

용융블렌딩 공정으로 제조된 목재/플라스틱 복합재의 물성

김진학[†] · 류윤기 · 박종영^{*}

경상대학교 공과대학 고분자공학과, *임업연구원 임산공학부

(1998년 7월 15일 접수)

Properties of Wood/Plastic Composites prepared via Melt-Blending Process

Jin-Hak Kim[†], Yun-Ki Ryu, and Jong-Young Park^{*}

Department of Polymer Science and Engineering, Gyeongsang National University, Chinju 660-701, Korea

^{*}Div. of Forest Products, Forestry Research Institute, Seoul 130-012, Korea

[†]e-mail : jh-kim@nongae.gsnu.ac.kr

(Received July 15, 1998)

요 약: 두 종류의 폴리프로필렌 수지와 잣나무 목분을 단축압출기를 사용한 용융블렌딩으로 복합재를 제조하였다. 목분은 최대 50 wt% 까지 투입하였으며, 결합제로서 maleic anhydride polypropylene (MAPP)을 15 wt% 까지 첨가하였다. 결합제를 사용하지 않은 경우에는 목분의 투입량이 증가할수록 인장탄성율은 증가하나 인장강도와 충격강도는 감소하였다. 결합제가 투입되면 인장강도는 향상시킬 수 있었으나 충격강도의 저하는 큰 변화가 없었다. 이러한 물성 저하는 수지가공을 위한 고온에서 목질이 분해되며 발생하는 기포등의 결합이 원인이 되는데, 특히 용융지수가 낮아 높은 가공온도를 필요로 하는 수지를 사용하였을 때 더욱 현저하게 나타났다. 이러한 문제를 해결하기 위해 수지의 종류, 가공방식 및 가공온도 조건을 바꾸고, 목분을 전처리하여 가용성 물질을 제거하는 실험을 하였다. 물성평가를 위해 인장, 충격, 굴곡물성을 측정하였으며, SEM을 이용하여 파단면을 관찰하였고, 수분흡수에 따른 물성변화를 측정하였다.

ABSTRACT: Two types of polypropylene (PP) and Korean pine sawdust wood flour were used as matrix and filler materials for wood/plastic composites. These composites were prepared by melt-blending process in a single screw extruder. Maleic anhydride modified polypropylene (MAPP) was used as coupling agent. The WF (wood flour) was added up to maximum 50 wt% and the coupling agent was added up to 15 wt%. Without the coupling agent, the tensile modulus was improved with increasing amount of WF, but the tensile strength and the impact strength were decreased. The tensile strength could be improved by adding the coupling agent, but the impact strength was not affected. The reduced properties were caused by some defects formed from decomposition of the WF at the high processing temperature. For solving this problem, the processing conditions such as temperature setting, compounding route and pretreatment of WF were checked with two kinds of polypropylene which have different level of melt index. To evaluate the properties, tensile, impact and flexural properties were measured and the fracture surfaces of the composites were investigated by SEM. Also, the effect of water absorption on the properties was evaluated.

Keywords: composite, polypropylene, wood flour, korean pine, sawdust, MAPP.

서 론

폐목재자원을 활용하기 위해 널리 쓰이고 있는 방법으로는 particleboard나 MDF (medium-density fiberboard) 등 요소수지와 같은 열경화성 수지를 접착제로 사용하여 판상형태의 제품으로 가구나 건축내장재로 활용하는 것이다. 이와 같은 방법은 제품의 형태에 제한이 있고 재활용에 어려움이 따르게 되어 최근에는 열가소성 수지를 사용하는 용융블렌딩 방식이 많이 연구되고 있다. 용융블렌딩 방식은 플라스틱의 성형에 널리 쓰이고 있는 단축이나 이축압출기를 활용하므로서 목질이나 종이를 플라스틱과 혼합하는데 있어서 적은 경비와 높은 생산성 등의 이점을 가지며, 압출 성형이나 사출 성형 등을 이용한 비교적 간단한 가공 기술로 쉽게 다양한 형태의 제품으로 만들 수 있다.

열가소성 수지에 목질 30~40%를 첨가한 복합재 (wood/plastic composites, WPC)의 탄성율과 강도는 증가하지만 충격에너지, 신장율 그리고 최대 하중에서의 에너지 등이 감소하는 열가소성 수지 복합재의 일반적인 현상을 나타낸다고 보고되고 있다.¹⁻³ 한편, 극성인 목재와 비극성인 플라스틱 사이의 접착력을 주기 위해 결합제로 maleated polypropylene를 첨가하거나 섬유에 유화된 maleated polypropylene를 직접 처리하므로서 복합재의 기계적 물성을 다소 증가시킬 수 있으며, 더 높은 분자량의 maleated polypropylene는 복합재 강도와 에너지 흡수, 그리고 unnotched 충격거동에 매우 효과적인 것으로 알려져 있다.^{4,5} 그 외에도 두 재료의 계면에서의 극성차이로 인한 상용성의 결합을 극복하기 위한 많은 연구가 보고되고 있다.⁶⁻⁸ 또한, WPC의 기계적 물성에서 인장 강도는 증가하는 반면 충격강도는 감소하게 되는 것을 보완하기 위해 HIPPE (high impact polypropylene)를 사용함으로써 충격강도를 개선시킨 연구결과가 알려져 있다.⁹

