

은수원사시나무와 저밀도 폴리에틸렌으로 제조된 목질플라스틱패널의 성능*1

곽 준 혁*2 · 오 용 성*2†

Performance of Wood-plastic Panel Made from *Populus alba* × *glandulosa* and Low Density Polyethylene*1

Jun-Hyuk Kwak*2 · Yong-Sung Oh*2†

요 약

은수원사시나무 파티클과 저밀도 폴리에틸렌을 50:50, 60:40, 70:30의 3종류 혼합비율로 열압온도 145°C와 열압시간 5분에서 목질플라스틱패널을 제조하였다. 본 연구에서 목질플라스틱패널을 제조하는데 왁스와 접착제 등 어떤 첨가제도 사용하지 않았다. 제조한 목질플라스틱패널의 밀도, 박리강도, 휨탄성계수, 휨파괴계수, 두께 팽창률 및 물흡수율에 대한 성질을 측정하여 패널의 성능을 평가하였다. 성능평가한 data를 SAS programing package에 의해 통계분석한 결과에 의하면 목질플라스틱패널의 박리강도, 휨파괴계수 등의 성질은 목재/폴리에틸렌 혼합비율이 50:50으로 제조된 패널이 다른 혼합비율인 60:40과 70:30으로 제조된 패널보다 5% 수준에서 높게 나타났다. 목질플라스틱패널의 치수안정화를 기준으로 볼 때, 목재/폴리에틸렌 최적의 혼합 비율이 60:40이라는 결과를 보여줬다.

ABSTRACT

Wood/polyethylene panels were manufactured from *Populus alba* × *glandulosa* particles and low density polyethylene particles at three mixing rates, 50:50, 60:40, and 70:30. A total of 15 wood/polyethylene panels was made at 145°C and 5 minutes hot-press time. Wood/polyethylene panels were tested for internal bond, bending, and dimensional stabilities such as thickness swell and water absorption. Panel performance data were analyzed using the SAS programing package. The test results of the wood/polyethylene panels showed that as the polyethylene mixing rates were increased, the

*1 접수 2003년 5월 9일, 채택 2003년 8월 4일

*2 영남대학교 자연자원대학, College of Natural Resources, Yeungnam University, Kyongsan 712-749, Korea

† 주저자(corresponding author) : 오용성(e-mail: ysoh@yumail.ac.kr)

panel property values increased. Based on panels' dimensional stabilities, the optimum wood/polyethylene mixing ratio appeared to be 60:40.

Keywords: wood-plastic composites, *Populus alba* × *glandulosa*, low density polyethylene

1. 서 론

목질플라스틱패널 제품은 deck (데크), 울타리, 마루판, 조경용 목재, 몰딩 등과 같은 건축용 내·외장재에 많이 사용되어 왔고, 자동차의 문짝 등과 같은 자동차 내장재에도 이미 오래 전부터 이용되어 왔으며, 그 수요는 더욱 증가될 것으로 예상하고 있다 (Clemons 2002). 현재까지 목질플라스틱패널의 생산량은 전체 목재가공산업과 비교하면 다소 적은 부분이지만, 앞으로 시장 규모가 상당히 증가될 것으로 예상하고 있다. 2001년 북미에서 목질플라스틱패널의 시장규모는 320,000 톤이었고, 2005년에는 두 배 이상 증가될 것으로 예상하고 있다 (Clemons 2002).

현재 생산되고 있는 대부분의 건축용 내·외장재에 이용하고 있는 목질플라스틱패널은 저·고밀도 폴리에틸렌을 사용하여 제조되고 있으며, 폴리프로필렌을 이용하여 제조한 목질플라스틱패널은 전형적으로 자동차산업에 사용하여 왔고, 최근에는 건축용으로도 이용이 시도되고 있다 (Clemons 2002, Youngquist 1995). Polyvinyl chloride (PVC)로 제조한 목질플라스틱패널은 보통 창문틀에 사용하여 왔고, 현재 데크에도 사용하고 있다. 폴리스티렌과 acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) 등도 목질플라스틱패널 제조의 원료로 사용하고 있다 (Clemons 2002). 일반적으로 목질플라스틱패널 제조에 이용하고 있는 목재는 여러 크기의 파티클과 화이버 형태로 사용하고 있고, 목재함유량은 대략 50% 정도가 보통이지만, 그 이상 또는 그 미만을 함유할 수도 있다 (Sellers et al. 2000).

