

## 목분-폴리프로필렌 복합재의 기계적 특성: 목재수종, 충전제 입자크기 및 상용화제의 영향\*1

강인애\*2 · 이선영\*2† · 도금현\*2 · 전상진\*2 · 윤승락\*3

### Mechanical Properties of Wood Flour-Polypropylene Composites: Effects of Wood Species, Filler Particle Size and Coupling Agent\*1

In-Aeh Kang\*2 · Sun-Young Lee\*2† · Geum-Hyun Doh\*2 ·  
Sang-Jin Chun\*2 · Seung-Lak Yoon\*3

#### 요약

본 연구에서는 다른 목재수종과 다른 입자크기의 목분 및 상용화제를 첨가한 Wood Plastic Composites (WPC)를 제조한 후 다양한 물성을 평가하였다. 먼저 3가지 다른 수종으로부터 얻은 목분의 화학조성분의 함량이 화학분석으로부터 얻어졌다. 낙엽송(*Larix kaempferi* Lamb.), 상수리(*Quercus acutissima* Carr.), 다릅나무(활엽수, *Maackia amurensis* Rupr. et Maxim)로부터 40~60 mesh와 80~100 mesh의 목분을 제조하여 열가소성 폴리머의 일종인 폴리프로필렌(polypropylene)에 용융 압출 및 사출하여 복합재를 제조한 후 인장강도, 휨강도, 충격강도 및 현미경 분석을 수행하였다. 알파 셀룰로오스는 상수리나무가 43.6%, 다릅나무가 41.3%, 낙엽송이 36.2%였다. 리그닌의 함량은 낙엽송이 31.6%로 가장 높았으며, 상수리나무가 24.4%로 가장 낮았다. 추출물의 함량은 낙엽송이 8.5%, 다릅나무와 상수리나무는 각각 4.4%와 3.9%였다. 알파 셀룰로오스의 함량이 증가하고 리그닌과 추출물의 함량이 감소할수록, WPC의 인장 및 휨강도 특성이 높았다. 같은 목분의 첨가량에서 작은 입자크기의 목분(80~100 mesh)이 큰 입자크기의 목분(40~60 mesh)에 비하여 WPC의 인장 및 휨강도 특성이 크게 높았다. WPC의 충격강도는 목재수종에 따른 영향이 적었으나, 입자의 크기가 큰 목분을 첨가한 WPC의 충격강도가 대체적으로 높았다. 상용화제인 Maleated polypropylene (MAPP)의 첨가는 수종과 다른 입자크기에 관계없이 인장강도, 휨강도 및 충격강도를 증가시켰다. 현미경 분석 결과, MAPP의 첨가에 의해 목분과 PP수지 간의 계면 결합력이 개선됨을 확인할 수 있었다.

\* 1 접수 2009년 6월 3일, 채택 2009년 7월 20일

\* 2 국립산림과학원 녹색자원이용부, Forest Resources Utilization Division, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

\* 3 진주산업대학교 인테리어재료공학과, Jinju National University, Department of Forest Products Engineering, Jinju 660-758, Korea

† 주저자(corresponding author) : 이선영(e-mail: nararawood@forest.go.kr)

## ABSTRACT

The effects of wood species, particle size of wood flours and coupling treatment on the mechanical properties of wood plastic composites (WPC) are investigated in this study. Chemical components of wood flour from 3 different wood species were analyzed by the chemical analysis. Wood flours of 40~60 mesh and 80~100 mesh were manufactured from *Larix (Larix kaempferi* Lamb.), *Quercus (Quercus accutissima* Carr.), and *Maackia (Maackia amurensis* Rupr. et Maxim). The wood flours were reinforced into polypropylene (PP) by melt compounding and injection molding, then tensile, flexural, and impact strength properties were analyzed. The order of alpha-cellulose content in wood is *Quercus* (43.6%), *Maackia* (41.3%) and *Larix* (36.2%). The order of lignin content in wood is *Larix* (31.6%), *Maackia* (24.7%), and *Quercus accutissima* (24.4%). The content of extractives in wood is in the order of *Larix* (8.5%), *Maackia* (4.4%), and *Quercus accutissima* (3.9%). As the content of alpha-cellulose increases and the lignin and extractives decreases, tensile and flexural strengths of the WPC increase. At the same loading level of wood flours, the smaller particle size (80~100 mesh) of wood flours showed highly improved tensile and flexural strengths, compared to the larger one (40~60 mesh). The impact strength of the WPC was not significantly affected by the wood species, but the wood flours of larger particle size showed better impact strengths. The addition of maleated polypropylene (MAPP) provided the highly improved tensile, flexural and impact strengths. Morphological analysis shows improved interfacial bonding with MAPP treatment for the composites.

**Keywords:** wood flours, polypropylene, chemical components, wood species, mechanical properties, particle size

## 1. 서 론

북미나 유럽에서 목재·플라스틱 복합재(Wood Plastic Composites : WPC)는 건축 재료로서 널리 사용되고 있으며 기존의 목재 시장을 점점 대체하고 있다. 내구성, 가공성 및 미생물에 대한 저항성이 우수하여 WPC에 대한 초창기의 관심의 초점은 옥외용으로 사용할 수 있다는 것이다. WPC는 점점 데크, 울타리, 창틀, 외벽, 보드walk, 마루판 및 방음벽 등과 같은 새로운 시장으로 확대되고 있다. 2004년 미국의 WPC 건축 재료시장은 5.5억 톤이었으며, 2009년에는 8.8억 톤에 달할 것으로 예상하고 있다.

역사적으로 목재산업과 플라스틱 산업은 서로 밀접한 관계가 없었으나, WPC 산업은 목재와 플라스틱 원료에 대한 이해와 새로운 융합기술의 발전으로

현재 목재시장 점유율의 15% 이상을 차지하고 있다 (Schlechter, 2004). 목분 또는 천연섬유와 같은 강화충진제를 사용하는 WPC의 개발에 관한 연구가 최근 들어 활발하게 진행되어왔다(Varghese *et al.*, 1994; Coutinho *et al.*, 1997; Oksman *et al.*, 1998; Lee *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2005; Lee *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2009a; Lee *et al.*, 2009b). 목분은 가격이 저렴하고 재생 가능하고, 밀도가 낮으며, 화학적 개질이 쉽고, 유연성, 거친 표면 및 가공장비에 마모성이 적은 점 등의 많은 장점을 가지고 있어 WPC의 원료로 널리 이용되고 있다. 열가소성 수지인 폴리프로필렌(polypropylene : PP)은 상온에서 이용될 때 우수한 기계적, 물리적 및 열적 특성을 가지고 있어서 WPC 시장의 큰 비중을 차지하고 있다. 무엇보다도 PP의 기계적인 특성은 다양한

용도로 이용될 수 있도록 개질될 수 있다(Karian, 2004). WPC는 치수안정성, 열적 특성, 수분에 대한 안정성, 재활용, 압축-인장-전단 강도 및 높은 충격 강도와 같은 장점을 가지고 있다.

