

파티클보드에 폴리에틸렌 첨가의 효과^{*1}

오 용 성^{*2}

Effects of Polyethylene Addition in Particleboard^{*1}

Yong-Sung Oh^{*2}

ABSTRACT

Low-density polyethylene (LDPE) powder was investigated as a hydrophobic additive component in particleboard (PB). PBs were manufactured using southern pine particles with a liquid phenolic resin binder at two press temperatures. LDPE at three application rates was used. PBs were tested for physical properties and water soak dimensional stability per the procedure ASTM D 1037. The results indicated that as the LDPE addition level and hot-press temperature were increased, the panel water absorption and thickness swell values decreased. However, the panel's physical properties were affected negatively by increased LDPE application rates. These results indicated that LDPE could be used only in limited amounts to improve the panel's water soak dimensional properties.

Keywords : low-density polyethylene, dimensional stability, phenol-formaldehyde resin, particleboard

- 요약 -

저밀도 폴리에틸렌 가루를 실험실 파티클보드의 hydrophobic (소수성) 첨가제로서 사용하였다. Southern pine 파티클과 실험실에서 합성한 페놀수지를 이용하여 2가지 열압온도와 3가지 폴리에틸렌 첨가량으로 파티클보드를 제조하였다. 파티클보드의 밀도, 휨강도, 박리강도 등의 성질과 물에 대한 치수안정화에 대해 성능을 ASTM D 1037과정에 의해서 평가하였다. 평가된 결과는 폴리에틸렌 첨가량과 열압온도가 증가됨에 따라서 두께팽창률과 물흡수율은 감소한다는 것을 보여준다. 그러나 파티클보드의 물리적인 성질은 폴리에틸렌 첨가량이 증가됨에 따라 나쁜 영향을 준다. 이런 결과는 폴리에틸렌이 패널의 안정화를 개선하기 위해 오직 제한된 량만이 사용될 수 있다는 것을 보여준다.

1. 서 론

파티클보드와 같이 접착제로 재구성된 목질패널제품을 수분에 노출되는 환경에서 사용할 때 적절한 치수안정화에 대한 성질이 요구된다. 목질패널제품에

물리·화학적인 처리를 통한 치수안정화의 개선에 관한 많은 연구결과가 보고되어 왔다. 알려진 가능한 방법으로는 왁스의 첨가, 스팀처리, 목재 아세틸화, 높은 수지첨가량과 수치함침 등이 있다.

Roffael *et al.* (1983)은 여러 왁스제품의 화학적인

*1 접수 1999년 10월 27일. Received Oct. 27, 1999

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

성분과 파티클보드에 이들 왁스의 water repellency (발수성) 효과를 연구했고 왁스의 효능은 그것들의 쇠상분자의 길이와 구조에 따라 다르다고 보고했다. 즉, 이소파라핀 왁스는 직쇄상파라핀 왁스보다 덜 효과가 있다.

Hsu (1989)는 포화된 증기를 목섬유에 1551 kPa의 압력으로 3.5분동안 가하여 ponderosa pine 견식 하드보드의 치수안정화를 연구했다. 그는 페닐의 물 흡수를 성질의 감소를 보고했다.

아세틸화는 폭넓게 연구된 화학적인 변형 방법으로서 이 공정은 acetic anhydride가 목재 수산기와 반응하여 acetate기를 형성하는 것이다. 결국 목재 안정화는 매우 친수성인 목재 수산기가 덜 친수성인 acetate기로 치환되기 때문이다 (Youngquist & Rowell, 1988).

Halligan (1970)은 접착제 첨가량이 페놀수지로 제작된 외장용 파티클보드의 두께팽창률과 내구성에 영향을 주는 주된 요인이라고 보고했다. 접착제 첨가량이 증가됨에 따라서 두께팽창률과 선팽창률은 감소했다.

Minato *et al.* (1992)은 치수안정화의 개선을 위해 medium density fiberboard (MDF)를 포름알데히드 증기로 처리했다. 그들은 선팽창률이 섬유소 내 또는 섬유소 간 가교결합의 형성에 의해 감소된다고 발표했다.

비록 이런 화학적인 처리방법들 중에서 일부는 목질패널제품의 수치안정화에 미치는 효과가 현저하지만, 그것들은 목질패널제품의 제조에 사용하기에는 너무 비싸고 또는 비실용적이다.

