

난기류 혼합법을 이용한 목섬유-열가소성 섬유 복합재에 관한 연구(I)^{*1}

- 공정변수가 복합재의 물리적 성질에 미치는 영향 -

윤형운^{*2} · 이필우^{*3}

Wood Fiber-Thermoplastic Fiber Composites by Turbulent Air Mixing Process(I)^{*1}

- Effects of Process Variables on the Physical Properties of Composites -

Hyoung-Un Yoon^{*2} · Phil-Woo Lee^{*3}

ABSTRACT

Effects of process variables were evaluated in physical properties of the wood fiber-thermoplastic fiber composites using nonwoven web method. Turbulent air mixer using compressed air was employed to mix wood fiber with two types of thermoplastic polypropylene and nylon 6 fibers.

The optimal hot press temperature and time were found to be 190°C and 9 minutes in wood fiber-polypropylene fiber composite and to be 220°C and 9 minutes in wood fiber-nylon 6 fiber composite.

As the density of wood fiber-polypropylene fiber composite and wood fiber-nylon 6 fiber composite increased, the physical properties were improved. The density appeared to be the most significant factor on physical properties in the statistical analysis.

The composition ratio of polypropylene or nylon 6 fiber to wood fiber was considered not to be statistically significant factor. The thickness swelling decreased somewhat in wood fiber-polypropylene fiber composite and wood fiber-nylon 6 fiber composite as the content of synthetic fiber increased.

As the increase of mat moisture content, dimensional stability was improved in wood fiber-polypropylene fiber composite but not in wood fiber-nylon 6 fiber composite.

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

*1 접수 1996년 8월 12일 Received August 12, 1996

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

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

1. 서론

인구의 도시집중과 산업시설의 급격한 팽창은 필연적으로 대규모의 폐기물을 발생하게 하였으며 이로 인하여 환경파괴를 가속화하고 결과적으로 갖가지 사회적 문제를 야기하게 되었다. 배출된 폐기물을 효과적으로 처리하는 방법을 제시하고 해결하는데 있어서 인류가 쏟는 관심은 지구환경의 재생차원이라는 점에서 날로 증대하고 있으며 국가와 지역을 초월하여 반드시 해결해야 할 중요한 과제로 대두되고 있다. 폐기물이란 용어는 "전혀 가치가 없는 재료" 또는 "유용한 목적으로 재활용 될 수 있는 재료"라는 두 가지 의미를 모두 함축하고 있다.

폐기물의 분류상 가장 손쉽게 이용할 수 있는 대상은 주로 생활폐기물 또는 도시고형폐기물(Municipal Solid Waste, MSW)인데, 환경부 환경연감(1995)에 의하면 우리나라의 생활 쓰레기의 발생량에 관한 특징은 1994년 기준으로 연탄재와 음식물·채소류 쓰레기 52.5%, 종이류 21.5%와 비닐 또는 플라스틱류 5.0%, 금속·초차류 5.6%와 나무류 4.2% 그리고 기타 11.2% 등으로 발생된다고 조사, 보고되어 있다. 이들 폐기물 중에서 입산 공업에서 이용 가능한 목재 폐기물과 종이류 폐기물은 약 25.7%에 달한다. 또한 폐기물 중 5.0%나 차지하는 각종 플라스틱 폐기물은 목질 원료와 함께 복합재의 제조에도 이용될 수 있기 때문에 각종 판상재료 제조공업에 중요한 자원으로 활용할 수 있을 것이다.

근래에 폐자원 재활용의 일환으로 환경문제의 해소에 크게 기여 할 수 있는 각종 폐자원을 활용한 복합재의 개발이 미국을 중심으로 이루어지고 있는데 이는 양적 가용성을 보다 극대화할 수 있는 목질과 비목질인 각종 폐플라스틱을 혼용한 목질-비목질 복합재(wood-nonwood composite)에 가장 큰 초점이 맞추어지고 있다. 이와 같은 복합재는 그 원료를 폐자원에서 쉽게 얻을 수 있을 뿐만 아니라 비교적 용이하게 복합재화하여 재생처리가 가능하다는 점이 크게 작용한 것이다. 따라서 이들 폐기물을 대량으로 이용할 수 있는 기술의 개발과 공급은 심각한 환경 문제와 부족한 목질 자원의 문제를 동시에 해결할 수 있는 실마리를 제공한다는 측면에서 아주 중요한 의미를 담고 있다. 이러한 목질-비목질 복합재는 그 용도가 매우 다양하여 각종 성형재, 포장재, 칸막이, 지붕이나 바닥용 판상재, 건축 내장재, 자동차 내장재, 기타 건축 자재 등에 널리 이용하고 있다 (Krzysik *et al.*, 1991; Krzysik & Youngquist, 1991; Youngquist *et al.*, 1992).