목질/플라스틱 복합체 제조에 있어서 두 재료간의 낮은 결합력 외에도 높은 가공온도에 의한 목질의 분해와 이로 인한 결합의 발생이 중요한 문제가 되고 있는데 본 연구의 목적은 이와 같은 용융블렌딩 공정의 최적화에 있으며, 국내에서 가장 흔한 수종 중의 하나인 잣나무 목분을 어떠한 처리도 거치지 않고,

초기 목분상 그대로 값싼 수지 또는 페플라스틱과 혼합하여 건축자재로 활용하는 데 주안점을 두고 있다. 이를 위해 비교적 공정비용이 적게 드는 일반적인 단축압출기를 이용하여 복합재를 제조하였는데, 수지 가공온도를 결정하는 용융지수가 다른 PP (polypropylene)를 선정하여 압출회수, 압출기 온도조건 등을 변화시켜 물성을 평가하였으며, 열수와 알칼리 등으로 목질을 사전처리하여 가용성분을 추출함으로써 목질의 분해를 막을 수 있는 가능성을 검토하여 보았다.

실 험

재 료. 실험에 사용된 목질 재료는 임업연구원에서 제공한 국내산 잣나무 목분 (톱밥)을 사용하였으며, 크기는 40~80 mesh이고, 105 °C의 진공 오븐에서 3시간 이상 건조시켜 함수율이 3% 이하인 상태에서 사용하였다. 수지로 사용된 PP는 (주)유공에서 생산하는 용융지수 (MI)가 0.5 g/10 min인 B901T grade와 3.5 g/10 min인 H730F grade를 구입하여 사용하였다. 결합제는 MAPP (maleic anhydride modified polypropylene)로서 Eastman Co.의 Epolene E-43 grade를 사용하였다.

목분 전처리. 생산 스케일의 공정에서 목분을 전처리 한다는 것은 비용면에서 경제성을 잃게 되므로 실험에 사용된 목분은 별도의 처리를 하지 않은 상태에서 사용되었으나, 가공 중 휘발하여 기포를 형성하거나 변색을 일으키는 원인이 되는 가용성분을 추출하는 효과를 확인하기 위해 열수처리와 알칼리처리를 실시하여 보았다.¹⁰ 열수에 의해서는 탄수화물, 탄닌, 당류 등이 추출되는데, 목분을 증류수와 함께 반응기에서 환류시키며 3시간동안 끓인 후 필터에서 여과한 다음 온수로 세정, 건조 후 약 10%의 무게감량을 확인할 수 있었다. 알칼리에 의한 추출은 열수로 용출되는 물질의 추출량이 많고, 동시에 페놀성 수산기나 카르복실기 등의 산성 관능기를 갖는 물질 (폴리페놀류, 저분자 리그닌, 수지산, 유지)이 용출된다.^{11,12} 1% NaOH 용액 속에서 1시간동안 끓인 후 감압 필터에서 여과한 다음 열수, 10% CH₃COOH 용액, 열수 순으로 순차 세정하였다. 건조가 끝난 알칼리처리 목분에서 약 30%의 무게감량을 확인했다.

용융블렌딩. 목분과 PP의 혼합은 30φ 단축압출기

를 이용하여 실시되었다. PP의 가공온도에서 목분의 분해가 예상되므로 가공온도에 따른 공정성을 확인하기 위해 용융지수가 다른 두 종류의 PP를 사용하였다. 목분은 50 wt%까지, MAPP는 15 wt%까지 첨가하여 실험하였다. 전처리한 목분은 각각의 처리방법에 따라 20 wt%의 함량으로 제조하여 미처리한 목분을 사용한 복합재와 물성을 비교하였다.

용융블렌딩 공정에서 가장 문제가 되는 것은 목분의 겔보기 부피가 매우 커서 수지와 균일한 비율로의 연속투입이 어렵다는 점이다. 이를 개선하기 위해 마스터칩의 활용을 테스트하였다. 즉, 목분 50 wt%를 포함한 블렌드의 펠릿을 마스터칩으로 하여, 이 펠릿에 PP의 양을 조절하여 10 wt%에서 40 wt%까지의 블렌드로 재압출하여 1회의 압출로 제조한 시편과 물성을 비교하였다. 이렇게 재압출한 복합재는 압출기 체류시간이 길어진 효과를 갖기 때문에 분산성의 향상과 목질의 분해가 동시에 나타날 것으로 생각된다.

