

## 木質과 非木質系 纖維를 활용한 複合材 研究\*1

- 폴리프로필렌의 纖維長과 工程變數의 影響을 中心으로 -

이 필 우\*2

## Studies on Composites Using Wood and Nonwood Fibers\*1

- Effects of Polypropylene Fiber Length and Process Variables -

Phil-Woo Lee\*2

### ABSTRACT

This study was executed to examine the effects of polypropylene fiber length and process variables of the composites made from wood fiber and nonwood fiber mixed formulations.

As a nonwood fiber the polypropylene with 3 denier thickness of tow condition was selected and cut into each length of 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 and 2.5cm to mix with wood fiber. And also western hemlock wood fiber for medium density fiberboard was prepared. First, to decide an adequate polypropylene mixing fiber length, the composites of 1.0g/cm<sup>3</sup> density were made from 10% polypropylene fiber by each of five lengths and 90% western hemlock fiber mixed formulations. Thereafter as the experiments of process variable, the composites applied with adequate polypropylene fiber length(1.5cm) were made from 4 density levels (0.6, 0.8, 1.0, 1.2g/cm<sup>3</sup>). 3 mixed formulations of wood fiber to polypropylene fiber(95 : 5, 90 : 10, 85 : 15), and 3 mat moisture contents(5, 10, 20%).

According to the results and discussions it was concluded as follows :

The physical and mechanical properties were shown improved tendency, as polypropylene fiber length was increased in the range from 0.5 to 1.5cm, but shown decreasing tendency from 2.0 to 2.5 cm. Accordingly, it was shown that polypropylene fiber length is limited to 1.5cm or less length in mixing wood fiber and polypropylene fiber by turbulent air mixing process.

As the densities of wood fiber-polypropylene fiber composites were increased, the physical and mechanical properties were clearly improved. Also they were shown significantly increasement statistically between densities respectively.

In the mixed formulations, physical and mechanical properties were shown only slightly improvement, as they changed from 95 : 5 to 85 : 15 in wood fiber to polypropylene fiber. Despite of increase-

\*1 접수 1997년 3월 7일 Received March 7, 1997

본 연구는 1996년도 서울대학교 발전기금(조흥은행) 학술연구비 지원으로 수행되었음.

\*2 서울대학교 농업생명과학대학 College of Agriculture & Life Sciences, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea

ment of mat moisture content. mechanical properties were not improved significantly but physical properties were improved somewhat in wood fiber-polypropylene fiber composites.

**Keywords :** Wood fiber-polypropylene fiber composite, polypropylene fiber, fiber length, process variable, composition ratio, mat moisture content, physical and mechanical properties, turbulent air mixing process

## 1. 서 론

木質-非木質 複合材의 開發은 美國 聯邦政府 林產物 研究所를 中心으로 研究가 進行되고 있으며 全世界의 關心의 對象이 되고 있다. 이는 이들 複合材가 環境 問題를 解消하는데 도움이 될 뿐만 아니라 木質만으로는 기대하기 어려운 多樣한 物性과 各種 性能을 지닌 製品의 生産이 可能하다는데 그 의미를 두고 있다.

Youngquist 등(1992)에 의하면 木質-非木質 複合材는 原料 및 제조방법에 따라 여러 가지 製造 方法이 있으며 이들 製造 方法으로 製造할 수 있는 複合材를 크게 분류하면 熱成型性 木質-플라스틱 纖維 複合材(thermoformable wood-plastic fiber composites), 乾式 木纖維 複合材(dry-formed wood-fiber based composites), 無機質 接着 木質 複合材(inorganic-bonded wood composites), 木質-바이오매스 纖維 複合材(wood-biomass fiber composites) 그리고 木質-金屬 複合材(wood/metal composites) 등으로 나누고 있다. 특히 熱成型性 木質-플라스틱 纖維 複合材는 melt-blended composites, nonwoven web composites, wood-plastic fiber mat composites로 細分하여 다루고 있다. 이들 複合材 製造 技術은 發生한 生活쓰레기의 약 30%를 차지하는 종이류와 플라스틱류의 處理에 가장 接近하기 쉽고 大量 生産이 容易한 方法이며 生活쓰레기(municipal solid waste)에서 收去, 洗滌, 選別하여 複合材 製造에 알맞도록 原料加工處理를 거쳐서 利用하게 된다. 이러한 木質-非木質 複合材는 그 용도가 매우 다양하여 各種 成形材, 包裝材, 칸막이, 지붕이나 바닥 板狀材, 建築物 內裝材, 自動車 內裝材, 기타 建築 資材 等に 널리 활용하고 있다.

그럼에도 불구하고 우리나라에서는 아직까지 이들 廢 資源에 대하여 木質材料와의 複合材化 뿐만 아니라 發生한 各種 再活用性 材料도 合理的인 收集, 選別, 利用 體系가 이루어져 있지 않으므로 充分히 再生 處理하지 못하고 있는 실정이다. 최근의 中央環境新聞社(1996) 廢 棄物 總覽 資料에 의하면 1994년도 폐기물 발생량은 --

日 5만 8천 톤이었으며 이중 81.2%가 埋立 處理되고 있고, 3.5%는 燒却 處理되고 있으며, 겨우 15.4%가 再 活用되고 있다고 보고하고 있어서 資源 浪費의 深刻性을 지적하지 않을 수 없다. 이러한 狀況에서 國家의 차원에서 보다 積極的으로 廢資源의 再活用 處理에 대한 科學 的인 解決 方案이 提示되어야 할 것으로 생각된다. 특히 우리 나라의 生活廢棄物 중 약 30% 이상을 차지하는 종이류와 플라스틱류의 효과적인 再活用 方案이 時急히 마련되어야 한다고 본다.

美國의 경우 연방 정부가 지원하는 研究 施設을 基盤으로 막대한 施設과 人力 그리고 資金을 動員하여 積極 的으로 生活廢棄物을 再活用하여 새로운 복합재를 開發 하려는 움직임이 활발한 점이 우리의 實情과는 너무나 많은 차이를 보이고 있다. 또한 Nonwoven web 複合材에 관한 研究는 다른 分野의 研究와는 달리 美國 林產物 研究所를 中心으로 研究가 이루어 졌으나 아직도 解決해 야 할 많은 問題가 적지 않게 提起되고 있다. 지금까지 報告된 研究 中에는 木質-非木質 複合材 製造시 接着劑를 따로 塗布하지 않고 熱可塑性 物質이 接着劑의 역할을 하는 方法(Youngquist *et al.*, 1992)과 포름알데히드계 樹脂를 첨가 使用하여 性質을 좀 더 補充하는 方法(Youngquist *et al.*, 1990·1992) 그리고 結合劑를 利用하여 性質을 改善시키는 方法(Krzysik & Youngquist, 1991; Krzysik *et al.*, 1990) 등이 試圖되었다.