폴리에틸렌은 반결정형 열가소성의 폴리올레핀류에 속한다 (Rosato & Dimattia, 1991). American Standard for Testing and Materials (ASTM)에 의하면 폴리에틸렌은 저밀도와 고밀도 폴리에틸렌으로 구분한다 (Rosato & Dimattia, 1991). 1992년 미국에서 2580만톤의 프라스틱이 생산되었고, 이 중에서 폴리에틸렌은 42.3%를 차지한다 (American Chemical Society, 1993). 폴리에틸렌은 표면모습, mold flow와 치수안정의 개선을 위한 열가소성과 열경화성 수지의 첨가제로 역시 사용한다 (Rosato & Dimattia, 1991).

본 연구의 목적은 파티클보드의 치수안정화 개선을 위해 폴리에틸렌을 낮은 수준으로 첨가하는 것에 대한 효과를 평가하기 위한 것이다.

2. 재료 및 방법

2.1 페놀수지의 합성

파티클보드를 접착하기 위한 페놀수지를 포름알데히드에 대한 페놀의 몰비는 2.1 이었고 NaOH에 대한 페놀의 몰비는 0.21로 실험실에서 합성하였다. 페놀수지의 합성과정은 발열반응을 조절하기 위한 가장 좋은 조건을 측정하기 위해 2-L 유리반응기에서 수행하였다. 페놀수지를 합성하는데 사용한 물질들은 Table 1과 같다.

Table 1. Synthesis charges of phenol-formaldehyde resin

Material ingredients	Amount (moles)
Phenol	1.00
Sodium hydroxide	0.21
Water	10.65
Formaldehyde	2.10

2.2 페놀수지의 성질

실험실에서 합성한 페놀수지는 비휘발성분, pH, 비중, 겔화시간 및 유리포름알데히드량 등의 성질을 표준분석방법에 의해서 측정하였다. 또한 페놀수지의 분자량 분포를 gel filtration chromatography (GFC) 방법 (Wooten *et al.*, 1988)에 의해 측정하였다. 이 GFC방법에는 Sepharacryl S-200 gel column과 0.1N NaOH 용액을 사용하였고 calibration standards로는 분자량 10^2 에서 10^5 daltons사이의 polystyrene sulfonates와 분자량 94의 phenol을 사용하였다. Ultraviolet detector wavelength는 280 nm이었다. 분자량분포는 5000~3000, 3000~2000, 2000~1000, 1000~500, 500~100 그리고 <100 daltons사이에서 측정하였다.

2.3 목재파티클과 폴리에틸렌

목재파티클은 미국 Mississippi주 Louisville시에 위치한 Georgia-Pacific회사의 파티클보드공장으로부터 얻어졌다. 이 목재파티클은 대략 95% southern pine과 5% red oak으로 구성되어 있고 사용 직전에 흡수율 4.5%로 건조하였다.

저밀도 폴리에틸렌은 미국의 상업용 폴리에틸렌 제

조업체로부터 얻어졌고 이 저밀도 폴리에틸렌의 성질은 Table 2와 같다.

2.4 파티클보드의 제조

폴리에틸렌을 실험실에서 제작된 순환장치를 이용하여 목재파티클에 첨가하고 사용 전까지 프라스틱 백에 저장하였다. Table 3에 있는 조건을 사용하여 수작업으로 균일한 단층의 파티클보드를 제조하였다.

2.5 파티클보드의 성능평가

실험실에서 제조된 파티클보드의 밀도, 휨강도(MOR과 MOE) 및 박리강도를 ASTM D 1037-78의 과정에 의해서 Universal testing machine을 이용하여 측정하였다. 휨파괴계수는 마른 시편과 습윤 시편 즉, 24시간동안 냉수에 침적시키고 20시간동안 60°C oven에서 건조시키는 촉진 노화 처리한 시편에 대해 각각 평가 하였다. MOR Strength retention (휨강도보유율)은 Dry-MOR (휨파괴계수)와 Wet-MOR (습윤 휨파괴계수)로부터 계산하여 얻어졌다. 치수안정화 시험은 물에 노출하는 3가지 시간 (2-h,

24-h와 48-h)에서 두께팽창률과 물흡수율에 대해 측정하였다.