WPC에 첨가되는 리그노-셀룰로오스는 목분 또는 천연섬유의 출처가 되는 수종과 품질에 따라 최종산물의 기계적인 특성을 좌우한다. 현재 WPC의 다양한 특성에 목재의 수종이 주는 영향에 대해 발표된 자료는 거의 없다. 침엽수부터 온 목분은 휘발성 유기화합물과 추출물과 같은 화합물을 많이 포함하기 때문에, 압출기 내에서 열가소성 수지와 고온에서 혼련될 때 가연성이 있고 화학적인 변화가 일어날 수 있다. 따라서 활엽수로부터 제조된 목분이 선호된다고 보고되었다(Schlechter, 2004). 비슷한 원목의 특성과 밀도를 가지는 더글라스 전나무(Douglas fir)와 소나무(pine sp.)로부터 제조된 목분과 고밀도 폴리에틸렌(high density polyethylene : HDPE)을 혼련하여 제조된 WPC의 경우, 상용화제를 첨가하거나 첨가하지 않은 전나무 WPC가 휨탄성계수와 휨강도에서 소나무 WPC보다 훨씬 높았다(Wolcott, 2003). 목재의 수종마다 다른 색깔과 반응성을 갖기 때문에 최종산물의 색깔과 내구성에 영향을 준다(Kim *et al.*, 2008).

강화충진제인 목분의 함량과 입자크기에 따라 WPC의 기계적 성질은 큰 영향을 받는다. 이는 목분의 함량이 증가할수록 복합재의 표면장력에서 극성 부분이 증가하기 때문이다. 따라서 수지와 목분 사이의 계면 결합력이 감소하여 인장강도와 휨강도가 감소하게 된다(Lee *et al.*, 2004). 계면에서 친수성인 목분과 소수성인 열가소성 수지의 나쁜 결합력은 부적절한 목분의 분산과 보강재의 역할 및 낮은 기계적 성질을 초래한다(Karian, 2004; 최 등, 2005). 따라서 목분/플라스틱 시스템에서는 최종 상용화제(coupling agent)의 첨가가 요구된다. 가장 일반적인 방법이 플라스틱의 주쇄에 무수말레인산과 같은 극성기를 결합시킴으로써 목분과 플라스틱 사이의 계면 결합력을 개선시키는 것이다(Son *et al.*, 2004; Yang *et al.*, 2005).

Kim *et al.* (2005) 등은 강화충진제의 파티클 사이즈가 복합재의 기계적 강도에 미치는 효과에 관하여

발표하였다. 작은 입자의 왕겨(200 mesh)가 첨가된 polybutylene succinate (PBS) 복합재의 인장강도는 큰 입자의 왕겨(80~100 mesh)가 첨가된 복합재에 비하여 비교적 높았는데, 전자의 경우 높은 비표면적 때문으로 보고하였다. 또한 충격강도의 경우, 왕겨의 입자크기가 증가할수록 증가한다고 보고하였다. 한편, 목분과 폴리에틸렌으로 제조된 WPC의 인장탄성계수와 인장강도는 강화충진제의 입자크기가 감소할수록 증가하였다(Maiti와 Singh, 1988). 이와는 반대로 20 mesh의 목분이 첨가된 PP 복합재의 인장강도와 휨강도는 40 mesh의 목분이 첨가된 복합재 보다 낮다고 발표되었는데, 이는 큰 입자크기의 목분이 첨가된 복합재에서 수지의 좋은 흐름성과 수지의 점도의 강하 때문으로 보고 있다. 그리고 충격강도는 목분의 크기가 감소할수록 증가하였다(Lin *et al.*, 2002).

목재는 일반적으로 셀룰로오스(cellulose), 헤미셀룰로오스(hemicellulose), 리그닌(lignin) 및 추출물(extractives)의 네 가지 주성분으로 구성된 유기복합체이다. 셀룰로오스는 목재가 높은 강도를 유지하는데 주된 역할을 하며, 목재 내에서 접착제 역할을 하는 리그닌 안에 끼워진 섬유 시스템으로써 섬유의 여러 세포벽 층 속에서 높은 인장강도를 갖는 유기고분자 재료이다. 헤미셀룰로오스는 셀룰로오스와 결합되어 사슬형의 구조를 이루고 있지만 목재의 기계적 강도에는 크게 관여하지 않는다. 추출물은 기름(oil), 수지(resin), 검(gum), 탄닌(tannin) 및 방향성 물질을 함유하고 있다. 회분(ash)은 목재가 다량의 산소와 고온에서 열분해된 다음 남게 되는 무기화합물이다(Fengel과 Wegner, 1983). 목재는 수종마다 다른 화학조성분을 함유하고 있기 때문에, 다른 화학조성분의 함량이 WPC의 기계적 특성 또는 물리적 특성에 큰 영향을 줄 가능성이 높다. 그러나 WPC의 특성에 목재의 수종에 따른 화학조성분이 주는 영향에 관한 연구들에 관한 연구가 부족한 상황이다. 특히 WPC용 목분을 주로 수입하는 우리나라의 상황에서는 목분을 제조하기 위해 우수한 국내수종을 선별해야 하고, 무엇보다도 목분을 제조하기 위해서는 다양한 수종의 화학적 특성과 WPC의 물성과의 상관관계의 구명이 절실히 요구된다.

본 연구에서는 열가소성 고분자의 일종인 PP와 다른 목재 수종으로부터 제조된 목분을 강화충진제로 첨가한 복합재의 기계적 성질에 대해 조사하였다. 제조된 복합재의 기계적 성질에 목재의 수종, 화학조성분, 입자크기 및 상용화제가 미치는 영향에 관해서 알아보았다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 공시재료

두 종류의 입자크기의 목분(40~60 mesh와 80~100 mesh)은 국립산림과학원에서 낙엽송(침엽수, *Larix kaempferi* Lamb.), 상수리(활엽수, *Quercus accutissima* Carr.) 그리고 다릅나무(활엽수, *Maackia amurensis* Rupr. et Maxim)로부터 제조되었다. 폴리프로필렌(PP, 분자량=180,000 g/mol, 용융지수=3.2 g/10 min, 밀도=0.9 g/cm<sup>3</sup>)은 (주)대한유화공업에서 제공받았다. 상용화제로는 Maleated polypropylene (MAPP, 분자량=40,000 g/mol)이 (주)호남석유화학으로부터 제공받았다.