2002년 한국환경산업연구원 보고에 의하면, 2000년 국내 총 플라스틱 생산량은 8,720,000톤으로 이 중에서 저·고밀도 폴리에틸렌의 국내 생산량은 각각 1,559,000톤과 1,660,000톤으로 총 플라스틱 생산량에 대해 36.9%에 해당된다 (한국산업정보원 2002a). 2000년 국내 폐플라스틱 발생량은 2,976,000톤이고

재활용량은 782,000톤으로 재활용률은 26.3%이다 (한국산업정보원 2002b). 또 2005년에는 국내 폐플라스틱 발생량은 4,169,000톤에 이를 것으로 예상하고 있다 (한국산업정보원 2002b). 따라서 향후 폐플라스틱 발생량의 증가와 더불어 이런 자원을 적절히 활용할 수 있는 방안이 추진되어야 한다.

한편, 1973년 한국산 속성수 교잡 포플러 수종인 *Populus alba* × *glandulosa* (은수원사시나무)를 국내에 10,000 ha 이상 조립하였다 (FAO 1979). 산림청 보고에 의하면, 1975년까지 속성수 포플러류의 조립 실적은 매년 20,000 ha 이상이었고, 1976년부터 1980년까지는 매년 70,000 ha 이상이었다고 보고하고 있으며, 현재까지 국내에서 속성수 포플러류를 총 935,000 ha에 조립하였다고 보고하고 있다 (구영분 2001). 속성수 포플러류는 목재를 생산하는 용재수의 역할뿐만 아니라 쾌적한 생활환경을 위한 환경정화수의 역할 때문에 포플러 조림이 적극 장려되고 있다.

따라서 본 연구의 목적은 은수원사시나무 파티클과 저밀도 폴리에틸렌을 3종류 혼합비율로 목질플라스틱패널을 제조하고 성능을 비교·평가하기 위한 것이다.

2. 재료 및 방법

2.1. 목재파티클과 저밀도 폴리에틸렌

본 실험에서 사용한 은수원사시나무 목재파티클은 상업용 파티클보드 제조회사에서 분쇄한 중간층용을 공급받아 사용하였고, 저밀도 폴리에틸렌은 평균크기가 1.0 cm × 0.2 cm × 25 μm로 중간층용 은수원사시나무 목재파티클의 크기와 유사하다. 이 저밀도 폴리에틸렌의 물성은 밀도 0.919 g/cm³, 용융지수 1.0 g/10 min, 연화점 102°C이다.

2.2. 목질플라스틱패널의 제조

은수원사시나무 파티클과 저밀도 폴리에틸렌으로부터 50:50, 60:40, 70:30의 3종류 혼합비율로 반복수 5개씩 총 15개의 목질플라스틱패널을 제조하였다. 본 실험에서 목질플라스틱패널을 제조하는데 왁스, 촉매제와 접착제 등 어떤 첨가제도 첨가하지 않은 상태로 은수원사시나무 파티클과 저밀도 폴리에틸렌 파티클을 혼합기에서 혼합하여 실험실에서 고안된 성형기를 이용하여 25 cm×25 cm×0.6 cm 크기의 균일한 mat을 형성하여 열압온도 145℃, 열압력 3,100 kPa, 열압시간 5분에서 수행하였다. 열압기에 장전되기 전의 mat 함수율은 11~12%이었다. 열압시간 5분 후에 열압기의 열판에 냉각수를 순환시킴으로 열판의 온도는 상온으로 급속히 냉각되고 상온으로 냉각된 패널이 안정될 때까지 냉압은 3시간 동안 지속하였다.

2.3. 목질플라스틱패널의 성능평가

3종류의 혼합비율로 제조된 5개의 목질플라스틱패널 중에서 3개의 패널은 밀도, 박리강도, 휨강도를 측정하기 위해 사용하였고, 2개의 패널은 두께팽창률과 물흡수율의 치수안정화를 측정하기 위해 사용하였다. 제조된 목질플라스틱패널의 밀도, 박리강도, 휨탄성계수(MOE), 휨파괴계수(MOR)를 위한 시편은 KS F 3104 파티클보드와 ASTM D 1037 과정에 의해 측정하였다(한국표준협회 1997, ASTM 1989). 휨강도 시편의 스펠 거리는 ASTM D 1037 과정에서 요구하는 스펠 거리의 절반인 7.6 cm로 측정하였다. 두께팽창률과 물흡수율의 치수안정화 시험은 15 cm×15 cm 크기의 시편으로 물 속에 2-h, 24-h 동안 침적 후 측정하였다.