압출에 사용된 온도조건은 사용된 수지의 용융지수에 따라 차이가 있는데, 용융지수가 낮은 B901T를 사용한 경우는 160~230 °C로 설정하였으며, 용융지수가 높은 H730F의 경우는 140~210 °C로 설정하였다 (Table 1). 또한, 재료의 투입은 목분의 겔보기 부피가 크기 때문에 재료의 혼합물에 대해 100 g 단위의 최소량으로 나누어서 투입하였다. 압출속도는 45 rpm이었으며, 이에 따른 체류시간은 2분이었다. 각각의 블렌드는 펠릿 형태로 절단시킨 후 다시 진공 오븐에서 건조시킨 후 시험용 시편을 사출하였다.

시편사출 시 온도조건은 B901T가 200~240 °C로 설정되었고, H730F는 160~210 °C로 설정되었다. 또한 사출압과 금형압은 B901T는 1000 psi와 1200 psi, H730F는 1200 psi와 1400 psi로 설정하였다. 그리고 보압은 사출압에서 약 5초간 가해주었다 (Table 2). 위와 같이 본 실험에 사용된 온도조건은 압·사출 모두 목분의 분해를 최소화하기 위해서 PP가 용융 가능한 최저의 온도 범위에서 설정하여 실험에 적용하였다.

물성측정. 시편은 상온에서 72시간 이상 방치한 후 물성평가에 사용되었다. 시편의 개수는 10개로 하여 최대최소치를 제외한 나머지의 평균을 계산하였다. 인장강도와 인장탄성률, 인장변형률은 ASTM D 638에 따라 인장시험기 (LLoyd Instruments LR Series

Table 1. Single Screw Extrusion Conditions

heater position	B901T	H730F
barrel 1	160 °C	140 °C
barrel 2	180 °C	160 °C
barrel 3	200 °C	180 °C
die	230 °C	210 °C

Table 2. Injection Molding Conditions

position	B901T	H730F
front	200 °C	160 °C
heater middle	220 °C	180 °C
nozzle	240 °C	210 °C
injection pressure	1000 psi	1200 psi
device pressure	1200 psi	1400 psi

materials testing machine)를 이용하여 측정하였다. 충격강도는 ASTM D 256에 따라 측정하였고, 굴곡탄성률과 굴곡강도는 ASTM D 790에 따라 측정하였다. 파단면에 대한 형태학적 조사와 분산성을 관찰하기 위해 5000배율의 전자주사현미경 (SEM)을 사용하였다.

결과 및 고찰

목재·플라스틱 복합재의 비중 (Table 3). 일반적으로 범용 PP의 비중은 0.9~0.91로 알려져 있다. 본 실험에서 목분과 PP를 용융블렌딩하여 압·사출이 끝난 목재·플라스틱 복합재는 목분의 함량이 증가할수록 비중은 증가하였다. 이러한 결과는 실험에 사용된 목분의 비중이 PP에 비해 높은 것에 기인한다. 용융지수가 낮은 B901T 수지를 사용한 경우는 가공 온도가 높으므로 목분의 분해가 용융지수가 높은 H730F에 비해 더 심해지므로 이에 따른 공극의 함량도 많고, 따라서 비중이 낮은 것으로 나타났다. 한편, 결합제가 첨가되었을 때에는 용융지수가 낮은 B901T 수지를 사용한 경우 분산성이 향상됨에 따라 목분이 뭉쳐있는 현상과 공극의 함량이 줄어들어 비중이 증가하는 것으로 나타났으며 용융지수가 높은 H730F의 경우에는 뭉침이나 공극발생이 적어 큰 변화가 없었다.

용융지수가 높은 PP의 기계적 물성 (Table 4). 복합재의 기지재료가 H730F인 경우는 가공 온도가 비

Table 3. Specific Gravity of WF/PP Composites

PP	WF content (wt%)		10	20	30	40
	WF+PP	MAPP(10 wt%)+WF+PP	0.901	0.913	0.96	0.964
B901T	WF+PP	MAPP(10 wt%)+WF+PP	0.92	0.94	1.0001	0.986
H730F	WF+PP	MAPP(10wt%)+WF+PP	0.911	0.94	1.0001	1.0003
			0.894	0.935	0.974	1.0007