本 研究는 資源 環境의 側面에서 볼 때 環境 汚染源이 자 再活用도가 극히 낮은 플라스틱 廢資源을 再活用하는 方案이 될 수 있는 木質-非木質 複合材의 製造를 實驗室 的으로 可能하도록 하고자 첫째, 木質-非木質 複合材의 製造에 있어 最適의 混合程度를 규명하기 위하여 우선 지금까지 시행된 바 없는 熱可塑性 纖維의 섬유장과 목섬유의 혼합에 대한 영향을 평가하고 둘째, 최적의 섬유장을 적용하여 密度, 混合比率, 매트含水率에 따른 木質-非木質 複合材의 성능을 평가하며 셋째, 木質-非木質 複合材의 성질 개선에 관한 基礎的 資料를 提示하여 廢棄物 活 用に 있어서 적극적 利用方案을 모색하고자 실시하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 材料

#### 2.1.1 木纖維

木纖維는 某 企業에서 分讓받은 MDF용 纖維로서 樹種은 미국 솔송나무(western hemlock, *Tsuga heterophylla*)이며, 증해온도 160℃, 증해압력 7~10kgf/cm<sup>2</sup>, 증해 시간 2~3분으로 증해한 후 디스크 리파이너에서 解纖한 것으로 乾燥機를 거치지 않은 상태로 含水率 50~60%인 纖維를 2~3개월 동안 室內에서 天然 乾燥시킨 후 含水율을 10%로 조정된 상태에서 폴리에틸렌 백에 담아 保管한 것을 사용하였다.

#### 2.1.2 폴리프로필렌 纖維

폴리프로필렌(polypropylene) 纖維는 某 企業에서 토우(tow) 상태의 두께 3denier의 纖維를 分讓받아 이를 裁斷用 가위를 사용하여 주어진 纖維長에 따라 切斷하여 폴리에틸렌 백에 담아 保管하였다.

### 2.2 複合材 製造 및 方法

#### 2.2.1 複合材 製造 工程

複合材의 크기는 길이, 폭, 두께가 25, 25, 0.3cm로 제조하였다. 複合材의 製造 工程을 간단히 설명하면 우선 tow상태의 熱可塑性 纖維를 纖維長에 따라 切斷한 다음 木纖維와 일정한 混合比로 手作業을 통해 거칠게 混合한 후尹과李(1996)의 방법과 동일하게 混合하여 纖維사이에서 충분한 機械的인 結合이 이루어지면 混合機 내에서 꺼내어 成型을 하였다. 다음에 手作業으로 成型물에 纖維 매트를 일정하게 간 다음 2~4kgf/cm<sup>2</sup>의 壓力으로 약 1분 30초동안 豫備加壓하였다. 豫備加壓이 끝나면 熱壓 스킴줄에 의해 熱壓하고 熱壓이 끝나면 冷却裝置로 製造한 보드를 옮겨서 정해진 시간 동안 冷却과

동시에 冷壓을 시켰다. 이때 冷却 溫度는 약 45℃ 정도로 하였다. 冷却이 끝난 보드는 두께와 무게를 측정한 후 溫度 20±1℃, 相對濕度 65±3%의 恒溫恒濕室에서 數週間 調濕 處理하였다.

#### 2.3 폴리프로필렌 纖維長 평가 實驗用 複合材 製造

Tow상태의 두께 3denier의 폴리프로필렌을 길이 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5cm로 가위로 切斷하여 纖維長에 대한 영향 평가에 필요한 최적의 섬유장을 결정하기 위한 복합재 제조시험용으로 준비하였다.

이 때의 製造條件은 Table 1에 나타난 바와 같다. 이 폴리프로필렌 섬유의 길이별로 木纖維와의 混合比를 10 : 90으로 하고 밀도 1 g/cm<sup>3</sup>의 복합재를 압력 50 kgf/cm<sup>2</sup>, 시간 9분, 온도 190℃의 열압조건을 적용하여 길이별로 5반복으로 제조하였다.

#### 2.4 工程變數 實驗用 複合材 製造

최적 폴리프로필렌의 섬유장을 1.5cm로 고정하고 Table 2의 설계를 적용하여 다음과 같이 複合材를 제조하였다.

##### 2.4.1 密度

폴리프로필렌 纖維를 이용한 複合材의 密度 범위에 대한 실험은 密度를 0.6, 0.8, 1.0, 1.2g/cm<sup>3</sup>으로 密度를 0.2g/cm<sup>3</sup>씩 增加시켜 밀도별로 5반복으로 제조하였다. 熱壓 條件은 Table 2에 나타난 바와 같다.

##### 2.4.2 混合比率

폴리프로필렌 纖維의 混合比率에 대한 영향을 검토하고자 목섬유에 대하여 폴리프로필렌 纖維를 5, 10, 15%의 混合比率로 실험하였다. 이때 複合材 제조에 대한 熱壓 條件은 Table 2에 나타난 바와 같다.

##### 2.4.3 매트 含水率

매트 含水率이 複合材의 物理的 및 機械的 性質에 미치는 影響을 檢討하고자 매트 含水율을 5, 10, 20%의

Table 1. Experimental design for manufacture of wood fiber-polypropylene fiber composites by polypropylene fiber length.

Fiber Morphology	Serial No.	Polypropylene Fiber				Manufacturing Conditions						
		Denier	Length (cm)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Mat MC (%)	Hot Press Schedule			Fiber Type		Cooling Time (min)	Manufactured Panel
						Temp. (°C)	Time (min)	Pressure (kgf/cm <sup>2</sup> )	Wood Fiber (%)	P.P. Fiber (%)		
Polypropylene Fiber's Denier and Length	1	3	0.5	1.0	10	190	9	50	90	10	6	5
	2	3	1.0	1.0	10	190	9	50	90	10	6	5
	3	3	1.5	1.0	10	190	9	50	90	10	6	5
	4	3	2.0	1.0	10	190	9	50	90	10	6	5
	5	3	2.5	1.0	10	180	9	50	90	10	6	5

Table 2. Experimental design for manufacture of wood fiber-polypropylene fiber composites by process variables.