### 2.2. 목재의 화학조성분 분석

목재의 홀로셀룰로오스(holocellulose) 함량은 ASTM Standard D 1104 방법에 의해 얻어졌다. 알파 셀룰로오스( $\alpha$ -cellulose)는 Tappi T203 cm 방법에 의해 얻어졌다. 헤미셀룰로오스(Hemicellulose)의 함량은 홀로셀룰로오스로부터 알파-셀룰로오스를 감하여 얻었다. 목재의 리그닌(lignin)과 추출물(extractives)의 함량은 ASTM Standard D 1106과 D 1107 방법에 따라 얻어졌다. 회분(Ash)의 함량은 ASTM Standard D 1102 방법에 의하여 얻어졌다. 각 화학조성분의 평균값은 각 실험을 세 번 반복하여 얻어진 수치이다.

### 2.3. 혼련 및 시편제조

기질고분자인 PP에 세 가지 수종으로부터 얻어진 목분(40~60 mesh와 80~100 mesh)을 첨가한 WPC

의 제조공정은 다음과 같다. PP와 목분의 배합비율은 중량퍼센트를 기준으로 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40 및 50 : 50로 혼합하였다. 혼합된 재료는 직경이 19 mm인 이축압출기(Bautek Co., Korea)를 통과하여 혼합되었다. 압출기의 배럴의 온도는 180~190°C로 조절하였고 screw 속도는 100~150 rpm이었다. 압출기의 노즐을 통과한 실모양의 혼합물은 공랭되어 pelletizer를 이용하여 펠렛상으로 제조되었다. 80°C에서 24시간 동안 펠렛을 건조시킨 후 사출기(injection molder, Dr. Boy GmbH & Co. KG, Germany)에 주입하여 190°C의 내부온도와 800 psi 압력조건에서 강도측정 시편을 제조하였다.

### 2.4. 실험방법

인장강도 시험은 ASTM D 638 방법에 따라 인장강도와 인장탄성계수를 측정하였다. 만능강도 시험기(Universal Testing Machine, Zwick Testing Machine Ltd., United Kingdom)의 인장속도는 10 mm/min이었다. 휨강도 측정은 ASTM D 790 방법에 따라 휨강도와 휨탄성계수를 측정하였다. 만능강도시험기의 하중속도는 10 mm/min이었다. 충격강도 측정은 ASTM D 256 방법에 따라 노치가 있는 쪽에 충격을 가하여 실시하였다. 모든 물성시험은 5번 반복시험 후 평균값을 산출하였다. 주사전자현미경(scanning electron microscope, JEOL-6700F, U.S.A.)을 이용하여 복합재의 인장과단면을 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 목분의 화학조성분

Table 1은 세 가지 목재수종으로 얻어진 목분의 화학조성분 분석결과를 보여준다. 낙엽송과 다릅나무의 비중은 비슷하여 각각 0.56과 0.57이고, 참나무속인 상수리나무는 0.80이다. 회분의 함량은 상수리나무가 1.9%로 가장 높았으며, 낙엽송이 0.1%로 가장 낮았다. 홀로셀룰로오스를 정량하였을 때, 다릅나무가 69.6%로 가장 높았으며, 상수리나무가 67.8% 그

Table 1. Chemical components of different wood species

	Larix	Quercus	Maackia
Specific gravity	0.56	0.80	0.57
Ash (%)	0.1	1.9	0.4
Holocellulose (%)	65.5	67.8	69.6
<i>alpha</i> cellulose	36.2	43.6	41.3
Hemicellulose	29.3	24.2	28.3
Lignin (%)	31.6	24.4	24.7
Extractives (%)	8.5	3.9	4.4

리고 낙엽송이 65.5% 순이었다.  $\alpha$ -cellulose를 분석한 결과 상수리나무가 43.6%, 다릅나무가 41.3%, 다음으로 낙엽송이 36.2%였다. 여기에서 상수리나무와 다릅나무가 셀룰로오스 함량이 낙엽송보다 훨씬 높음을 알 수 있다. 반대로 헤미셀룰로오스의 함량은 낙엽송이 29.3%로 가장 높았고, 다릅나무가 28.3%,

다음으로 상수리나무가 24.2%로 가장 낮았다. 리그닌 정량의 결과 낙엽송이 31.6%로 가장 높았으며, 상수리나무가 24.4%로 가장 낮았다. 유기용매로 추출했을 때 추출물의 함량은 낙엽송이 8.5%로 가장 높았고, 다릅나무와 상수리나무는 각각 4.4%와 3.9%였다.

### 3.2. 인장강도

Table 2는 다른 수종, 충전제의 함량, 다른 입자크기의 목분을 첨가한 WPC의 인장강도를 보여준다. 100% PP의 인장탄성계수는 442 MPa이다. 약간의 변이가 있지만, 세 가지 수종으로부터 얻어진 목분의 함량을 10%에서 50%까지 증가시킬 때 인장탄성계수는 직선상으로 크게 증가하는 경향을 보였다. 상수리나무와 다릅나무는 낙엽송에 비하여 강도 증가율이 훨씬 높았다. 모든 수종에서 50%의 목분 함량에

Table 2. Mechanical properties of WPC reinforced with different wood species, filler loading and particle size

Wood species	PP (wt%)	WF (wt%)	Tensile modulus (MPa)		Tensile strength (MPa)		Flexural modulus (MPa)		Flexural strength (MPa)		Impact strength (kgf-cm/cm <sup>2</sup> )	
			40~60 <sup>a</sup>	80~100 <sup>b</sup>	40~60 <sup>a</sup>	80~100 <sup>b</sup>	40~60 <sup>a</sup>	80~100 <sup>b</sup>	40~60 <sup>a</sup>	80~100 <sup>b</sup>	40~60 <sup>a</sup>	80~100 <sup>b</sup>
			100	0	442	29.7	1,008	27.7	2.62			
Larix (SW <sup>c</sup> )	90	10	800	1,111	27.8	29.3	1,660	1,533	38.6	36.8	2.90	2.42
	80	20	1,118	1,342	26.6	31.4	1,569	1,891	37.3	41.7	2.39	2.38
	70	30	1,376	1,584	24.2	31.9	2,341	2,864	40.0	47.7	2.25	2.40
	60	40	1,792	1,928	23.8	28.6	2,686	3,201	37.2	49.6	2.27	2.33
	50	50	1,838	2,322	18.3	27.5	3,212	3,973	34.3	45.2	2.26	2.53
Quercus (HW <sup>d</sup> )	90	10	1,238	1,112	29.2	30.3	1,703	1,853	38.4	41.0	3.12	2.39
	80	20	1,524	1,354	31.4	33.0	2,206	2,241	44.9	44.9	2.93	2.43
	70	30	1,711	1,596	32.0	36.7	3,066	2,680	49.2	54.8	2.89	2.62
	60	40	1,967	2,096	32.1	38.5	3,782	3,368	49.6	58.7	2.93	2.48
	50	50	2,567	2,572	30.3	35.5	4,356	3,847	49.4	60.5	2.80	2.38
Maackia (HW)	90	10	1,097	1,095	31.3	28.5	1,942	1,705	41.8	41.2	2.72	2.29
	80	20	1,237	1,401	32.8	32.4	2,088	2,168	46.0	47.2	2.55	2.20
	70	30	1,816	1,456	35.2	35.0	2,758	2,951	50.1	55.2	3.03	2.28
	60	40	2,085	2,134	37.2	40.5	3,293	4,020	51.5	63.5	2.94	2.78
	50	50	2,620	2,597	34.8	39.4	4,261	4,476	53.4	60.9	2.75	2.44