Table 4. Mechanical Properties of WF/PP (H730F) Composites as a Function of WF Content at Different MAPP Concentrations

property	MAPP content (wt%)	WF content (wt%)					
		0	10	20	30	40	50
tensile modulus (MPa)	0	697.4	974.2	1154.0	1159.4	1710.4	1979.4
	5	-	1152.8	1601.6	1864.6	2194.5	2565.3
	10	-	1119.2	1409.9	1796.6	2210.3	2515.9
	15	-	1297.8	1392.0	1728.3	2240.4	2272.9
tensile strength (MPa)	0	29.93	27.30	25.92	25.01	27.40	24.86
	5	-	30.41	36.91	36.97	39.34	39.18
	10	-	30.53	32.82	38.23	40.85	39.93
	15	-	32.51	33.58	35.49	38.99	37.48
tensile strain (%)	0	-	9.738	6.614	4.940	4.462	3.767
	5	-	7.457	6.663	5.256	4.796	4.448
	10	-	8.669	6.283	5.578	4.752	4.193
	15	-	8.795	6.638	5.635	4.567	4.273
impact strength (kJ/m ²)	0	54.83	19.79	14.18	11.20	9.24	7.01
	5	-	18.75	17.41	12.69	10.09	7.73
	10	-	21.69	14.98	14.39	12.31	8.81
	15	-	22.00	16.05	11.71	10.46	7.64
flexural modulus (MPa)	0	24.84	27.45	34.04	49.54	53.33	55.61
	5	-	26.13	37.52	46.97	66.91	72.56
	10	-	24.94	32.06	44.69	70.98	72.51
	15	-	23.53	32.42	41.03	62.40	65.57
flexural strength (MPa)	0	1.93	1.83	1.96	2.09	2.12	1.86
	5	-	1.97	2.20	2.50	2.83	2.75
	10	-	1.89	2.13	2.50	2.63	2.56
	15	-	1.87	2.07	2.22	2.74	2.50

교적 낮은 조건에서 혼합이 가능했으며, 가공 온도가 낮아짐으로 인해 목분의 분해와 변색 현상을 현격하게 줄일 수 있었다. 그러나 Fig. 1과 2에서 볼 수 있듯이 결합제가 첨가되지 않은 경우 목분의 첨가량이 커질수록 인장탄성율은 증가하나 인장강도는 오히려 약간 감소하는 경향을 확인할 수 있었다. 이것은 목분이 첨가되므로써 보강효과에 의해 탄성율이 증가

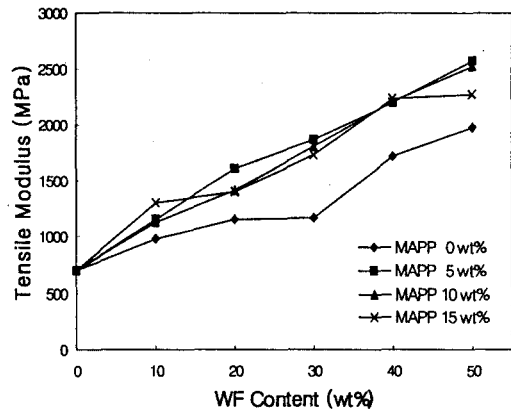


Figure 1. Tensile modulus of WF/PP composites as a function of WF concentration at different MAPP concentration (H730F).

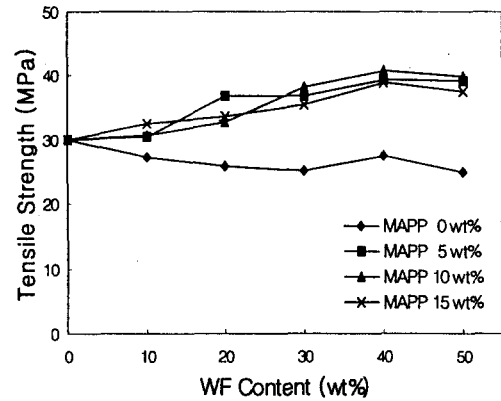


Figure 2. Tensile strength of WF/PP composites as a function of WF concentration at different MAPP concentration (H730F).

하는 것으로 판단되지만, 목분과 PP 사이의 약한 결합력과 목질의 분해로 발생한 공극들의 영향으로 인장강도가 감소된 것으로 사료된다. 한편, 결합제가 첨가된 경우에는 탄성율이 크게 높아짐과 동시에 인장강도 또한 목분 함량의 증가에 따라 크게 향상되는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 시편의 파단면 SEM 사진으로 확인할 수 있었는데, MAPP가 첨가되지 않은 파단면에서는 목섬유가 뿔뿔히 나간다는 지 매트릭스인 PP가 매끈하게 잘려진 것을 볼 수 있었다 (Fig. 3). 그러나 MAPP가 첨가된 파단면에서는 찢겨 나간 흔적을 발견할 수 있는데 이러한 것은

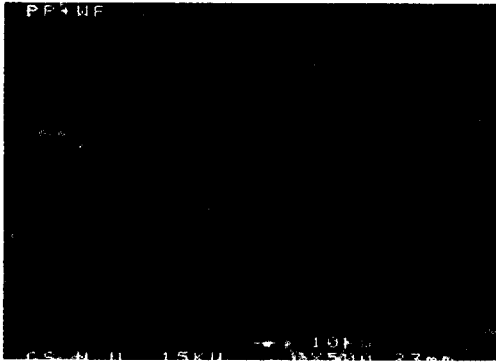


Figure 3. SEM micrograph of fracture surface of WF/PP (30/70 wt%) composite (H730F, ×500).