Process Variables	Serial No.	Manufacturing Conditions								
		Density (g/cm <sup>3</sup> )	Mat MC (%)	Hot Press Schedule			Fiber Type		Cooling time (min)	Manufactured Panel
				Temp. (°C)	Time (min)	Pressure (kgf/cm <sup>2</sup> )	Wood Fiber (%)	P.P. Fiber (%)		
Density	1	0.6	10	190	9	30	90	10	6	5
	2	0.8	10	190	9	40	90	10	6	5
	3	1.0	10	190	9	50	90	10	6	5
	4	1.2	10	190	9	60	90	10	6	5
Mixing ratio	1	1.0	10	190	9	50	95	5	6	5
	2	1.0	10	190	9	50	90	10	6	5
	3	1.0	10	190	9	50	85	15	6	5
Mat MC	1	1.0	5	190	9	50	90	10	6	5
	2	1.0	10	190	9	50	90	10	6	5
	3	1.0	20	190	9	50	90	10	6	5

수준으로 조정하여 실험하였다. 이 때 複合材 제조의 熱壓條件은 Table 2에 나타난 바와 같다. 複合材는 조정 함수율별로 5반복으로 제조하였다.

## 2.5 複合材의 物理的 및 機械的 性質 評價

### 2.5.1 複合材의 機械的 性質

複合材의 機械的 性質에 관한 실험은 ASTM D 1037-1087에 依據하여 靱强度的 性質(MOR, MOE), 剝離强度, 그리고 引張强度를 측정하였다. 試驗片의 數는 매 반복마다 1매의 보드가 제조되었는데 보드 1매당 2개씩을 절삭하여 實驗用으로 하였다. 試驗片의 절삭 위치는 양 옆을 1.5cm씩 재단하여 버리고 보드를 5cm씩 네 개로 길이방향으로 재단한 다음 두 개는 引張强度 試驗片으로 이용하고 含水率과 剝離强度 試驗片은 두 개의 靱强度 試驗이 끝난 試驗片에서 다시 裁斷하여 試驗하였다.

### 2.5.2 複合材의 物理的 性質

複合材의 物理的 性質은 ASTM D 1037-1087에 의거하여 密度, 含水率, 두께팽창율과 물흡수량을 測定 계산하였는데 시험편의 길이, 폭, 두께와 무게를 측정하여 각각 환산하였다.

## 2.6 資料 分析

제조한 複合材의 結果 分析은 SAS 統計 分析 프로그램을 利用하여 Tukey's method를 使用하였다. 처리한 平均들의 差異는 95% 信賴水準으로 檢定하여 處理水準에 대한 影響을 평가하였다.

## 3. 結果 및 高찰

### 3.1 纖維 混合時 폴리프로필렌 纖維長의 最適條件에 관한 실험

木纖維-폴리프로필렌 纖維 複合材의 제조에 있어 폴리프로필렌 纖維의 纖維長이 混合에 미치는 영향을 알아보고자 폴리프로필렌의 섬유장별로 제조된 木纖維-폴리프로필렌 纖維 複合材로부터 측정 계산된 物理的 및 機械的 性質을 表示하면 Table 3에 나타난 바와 같다.

複合材 제조시 目標密度를 1.0g/cm<sup>3</sup>로 하였으며 각 폴리프로필렌의 纖維長에 따른 複合材의 密度는 0.97~1.0으로 목표밀도와 거의 일치함을 보이고 있다. 또한 제조된 木纖維-폴리프로필렌 纖維 複合材의 함수율은 7.53~8.47으로 평균 7.9%를 보였다.

木纖維-폴리프로필렌 纖維 複合材의 靱과괴계수, 靱탄성계수, 박리강도 모두 폴리프로필렌 纖維의 길이가 0.5cm, 1.0cm, 1.5cm로 길어질 경우 다소 증가하는 경향을 보이고 있으나 2.0cm 이상일 경우 급격히 감소하는 경향을 나타내었다. 구체적으로 살펴보면 靱과괴계수일 경우 폴리프로필렌 纖維의 길이가 1.5cm인 것을 혼합할 때 435kgf/cm<sup>2</sup>로 가장 높은 값을 나타내었고 靱탄성계수는 폴리프로필렌 纖維의 길이가 1.0cm일 때 43.313kgf/cm<sup>2</sup>로 가장 높은 값을 나타내었으며 박리강도는 靱과괴계수와 동일하게 폴리프로필렌 纖維의 길이가 1.5cm일 때 2.24kgf/cm<sup>2</sup>로 가장 높은 값을 나타내었다. 또한 통계 분석을 한 결과 纖維長이 0.5cm에서

1.5cm까지는 機械的 性質에 있어 통계적으로 有意性이 없었으나 纖維長이 2.0cm 이상일 경우 강도 감소폭에 있어 통계적으로 有意性이 있음을 알 수 있었다. 특히, 횡과괴계수의 경우 폴리프로필렌 纖維의 길이가 0.5cm, 1.0cm, 1.5cm일 때 모두 ANSI AHA A 135.4 규정치인 316kgf/cm<sup>2</sup>를 만족시킴을 알 수 있다.

木纖維-폴리프로필렌 纖維 複合材의 치수안정성에 있어서도 앞에서 기술한 機械的 性質과 유사한 경향을 보이고 있다. 폴리프로필렌 纖維의 길이가 0.5, 1.0, 1.5cm인 것을 혼합하여 製造한 複合材의 두께팽창율과 吸水量이 길이 2.0과 2.5cm의 경우보다 낮은 값을 나타내었다. 물론 통계분석결과 吸水量의 경우 0.5cm에서 1.5cm까지의 실험값은 통계적으로 有意性이 없었다.

전체적으로 볼 때 본 研究에서 製造한 木纖維-폴리프로필렌 纖維 複合材의 機械的 性質과 치수안정성은 폴리프로필렌 纖維의 길이에 대한 영향이 거의 비슷한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 다소 그 절대값은 차이가 있었지만 본 研究에서 적용한 난기류 纖維混合裝置에서는 적어도 폴리프로필렌 纖維의 길이를 1.5cm 이하로 절단하여 사용해야 한다고 결론지을 수 있다.

### 3.2 複合材 제조시 工程變數의 영향에 관한 실험

#### 3.2.1 복합재 密度의 영향

##### 3.2.1.1 物理的 性質

密度에 대한 木纖維-폴리프로필렌 纖維 複合材의 物理的 性質의 結果를 表示하면 Table 4와 Fig. 1 및 2와 같다. 密度가 증가할수록 두께팽창율은 다소 감소하

는 경향을 보이거나 통계적으로 有意性은 없었으며 吸水量은 감소하는 경향을 보였는데 밀도 0.6g/cm<sup>3</sup>에서 두께팽창율이 28.7%, 吸水量이 135.2%를 나타내었고 밀도 1.2g/cm<sup>3</sup>에서 두께팽창율이 23.7%, 吸水量이 41.9%로 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 Youngquist 등(1992)의 木纖維와 폴리프로필렌 纖維로 製成된 複合材에 관한 研究에서 보듯이 보드의 비중이 증가하면 두께팽창율이 증가한다는 보고와는 상반된다고 볼 수 있다.