<sup>a</sup> and <sup>b</sup> indicate 40~60 mesh and 80~100 mesh, respectively. <sup>c</sup> and <sup>d</sup> indicate softwood and hardwood, respectively.

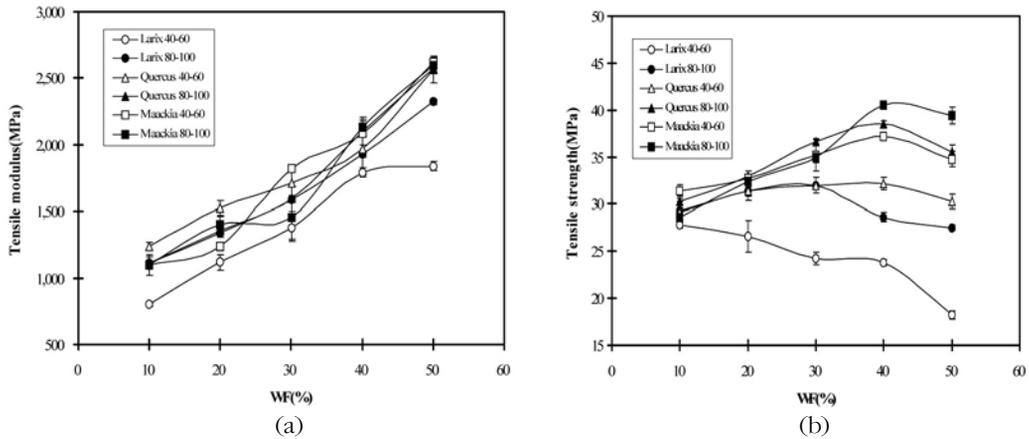


Fig. 1. (a) Tensile modulus of WPC, (b) tensile strength of WPC.

서 가장 높은 인장탄성계수를 보였다. 이 결과는 목분의 증가에 따른 WPC의 강성의 증가 때문으로 사료된다. 한편 낙엽송의 경우, 입자크기가 작은 목분(80~100 mesh)을 첨가한 WPC의 인장탄성계수는 입자크기가 큰 목분(40~60 mesh)을 첨가한 WPC보다 크게 높았다. 그러나 상수리나무와 다릅나무의 경우에는 목분의 입자의 크기는 WPC의 인장탄성계수에 큰 영향을 주지 않았다(Fig. 1a).

100% PP의 인장강도는 29.7 MPa이다. 낙엽송 목분을 첨가한 WPC의 경우 목분의 함량을 10%에서 50%까지 증가시킬 때 인장강도는 직선상으로 감소하여 50%에서 가장 낮은 인장강도를 보였다(51.9% 감소). 그러나 상수리나무와 다릅나무는 다른 경향을 보였는데, 30~40%의 목분 함량에서 최대치를 보이다가 50%의 목분 함량에서는 감소하였다. 목분의 입자크기는 WPC의 인장강도에 큰 영향을 주었는데, 같은 목분의 함량에서 작은 입자크기의 목분(80~100 mesh)이 큰 입자크기의 목분에 비하여 크게는 50% 이상 높았다(Fig. 1b).

WPC의 인장탄성계수와 인장강도를 볼 때 활엽수인 상수리나무와 다릅나무가 침엽수인 낙엽송에 비해서 월등히 높았다. 이 결과를 목재의 화학조성분 분석결과와의 상관관계를 고려해 볼 필요가 있다. 목분의 비중은 낙엽송이 0.56이고, 상수리나무와 다릅나무가 각각 0.80과 0.57이다. 따라서 비중은 WPC의

인장특성에 커다란 영향을 보이지 않는다고 볼 수 있다. 홀로셀룰로오스의 함량이 활엽수가 침엽수에 비해 높으므로 인장탄성계수와 인장강도에 큰 영향을 주는 것으로 사료된다. 특히 알파 셀룰로오스 함량이 상수리나무와 다릅나무가 각각 43.6%와 41.3%이므로 36.2%인 낙엽송에 비하여 높으므로, 인장탄성계수와 인장강도의 증가에 크게 기여하는 것으로 추정된다. 한편, 리그닌과 추출물의 함량은 낙엽송이 31.6%와 8.5%로 활엽수인 다른 두 수종에 비하여 높았고 인장탄성계수와 인장강도는 낮게 나타났다. 결과적으로 알파셀룰로오스의 함량이 증가할수록, 리그닌과 추출물의 함량이 감소할수록 인장탄성계수와 인장강도가 증가한다고 볼 수 있다.

Fig. 2a-f는 목분 50% 함량에서 상용화제인 MAPP를 1, 3, 5% 첨가에 따른 WPC의 인장탄성계수와 인장강도 결과이다. 대체적으로 목분의 경우 입자크기가 작은 목분을 첨가하였을 때, 입자크기가 큰 목분에 비하여 훨씬 높은 인장탄성계수와 인장강도를 보였다. 상용화제의 첨가량을 증가시켰을 때 WPC의 인장탄성계수는 PP50/WF50 복합체에 비하여 약간 감소하거나 증가하는 경향을 보였는데 이는 수종에 따라 다르다. 그러나 WPC의 인장강도는 상용화제의 첨가량을 증가시켰을 때 점차적으로 증가하는 경향을 보였다. 다릅나무를 첨가한 PP50/WF50 복합체는 낙엽송은 물론 상수리나무 목분을 첨가한 PP50/WF50