2.4. 통계분석

목질플라스틱패널의 성능평가 data는 SAS institute의 SAS programing package (SAS Institute 1994)를 이용하여 분석하였다. 완전임의 배치법에 의한 분산분석(ANOVA)을 3종류 목질플라스틱패널에 대한

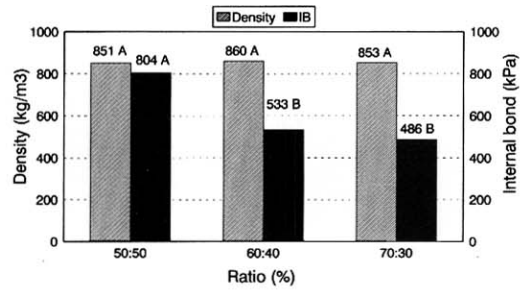


Fig. 1. Effect of wood/polyethylene ratios on density and internal bond (Note: Means with the same capital letter are not significantly different at the 5% level).

밀도, 박리강도, 휨탄성계수, 휨파괴계수, 두께팽창률 및 물흡수율 등의 효과를 분석하기 위해 사용하였고, 최소유의차에 의한 평균간 유의성도 검정하였다 ($P<0.05$) (Steel & Torrie 1980). 또 표준편차와 변이계수들도 역시 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

목질플라스틱패널의 성능을 평가한 결과들은 Fig. 1~4와 같다. 제조한 목질플라스틱패널의 밀도 분포 범위는 851~860 kg/m³이었다(Fig. 1). 분산분석의 결과에 의하면 목질플라스틱패널의 3종류 혼합비율에 대한 목질플라스틱패널의 밀도는 5% 수준에서 유의성이 없었다.

제조한 목질플라스틱패널의 박리강도 분포범위는 486~804 kPa이었다(Fig. 1). 일반적으로 박리강도는 목질플라스틱패널의 혼합비율이 50:50, 60:40, 70:30의 순으로 높게 나타났다. 제조한 목질플라스틱패널의 박리강도 data를 통계 분석한 분산분석의 결과가 Table 1에 요약되어 있다. 분산분석의 결과에 의하면 목질플라스틱패널의 혼합비율에 대한 목질플라스틱패널의 박리강도는 1% 수준에서 유의성이 있었다. 최소유의차 검정에서는 목질플라스틱패널 혼합비율 50:50의 박리강도가 목질플라스틱패널 혼합비율 60:40과 70:30의 박리강도보다 5% 수준에서 높게 나타났다. 또 목질플라스틱패널의 혼합비율 60:40의 박리강도는 혼합비율 70:30의 박리강도와 5% 수준에

Table 1. Analysis of variance of IB and MOR for wood/plastic panels made

Source	df	IB		MOR	
		Mean square	F ^a	Mean square	F
Ratio	2	1861.0	69.79**	29284.1	8.91*
Error	6	26.6		3285.5	
Total	8				

a * = significant at 0.05 level; ** = significant at 0.01 level.

df : degrees of freedom

IB : internal bond

MOR : modulus of rupture

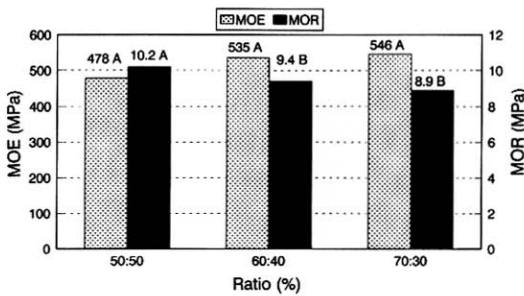


Fig. 2. Effect of wood/polyethylene ratios on MOE and MOR (Note: Means with the same capital letter are not significantly different at the 5% level).

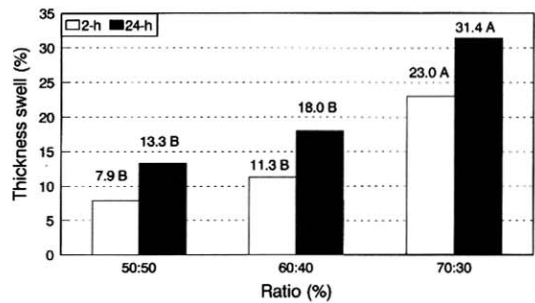


Fig. 3. Effect of wood/polyethylene ratios on thickness swell (Note: Means with the same capital letter are not significantly different at the 5% level).