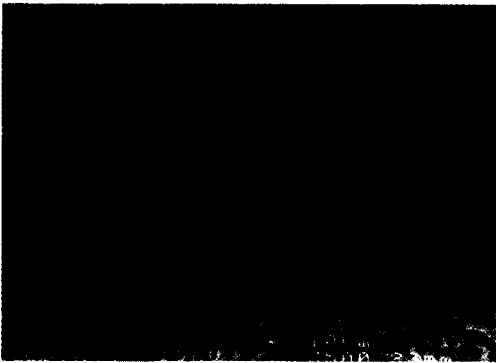


Figure 4. SEM micrograph of fracture surface of WF/PP (30/70 wt%) composite with addition of 5% MAPP (H730F, ×500).

MAPP가 첨가됨으로서 목분과 수지와의 계면결합력이 강해진 것으로 설명된다 (Fig. 4). 굴곡탄성율과 굴곡강도는 인장탄성율 및 인장강도와 유사한 경향을 보였으며 인장변형율은 목분의 함량에 따라 전체적으로 감소하였다. 한편, 결합제인 MAPP를 15 wt% 까지 투입하여 보았으나 Fig. 1과 2에서 볼 수 있듯이 5 wt% 이상의 농도에서는 더 이상의 물성향상을 얻을 수 없으므로 결합제 투입량은 5 wt% 이하로 설정하는 것이 바람직할 것이다.

충격강도는 Fig. 5에서 알 수 있듯이 목분의 함량이 증가함에 따라 전체적으로 감소하는 것을 확인하였다. 이것은 호모 PP로서 용융지수가 높은 수지인 H730F 자체의 충격강도가 약한 것도 하나의 원인이 되겠으나 앞에서 언급했듯이 기포의 형성 등 계면에

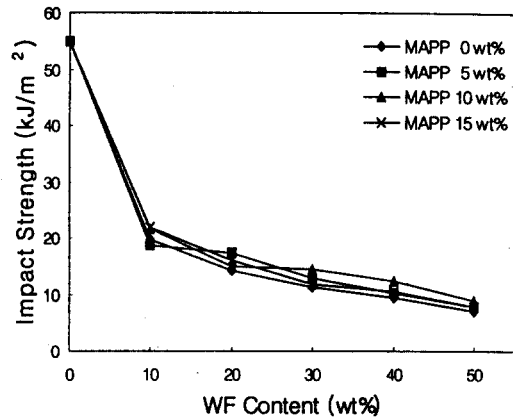


Figure 5. Unnotched impact strength of WF/PP composites as a function of WF concentration at different MAPP concentration (H730F).

서의 결합이 주된 영향으로 판단된다. 또한 목분이 아주 짧은 분말상이기 때문에 목분의 첨가로서 충격강도를 높이는 효과는 기대할 수 없을 것으로 생각된다. 또한 결합제인 MAPP가 첨가된 경우에는 그 투입량의 증가에 따라 충격강도가 약간 증가하는 경향을 나타내고는 있지만 그 정도가 목분 투입에 따른 충격강도 감소폭에 비해 매우 작아 결합제의 투입에 따른 충격강도의 향상 또는 보완을 기대하기 어렵다고 생각된다.

용융지수가 낮은 PP의 기계적 물성 (Table 5). B901T 수지는 H730F에 비해 상대적으로 가공온도가 높다. 이것은 상당량의 목분이 분해되리라 생각되었고, 사출을 끝낸 시편에서도 변색 현상이 두드러지게 나타나는 것을 확인하였다. 물성은 H730F와 마찬가지로 결합제가 첨가되지 않은 경우 목분의 양이 증가됨에 따라 인장탄성율은 증가하였고 인장강도는 감소하는 경향을 나타내었지만, 결합제인 MAPP가 5 wt% 까지 첨가될 경우에도 물성향상이 나타나지 않고 오히려 감소되는 경향마저 나타냈다. 이러한 현상은 높은 가공온도에 따른 목질의 분해가 주된 원인으로 생각되며, 따라서 열에 약한 목질과의 복합재를 제조하기 위해서는 가공온도가 낮은 수지를 선정해야 하는 제약이 따르게 됨을 알 수 있다. 충격강도 또한 결합제에 관계없이 목분 함량의 증가에 따라 감소하였으나 B901T 수지 자체가 PE가 첨가되어 충격강도를 향상시킨 PP이므로 호모 PP인 H730F 수지를