2.6 통계분석

파티클보드의 성능평가 data는 SAS Institute의 SAS programing package (SAS Institute, 1988)를 이용하여 분석하였다. 완전임의 배치법에 의한 분산분석을 열압온도와 폴리에틸렌 첨가량에 대한 밀도, 휨강도, 박리강도 및 치수안정 등의 차이를 측정하기 위해 사용하였다. 최소유의차 (LSD)에 의한 평균간의 유의성도 비교 검정하였다 (P<0.05). 표준편차와 변이계수들도 역시 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 페놀수지의 성질

Table 4는 파티클보드 접착제로 사용하기 위해 합성된 페놀수지의 성질을 보여준다. 이 페놀수지의 고형분량은 46.9%이고 다른 모든 성질들은 얇은 두께

Table 2. Properties of low-density polyethylene used

Properties	Polyethylene
Density (g/m ³)	0.925
Melt index (g/10 min)	55
Melting point (°C)	106 ~ 115
Particle size (μm)	<20
Color	White

Table 3. Laboratory PB manufacturing parameters

Mat dimensions : 45.7 by 45.7 by 0.64 cm
Polyethylene loads : 0, 1, 4, and 8%, based on oven-dry wood weight
Resin load : 6%, based on oven-dry wood weight
Target board density : 801 kg/m ³ objective
Hot press temperatures : 204, and 232°C
Hot press times : 4 minutes
Replication : 2 boards per condition (total 16 boards)

Table 4. Properties of phenol-formaldehyde resin used

Properties	Unit	PF resin
Nonvolatile solids	%	46.9
pH	--	9.9
Specific gravity	--	1.2
Gel time (100°C)	min	31.7
Free formaldehyde	%	0.24

Table 5. Molecular weight characterization results of the synthesized PF resin

Molecular weight trange	PF resin MW distribution	
	Area (%)	Cumulative area (%)
5000 - 3000	0.00	0.00
3000 - 2000	0.48	0.48
2000 - 1000	7.62	8.10
1000 - 500	22.67	30.77
500 - 100	64.93	95.77
100	4.30	100.00

의 파티클보드를 접착하기 위해 기대된 수치를 보여 준다. GFC 방법으로 측정한 페놀수지의 분자량분포가 Table 5에 요약되어 있다. 이 페놀수지의 분자량 분포는 500 daltons이하가 대략 69%이다.

3.2 파티클보드의 성질

최적의 강도와 치수안정에 대한 열압온도와 폴리에틸렌 첨가량의 적절한 조합을 찾는 것이 근본적인 목적이다. 전체적인 파티클보드의 성능평가 결과가

Table 6. Test results of particleboards manufactured with polyethylene application rates and two press temperatures

PB properties by Press temperature	Polyethylene application rate (%)			
	0	1	4	8
204°C press temperature				
Panel density (kg/m ³)	671	767	790	772
Normalized IB (kPa)	1,538	1,190	1,152	878
Dry-MOR (MPa)	17.4	16.3	15.0	14.0
Wet-MOR (MPa)	10.7	8.7	8.9	5.8
MOR Strength Retention (%)	61	52	59	42
MOE (GPa)	2.6	2.9	3.0	2.9
2-h water absorption (%)	57	47	39	38
24-h water absorption (%)	66	56	49	48
48-h water absorption (%)	70	59	51	50
2-h thickness swell (%)	21	19	19	17
24-h thickness swell (%)	23	20	20	19
48-h thickness swell (%)	24	21	20	19
232°C press temperature				
Panel density (kg/m ³)	727	808	785	746
Normalized IB (kPa)	1,033	973	897	1,212
Dry-MOR (MPa)	12.4	17.1	14.8	14.1
Wet-MOR (MPa)	9.0	12.9	10.6	9.6
MOR Strength Retention (%)	69	76	72	68
MOE (GPa)	2.4	3.3	2.9	2.6
2-h water absorption (%)	63	40	36	33
24-h water absorption (%)	71	49	45	39
48-h water absorption (%)	76	52	46	43
2-h thickness swell (%)	19	15	13	13
24-h thickness swell (%)	20	16	14	14
48-h thickness swell (%)	22	17	15	15

Internal bond values are normalized to 801 kg/m³ density. None of the other values are normalized. Each value of MOR, MOR strength retention, and MOE represents an average of 4 test specimens. Each value for thickness swell and water absorption represents an average of 4 test specimens.

파티클보드에 폴리에틸렌 첨가의 효과

Table 6에 요약되어 있다. 제조된 파티클보드의 밀도의 분포범위는 671과 808 kg/m³이었다. 분산분석의 결과에 의하면 204와 232℃의 열압온도에서 제조된 파티클보드의 밀도는 5% 수준에서 유의성이 없었다. 폴리에틸렌 첨가량에 대한 파티클보드 밀도의 LSD 검정에서는 0% 폴리에틸렌 첨가량의 패널이 다른 3 종류의 폴리에틸렌 첨가량의 패널의 밀도보다 5% 수준에서 낮았다.

