나타났으며 인장강도에서도 동일한 결과를 보였다. 이는 열경화성 수지를 사용한 보드의 경우 매트 함수율에 따른 영향을 강하게 받는 것이 일반적인 경향인데 반해 열가소성 섬유는 그 자체가 소수성이기 때문에 수분에 대한 영향이 크게 나타나지 않는다고 볼 수 있다. Table 4에서 매트 함수율이 11.5%였을 때 박리강도가 4.4kgf/cm² 였으나 17.5%의 매트 함수율에서는 1.9kgf/cm²로 나타나 내부 결합력이 급격히 저하하는 결과를 나타냈다. 매트 함수율이 높아짐에 따라 휨강도의 개선과 박리강도의 저하가 일어난다는 Hawke 등(1992)의 연구 결과도 있으나 nonwoven web 방법을 이용하여 열가소성 섬유와 목섬유로 제조한 복합재의 경우 매트 함수율의 연구 사례는 아직까지 보고된 바 없다.

매트 함수율이 증가함에 따라 폴리프로필렌섬유를 혼합한 복합재는 휨파괴계수, 휨탄성계수, 인장강도가 증가하였으며 박리강도는 변화가 없는 것으로 나타났다. 나일론6 섬유를 혼합한 복합재는 매트 함수율이 증가함에 따라 휨파괴계수, 휨탄성계수, 인장강도에 변화가 없는 것으로 통계 처리 결과 나타났고 박리강도는 11.5%의 매트함수율에서 최대치를 나타냈다가 17.5%에서 급격히 감소하는 결과를 나타내었다. 전반적인 성질에서 볼 때 폴리프로필렌섬유를 혼합한 복합재에서는 기계적 성질보다는 물리적 성질이 매트 함수율에 의해 더욱 민감하게 영향받는다고 여겨졌다.

4. 결 론

주어진 열압온도와 열압시간에서 목섬유- 폴리프로필렌섬유 복합재의 기계적 성질이 가장 우수하게 나타난 조건은 열압온도 190℃와 열압시간 9분이었으며 목섬유-나일론6 섬유 복합재에서는 열압온도 220℃와 열압시간 9분으로 나타났다. 목섬유- 폴리프로필렌섬유 복합재와 목섬유-나일론6 섬유 복합재는 밀도가 증가함에 따라 기계적 성질이 향상되었으며 다른 어떤 공정변수보다도 밀도가 복합재의 성질에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다. 열가소성 섬유의 혼합비율(5, 10 및 15%) 조건이 복합재의 기계적 성질에 미치는 영향은 대체로 미미하게 나타났으며, 혼합비율이 증가함에 따라 목섬유- 폴리프로필렌섬유 복합재나 목섬유-나일론6 섬유 복합재 모두 휨강도와 인장강도가 다소 증가하는 경향을 나타냈다. 매트 함수율이 두 복합재의 기계적 성질에 미치는 영향은 미미하였다. 목섬유- 나일론6 섬유 복합재가 목섬유- 폴리프로필렌섬유 복합재보다 우수한 기계적 성질을 나타내는 이유는 본 연구에서 사용한 나일론6 섬유의 용융지수(22g/10min)가 폴리프로필렌섬유의 것(4.3g/10min)보다 크기 때문으로 발생한 결과로 보인다.

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, USA
2. 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
 3. Hawke, R. N., B. C. H. Sun, and M. R. Gale. 1992. Effect of fiber mat moisture content on strength properties of polyisocyanate-bonded hardboard. *Forest Prod. J.* 42(11/12) : 61~68
 4. Krzysik, A. M., and J. A. Youngquist. 1991. Bonding of air-formed wood-polypropylene fiber composites. *Int. J. Adhesion & Adhesives* 11(4) : 235~240
 5. Krzysik, A. M., J. A. Youngquist, G. E. Myers, I. S. Chahyadi, and P. C. Kolosick. 1991. Wood-polymer bonding in extruded and nonwoven web composite panels. In: Proc. Symp. Wood Adhesives 1990 -Wood/nonwood composites. Conner, A. H., A. W. Christiansen., G. E. Myers., B. H. River., C. B. Vick., and H. N. Spelter. eds., USDA Forest Serv., Forest Products Laboratory, Madison, Wis. : 183~189
 6. Wegner, T H., J. A. Youngquist, and R. M. Rowell. 1992. Opportunities for composites from recycled wood based resources. *Mat. Res. Soc. Proc.* 266 : 3~15
 7. Youngquist, J. A. and R. M. Rowell. 1989. Opportunities for combining wood with non-wood materials. Particleboard/Composites Mat. Symp. 23. : 141~157
 8. 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
 9. 윤형운 · 이필우. 1996. 난기류 혼합법을 이용한 목섬유-열가소성 섬유 복합재에 관한 연구(1) - 공장변수가 복합재의 물리적 성질에 미치는 영향 -. 목재공학 24(3) : 101~109
 10. 한국섬유공학회. 1994. 인조섬유. 형설출판사. 서울
 11. 감경환. 1995. 최신 섬유재료학. 문운당. 서울