일반적으로 보드의 密度가 증가할수록 두께팽창율이 증가한다고 보고되고 있다. 즉 密度가 증가하면 같은 體積內에 더 많은 목질량이 존재하고 低密度 상태보다 더욱 밀집한 상태가 되며 이러한 상태에서 浸水 등의 처리는 밀집한 상태를 緩和시키게 되고 목질량이 많은 高密度 시편이 低密度 시편보다 더욱 많은 팽창을 하게 된다는 것이다. 그러나 본 研究에서 적용한 複合材의 경우 폴리프로필렌 纖維라는 새로운 재료의 특성과 제조조건에 미치는 영향들이 密度의 영향보다 오히려 큰 작용을 하여 나타난 결과로 믿어진다.

동일한 재료로 동일 두께의 보드를 製成할 때 密度가 증가할수록 더 많은 양의 재료가 사용되어야 하므로 과도한 壓縮이 필요해지기 때문에 용융된 폴리프로필렌 纖維가 木纖維 주위를 둘러싸는 정도가 더욱 커지게 되면서 일종의 수분차단막이 형성된 결과로 인해서 木纖維가 수분과 접촉할 수 있는 기회를 줄이게 만드는 것으로 생각할 수 있다.

Table 3. Physical and mechanical properties of wood fiber-polypropylene fiber composites.

Polypropylene Fiber Length (cm)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Moisture Content (%)	Modulus of Rupture (kgf/cm <sup>2</sup> )	Modulus of Elasticity (kgf/cm <sup>2</sup> )	Internal Bond Strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	Thickness Swelling (%)	Water Absorption (%)
0.5	0.97 <sup>a</sup>	8.47 <sup>b</sup>	381A* (33) <sup>c</sup>	40019AB (2680)	1.89A (0.11)	48.3BC (0.28)	69.0B (6.68)
1.0	1.00	7.53	414A (24)	43313A (8866)	2.16A (1.67)	46.0C (1.13)	65.9B (4.88)
1.5	0.99	7.64	435 (154)	42537A (12033)	2.24A (0.25)	43.9C (3.38)	58.1B (5.32)
2.0	0.97	8.26	286B (7)	31123BC (3517)	0.70B (0.17)	65.2A (1.78)	94.5A (2.71)
2.5	0.98	7.53	284B (70)	28601C (12926)	0.57B (0.17)	57.3AB (5.18)	78.2AB (4.45)

Notes : <sup>a</sup> : based on oven-dry volume. <sup>b</sup> : based on oven-dry weight. <sup>c</sup> : standard deviation.

\* : mean with the same letter is not significantly different at the 5 percent level from Tukey's test.

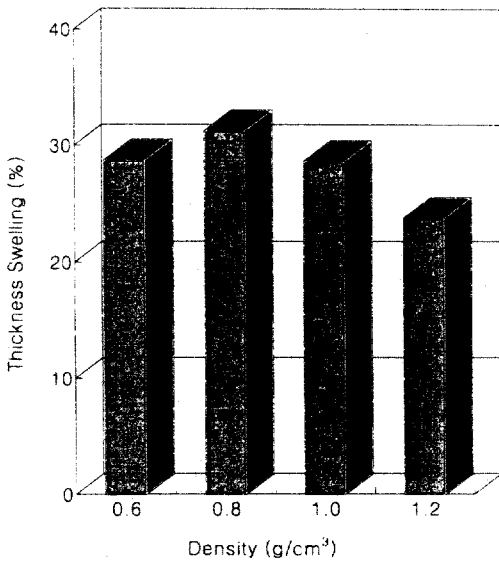


Fig. 1. Thickness swelling of wood fiberpolypropylene fiber composites by density.

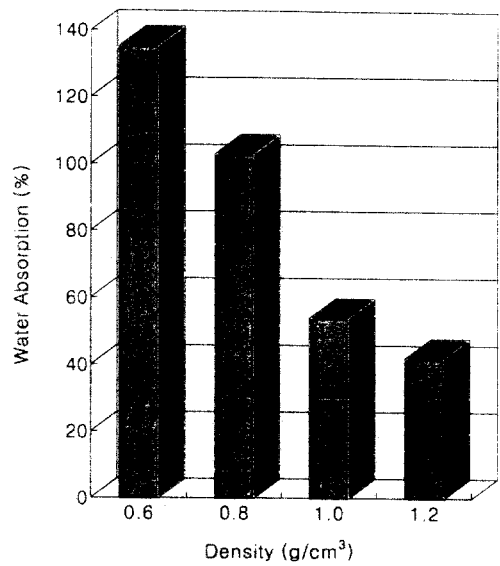


Fig. 2. Water absorption of wood fiberpolypropylene fiber composites by density.

Table 4. Physical and mechanical properties of wood fiber-polypropylene fiber composites.

Process Variables		MOR (kgf/cm <sup>2</sup> )	Internal MOE (kgf/cm <sup>2</sup> )	Bond Strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	Tensile Strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	Thickness Swelling (%)	Water Absorption (%)
Target Density (g/cm <sup>3</sup> )	0.6	94D* (9) <sup>a</sup>	16787C (1601)	0.9C (0.2)	61D (5)	28.7A (2.9)	135.2A (8.3)
	0.8	195C (50)	35698B (4177)	1.1C (0.2)	140C (17)	31.2A (1.4)	102.9B (8.5)
	1.0	430B (41)	50595A (2849)	2.3B (0.8)	238B (27)	28.6A (1.2)	53.8C (6.8)
	1.2	525A (62)	48690A (3962)	3.6A (0.8)	276A (28)	23.7A (7.7)	41.9C (11.9)
Composition Ratio (WF : PPF)	95 : 5	401B (83)	45941B (4306)	1.5C (0.6)	260A (13)	34.8A (4.0)	75.9A (14.6)
	90 : 10	430B (41)	50595A (2849)	2.3B (0.8)	238A (27)	28.6B (1.2)	53.8B (6.8)
	85 : 15	519A (50)	49335AB (3668)	4.3A (0.7)	264A (43)	21.5C (1.7)	38.8B (6.9)
Mat Moisture Content (%)	5	203B (48)	28066B (3780)	1.1B (0.2)	130B (9)	32.8A (2.5)	85.9A (3.1)
	10	430A (41)	50595A (2849)	2.3A (0.8)	238A (27)	28.6B (1.2)	53.8B (6.8)
	20	392A (66)	45553A (1220)	2.3A (1.2)	246A (8)	31.1AB (2.5)	63.2B (9.7)

Notes : <sup>a</sup>: standard deviation.