열압온도 204℃에서 제조된 패널의 2-h, 24-h와 48-h 두께팽창률은 232℃에서 제조된 패널의 두께팽창률보다 5% 수준에서 각각 유의하게 높았다. 높은 열압온도에서 폴리에틸렌은 목재파티클 mat내에서 좀더 확일적으로 분포될 것이다. LSD 검정에서 0% 폴리에틸렌 첨가량으로 제조된 패널의 24-h 두께팽창률은 1% 폴리에틸렌 첨가량으로 제조된 패널의 24-h 두께팽창률과 5% 수준에서 유의성이 없었다. 그러나 0% 폴리에틸렌 첨가량으로 제조된 패널의 24-h 두께팽창률은 4% 폴리에틸렌 첨가량으로 제조된 패널의 24-h 두께팽창률과 8% 폴리에틸렌 첨가

량으로 제조된 패널의 24-h 두께팽창률과 5% 수준에서 유의성이 있었다. 1% 폴리에틸렌 첨가량으로 제조된 패널의 24-h 두께팽창률은 4% 폴리에틸렌 첨가량으로 제조된 패널의 24-h 두께팽창률과 8% 폴리에틸렌 첨가량으로 제조된 패널의 24-h 두께팽창률과 5% 수준에서 유의성이 없었다. 4% 폴리에틸렌 첨가량으로 제조된 패널의 24-h 두께팽창률은 8% 폴리에틸렌 첨가량으로 제조된 패널의 24-h 두께팽창률과 5% 수준에서 유의성이 없었다. 폴리에틸렌 첨가량이 증가되면 두께팽창률의 감소에 효과가 있었다.

높은 열압온도에서 제조된 패널의 물흡수율은 낮은 열압온도에서 제조된 패널의 물흡수율보다 상대적으로 낮은 수치를 보여준다. 그러나 열압온도에 따라서 물흡수율은 5% 수준에서 유의성이 없었다. 패널의 물흡수율에 대한 폴리에틸렌 첨가량의 효과는 2-h, 24-h와 48-h 물흡수율에서 각각 유의성이 있었다. LSD 검정에서 8% 폴리에틸렌 첨가량으로 제조된 패널의 24-h 물흡수율은 1% 폴리에틸렌 첨

Table 7. Summary of average panel test data by press temperature

Press temp (°C)	Density (kg/m ³)	Nor. IB (kPa)	Dry	Wet	MOR Str. Ret (%)	MOE (GPa)	Thickness swell			Water absorption		
			MOR (kPa)	MOR (MPa)			2-h	24-h	48-h	2-h	24-h	48-h
204	750 A	1190 A	15.7 A	8.5 A	53 B	2.9 A	19 A	21 A	22 A	45 A	55 A	58 A
232	766 A	1029 A	14.6 A	10.5 A	71 A	2.8 A	15 B	16 B	17 B	43 A	51 A	55 A

Means with the same letter are not significantly different at the 5 percent level.

Abbreviation: Nor. IB = Normalized internal bond. Str. Ret. = strength retention.

Table 8. Summary of average panel test data by application rate

PE rate (%)	Density (kg/m ³)	Nor. IB (kPa)	Dry	Wet	MOR Str. Ret (%)	MOE (GPa)	Thickness swell			Water absorption		
			MOR (kPa)	MOR (MPa)			2-h	24-h	48-h	2-h	24-h	48-h
0	699 B	1286 A	14.9 A	9.9 A	66 A	2.5 A	20 A	22 A	23 A	60 A	68 A	73 A
1	787 A	1081 A	16.7 A	10.8 A	64 A	3.1 A	17 AB	18 AB	19 AB	44 B	53 B	56 B
4	787 A	1024 A	14.9 A	9.8 A	66 A	3.0 A	16 AB	17 B	18 B	38 BC	47 BC	48 C
8	759 A	1045 A	14.1 A	7.7 A	55 A	2.7 A	15 B	16 B	17 B	36 C	44 C	47 C

Means with the same letter are not significantly different at the 5 percent level.

Abbreviation: Nor. IB = Normalized internal bond. Str. Ret. = strength retention.

가량으로 제조된 패널의 24-h 물흡수율과 5% 수준에서 유의성이 있었다. 8% 폴리에틸렌 첨가량으로 제조된 패널의 24-h 물흡수율은 4% 폴리에틸렌 첨가량으로 제조된 패널의 24-h 물흡수율과 5% 수준에서 유의성이 없었다. 본 연구에서 최적의 폴리에틸렌 첨가 수준은 4%로 나타났다. 이 수준에서 폴리에틸렌 첨가는 패널의 물흡수율 감소에 효과가 있었다.