목분-폴리프로필렌 복합재의 기계적 특성: 목재수종, 충전제 입자크기 및 상용화제의 영향

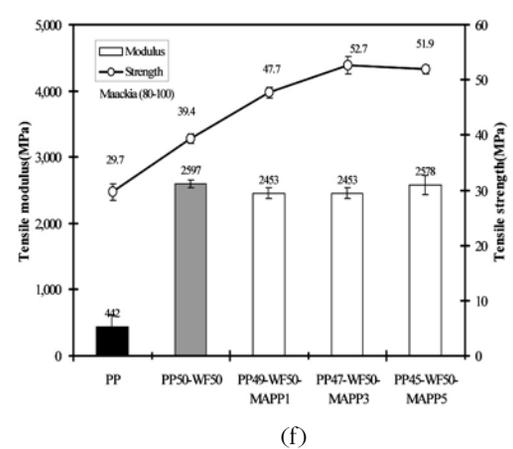
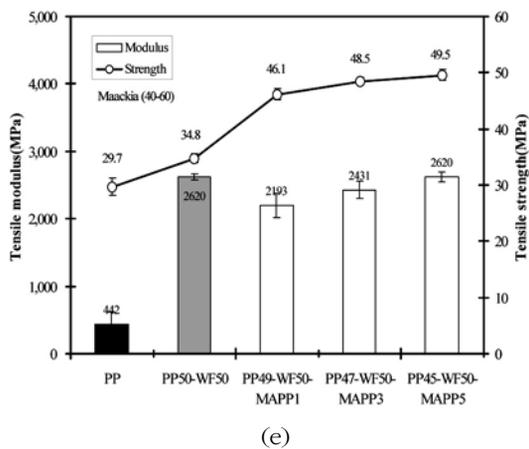
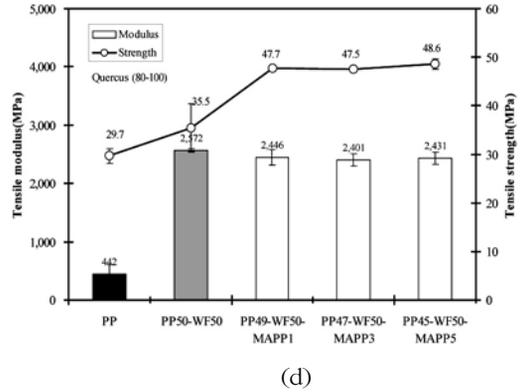
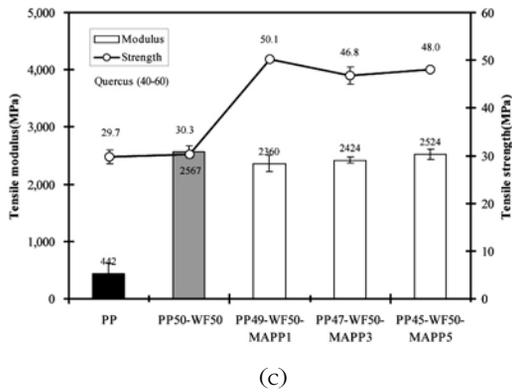
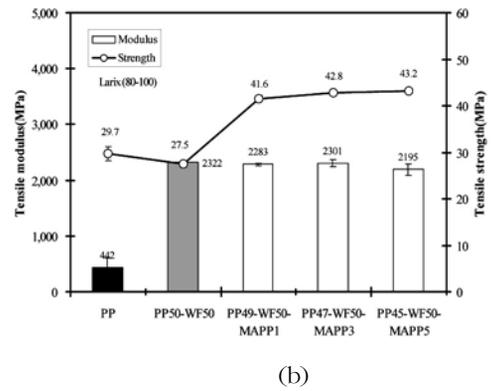
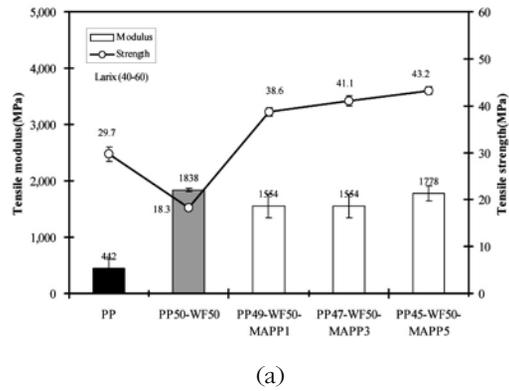


Fig. 2. Tensile properties of WPC. (a) Larix, 40~60 mesh, (b) Larix, 80~100 mesh, (c) Quercus, 40~60 mesh, (d) Quercus, 80~100 mesh, (e) Maackia, 40~60 mesh, (f) Maackia, 80~100 mesh.

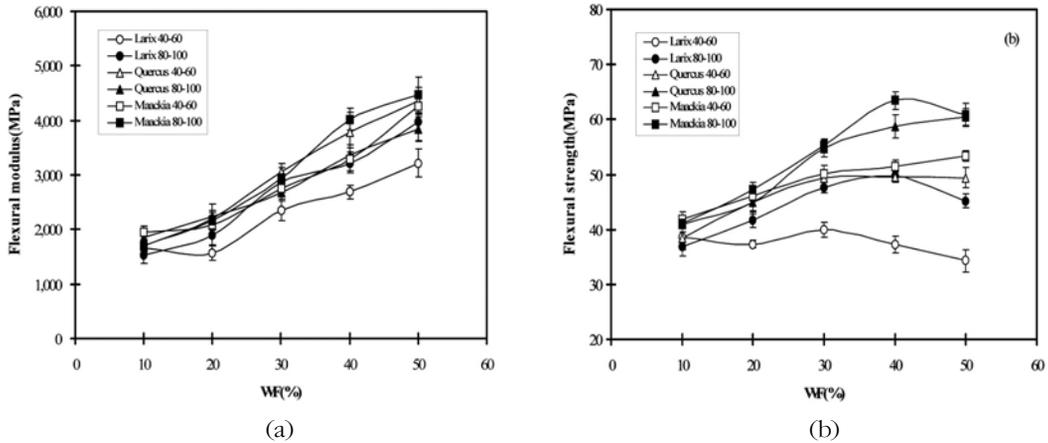


Fig. 3. (a) Flexural modulus of WPC, (b) flexural strength of WPC.

복합재보다 높은 인장탄성계수와 인장강도를 보였다. MAPP 5%를 첨가했을 때 가장 높은 인장탄성계수와 인장강도를 보였다. 상용화제를 1%에서 5% 증가시킬수록 인장강도는 점차적으로 증가했고, 작은 입자의 경우 MAPP 3%에서 가장 높은 인장강도를 보였다(Fig. 2e와 2f).