그럼에도 불구하고 우리나라에서는 아직까지 이들 폐자원을 이용한 목질재료와의 복합재화 뿐만 아니라 발생한 각종 재활용성 재료도 충분히 재생처리하지 못하고 있는 실정이다. 환경부 환경연감 일반폐기물 발생량 현황(1995)에 의하면 1994년도 폐기물 발생량은 1일 5만 8천여 톤이었으며 이 중 81.2%가 매립처리되고 있고, 3.5%는 소각처리되고 있으며, 겨우 15.3%만이 재활용되고 있다고 보고되고 있어서 자원 낭비의 심각성을 지적하지 않을 수 없다. 이러한 상황에서 국가적 차원에서 보다 적극적으로 폐자원의 재활용 처리에 대한 과학적인 해결 방안이 제시되어야 할 것으로 생각된다. 특히 우리나라의 생활폐기물 중 30% 이상을 차지하는 종이류와 목재류 그리고 플라스틱류의 효과적인 재활용 방안이 시급히 마련되어야 한다고 본다.

관련 기존의 nonwoven web 방법을 적용한 목질-비목질 복합재에 대한 연구는 국가적 차원에서 막대한 투자를 바탕으로 진척되었기 때문에 일정한 성과를 거둘 수 있었다고 판단되지만 아직도 폐기물 처리와 재활용에 대한 근본적인 인식의 부족과 투자 기반이 약한 국내의 실정을 감안한다면 간단하고도 소규모의 실험적 장치와 방법의 개발이야말로 이 분야의 연구에 가장 절실한 부분이라 할 것이다. 이러한 실험장치의 개발은 nonwoven web composite의 기초물성 연구와 성질개선 연구에 대한 접근을 용이하게 하여 줄 것으로 기대된다.

따라서 본 연구의 목적은 첫째, nonwoven web composite의 제조를 실험실적으로 가능하도록 장치와 공정을 개발하고 둘째, 기초 공정변수(열압온도와 시간, 밀도, 혼합비율, 매트 함수율)를 광범위하게 다루어 nonwoven web composite의 제조와 물성에 관한 기초적 자료를 제시하는 것이다.

2. 재료 및 방법

2.1 재료

2.1.1 목섬유

목섬유는 동인보드(주)에서 분양받은 증밀도섬유판(MDF)용 섬유로서 수종은 솔송나무(western hemlock, *Tsuga heterophylla*)이며, 증해온도 160℃, 증해압력 7~10kgf/cm², 증해시간 2~3분으로 증해한 후 디스크 리파이너에서 해섬한 것으로 건조기를 거치지 않은 상태로 함수율 50~60%인 섬유를 2~3개월 동안 실내에서 천연 건조시킨 후 함수율 11~12%인 상태에서 폴리에틸렌 백에 담아 보관하였다.

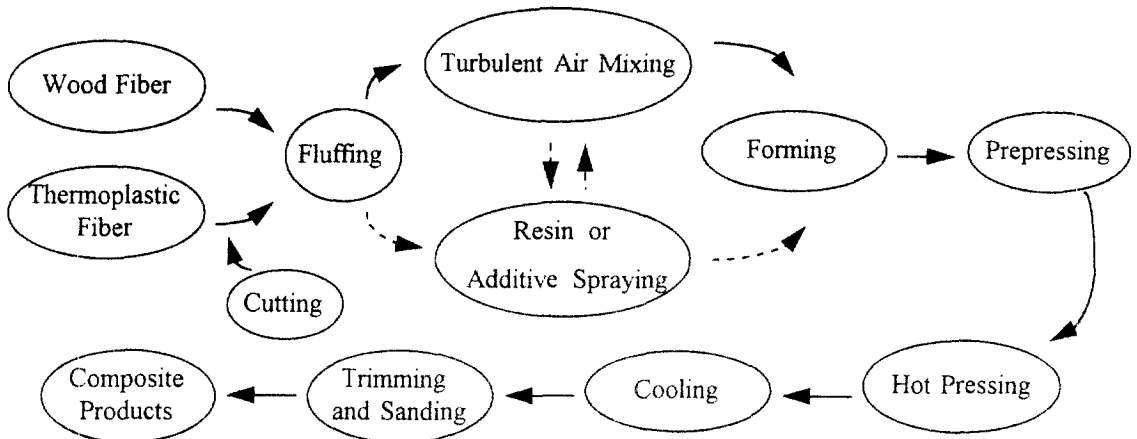


Fig. 1. Manufacturing Process of wood fiber-thermoplastic fiber composites using nonwoven web process.