\*: mean with the same letter is not significantly different at the 5 percent level from Tukey's test.

### 3.2.1.2 機械的 性質

Table 4와 Fig. 3, 4, 5, 6에 木纖維-폴리프로필렌 纖維 複合材의 機械的 性質에 대한 密度의 影響을 나타 내었다. 이 結果에 依하면 複合材의 密度가 增加할수록 機械的 性質이 향상되는 것으로 나타났다.

먼저 靱 파괴계수의 경우 밀도 1.2g/cm<sup>3</sup>일 때 525kgf

/cm<sup>2</sup>를 보여 가장 높은 값을 나타내었고 靱탄성계수, 박 리강도, 인장강도 또한 각각 48,690kgf/cm<sup>2</sup>, 3.6kgf /cm<sup>2</sup>, 276kgf/cm<sup>2</sup>으로 높은 값을 나타내었다. 이러한 결과로 미루어 볼 때 木纖維와 폴리프로필렌 纖維로 제조 한 複合材가 경질섬유판의 요구물성치 즉 ANSI AHA A 135.4에 규정된 값 316kgf/cm<sup>2</sup>을 만족하기 위해서는

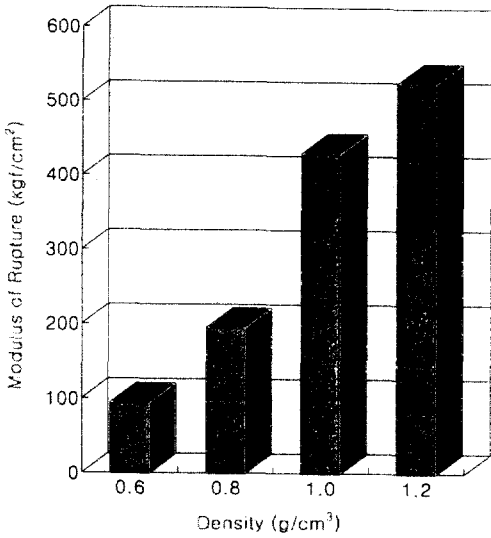


Fig. 3. Modulus of rupture of wood fiberpolypropylene fiber composites by density.

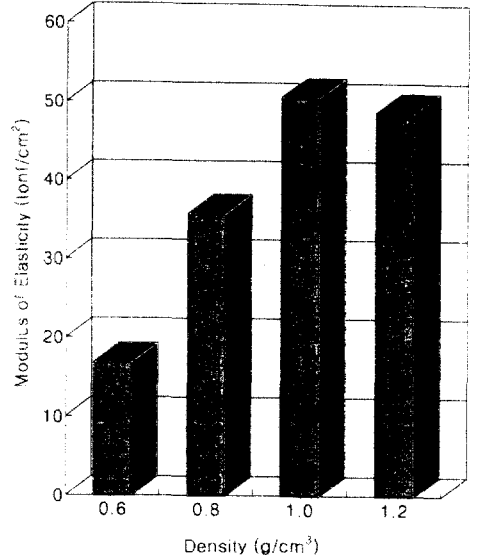


Fig. 4. Modulus of elasticity of wood fiberpolypropylene fiber composites by density.

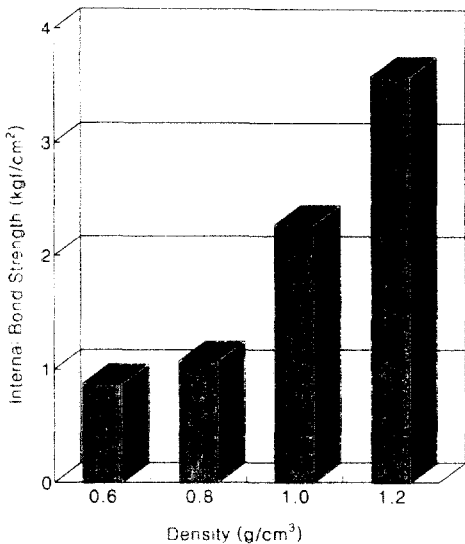


Fig. 5. Internal bond strength of wood fiberpolypropylene fiber composites by density.

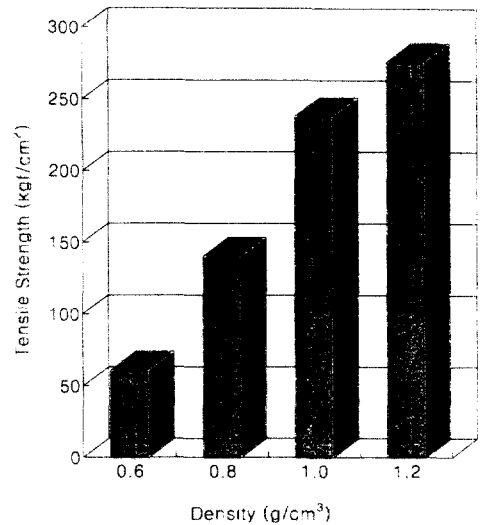


Fig. 6. Tensile strength of wood fiberpolypropylene fiber composites by density.

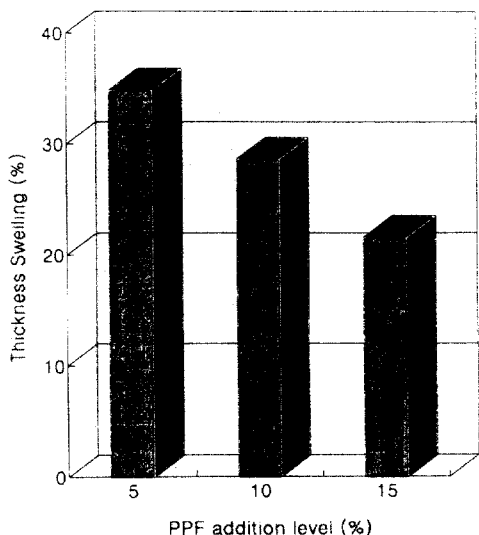


Fig. 7. Thickness swelling of wood fiberpolypropylene fiber composites by density.

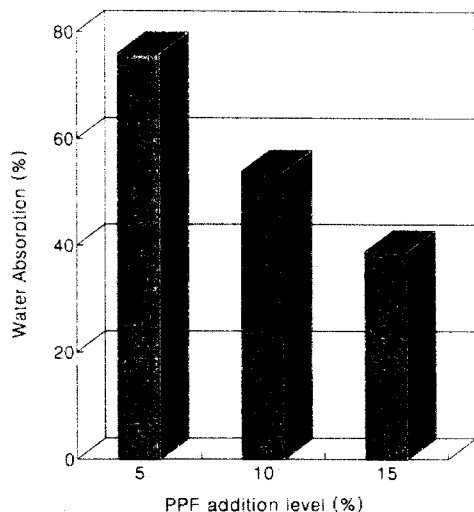


Fig. 8. Water absorption of wood fiberpolypropylene fiber composites by density.