### 3.3. 휨강도

Table 2는 목재 수종, 충전제의 함량, 입자크기에 따른 WPC의 휨강도를 보여준다. 100% PP의 휨탄성계수는 각각 1.008 MPa이다. 인장강도에서 얻어진 결과와 마찬가지로, 목분 함량의 증가는 휨탄성계수를 크게 증가시켰다. 40~60 mesh와 80~100 mesh의 입자크기의 목분을 사용했을 때, 50%의 목분함량을 첨가시킨 WPC가 가장 높은 휨탄성계수를 보였는데, 10%의 목분함량에서 보다 낙엽송은 176%와 159%, 상수리나무는 155%와 108%, 다릅나무는 119%와 163% 높았다. 그리고 낙엽송과 다릅나무는 입자의 크기가 작은 목분을 첨가한 WPC가 입자크기가 큰 목분을 첨가한 WPC보다 높은 휨탄성계수를 보였으나, 다릅나무의 경우는 입자크기가 큰 목분을 첨가한 WPC가 높은 휨탄성계수를 보였다(Fig. 3a).

100% PP의 휨강도는 27.7 MPa이다. 낙엽송 목분(40~60 mesh)을 첨가한 WPC의 휨강도는 10%에서

30%의 목분 함량까지 점차적으로 증가하다가 50%의 목분 함량에서는 가장 낮은 수치를 보였다. 80~100 mesh의 낙엽송 목분을 첨가한 WPC의 휨강도는 대체적으로 40~60 mesh의 목분이 첨가된 WPC 보다 높았다. 특히 40~50%의 목분 함량에서 진자는 31.8~33.3% 높은 휨강도를 보였다. 한편, 상수리나무와 다릅나무의 경우는 목분의 함량이 50%까지 증가할 경우 WPC의 휨강도는 지속적으로 증가하였다. 그리고 목분의 입자크기가 작은 목분을 첨가한 WPC의 경우 50%의 목분 함량에서 가장 높은 휨강도를 보였는데, 큰 입자크기의 목분을 첨가했을 때보다 50%의 목분 함량에서 상수리나무는 22.5%, 다릅나무는 14.0% 높은 휨강도를 보였다(Fig. 3b).

WPC의 휨탄성계수와 휨강도 역시 상수리나무와 다릅나무가 낙엽송에 비해서 월등히 높았다. 인장강도 특성과 마찬가지로 알파 셀룰로오스의 함량이 증가할수록, 리그닌과 추출물의 함량이 감소할수록 휨탄성계수와 휨강도가 증가하였다.

Fig. 4a-f는 목분 50% 함량에서 MAPP를 1, 3, 5% 첨가에 따른 WPC의 휨탄성계수와 휨강도의 결과이다. 전반적으로 MAPP의 첨가량을 증가시킬수록 휨탄성계수와 휨강도가 증가하는 경향을 보였다. 입자크기가 큰 상수리나무 목분을 사용했을 때 MAPP 5% 첨가 시 가장 높은 휨탄성계수와 휨강도를 보였고(Fig. 4c), 입자크기가 작은 다릅나무 목분을 사용

목본-폴리프로필렌 복합재의 기계적 특성: 목재수종, 충전제 입자크기 및 상용화제의 영향

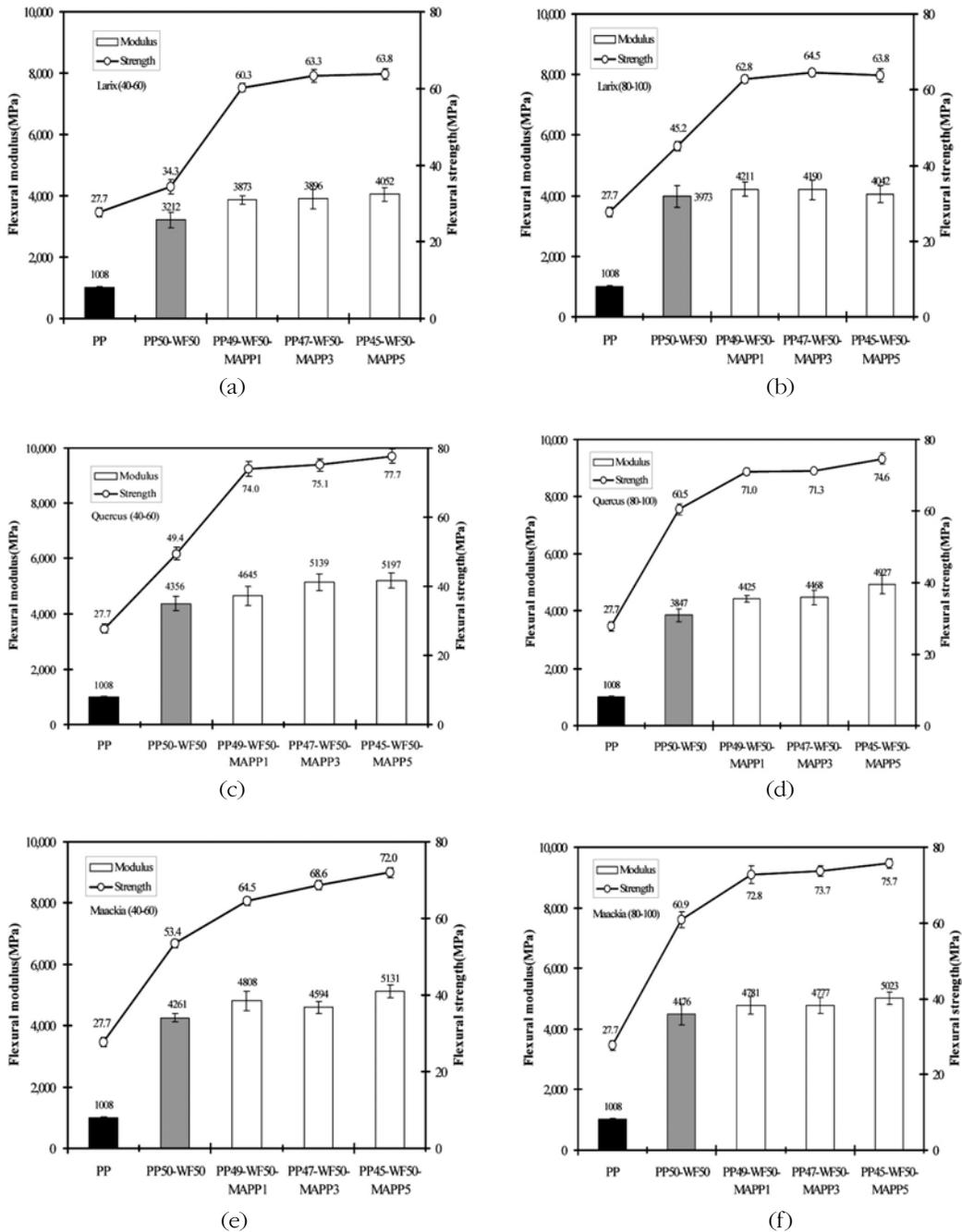
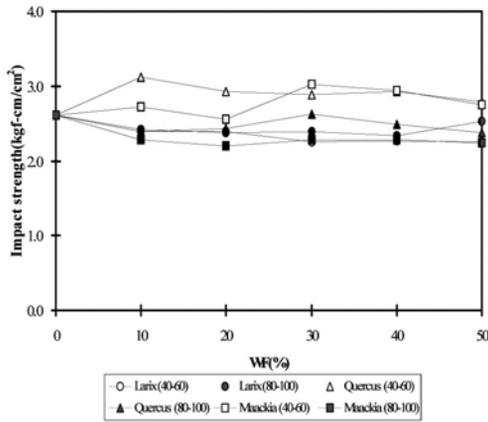
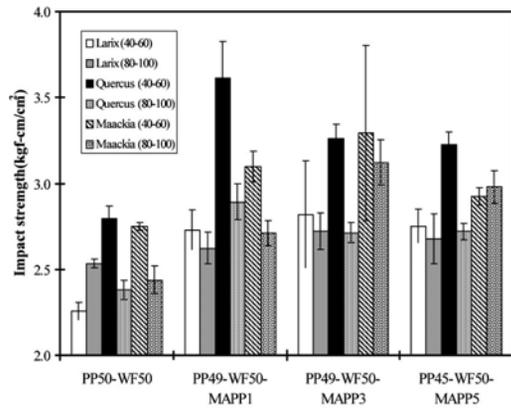