2.1.2 열가소성 섬유

폴리프로필렌(polypropylene)섬유는 금성화섬(주)에서 토우(tow) 상태의 섬유를 분양받은 것으로 두께는 10 데니어(denier), 용융지수(melt flow index)는 4.3g/10min., 흡수율은 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., 흡수율은 3.3%였다. 이를 재단용 가위를 사용하여 섬유장이 1.5±0.2cm 정도 되게 절단하여 폴리에틸렌 백에 담아 보관하였다.

2.2 복합재 제조 및 방법

2.2.1 복합재 제조 공정

목섬유-열가소성 섬유 복합재의 제조 공정은 그림 1에 나타난 바와 같다. 복합재의 크기는 길이, 폭 및 두께가 25, 25 및 0.3cm이다. 복합재의 제조 공정을 간략히 설명하면 우선 tow상태의 열가소성섬유를 섬유장이 1.5±0.2cm가 되도록 절단한 다음 목섬유와 일정한 혼합비로 수작업을 통해 거칠게 혼합한 후 본 연구자가 고안한 그림 2의 난기류 혼합기(Turbulent air mixer)에 넣어 7~8기압의 압축공기를 난기류 혼합기의 입구에 분사함으로써 혼합기 내에서 난기류를 발생시키고 이 난기류와 섬유들 사이의 마찰로 인하여 목섬유와 열가소성 섬유들이 혼합되게 하는 방법을 적용하였다.

30~40초간 혼합하여 섬유간에 충분히 기계적인 결합이 발생하면 혼합기로부터 꺼내어 성형 공정으로 진

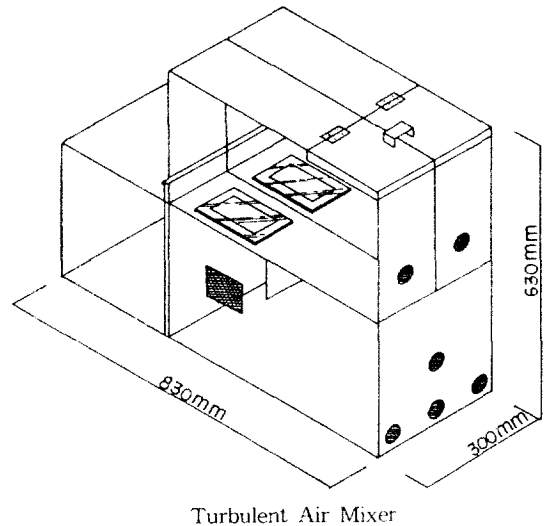


Fig. 2. Schematic diagrams of turbulent air mixer.

행하였다. 수작업으로 성형틀에 섬유 매트를 일정하게 조절하여 놓은 다음 2~4kgf/cm²의 압력으로 약 1분 30초 동안 예비가압하였다. 예비가압이 끝나면 열압 스케줄에 의해 열압하고 열압이 끝나면 냉각장치로 제조한 보드를 옮겨서 정해진 시간 동안 냉각과 동시에 냉압을 시켰다. 이때 냉각온도는 약 45℃ 정도를 목표로 하였다. 냉각 처리가 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. 나일론 6 섬유를 이용한 복합재 제조시의 열압온도는 205, 220 및 235℃를 적용하였으며 이 온도는 나일론 6의 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

폴리프로필렌섬유와 나일론 6 섬유를 이용한 복합재의 밀도 범위에 대한 실험은 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℃ (나일론 6), 열압시간 9분, 혼합비율 90 : 10 (목섬유 : 합성섬유), 매트함수율 10%의 조건으로 고정하였다.

2.3.3 혼합비율

열가소성 섬유의 혼합비율에 대한 영향을 살펴보고자 폴리프로필렌섬유와 나일론 6 섬유 모두 5, 10 및 15%씩의 혼합비율로 5반복 실험하였다. 이때 다른 공정변수는 열압온도 190℃ (폴리프로필렌) 및 220℃ (나일론 6), 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 공정변수는 열압온도 190℃ (폴리프로필렌) 및 220℃ (나일론 6), 열압시간 9분, 밀도 1.0 g/cm³, 혼합비율 90 : 10 (목섬유 : 합성섬유)의 조건으로 고정하였다.