密度가 최소한  $1.0\text{g}/\text{cm}^3$  이상되어야 한다고 생각된다. 또한 밀도  $0.6\text{g}/\text{cm}^3$ 와  $0.8\text{g}/\text{cm}^3$  그리고 밀도  $0.8\text{g}/\text{cm}^3$ 와  $1.0\text{g}/\text{cm}^3$  사이의 기계적의性質이 현격한 차이를 보임으로써 木纖維-폴리프로필렌 纖維 複合材의 기계적의性質이 일반적으로 열경화성 수지로 제조한 파티클보드나 섬유판과는 다른 양상을 보이는 것으로 판단되었다.

### 3. 2. 2 複合材에 대한 纖維 混合比率의 영향

#### 3. 2. 2. 1 物理的의性質

폴리프로필렌 纖維의 混合比率이 木纖維-폴리프로필렌 纖維 複合材의 物理的의性質에 미치는 영향에 대한 결과는 Table 4와 Fig. 7와 8에 나타난 바와 같다.

混合比率이 5%, 10%, 15%일 때 木纖維-폴리프로필렌 纖維 複合材의 두께팽창율은 34.8%, 28.6%, 21.5%를 보였으며 吸水量은 각각 75.9%, 53.8%, 38.8%를 보였다. 이와같이 제조된 複合材의 두께팽창율과 吸水量 모두 폴리프로필렌 纖維의 混合比率이 증가할수록 감소하는 경향을 뚜렷하게 나타낸다는 것을 알 수 있었다. 이는 Krzysik 등(1991)의 결과와 일치하는 것이다. 특히, 폴리프로필렌 纖維의 混合比率이 15%일 때에는 두께팽창율이 ANSI AHA A 135.4의 규정요구치인 25%보다 낮은 21.5%를 나타내어 매우 우수한 결과를 보여 주고 있다.

Geimer 등(1993)은 melt blended composite의 연

구에서 폴리프로필렌 纖維의 혼합량이 40% 정도이어야 物理的의性質이 改善된다고 보고한 바 있다. 그러나 본 연구에서는 이보다 혼합비율이 낮은치로 시험하였음에도 불구하고 결과적으로 混合比率이 증가함에 따라 木纖維-폴리프로필렌 纖維 複合材의 두께팽창율과 吸水量을 크게 改善될 수 있다는 확신을 가지게 하였다.

#### 3. 2. 2. 2 機械的의性質

폴리프로필렌 纖維의 混合比率이 木纖維-폴리프로필렌 纖維 複合材의 기계적의性質에 미치는 영향에 대한 결과는 Table 4와 Fig. 9, 10, 11, 12에 나타난 바와 같다.

木纖維-폴리프로필렌 纖維 複合材의 휨과괴계수는  $401\text{kgf}/\text{cm}^2 \sim 519\text{kgf}/\text{cm}^2$ 를 나타내어 混合比率이 증가할수록 향상됨을 보이고 있다. 또 混合比率이 5%, 10%에서 15%로 증가할 때 휨과괴계수의 증가폭이 늘어났으며 95% 신뢰수준으로 세 수준의 混合比率에 대한 통계처리 결과 5%와 10% 사이에는 有意性이 없었으나 15%와의 사이에는 有意性이 인정되었다. 또한 混合比率이 5%, 10%, 15%일 때 모두 ANSI의 硬質纖維板 기준치( $316\text{kgf}/\text{cm}^2$ )를 만족하고 있다.

木纖維-폴리프로필렌 纖維 複合材의 휨탄성계수의 결과는  $45941\text{kgf}/\text{cm}^2 \sim 50595\text{kgf}/\text{cm}^2$ 를 나타내고 있으며 混合比率이 5%에서 10%로 증가할 경우 휨탄성계수가 향상되었으나 15%의 경우 그 절대값에 있어 약간의



감소를 보이나 통계적으로 有意性은 없었다.

한편 제조된 木纖維-폴리프로필렌 纖維 複合材의 박리 강도는 混合比率이 증가함에 따라 1.5kgf/cm<sup>2</sup>~ 4.3kgf/cm<sup>2</sup>로 향상됨을 알 수 있었으나 ANSI AHA A 135.4의 기준치인 6.3kgf/cm<sup>2</sup>의 기준에는 미치지 못하였다.

인장강도 또한 휨탄성계수와 마찬가지로 混合比率이

증가할수록 작은 폭의 감소는 있었으나 통계 처리 결과 有意性이 인정되지는 않았다. 그러나 ANSI의 硬質纖維板 기준치(182.4kgf/cm<sup>2</sup>)는 모두 만족하고 있었다.

따라서 폴리프로필렌 纖維의 混合比率에 따른 木纖維-폴리프로필렌 纖維 複合材의 機械的 性質은 폴리프로필렌 纖維의 혼합량이 증가하면 휨파괴계수와 박리강도가 증가하는 경향을 나타낸다고 볼 수 있다. 그러나 Krzysik

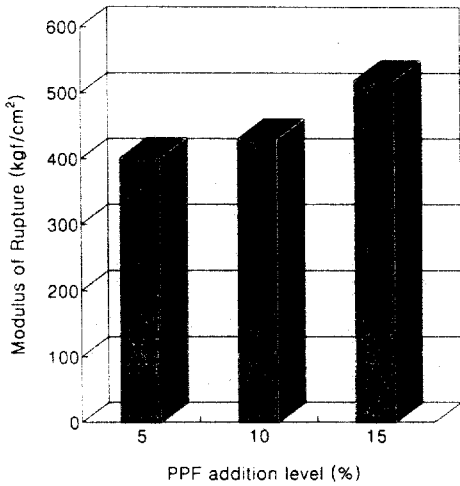


Fig. 9. Modulus of rupture of wood fiberpolypropylene fiber composites by density.

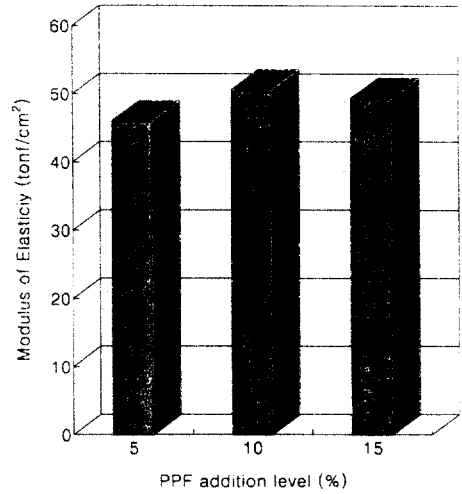


Fig. 10. Modulus of elasticity of wood fiberpolypropylene fiber composites by PPF addition level.