서 유의성이 없었다. 그러나 폴리에틸렌 첨가량을 30%에서 40%로 증가시키에 따라 박리강도는 증가하는 경향이다. 이런 경향은 폴리에틸렌을 많이 첨가함에 따라 mat 내부에서 좀더 획일적으로 분포하여 박리강도에 영향을 준다는 것을 보여준다.

제조한 목질플라스틱패널의 휨탄성계수 분포범위는 478~546 MPa이었다(Fig. 2). 일반적으로 목질플라스틱패널의 휨탄성계수는 목재파티클의 첨가량이 50%에서 70%로 증가됨에 따라 증가하는 경향을 보여준다. 그러나 분산분석의 결과에 의하면 목질플라스틱패널의 혼합비율에 대한 목질플라스틱패널의 휨탄성계수는 5% 수준에서 유의성이 없었다.

제조한 목질플라스틱패널의 휨과괴계수 분포범위는 8.9~10.2 MPa이었다(Fig. 2). 일반적으로 목질플라스틱패널의 휨과괴계수는 목질플라스틱패널 혼합비율 50:50에서 가장 높게 나타났으며, 다음으로

혼합비율 60:40 그리고 70:30의 순서로 나타났다. 제조한 목질플라스틱패널의 휨과괴계수 data를 통계 분석한 분산분석의 결과가 Table 1에 요약되어 있다. 분산분석의 결과에 의하면 목질플라스틱패널의 혼합비율에 대한 목질플라스틱패널의 휨과괴계수는 5% 수준에서 유의성이 있었다. 최소유의차 검정에서는 목질플라스틱패널 혼합비율 50:50의 휨과괴계수가 목질플라스틱패널 혼합비율 60:40과 70:30의 휨과괴계수보다 5% 수준에서 높게 나타났다. 목질플라스틱패널의 혼합비율 60:40의 휨과괴계수는 혼합비율 70:30의 휨과괴계수와 5% 수준에서 유의성이 없었다.

제조한 목질플라스틱패널의 2-h 두께팽창률 분포범위는 7.9~23.0%이었다(Fig. 3). 분산분석의 결과에 의하면 목질플라스틱패널의 혼합비율에 대한 목질플라스틱패널의 2-h 두께팽창률은 5% 수준에서 유의성이 있었다. 최소유의차 검정에서는 목질플라스틱패

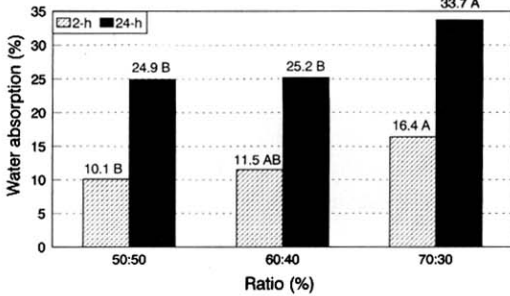


Fig. 4. Effect of wood/polyethylene ratios on water absorption (Note: Means with the same capital letter are not significantly different at the 5% level).

널 혼합비율 70:30의 2-h 두께팽창률이 목질플라스틱패널 혼합비율 60:40과 50:50의 2-h 두께팽창률보다 5% 수준에서 높게 나타났다. 그러나 목질플라스틱패널의 혼합비율 60:40의 2-h 두께팽창률은 혼합비율 50:50의 2-h 두께팽창률과 5% 수준에서 유의성이 없었다.

제조한 목질플라스틱패널의 24-h 두께팽창률 분포범위는 13.3~31.4%이었다(Fig. 3). 분산분석의 결과에 의하면 목질플라스틱의 혼합비율에 대한 목질플라스틱패널의 24-h 두께팽창률은 1% 수준에서 유의성이 있었다. 최소유의차 검정에서는 목질플라스틱패널 혼합비율 70:30의 24-h 두께팽창률이 목질플라스틱패널 혼합비율 60:40과 50:50의 24-h 두께팽창률보다 5% 수준에서 높게 나타났다. 그러나 목질플라스틱패널의 혼합비율 60:40의 24-h 두께팽창률은 혼합비율 50:50의 24-h 두께팽창률과 5% 수준에서 유의성이 없었다. 목질플라스틱패널에 저밀도 폴리에틸렌 첨가량이 증가하면 두께팽창률의 감소에 효과가 있었다.