2.4 복합재의 물리적 성질 평가

복합재의 물리적 성질은 ASTM D 1037-1087(1987)에 의거하여 밀도, 함수율, 두께팽창율(2시간, 24시간), 흡수량(2시간, 24시간)을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 열압온도와 열압시간

표 1은 열압온도와 열압시간이 목섬유-폴리프로필렌섬

유 복합재와 목섬유-나일론 6 섬유 복합재의 두께팽창율과 흡수량에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 먼저 목섬유-폴리프로필렌섬유의 복합재의 경우 주어진 조건에서 열압온도와 열압시간이 증가하면 2시간과 24시간 침지한 두께팽창율과 흡수량이 감소하는 경향을 보였다. 두께팽창율이나 흡수량은 열압시간의 차이보다 열압온도의 차이에 더욱 민감하다는 것을 통계처리를 통해 알 수 있었다.

2시간의 두께팽창율은 24시간 두께팽창율의 평균 70% 수준에 도달하는 것으로 나타났으며 이는 Roffael과 Rauch(1972)의 파티클보드의 처리결과에서 나타난 60%의 수준보다 큰 것으로 본 연구에서 제조한 복합재가 초기 흡수량이 많은 것으로 판단되었다. 가장 낮은 두께 팽창율과 흡수량을 나타낸 열압온도 190℃와 열압시간 9분대의 조건은 ANSI AHA A 135.4(1982)의 기준인 두께팽창율 25% 이하와 흡수량 35% 이하의 조건에는 미달하는 것으로 나타났다.

목섬유-나일론 6 섬유 복합재의 경우 열압온도와 시간이 증가할수록 두께팽창율과 흡수량이 감소하는 경향을 보였는데 두께팽창율과 흡수량은 열압시간보다는 열압온도에 의한 영향이 더 큰 것으로 나타났다. 열압온도 205℃와 열압시간 9분의 조건에서 24시간 두께팽창율이 21%로 나타나 ANSI AHA A 135.4(1982)의 경질섬유판 기준치인 25% 이하를 만족하는 물리적 성질을 나타냈으나 흡수량은 기준치인 35% 이하에 부합하지 못한 37%를 나타내었다. 흡수량이 35% 이하가 되는 열압온도와 열압시간은 220℃와 9분의 조건이라고 판단되었으므로 이와 같은 조건에서 복합재를 제조하는 것이 바람직하다고 생각되었다.

두 복합재의 경우 열압온도와 시간이 증가함에 따라 물리적 성질이 크게 향상되는 경향을 보였다. 적정 제조조건으로 판단되는 열압온도와 열압시간(190℃와 9분, 220℃와 9분)에서 두 복합재의 물리적 성질은 절대값에서 커다란 차이를 보이는데 24시간 두께팽창율과 흡수량을 비교하면 목섬유-폴리프로필렌섬유 복합재가 목섬유-나일론 6 섬유 복합재보다 두께팽창율이 84%나 더 높게 나타났고 흡수량은 51%나 더 높게 나타났다. 이러한 결과는 폴리프로필렌섬유가 나일론 6 섬유보다 불충분하게 용융되어 수분에 대한 저항성이 떨어진 것에 의한 것으로 생각되었다. 이러한 원인을 용융지수로 설명하면 다음과 같다. 본 연구에서 사용한 열가소성 섬유의 용융지수는 폴리프로필렌이 4.3g/10min. (190℃), 나일론 6가 22g/10min. (220℃)으로 측정되었다. 따라서 나일론 6의 용융지수가 폴리프로필렌보다 약 5배 정도 높게 나타나기 때문에 나일론 6의 매트내 수지분포가 폴리프로필렌보다

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

Composite type	Press temp. (°C)	Press time (min)	Thickness swelling (%)		Water absorption (%)	
			2 hrs	24 hrs	2 hrs	24 hrs
WF/PPF Composite	150	6	73 ^a (7.9) A	95 (22.0) ^b A	137 (8.2) A ^c	166 (36.1) A
		9	72 (7.6) A	86 (9.5) AB	113 (12.5) B	124 (15.8) B
	170	6	57 (7.0) B	69 (13.7) BC	83 (9.0) C	93 (7.8) B ^c
		9	42 (6.7) C	54 (6.2) DC	84 (11.3) C	89 (9.9) C
	190	6	28 (4.4) D	36 (2.5) D	44 (12.5) D	50 (10.4) D
		9	27 (4.5) D	31 (2.7) E	36 (5.8) D	48 (8.2) D
WF/NF Composite	205	6	29 (5.0) A	31 (4.9) A	35 (3.8) A	50 (7.2) A
		9	16 (3.3) A	21 (4.2) B	27 (3.3) B	37 (5.7) B
	220	6	13 (1.7) BC	20 (3.8) BC	26 (3.5) B	37 (3.0) B
		9	11 (1.3) BCD	17 (2.1) BCD	24 (5.0) B	32 (5.4) BC
	235	6	10 (2.2) CD	15 (2.8) CD	21 (4.6) BC	31 (4.6) BC
		9	7 (0.5) D	12 (1.0) D	17 (2.9) C	25 (2.6) 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.