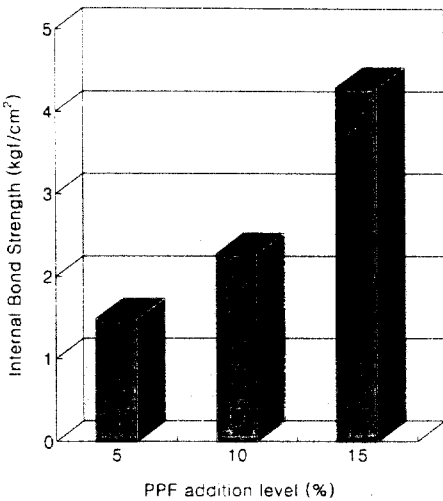


Fig. 11. Internal bond strength of wood fiberpolypropylene fiber composites by PPF addition level.

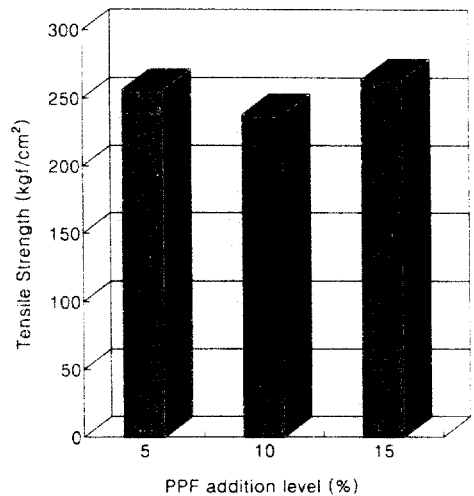


Fig. 12. Tensile strength of wood fiberpolypropylene fiber composites by PPF addition level.

과 Youngquist(1991)는 폴리프로필렌의 혼합비율을 15%에서 30%로 증가시키면 휨강도와 인장강도가 小幅으로 감소한다고 보고한 바 있으나 본 연구에서 적용한 혼합비율과 동일한 연구 보고가 없기 때문에 보다 넓은 범위의 혼합비율에 따른 機械的 性質 評價에 있어서는 새로운 연구가 요구된다고 생각되었다.

### 3.2.3 複合材 매트 含水率의 영향

#### 3.2.3.1 物理的 性質

세 수준의 매트함수율에 따른 木纖維-폴리프로필렌 纖維 複合材의 두께팽창율과 吸水量의 결과를 표시하면 Table 4와 Fig. 13 및 14과 같다.

매트함수율이 5%에서 10%로 증가함에 따라 두께팽

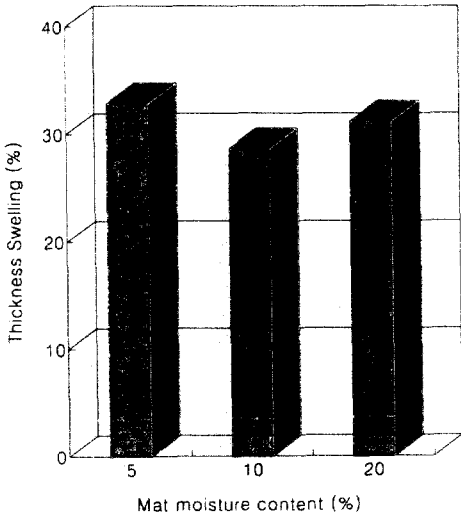


Fig. 13. Thickness swelling of wood fiberpolypropylene fiber composites by mat moisture content.

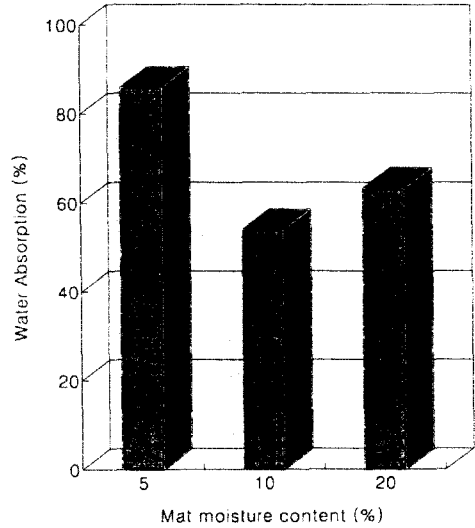


Fig. 14. Water absorption of wood fiberpolypropylene fiber composites by mat moisture content.

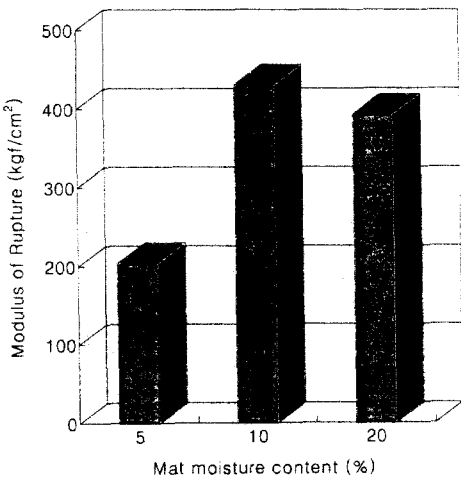


Fig. 15. Modulus fo rupture of wood fiberpolypropylene fiber composites by mat moisture content.

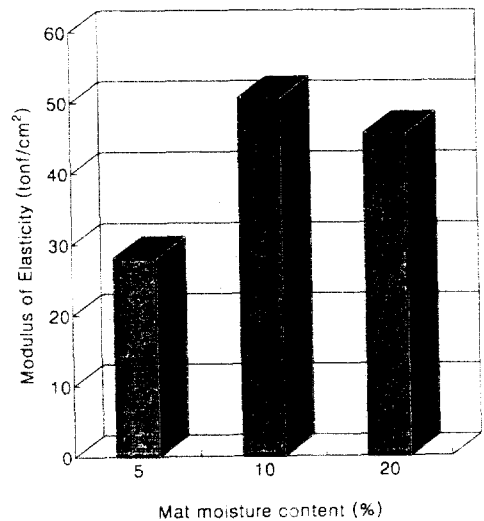


Fig. 16. Modulus of elasticity of wood fiberpolypropylene fiber composites by mat moisture content.