Fig. 4. Tensile properties of WPC. (a) Larix, 40~60 mesh, (b) Larix, 80~100 mesh, (c) Quercus, 40~60 mesh, (d) Quercus, 80~100 mesh, (e) Maackia, 40~60 mesh, (f) Maackia, 80~100 mesh.



(a)



(b)

Fig. 5. Impact strength of WPC (a) without MAPP, (b) with MAPP.

했을 때 MAPP 5% 첨가 시 가장 높은 휨탄성계수와 휨강도를 보였다(Fig. 4f).

### 3.4. 충격강도

Table 2는 목재 수종, 충전제의 함량, 입자크기에 따른 WPC의 충격강도 시험의 결과를 보여준다. 100% PP의 충격강도는 2.62 kgf-cm/cm<sup>2</sup>이다. 대체적으로 목분을 10%에서 50%까지 증가할 때, 대체적으로 수종과 입자크기에 상관없이 WPC의 충격강도는 2.25~3.03 kgf-cm/cm<sup>2</sup>의 범위 안에 존재한다. 대체적으로 충격강도에 약간의 변위가 존재하나, 낙엽송 목분을 첨가한 WPC가 상수리나무와 다릅나무 목분을 첨가한 WPC보다 약간 낮은 충격강도를 보였다. 상수리나무와 다릅나무의 경우, 입자크기가 작은 목분을 첨가한 WPC의 충격강도는 입자의 크기가 큰 목분을 첨가한 WPC의 충격강도보다 대체적으로 낮은 수치를 보였다(Fig. 5a).

Fig. 5a에서 WPC의 충격강도는 목재의 화학조성분의 함량에 따른 영향을 받지 않는 것으로 보인다. 그러나 MAPP가 첨가되었을 때는 알파 셀룰로오스의 함량이 증가할수록, 리그닌과 추출물의 함량이 감소할수록 충격강도가 활엽수에서 높게 나타났다(Fig. 5b). 이는 MAPP가 목분의 알파 셀룰로오스의 함량이 높을수록 PP수지와 가교가 많이 형성되기 때

문으로 사료된다.

Fig. 5b는 목분 50% 함량에서 MAPP 첨가량의 증가에 따른 WPC의 충격강도의 결과이다. MAPP를 첨가시킬 때 충격강도는 대체적으로 증가하는 경향을 보였다. 특히 입자크기가 큰 상수리나무를 사용했을 때, MAPP 1%를 첨가 시 가장 높은 충격강도를 보였으나 MAPP 3%와 5%에서는 충격강도가 약간 감소하였다. 다릅나무의 경우는 목분의 입자 크기에 관계없이 MAPP를 3% 첨가했을 때 가장 높은 수치를 얻었다.

### 3.5. SEM 분석

Fig. 6a-f는 낙엽송, 상수리나무와 다릅나무 목분을 50% 함량으로 첨가한 WPC의 인장파단면을 150 배의 배율에서 주사전자현미경(SEM)으로 찍은 사진들이다. 위의 세 사진(a-c)들은 상용화제를 첨가하지 않은 PP와 목분 만의 복합재로 인장파단 시 PP와 목분 사이의 두드러진 계면을 볼 수가 있다. 앞에서 언급한 바와 같이, 이는 친수성인 목분과 소수성인 고분자간의 취약한 결합력을 나타낸다. 아래의 세 사진(d-f)들은 상용화제가 첨가된 WPC의 인장파단면을 나타낸다. 낙엽송, 상수리나무, 다릅나무 목분이 첨가된 WPC의 표면은 상용화제(3% MAPP)의 첨가로 인해 고분자와 목분 사이에서 좋은 결합이 이루어져