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

훨씬 좋아 목섬유를 더욱 더 피복하기 쉬워질 것으로 판단되었다. 이러한 상태가 복합재의 흡수 특성을 좌우하여 물리적 성질에 영향을 미칠 것으로 생각되었다.

3.2 밀도

밀도에 대한 목섬유-폴리프로필렌섬유 복합재와 목섬유-나일론 6 섬유 복합재의 물리적 성질은 표 2에 나타내었다. 두 복합재 모두 밀도가 증가하면 두께팽창율과 흡수량이 직선적으로 감소하는 경향을 보였는데 목섬유-폴리프로필렌섬유 복합재의 경우 밀도 0.6g/cm³에서 24시간 두께팽창율이 51%, 흡수량이 196%를 나타냈고 밀도 1.2 g/cm³에서 24시간 두께팽창율이 16%, 흡수량이 23%를 나타내었다. 이러한 결과와는 달리 Youngquist 등(1992)은 목섬유(10%)와 폴리프로필렌섬유(90%)로 제조한 복합재에 관한 실험에서 Roffael과 Rauch(1972)가 실험한 결과와 유사하게 보드의 비중이 증가하면 두께팽창율이 증가하고 흡수량이 감소하는 경향을 보인다고 보고하였다.

밀도가 보드의 치수안정성에 미치는 영향에 대해 아직도 상반되는 해석이 존재하는데 Gatchell 등(1966)과 Halligan과 Schniewind(1972)는 밀도가 증가할수록 두께팽창율이 증가한다고 보고하였다. 이들은 밀도가 증가하면 같은 체적내에 더 많은 목질량이 존재하고 저밀도

상태보다 더욱 밀집한 상태가 되며 이러한 상태에서 침수나 증자 등의 처리는 밀집한 상태를 완화시키게 되고 목질량이 많은 고밀도 시편이 저밀도 시편보다 더욱 많은 팽창을 하게 된다고 설명하였다. 역시 Hann 등(1963)과 Hse(1975) 그리고 Geimer 등(1993)도 밀도가 증가할수록 두께팽창율이 커진다는 견해를 밝혔다.

그러나 Stewart와 Lehmann(1973)과 Lehmann(1974)은 밀도와 두께팽창율은 반드시 역비례 관계가 아니라는 의견을 제시하였다. 이들은 밀도가 증가하면 보드가 조밀하여지고 조밀한 상태는 보드 내의 공극이 감소되어 열압시 매트 내의 수분의 방출이 억제됨으로써 파티클이 유연해지고 결국 최종 보드에 압축세트의 증가가 일어나 파티클간의 결합이 증대되어 수분의 침투에 대한 저항성이 커진다고 보았다.

그러므로 목질량의 증가가 두께팽창율을 더욱 크게 한다는 의견은 본 연구에서 적용하기 어렵다고 판단되었다. 따라서 상반된 결과의 해석에서 보다 자세한 실험이 요구되지만 본 연구의 결과로만 가정한다면 다음과 같다. 동일한 재료로 동일 두께의 보드제조시 밀도가 증가함에 따라 압축율이 증가하고 이로 인해 발생한 내부응력에 따라서 증가하게 되고 그 결과 용융된 열가소성 수지를 보다 넓은 방향으로 빠른 시간에 보낼 수 있는 환경이 될 것이다. 따라서 이 수지는 목섬유를 둘러싸면서 일종의 수분

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

Composite type	Target density (g/cm ³)	Thickness swelling (%)		Water absorption (%)	
		2 hrs	24 hrs	2 hrs	24 hrs
WF/PPF Composite	0.6	45 ^a (6.5) A	51 (6.0) ^b A	176 (16.2) A ^c	196 (14.3) A
	0.8	45 (3.1) A	49 (5.1) A	104 (10.9) B	112 (11.6) B
	1.0	27 (4.5) B	32 (3.3) B	43 (9.3) C	51 (7.5) C
	1.2	12 (2.3) C	16 (2.9) C	12 (2.3) D	23 (3.0) D
WF/NF Composite	0.6	28 (3.1) A	30 (3.6) A	131 (9.7) A	135 (6.3) A
	0.8	24 (2.0) B	27 (2.4) B	72 (4.8) B	73 (4.6) B
	1.0	11 (1.4) C	16 (2.4) C	25 (5.0) C	32 (5.0) C
	1.2	4 (0.8) D	9 (1.6) D	9 (1.8) D	19 (3.2) 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.