Table 5. Mechanical Properties of WF/PP (B901T) Composites as a Function of WF Content at Different MAPP Concentrations

property	MAPP content (wt%)	WF content (wt%)				
		0	10	20	30	40
tensile modulus (MPa)	0	818.6	903.7	1166.8	1486.1	1559.0
	1	-	825.2	981.3	1161.3	1372.5
	3	-	781.4	851.6	1301.1	1485.5
	5	-	872.1	890.4	1194.8	1410.8
tensile strength (MPa)	0	25.69	17.61	21.88	20.52	18.66
	1	-	20.76	19.94	19.48	19.06
	3	-	21.51	21.64	22.56	21.70
	5	-	21.81	23.29	23.70	25.28
tensile strain (%)	0	-	8.508	6.964	5.024	3.842
	1	-	8.786	6.468	5.410	4.031
	3	-	9.624	7.512	5.008	3.550
	5	-	9.660	7.560	4.991	3.500
impact strength (kJ/m ²)	0	76.25	37.84	24.16	17.34	11.98
	1	-	23.60	18.52	12.89	9.80
	3	-	25.42	18.51	12.98	11.26
	5	-	25.60	18.60	13.02	11.50
flexural modulus (MPa)	0	17.42	20.88	31.92	30.64	35.45
	1	-	23.87	26.98	33.50	34.21
	3	-	22.62	26.72	37.71	45.32
	5	-	-	-	-	-
flexural strength (MPa)	0	1.50	1.46	1.65	1.68	1.60
	1	-	1.65	1.64	1.67	1.67
	3	-	1.61	1.72	1.92	1.97
	5	-	-	-	-	-

사용한 경우보다 약간 높은 값을 가졌다.

Compounding 방법의 영향 (Table 6). 마스터칩을 이용한 혼합은 결과적으로 2회 압출한 효과를 가져오므로 분산성의 향상을 꾀할 수 있으리라 판단되었다. 그러나 재압출은 체류시간의 증가를 의미하기 때문에 재압출 하였을 때 PP의 분자량이 저하되고, 목분 또한 분해가 더 심해지는 문제점도 동시에 나타날 것으로 생각되었다. 재압출한 경우와 1회 압출한 시편의 인장 물성을 살펴보면 인장탄성율과 인장강도 모두 재압출한 것이 1회 압출한 것에 비해 다소 낮은 값을 보였다. 따라서 재압출할 경우 체류시간의 증가에 따른 목분의 분해로 인한 역효과가 더 크다는 사실을 알 수 있었으며 이러한 물성저하는 충격강도에서 더욱 뚜렷하게 확인할 수 있었다. 결과적으로 앞서 언급한 바와 같이 목질/플라스틱 복합재의 제

Table 6. Effect of Compounding Method on Mechanical Properties of WF/PP (B901T) Composites

property	specimen	WF content (wt%)			
		10	20	30	40
tensile modulus (MPa)	E1 ^a	903.7	1166.8	1486.1	1559.0
	E2 ^b	884.8	1078.7	1284.7	1717.2
tensile strength (MPa)	E1	17.61	21.88	20.52	18.66
	E2	21.22	18.53	18.90	16.94
impact strength (kJ/m ²)	E1	37.84	24.16	17.34	11.98
	E2	26.36	19.43	15.76	11.02

^a Extruded normally. ^b Re-extruded from 50% master chip.

Table 7. Effect of Extrusion Temperature on the Mechanical Properties of WF/PP (H730F) Composites

property	temperature (°C)		
	210	230	250
tensile modulus (MPa)	1979.4	1998.6	2111.9
tensile strength (MPa)	24.86	23.65	21.61
tensile strain (%)	3.767	3.631	3.222
impact strength (kJ/m ²)	7.01	10.7	8.39

조에 있어 가장 중요한 점은 목질의 분해를 억제하는 것이고 이를 위해 가공온도가 낮은 플라스틱을 선정해야 한다는 것을 의미한다.