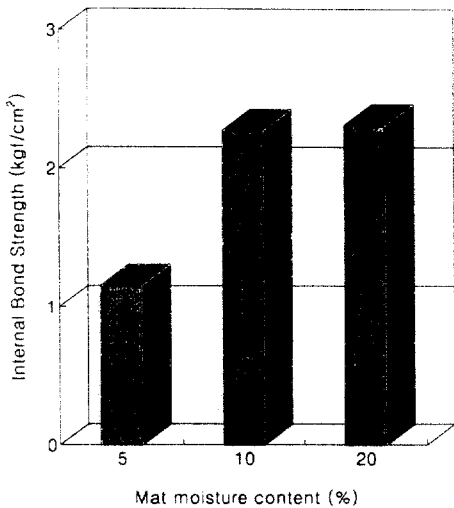


Fig. 17. Internal bond strength of wood fiber-polypropylene fiber composites by mat moisture content.

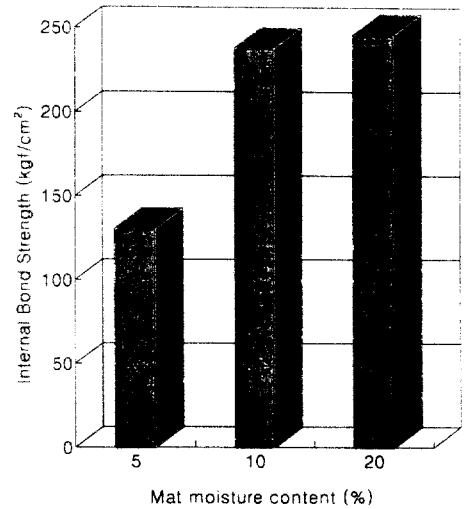


Fig. 18. Tensile strength of wood fiber-polypropylene fiber composites by mat moisture content.

창울과 흡수량이 감소하는 경향을 나타내었으나 20%로 증가할 경우에는 오히려 두께팽창율과 흡수량이 약간 증가하는 경향을 보였다. 그러나 통계적으로 有意性은 인정되지 않았다.

일반적으로 매트함수율이 증가하면 치수안정성이 개선되는 경향이 있으나 어느 정도 매트함수율의 한계값은 존재하리라 생각되며 따라서 매트함수율의 구간을 좀더 좁게 설계하여 정확한 영향을 규명하는 실험이 구체적으로 필요하다고 생각되었다.

### 3.2.3.2 機械的 性質

Table 4와 Fig. 15, 16, 17, 18은 세 수준의 매트함수율에 대한 木纖維-폴리프로필렌 纖維 複合材의 機械的 性質을 나타낸 것이다.

휨과괴계수, 휨탄성계수, 박리강도 그리고 인장강도 모두 매트함수율이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였으며 통계처리 결과 매트함수율 5%와 10%사이에서는 차이를 보였고 20%와의 사이에서는 차이를 보이지 않은 것으로 나타났다. 특히, 매트함수율 10%에서 휨과괴계수, 휨탄성계수, 박리강도가 높은 값을 나타내었다.

Youngquist 등(1992)은 nonwoven web 複合材의 제조시 매트함수율이 10% 이하이면 정전기를 발생시켜 불규칙한 web의 성형이 일어나는 현상이 발생하고 12% 이상이면 성형기내에서 纖維들끼리 엉겨 붙는다고 보고하고 있으나 매트함수율에 관한 실질적인 실험자료는 아직도 보고된 바가 없다.

Hawke 등(1992)은 硬質纖維板의 매트함수율을 8%, 15%, 22% 및 28%로 설정하여 실험한 결과 휨강도는 15%선까지 증가하다가 감소하였다고 보고한 자료에 비추어 볼 때 본 연구에서 제조한 木纖維-폴리프로필렌 纖維 複合材 역시 이와 유사한 경향을 나타냈다고 할 수 있다.

## 4. 결 론

本 研究는 資源 環境의 側面에서 불 때 環境 汚染源이자 再活用度가 극히 낮은 플라스틱 廢資源을 再活用하는 方案이 될 수 있는 木質-非木質 複合材를 製造하였을 때 熱可塑性 纖維의 섬유장의 영향과 密度, 混合比率, 매트함수율 등 工程變數에 따른 木質-非木質 複合材의 성능을 평가하고 考察한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

木纖維-폴리프로필렌 纖維 複合材의 物理的 性質 및 機械的 性質 모두 폴리프로필렌 纖維의 길이가 0.5cm, 1.0cm, 1.5cm로 길어질 경우 그 性質이 향상되는 경향을 보이고 있으나 2.0cm 이상일 경우 그 物性이 급격히 떨어졌다. 따라서 본 연구에서 적용한 난기류 纖維混合裝置에서는 적어도 폴리프로필렌 纖維의 길이를 1.5cm 이하로 제한하여 사용하여야 한다.

木纖維-폴리프로필렌 纖維 複合材는 密度가 증가함에 따라 物理的 및 機械的 性質이 향상되었으며 ANSI AHA A 135.4의 규정치를 만족하기 위해서는 密度를 최소한 1.0g/cm<sup>3</sup> 이상으로 해야 하는 것으로 나타났다.

木纖維-폴리프로필렌 纖維 複合材의 物理的 性質은 폴 리프로필렌 纖維의 混合比率이 증가할수록 향상되었으며 機械的 性質은 휨과괴계수와 박리강도는 증가하는 경향 을 보였고 휨탄성계수와 인장강도는 混合比率이 15%까 지 증가할수록 작은 폭의 감소는 있었으나 ANSI AHA A 135.4의 기준 물성치를 만족하였다.

매트함수율이 木纖維-폴리프로필렌 纖維 複合材의 機 械的 性質에 미치는 영향은 별로 크지 않았으며 매트함 수율이 증가함에 따라 치수안정성이 약간 改善되는 경향 을 보였다.

## 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. ASTM. 1987. Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle panel materials. ASTM D1037-87. In : 1987 Annual Book of ASTM Standard. Vol. 04.09, sec.4. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA.
3. 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
4. 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
5. Krzysik, A. M. and J. A. Youngquist. 1991. Bonding of air-formed wood fibre/polypropylene fibre composites. *Int. J. Adhesives.* 11(4) : 235~240
6. 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. eds. USDA Forest Serv., Forest Products Laboratory, Madison Wis. : 183~189
7. Lee, P. W., J. I. Son, and H. Y. Yoon. 1996. Physical and Mechanical Properties of Thin Composite Panel from Press-lam and Mat-forming Precress. International Wood Engineering Conference 96. 3 : 82~88
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. 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, 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 University, Taiwan : 159~162
10. 尹炯雲, 李弼宇. 1996. 난기류 혼합법을 이용한 목 섬유-열가소성 섬유 복합재에 관한 연구(Ⅰ) - 공정 변수가 복합재의 물리적 성질에 미치는 영향-. *목재 공학* 24(3) : 101~109
11. 中央環境新聞社. 1996. 96 廢棄物 總覽 : 7~8