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

차단막(water barrier)을 형성하게 되어 목섬유의 수산기가 물분자와 서로 접촉할 기회를 더욱 어렵게 만들므로써 두께팽창율과 흡수량이 감소했을 것이라고 생각되었다. 이상과 같은 설명은 용융지수가 훨씬 큰 나일론 6 섬유가 모든 밀도 범위에서 치수안정성이 우수하게 나타난다는 사실을 주목할 필요가 있다. 주사전자현미경의 사진을 통해서 복합재가 고밀도로 갈수록 표면이 더욱 치밀해짐을 관찰할 수 있었으나 수분에 대한 차단막과 같은 구실을 하는 박막은 전자현미경 사진에서는 뚜렷이 확인할 수 없었다.

부연하면 열경화성 수지를 목섬유에 스프레이 분무하는 방식과 열가소성 섬유를 목섬유와 혼합하여 일정한 온도와 압력으로 열가소성 섬유를 용융시켜 목섬유를 둘러싸야 하는 근본적인 제조방식의 차이가 위와 같은 결과를 낳지 않았을까 생각할 수도 있다.

3.3 혼합비율

혼합비율에 대한 목섬유-폴리프로필렌섬유와 목섬유-나일론 6 섬유 복합재의 물리적 성질은 표 3에 나타내었다. 우선 목섬유-폴리프로필렌섬유 복합재의 경우 폴리프로필렌섬유의 혼합비율이 증가할수록 두께팽창율과 흡수량이 2시간과 24시간 모두 감소하였다. 이는 Krzysik 등(1991)과 Krzysik와 Youngquist(1992)의 결과와 일치한 것이다. 특히 폴리프로필렌섬유의 혼합비율이 15%에 이르면 두께팽창율과 흡수량이 ANSI(1982)의 경질섬유판 기준 즉, 24시간 두께팽창율 25% 이하와 흡

수량 35% 이하에 근접해 간다는 것을 알 수 있었다. Geimer 등(1993)은 melt blended composite의 연구에서 폴리프로필렌섬유의 혼합량이 40% 정도 되어야 물리적 성질이 개선된다고 한 바 있다.

목섬유-나일론 6 섬유 복합재의 경우 나일론 6 섬유의 혼합비율이 증가함에 따라 두께팽창율과 흡수량이 감소하는 경향을 보였다. 95% 신뢰 수준으로 세 수준의 혼합비율에 대한 통계처리 결과, 혼합비율 5%와 15%의 두께팽창율이 유의성을 보이는 것으로 나타났으나 흡수량은 유의성이 인정되지 않았다.

혼합비율이 증가함에 따라 목섬유-폴리프로필렌섬유 복합재의 두께팽창율과 흡수량은 크게 개선되는 경향을 보였다. 목섬유-나일론 6 섬유 복합재는 통계처리 결과, 흡수량은 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 혼합비율 5%의 수준에서도 목섬유-나일론 6 섬유 복합재는 우수한 흡수저항성을 갖는 것으로 나타났다.

3.4 매트 함수율

세 수준의 매트 함수율에 따른 목섬유-폴리프로필렌섬유 복합재와 목섬유-나일론 6 섬유 복합재의 두께팽창율과 흡수량은 표 4에 나타내었다. 먼저 목섬유-폴리프로필렌섬유 복합재의 경우 매트 함수율이 증가함에 따라 두께팽창율과 흡수량이 감소하는 경향을 나타내었다. 특히 매트 함수율 17.5%에서는 24시간 두께팽창율이 22%, 흡수량이 35%로 나타나 ANSI AHA A 135.4(1982)의 기준을 만족하는 범위를 나타내고 있다. 매트 함수율

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

Composite type	Composition ratio (WF : TPE)	Thickness swelling (%)		Water absorption (%)	
		2 hrs	24 hrs	2 hrs	24 hrs
WF/PPF composite	95 : 5	40 ^a (5.0) A	43 (8.1) ^b A	60 (6.8) A ^c	65 (8.0) A
	90 : 10	26 (4.3) B	31 (3.1) B	37 (7.5) B	47 (8.0) B
	85 : 15	17 (1.9) C	26 (4.0) B	25 (4.3) C	43 (8.7) B
WF/NF composite	95 : 5	14 (2.5) A	19 (2.7) A	28 (5.4) A	37 (4.6) A
	90 : 10	14 (3.8) A	18 (3.3) AB	28 (6.0) A	36 (4.3) A
	85 : 15	13 (3.8) A	15 (3.8) B	25 (6.8) A	32 (8.1) 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.