압출온도의 영향 (Table 7). 일반적으로 목분은 170 °C부터 분해가 시작된다고 알려져 있다. 이것은 200 °C가 넘는 플라스틱의 가공온도에서 문제점으로 작용하는데, 기계적 물성에서 결합으로 작용하는 기포의 발생은 잔류 수분의 증발과 더불어 목분 내의 저분자량 가용성분이 분해되면서 발생하는 것이 상당량을 차지하리라 판단된다. 이러한 가공온도에 따른 영향을 알아보기 위해서 압출온도 조건을 달리하여 압·사출한 50 wt% 목재·플라스틱 시편의 인장물성과 충격물성을 비교 평가하였다. 인장탄성율은 고온에서 압출할수록 높게 나타났으며, 인장강도는 반대로 저온에서 압출할수록 높은 값을 가졌다. 반면에 충격강도는 중간온도인 230 °C에서 압출한 시편이 가장 높은 값을 가지는 것으로 나타났는데 이러한 결과는 가공온도가 올라감에 따라 점도가 낮아짐으로서 분산성이 향상되어 물성이 향상되는 효과와 목분 및 PP의 분해도 증가하여 기포를 발생시키는 등 물성저하 효과가 상충하기 때문으로 사료된다. 이러한 결과

Table 8. Effect of Pre-treatment on Tensile Strength of WF/PP (B901T) Composites (PP: B901T, WF: 20 wt%, MAPP: 0 wt%)

specimen	untreated	alkali extracted	hot-water extracted
tensile strength (MPa)	21.88	19.12	22.49

들로서 재압출에서와 마찬가지로 분산력과 목분의 분해로 인해 발생하는 결합 사이의 상호관계를 이해할 수 있었으며, 보다 나은 물성과 분산성을 얻기 위해서는 적절한 가공온도와 체류시간의 선택이 중요한 것으로 판단되었다.

전처리의 영향 (Table 8). 목분의 전처리는 압출 공정 중 분해로 인해 복합재의 결합으로 작용하는 목분의 저분자량 가용성분들을 제거하여, 계면에서의 결합인 기포의 형성을 최대한 억제하고 이러한 가용성분의 분해에 의해 발생하는 변색의 영향을 최소화하기 위한 목적으로 이루어졌다. 처리를 한 목분과 미처리 목분을 사용한 복합재의 기계적 물성을 비교한 결과, 인장강도는 열수처리한 경우가 가장 높은 값을 가지지만 열수에 의해 소량의 가용성분이 추출되었음에도 시편이 검게 변색되는 현상이 더욱 두드러지게 나타났다. 또한 가용성분의 추출이 가장 많은 알칼리 처리를 하는 경우 상당량의 가용성분 추출과 동시에 목섬유 자체의 파괴가 발생하고 저분자량 물질의 유효작용이 줄어들어 가공 시 분해현상이 더욱 증가되는 등의 영향으로 인장 강도가 크게 감소하였다. 따라서 생산스케일의 처리 비용까지 감안한다면 목질의 전처리는 필요치 않다는 결론을 얻을 수 있었다.

수분흡수에 따른 물성변화 (Table 9). 용융블렌딩으로 제조된 목재·플라스틱 복합재는 다른 목질 복합재에 비해서 본질적으로 수분에 대한 저항이 강하다. 각각의 시편을 작은 크기로 쪼갬 다음 물이 채워진 비이커 속에 담겨진 상태에서 시간별로 표면의 수분을 제거한 후 질량을 측정하여 흡수율을 계산하였다. 10 wt%의 목분을 첨가한 시편의 경우 8일 후 약 4%의 수분흡수율을 보였으며, 50 wt%의 복합재 시편은 약 12%의 수분흡수율을 보였다. 결합제가 첨가된 경우는 다소 낮은 수분흡수율을 가지는데, 10 wt%의 복합재 시편은 약 3%, 50 wt%의 경우는 약 7% 정도였다. 흡수속도를 보면 초기에는 표면에

Table 9. Effect of Water Absorption on the Mechanical Properties of WF/PP (H730F) Composites

property	specimen	WF content/water content (wt%)				
		10/0.6	20/1.0	30/1.5	40/3.5	50/4.7
tensile modulus (MPa)	dry	974.7	1154.0	1159.6	1710.4	1979.4
	wet	1236.0	1134.4	1728.6	1546.3	2136.6
tensile strength (MPa)	dry	27.30	25.92	25.01	27.50	24.86
	wet	31.82	26.55	29.98	29.81	23.89
tensile strain (%)	dry	9.738	6.614	4.940	4.462	3.767
	wet	8.122	4.617	5.274	3.967	2.490

노출된 목분에 의해 급격한 수분흡수가 이루어지고 이후 내부에까지 수분이 흡수되기 위해서는 많은 시간이 소요되는 것으로 나타났다. 수분흡수에 따른 물성변화를 측정하기 위해 8일간 함침시킨 인장시편에 대한 물성을 건조시편과 비교 평가하였는데, 건조시편에 비해 젖은시편의 물성이 감소하지 않고 오히려 약간 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 수분이 복합재의 내부로 확산되면서 목분이 팽윤되고, 결과적으로 계면에서의 기계적인 결합력이 증가하기 때문으로 사료된다. 목질/플라스틱 복합재의 주용도로 건축자재가 고려되고 있는 바, 매우 바람직한 결과라고 사료된다.