제조된 파티클보드의 목표된 밀도 801 kg/m³에 대해서 normalized internal bond strength (정상화된 박리강도)가 얻어졌다. 정상화된 박리강도의 분포범위는 878과 1538 kPa이었다. 분산분석의 결과에 의하면 열압온도에 대한 정상화된 박리강도는 5% 수준에서 유의성이 없었다. 폴리에틸렌 첨가량에 대한 정상화된 박리강도는 5% 수준에서 유의성이 없었다. 그러나 폴리에틸렌 첨가량에 따라서 박리강도는 감소하는 경향이다. 이런 경향은 폴리에틸렌이 극성인 목재와 영구적인 결합을 하지 않고 또는 mat 내부에서 확립적으로 분포되지 않는다는 것을 보여준다.

파티클보드의 휨파괴계수는 12.4와 17.4 MPa에서 분포한다. 분산분석의 결과에 의하면 휨파괴계수는 열압온도와 폴리에틸렌 첨가량에 따라서 영향을 받지 않았다.

습윤 휨파괴계수의 분포범위는 5.8과 12.9 MPa이었다. 분산분석의 결과에 의하면 습윤 휨파괴계수는 열압온도와 폴리에틸렌 첨가량에 따라서 5% 수준에서 유의성이 없었다.

휨강도보유율의 분포범위는 42와 76% 이었다. 분산분석의 결과에 의하면 휨강도보유율은 열압온도에 5% 수준에서 유의성이 있었다. 그러나 폴리에틸렌 첨가량에 따라서는 5% 수준에서 유의성이 없었다.

휨탄성계수의 분포범위는 2.4와 3.3 GPa이었다. 분산분석의 결과에 의하면 휨탄성계수는 열압온도와 폴리에틸렌 첨가량에 대해 5% 수준에서 유의성이 없었다.

4. 결 론

얇은 두께의 파티클보드 접착용 페놀수지를 실험실에서 합성하고 접착제 표준분석방법에 의해서 분석한 후, 이 페놀수지는 목재파티클의 전건무게에 대해서 6%의 수지고형분량을 목재파티클에 첨가하고 폴리에

틸렌은 3가지 수준으로 첨가하여 파티클보드를 제조하였다.

폴리에틸렌 첨가량이 증가됨에 따라 파티클보드의 두께팽창률과 물흡수율의 성질은 감소하였다. 높은 열압온도에서 파티클보드의 두께팽창률과 물흡수율은 통계적으로 유의하게 감소하였다. 전체적으로 폴리에틸렌 첨가는 실험실 파티클보드의 치수안정화를 개선할 수 있다는 것을 보여준다.

참 고 문 헌

1. American Chemical Society. 1993. Plastic, synthetic fibers output increases. *Chemical & Engineering News* 71(15) :13-16.
2. Halligan, A. F. 1970. A review of thickness swelling in particleboard. *Wood Science and Technology* 4(4): 301-312.
3. Hsu, W. E. 1989. Steam pretreatment for dimensionally stabilizing UF-bonded particleboard. In: *Proceedings of international Washington State University Particleboard Symposium No. 25*. Washington State University, Pullman, WA. p. 37-53.
4. Minato, K., N. Kubo, M. Norimoto, H. Sasaki, M. Sawada, and T. Yamamoto. 1992. Dimensional stabilization of medium density fiberboard by formaldehyde treatment. *Mokuzai Gakkaishi* 38(1): 67-72.
5. Raffael, E. and H. A. May. 1983. Paraffin sizing of particleboards: Chemical Aspects. In: *Proceedings of International Washington State University Particleboard Symposium No. 17*. Washington State University, Pullman, WA. p.283-295.
6. Rosato, D. V. and D. P. Dimattia. 1991. *Designing with Plastics and Composites: A Handbook*. Van Nostrand Reinhold, New York, NY. p.440-445.
7. SAS Institute. 1988. *Statistical Analysis User's Guide*. Release 6.03 Edition SAS Institute, Cary, NC. 1028 p.
8. Wooten, A. L., M. L. Prewitt, T. Sellers, Jr., and D. C. Teller. 1988. Gel filtration chromatography of resol phenolic resins. *J. Chromatography* 445:

파티클보드에 폴리에틸렌 첨가의 효과

- 371-376.
9. Youngquist, J. and R. M. Rowell. 1988. Can chemical modification technology add value to your products? In: Proceedings of International Washington State University Particleboard Symposium No. 22. Pullman, WA. p. 111-121.