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

Composite type	Mat moisture content (%)	Thickness swelling (%)		Water absorption (%)	
		2 hrs	24 hrs	2 hrs	24 hrs
WF/PPF composite	5.5	37 ^a (4.9) A	42 (7.0) ^b A	52 (8.7) A ^c	61 (8.1) A
	11.5	28 (4.3) B	32 (3.0) B	42 (9.1) B	51 (7.8) B
	17.5	19 (3.1) C	22 (3.0) C	24 (4.1) C	35 (4.0) C
WF/NF composite	5.5	18 (4.5) A	20 (4.1) A	31 (4.2) A	41 (8.2) A
	11.5	13 (3.3) B	17 (3.1) A	27 (6.3) A	35 (4.9) A
	17.5	12 (2.1) B	17 (3.4) A	27 (4.7) A	35 (6.3) 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.

Table 5. Comparison of mechanical and physical properties of wood fiber(90%)-polypropylene fiber(10%) composite by spiked drum and turbulent air mixer.

Target density (g/cm ³)	Mechanical property						Physical property					
	Static bending strength				Tensile strength		Internal bond strength		Thickness swelling		Water absorption	
	MOR (kgf/cm ²)		MOE (kgf/cm ²)		strength (kgf/cm ²)		strength (kgf/cm ²)		(% , 24 hrs)		(% , 24 hrs)	
	SPD ^a	TAM	SPD ^a	TAM	SPD ^a	TAM	SPD ^a	TAM	SPD ^a	TAM	SPD ^a	TAM
1.0	260	385	30498	50390	127	198	2.8	2.2	40	32	55	51
1.2	375	517	38862	60590	182	252	5.3	4.3	43	16	38	23

Notes : ^a Source from Youngquist *et al* (1992).

SPD : Spiked Drum, TAM : Turbulent Air Mixer.

이 증가하면 치수안정성이 향상된다는 보고는 Johns 등 (1984)과 Lee와 Yoon(1994)의 연구 결과에서도 찾을 수 있었다.

목섬유-나일론 6 섬유 복합재의 경우 함수율이 5.5%에서 6%씩 증가하여 17.5%까지 증가함에 따라 두께팽창율과 흡수량은 11.5%까지는 감소하는 경향을 보였으며, 매트 함수율 11.5%에서 17.5%까지는 거의 변화가 없는 경향을 보였다. 그러나 95% 신뢰 수준으로 통계 처리한 결과 매트 함수율에 따른 두께팽창율과 흡수량에는 유의성이 없는 것으로 나타났다. 따라서 나일론 6 섬유를 이용한 복합재의 경우 매트 함수율이 복합재의 물리적 성질에 미치는 영향은 미미하다고 생각되었다.

두 복합재를 비교하면, 매트 함수율이 증가함에 따라 폴리프로필렌섬유를 혼합한 복합재는 두께팽창율과 흡수량이 개선되는 것으로 나타났다. 반면 나일론 6 섬유를 혼합한 복합재는 매트 함수율이 증가함에 따라 2시간 두께팽창율에서만 개선의 효과를 보였으나 24시간 두께팽창율과 2시간, 24시간 흡수량에서는 변화가 없었다. 매트 함수율이 증가하면 치수안정성이 개선되는 것이 일반적인 경향이나 나일론 6 섬유를 혼합한 복합재의 경우 이러한 경향을 보이지는 않았다. 이는 나일론 6 섬유의 용융지수가 높기 때문에 주어진 열압조건에서 매트 함수율과 관계없이 목섬유와 목섬유의 결합이나 목섬유와 목섬유 사이의 틈을 메꾸어 주는 역할을 충분히 한 것으로 사료되었다.

3.5 난기류 혼합기(Turbulent Air Mixer) 성능 분석

본 연구에서 제작한 난기류 혼합기의 성능을 기준에 발표된 문헌을 통하여 비교 분석해 보면 다음과 같다. Youngquist 등(1992)이 목표밀도 0.4, 0.7, 1.0 및 1.2g/cm³의 네 수준에서 열압온도 190℃, 열압시간 10분, 냉각 처리 수분의 조건으로 폴리프로필렌섬유 10%와 hemlock 섬유 90%로 제조한 복합재의 물성과 본 연구에서 거의 유사한 재료와 제조 조건으로 판단되는 목표 밀도 1.0과 1.2g/cm³ 부분에 대해서 집중적으로 고찰하여 본 연구에서 제작한 난기류 혼합기(Turbulent Air Mixer)의 성능을 분석하였다. 표 5는 상기 조건에서 나타난 물성을 비교한 것이다. 표 5에 나타난 물성은 spiked drum을 이용하여 목섬유와 열가소성 섬유를 혼합한 것 보다는 압축 공기를 이용하여 혼합한 방법이 보다 우수한 기계적 및 물리적 성질을 나타낸다고 판단되었다.