결 론

목분과 PP를 혼합한 복합재를 단축압출기를 이용하여 제조하고 물성을 평가하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 결합제가 첨가되지 않은 경우, 목분의 양이 증가할수록 인장탄성율은 증가하지만 인장강도와 충격강도는 감소하였다. 결합제가 첨가된 경우에 인장강도는 향상시킬 수 있었으나 충격강도는 거의 변화가 없었다. 이와 같은 물성저하는 고온가공에 따른 목질의 분해에 의한 결합이 원인이라고 사료된다. 특히 용융지수가 낮아 높은 가공온도를 필요로 하는 수지의 경우 더욱 심해지므로 목질/플라스틱 복합재의 생산에 있어서 용융지수가 높은 수지를 선택해야 하는 제약이 따르게 된다. 결합제 사용으로 분산성의 향상과 목분과 PP의 결합력을 증가시켜 기계적 물성이 전반적으로 향상되나 목분자체가 아주 짧은 단섬유 형태의 목질이므로 충격강도의 향상까지는 기대하

지 못할 것으로 사료된다. 가공조건, 즉 압출기의 온도설정이나 압출회수에 따른 변화는 흐름성의 향상과 체류시간이 길어짐에 따른 분산성 향상 요소와 목질 및 수지의 분해에 따른 물성저하 요소가 상충하여 최적화가 필요하다는 결론을 얻었다. 또한 열수나 알칼리로 목분을 전처리하여 가용성분을 추출해 냄으로서 가공시 분해현상을 막고자 하였으나 목섬유자체가 파괴되거나 저분자량 성분의 윤택작용이 줄어들어 가공시의 변색이 증가되고 물성도 저하되는 등 역효과가 나타났다. 따라서 생산스케일에서의 전처리 비용을 감안한다면 목질의 전처리는 필요치 않다는 결론을 얻었다. 본 연구의 주안점은 국내에서 가장 흔한 수종 중의 하나인 잣나무 목분을 어떠한 처리도 거치지 않고, 초기 목분상 그대로 값싼 수지 또는 페플라스틱과 혼합하여 건축자재로 활용하는 데 있다. 이를 위해 비교적 공정비용이 적게 드는 일반적인 단축압출기로 충분히 블렌딩할 수 있었으며, 어느 정도의 충격강도 저하는 피할 수 없으나 공정조건의 최적화를 통해 인장 및 굴곡물성은 크게 향상시킬 수 있다는 결론을 얻었다. 향후의 과제로는 수지의 종류를 다양화하고 목질의 투입량을 증가시켜 폐목질과 페플라스틱의 재활용성을 더욱 증대시키는 연구가 진행되어야 할 것이다.

감사의 글: 본 연구는 임업연구원 환경조화형 기술개발 과제 (과제명 : 목질계 생활폐기물을 활용한 건축자재 개발)의 일환으로 수행되었음을 알리며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. B. English, J. A. Youngquist, and A. M. Krzysik, "Cellulosic Polymers, Blends and Composites", ed. by Richard D. Gilbert, p. 115, 1995.
2. John A. Youngquist and George E. Myers, "Composite from Rcyclcd Wood and Plastics. Project Summary", p. 10, 1994.
3. Stephen M. Shaler, "Wood fiber/Polymer composites", ed. by Michael P. Wolcott, p. 9, The Foreste Product Society US, 1993.
4. Paul C. Kolosick, George E. Myers, and James A. Loutsky, "Wood fiber/Polymer composites", ed. by Michael P. Wolcott, p. 15, The Foreste Product Society US, 1993.
5. P. Gatenholm, J. Felix, C. Klason, and J. Kubat, "Wood Fiber/Polymer Composites", ed. by Michael P. Wolcott, p. 20, The Foreste Product Society US, 1993.
6. Norman G. Gaylord and Munmaya K. Mishra, *J. Polym. Sci. : Polym. Lett. Ed.*, **21**, 23 (1983).
7. D. Maldas and B. V. Kokta, *Polymer*, **29**, 1255 (1988).
8. Chittoor K. Mohankrishnan and Ramani Narayan, "Wood Fiber/Polymer Composites", ed. by Michael P. Wolcott, p. 57, The Foreste Product Society US, 1993.
9. Byung-Dae Park and John J. Balatinecz, *J. Thermoplastic Compo. Mater.*, **9**, 342 (1996).
10. Roger M. Rowell, *J. Wood Chem. Techno.*, **6**(3), 427 (1986).
11. Roger M. Rowell, *Holzforshung*, **44**(4), 263 (1990).
12. G. E. Myers, I. S. Chahyadi, Carlos Gonzalez, and C. A. Coberly, "Wood fiber/Polymer composites", ed. by Michael P. Wolcott, p. 49, The Foreste Product Society US, 1993.