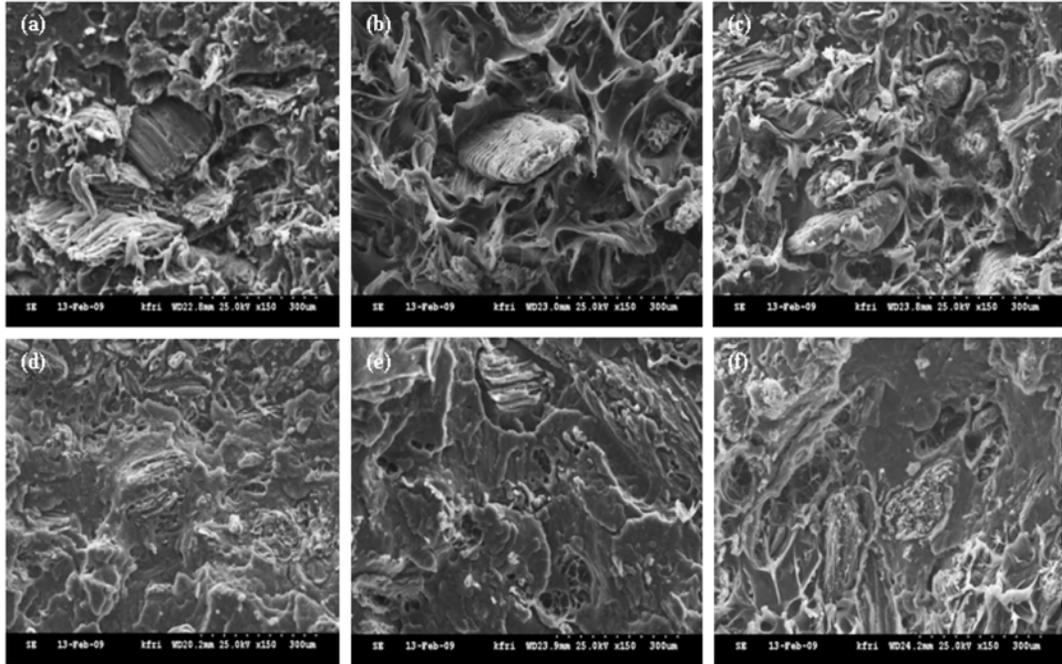


Fig. 6. SEM images of WPC. (a) PP50/WF50-Larix, (b) PP50/WF50-Quercus, (c) PP50/WF50-Maackia, (d) PP47/WF50/MAPP3-Larix, (e) PP47/WF50/MAPP3-Quercus, (f) PP47/WF50/MAPP3-Maackia.

앞에서 언급한 것처럼 인장강도, 휨강도 및 충격강도의 증가의 원인이 된 것으로 사료된다.

미경 분석 결과, 상용화제 첨가에 따른 인장강도, 휨강도 및 충격강도의 증가의 원인이 입증되었다.

## 4. 결 론

알과 셀룰로오스 함량은 상수리나무 > 다릅나무 > 낙엽송 순이다. 리그닌의 함량은 낙엽송 > 다릅나무 > 상수리나무 순이다. 추출물의 함량은 낙엽송 > 다릅나무 > 상수리나무 순이다. WPC의 인장 및 휨강도 특성은 알과 셀룰로오스의 함량이 증가할수록, 리그닌과 추출물의 함량이 감소할수록 증가하였다. 같은 목분의 함량에서 작은 입자크기의 목분이 큰 입자크기의 목분에 비하여 높은 물성을 나타냈다. WPC의 충격강도는 목재수종의 영향을 받지 않았고, 입자의 크기가 큰 목분을 첨가한 WPC의 충격강도가 높았다. 상용화제의 첨가는 수종과 입자크기에 관계없이 인장강도, 휨강도 및 충격강도를 증가시켰다. 현

## 참 고 문 헌

1. American Society of Testing Materials. Standard test methods for tensile properties of plastics. ASTM D-638. Philadelphia, PA: ASTM; 2000.
2. American Society of Testing Materials. Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. ASTM D-790. Philadelphia, PA: ASTM; 2000.
3. American Society of Testing Materials. Standard test methods for impact resistance of plastics and electrical insulating materials. ASTM D-256. Philadelphia, PA: ASTM; 2000.
4. Coutinho, F. M. B., T. H. S. Costa, and D. L. Carvalho. 1997. Polypropylene-wood fiber com-

- posites: Effect of treatment and mixing conditions on mechanical properties. *Journal of Applied Polymer Science*. 65: 1227~1235.
5. Fengel, D. and G. Wegne. 1983. *Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions*, Walter de Gruyter, Berlin, Germany.
  6. Karian, H. G. 2004. *Handbook of polypropylene and polypropylene composites*, Marcel Dekker, Inc., New York, U.S.A.
  7. Kim, B. S., B. H. Chun, W. I. Lee, and B. S. Hwang. 2009. Effect of Plasma Treatment on the Wood Flour for Wood Flour/PP Composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. 22: 21~28.
  8. Kim, H. S., H. S. Yang, and H. J. Kim. 2005. Biodegradability and mechanical properties of agro-flour-filled polybutylene succinate biocomposites. *Journal of Applied Polymer Science*. 97: 1513~1521.
  9. Kim, J. W., D. P. Harper, and A. M. Taylor. 2008. Effect of wood species on water absorption and durability of wood-plastic composites. *Wood and Fiber Science*. 40: 519~531.
  10. Lee, S. Y., H. S. Yang, H. J. Kim, C. S. Kim, B. S. Kim, and J. N. Lee. 2004. Creep behavior and manufacturing parameters of wood flour filled polypropylene composites. *Composite Structures*. 65: 459~469.
  11. Lee, S. Y., I. A. Kang, G. H. Doh, H. G. Yoon, B. D. Park, and Q. Wu. 2008. Thermal and mechanical properties of wood flour/talc-filled polylactic acid composites: effect of filler content and coupling treatment. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. 21: 209~223.
  12. Lee, S. Y., I. A. Kang, B. S. Park, G. H. Doh, and B. D. Park. 2009a. Effect of filler and coupling agent on the properties of bamboo fiber-reinforced polypropylene composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. (In-Press).
  13. Lee, S. Y., S. J. Chun, G. H. Doh, I. A. Kang, S. Lee, and K. H. Paik. 2009b. Influence of chemical modification and filler loading on fundamental properties of bamboo fibers reinforced polypropylene composites. *Journal of Composite Materials*. 43(15): 1639~1657.
  14. Lin, Q., X. Zhou, G. Dai, and Y. Bi. 2002. Some studies on mechanical properties of wood flour/continuous glass mat/polypropylene composite. *Journal of Applied Polymer Science*. 85: 536~544.
  15. Maiti, S. N. and K. Singh. 1986. Influence of wood flour on the mechanical properties of polyethylene. *Journal of Applied Polymer Science*. 32: 4285~4289.
  16. Oksman, K., H. Lindberg, and A. Holmgren. 1998. The nature and location of SEBS-MA compatibilizer in polyethylene-wood flour composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 69: 201~209.
  17. Schlechter, M. 2004. *Plastic wood: Technologies, Market*, Business Communications Co., Inc., Norwalk, CT, U.S.A.
  18. Son, J. I., H. S. Yang, and H. J. Kim. 2004. Physico-mechanical properties of paper sludge-thermoplastic polymer composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. 17: 509~522.
  19. Varghese, S., B. Kuriakose, and S. Thomas. 1994. Stress relaxation in short sisal-fiber-reinforced natural rubber composites, *Journal of Applied Polymer Science*. 53: 1051~1060.
  20. Wolcott, M. P. 2003. *Production methods and platforms for wood plastics*. Non-Wood Substitutes for Solid Wood Products Conference, Melbourne, Australia.
  21. Yang, H. S., M. P. Wolcott, H. S. Kim, and H. J. Kim. 2005. Thermal properties of lignocellulosic filler-thermoplastic polymer bio-composites. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 82: 157~160.
  22. 최성우, 김희수, 이병호, 김현중, 안세희. 2005. Polyolefin계 고분자에 섬유관 가공 부산물을 적용한 환경친화형 바이오복합재의 가공성. *목재공학*. 33(6): 55~62.