본 연구에서 적용한 난기류 혼합방법으로 제조한 복합재의 휨강도는 밀도 1.0g/cm³일 때 spiked drum 방법에 비해 약 48%의 증가를, 휨탄성계수는 65%의 증가

를, 인장강도는 55%의 증가를, 박리강도는 18%의 감소를, 두께팽창율은 25% 감소를 그리고 흡수량은 7% 감소를 나타내어 박리강도의 감소를 제외하고 모든 기계적 및 물리적 성질이 우수한 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구는 목섬유와 열가소성 섬유인 폴리프로필렌섬유와 나일론 6 섬유를 난기류 혼합기를 이용하여 혼합하는 방법을 적용하여 nonwoven web법으로 복합재를 제조하고 목질-열가소성 섬유 복합재의 공정변수의 영향에 관한 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

열압온도와 열압시간에서 목섬유-폴리프로필렌섬유 복합재의 물리적 성질이 가장 우수하게 나타난 조건은 열압온도 190℃와 열압시간 9분이었으며 목섬유-나일론 6 섬유 복합재에서는 열압온도 220℃와 열압시간 9분으로 나타났다.

목섬유-폴리프로필렌섬유 복합재와 목섬유-나일론 6 섬유 복합재는 밀도가 증가함에 따라 물리적 성질이 향상되었으며 다른 어떤 공정변수보다도 밀도가 복합재의 성질에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다.

열가소성 섬유의 혼합비율 5, 10 및 15% 조건이 목섬유-열가소성 섬유 복합재에 미치는 영향은 대체로 미미하게 나타났으며 혼합비율이 증가함에 따라 목섬유-폴리프로필렌섬유 복합재나 목섬유-나일론 6 섬유 복합재 모두 두께팽창율이 다소 감소하는 경향을 나타냈다.

매트 함수율이 증가함에 따라 목섬유-폴리프로필렌섬유 복합재 치수안정성은 뚜렷이 개선되는 경향을 나타냈으나 목섬유-나일론 6 섬유 복합재에서는 매트함수율에 대한 영향이 미미하게 나타났다.

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. American Society for Testing and Materials. 1987. Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle panel materials. ASTM D1037-87
3. Gatchell, C. J., B. E. Heebink, and F. V. Hefty. 1966. Influence of component variables on properties of particleboard for exte-

- rior use. *Forest Prod. J.* 16(4) : 46~59
4. 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
 5. Halligan, A. F., and A. P. Schniewind. 1972. Effect of moisture on physical and creep properties of particleboard. *Forest Prod. J.* 22(4) : 14~48
 6. Hann, R. A. 1963. How durable is particleboard ? II. The effect of temperature and humidity. *Forest Prod. J.* 13(5) : 169~174
 7. Hse, C.-Y. 1975. Properties of flakeboards from hardwoods growing on southern pine sites. *Forest Prod. J.* 25(3) : 48~53
 8. Johns, W. E., G. C. Myers, M. T. Lentz, E. M. Huffaker, and J. B. Saunders. 1984. Isocyanate bonded medium density fiberboard. *In* : Proc. of 18th International Particleboard/Composites Materials Symp., T. M. Maloney, ed., Washington State Univ., Pullman : 71~98
 9. 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
 10. Krzysik, A. M., and J. A. Youngquist. 1991. Bonding of air-formed wood-polypropylene fiber composites. *Int. J. Adhesion & Adhesives* 11(4) : 235~240
 11. Lehmann, W. F. 1974. Properties of structural particleboard. *Forest Prod. J.* 24(1) : 19~26
 12. Roffael, E., and W. Rauch. 1972. Influence of density on the swelling behavior of phenolic-resin-bonded particleboards. *Holz als Roh und Werkstoff* 30(5) : 178~181
 13. Stewart, H. A., and W. F. Lehmann. 1973. High-quality particleboard from cross-grain, knife-planed hardwood flakes. *Forest Prod. J.* 23(8) : 52~60
 14. 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
 15. 이필우, 윤형운. 1994. MDI(methylene diphenyl diisocyanate) 수지를 이용한 톱밥보드의 제조와 물성()-보드 비중, 수지 첨가량, 매트 함수율에 관하여. *한국가구학회지* 5(2) : 50~61
 16. 환경부. 1995. 환경연감