제조한 목질플라스틱패널의 2-h 물흡수율 분포범위는 10.1~16.4%이었다(Fig. 4). 분산분석의 결과에 의하면 목질플라스틱패널의 혼합비율에 대한 목질플라스틱패널의 2-h 물흡수율은 5% 수준에서 유의성이 있었다. 최소유의차 검정에서는 목질플라스틱패널 혼합비율 70:30의 2-h 물흡수율이 목질플라스틱패널 혼합비율 50:50의 2-h 물흡수율보다 5% 수준에서 높

게 나타났다. 그러나 목질플라스틱패널의 혼합비율 70:30의 2-h 물흡수율은 혼합비율 60:40의 2-h 물흡수율과 5% 수준에서 유의성이 없었고, 혼합비율 60:40의 2-h 물흡수율은 50:50의 2-h 물흡수율과 5% 수준에서 유의성이 없었다.

제조한 목질플라스틱패널의 24-h 물흡수율 분포범위는 24.9~33.7%이었다(Fig. 4). 분산분석의 결과에 의하면 목질플라스틱패널의 혼합비율에 대한 목질플라스틱패널의 24-h 물흡수율은 1% 수준에서 유의성이 있었다. 최소유의차 검정에서는 목질플라스틱패널 혼합비율 70:30의 24-h 물흡수율이 목질플라스틱패널 혼합비율 60:40과 50:50의 24-h 물흡수율보다 5% 수준에서 높게 나타났다. 그러나 목질플라스틱패널의 혼합비율 60:40의 24-h 물흡수율은 혼합비율 50:50의 24-h 물흡수율과 5% 수준에서 유의성이 없었다.

본 연구에서 최적의 은수원사시나무/저밀도 폴리에틸렌 혼합비율은 60:40으로 나타났다. 이 혼합비율에서 저밀도 폴리에틸렌 첨가는 목질플라스틱패널의 물흡수율 감소에 효과가 있었다.

4. 결론

은수원사시나무의 파티클과 저밀도 폴리에틸렌 파티클을 50:50, 60:40, 70:30의 3종류 혼합비율로 목질플라스틱패널을 제조하고 성능을 평가한 결과 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 목질플라스틱패널의 박리강도, 휨과괴계수 등의 성질은 목재/폴리에틸렌 혼합비율 50:50으로 제조된 패널이 다른 혼합비율인 60:40과 70:30으로 제조된 패널보다 5% 수준에서 높게 나타났다.
2. 목질플라스틱패널의 치수안정화를 기준으로 볼 때, 목재/폴리에틸렌 최적의 혼합 비율은 60:40이었다. 이 혼합비율에서 목질플라스틱패널의 두께팽창률과 물흡수율 등의 치수안정화 성질은 목재/폴리에틸렌 혼합비율 50:50으로 제조된 패널의 치수안정화와 비교해서 5% 수준에서 유의성이 없었다.

참 고 문 헌

1. 구영본. 2001. 포플러를 왜 심어야 하나. 산림 424: 60~65.
2. 한국산업정보원. 2002a. 2002 한국화학산업연감. 서울. 1081 pp.
3. 한국산업정보원. 2002b. 2002 한국환경산업연감. 서울. 837 pp.
4. 한국표준협회. 1997. 한국산업규격 KS F 3104 파티클보드. 서울. 18 pp.
5. ASTM. 1989. Standard test methods for evaluating properties of wood-based fiber and particle panel materials. ASTM D 1037-96. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
6. Clemons, C. 2002. Wood-plastic composites in the United States: The interfacing of two industries. Forest Prod. J. 52(6): 10~18.
7. SAS Institute. 1994. SAS system for Microsoft Windows, Release 6.10. Cary, N.C.
8. Sellers, T. Jr., G. D. Miller, and M. Katabian. 2000. Recycled thermoplastics reinforced with renewable lignocellulosic materials. Forest Prod. J. 50(5): 24~28.
9. Steel, R. G. D. and J. H. Torrie. 1980. Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. 2nd ed. McGraw-Hill. Book Co., N.Y. 633 pp.
10. Youngquist, J. A. 1995. Unlikely partners? The marriage of wood and nonwood materials. Forest Prod. J. 45(10): 25~30.