목재공학 41(1): 33~41, 2013
J. Korean Wood Sci. & Tech. 41(1): 33~41, 2013
http://dx.doi.org/DOI : 10.5658/WOOD.2013.41.1.33

합판 공장 부산물을 이용한 파티클보드의 물성에 관한 연구[*1]
- 표층 구성요소 및 파티클 전처리 여부에 따른 비교 -

황 정 택[*2] · 피 덕 원[*2] · 강 석 구[*2†]

Properties of Particleboard Using Byproduct of Plywood Manufacture - Evaluation on the Elements of Surface Layer and Pre-treatment of Particles[*1]

Jung Taek Hwang[*2] · Duck Won Pi[*2] · Seog Goo Kang[*2†]

요 약

본 연구에서는 최근 파티클보드(Particle Board ; 이하 PB)의 원재료로 재활용되고 있는 목재 폐기물 중 합판 공장의 부산물을 원재료로 사용하고 비포름알데히드계 EMDI접착제의 적용을 통한 제조조건을 최적화하여 재활용 원재료의 효과적인 활용을 통한 高내수성 PB의 개발과 그에 대한 물리 기계적 특성을 규명하고자 하였다. 그 결과, ① 베니어 적층 복합보드에 EMDI수지를 사용하였을 경우 휨 강도가 섬유방향 57.7 N/mm^2, 섬유 직각방향 25.1 N/mm^{2}의 강도를 나타내었다. ② 두께팽윤율과 수분흡수율은 U형, M형, P형 실험에서 EMDI수지가 UF수지보다 높은 수준의 내수성을 나타내었다. ③ 잔존 포름알데히드의 양을 줄이고자 실행하였던 72시간 수침 전처리는 파티클보드의 포름알데히드 방산량을 증가시키는 결과를 초래하였다.

ABSTRACT

This study was performed to analyse cause of quality deterioration using byproduct of plywood and to determine physical and mechanical properties of particleboard used new bonding condition we found. The result of bending strength of Com-Ply board using EMDI is 57.7 N/mm^2 on linear direction and 25.1 N/mm^2 on vertical direction. EMDI has better water-resisting qualities than Urea formaldehyde adhesive according to result of thickness swelling and water absorption test. Pre-treatment soaked particle 72 hours in water caused increase of HCHO emission.

[*1] 접수 2012년 11월 27일, 채택 2013년 1월 17일
[*2] 충남대학교 환경소재공학과. Wood Based Composite Materials Research ChungNam National University 99 Daehakno, Yuseong-gu, Dae-jeon 305-764, Korea
† 교신저자(corresponding author) : 강석구(e-mail: lachesis@cnu.ac.kr)

Keywords: Com-Ply board, byproduct, pre-treatment, HCHO emission

Table 1. Specification of adhesives

Layer shape	Adhesives	Solid content (%)	Viscosity (cps)	NCO content (%)	pH
Particle	MF	63	62	-	8.5
	UF	50	60	-	8.0
	EMDI	100	500	29.8	8.0
Veneer	EMDI	100	500	29.8	8.0

1. 서 론

지속된 산림관리와 보존, 지속적인 개발에 관한 전 세계적인 동향으로 인해 세계의 주된 생산 국가들은 지속가능한 산림의 경영화를 선언하였다(산림청, 1994). 이러한 전 세계적인 움직임은 해외 목재 수급에 의존하고 있는 국내 파티클보드산업에 큰 영향을 주고 있으며 보드산업은 새로운 목재 수급에 대한 대책이 요구되고 있다.

이에 따라 폐가구, 건설폐기목 등 폐목재의 사용이 파티클보드산업의 주 원자재로 사용되어 오고 있으며, 점점 더 국내에서 생산되는 파티클보드의 물리적 기계적 품질은 나빠지고 있다. 이러한 현상은 2003년 환경부의 '폐목재의 발생 및 재활용 실태'에 따르면 연간 발생한 6,073톤의 폐목재 중 생활 폐목재(PB, MDF, 합판 포함)가 40.4%를 차지함으로써 원재료의 질적 하락을 가져오고 있다.

재활용 목재로 제조된 파티클보드의 품질 하락의 원인은 목재 폐기물의 성상이 불균일하고, 이물질이 혼재되어 있어 재품의 불균일성 및 물리 기계적 성질의 저하를 초래하며 원재료의 접착제에 포함되어 있는 포름알데히드로 인해 보드 제조 시 높은 포름알데히드 방출의 원인이 되기도 한다. 이러한 원인들로 인해 파티클보드의 수입 증가와 경쟁력 약화가 국내 보드산업의 문제점으로 부각되고 있다.

따라서 본 연구에서는 최근 PB 원재료로 재활용되고 있는 목재 폐기물 중 합판공장의 부산물을 원재료로 사용하고 비포름알데히드계 EMDI접착제의 적용을 통한 제조조건을 최적화하여 재활용 원재료의 효과적인 활용을 통한 高내수성 PB의 개발과 그에 대한 물리 기계적 특성을 규명하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

2.1.1. 공시목질재료

본 연구에 사용된 공시재료는 인천 소재의 S社로부터 분양받은 합판 정재단 부산물을 사용하였다. Surcae layer (이하 SL)용 파티클은 16 mesh 이하로 선별하여 사용하였고, SL용 베니어는 1.1 mm 남양재(Red Meranti)를 인천 소재 S社로 부터 분양받아 사용하였다. Core layer (이하 CL)용 파티클은 4~16 mesh 선별하여 사용하였고, 대조군으로 사용하기 위해 각각의 SL/CL은 상온수(20℃)에 72시간(3일) 수침하여 보드 제조 전 열기건조 한 전처리 파티클을 함수율 2% 미만이 되도록 조정하여 사용하였다.

2.1.2. 접착제

Table 1에서 나타난 바와 같이 보드제조에 사용된 Melamine Formaldehyde (MF) 접착제와 Urea Formaldehyde (UF) 접착제는 익산 소재의 H사로부터 분양받았으며, 베니어 복합보드(이하 Com-Ply 보드)의 SL/CL에 사용된 EMDI 접착제는 Holland Huntsman로부터 분양받은 OSB用 I-bond OSB EFC 4362를 사용하였다. 이때 사용된 접착제의 특성은 다음의 Table 1과 같다. PB 제조 시 적용된 함지율은 모두 동일하게 파티클 전건 중량기준 10%였으며, EMDI

Table 2. Additives adding conditions with adhesives

Division	Resin	Resin content (%)	Hardener NH_4Cl (20%)	wax emulsion (40%)
SL	MF	10	2	0.3
CL	UF	10	2	0.5
	EMDI	10	-	0.5

Table 3. Method of this Experimental

Division			Experimental method	Test piece	Reference
Mechanical properties	Bending strength		• sample size : 200 mm × 50 mm • span : 150 mm • speed : 10 mm/s	10	KS F 3104
	Bending strength after boiling test		• sample size : 200 mm × 50 mm • span : 150 mm • speed : 10 mm/s • water boiling on 100℃ 2hrs and then dry on 70℃ 7hrs	5	
	Internal bonding		• sample size : 50 mm × 50 mm • speed : 2 mm/s	10	
Physical properties	Moisture content		• sample size : 50 mm × 50 mm • dry on 105℃ 24hrs	5	
	Density		• sample size : 50 mm × 50 mm	20	
	Thickness swelling / Water absorption	20℃ 2hrs	• sample size : 50 mm × 50 mm • immersion water on 20℃ 2hrs	5	KS F 3104/ (KS F ISO 16983)
		20℃ 24hrs	• sample size : 50 mm × 50 mm • immersion water on 20℃ 24hrs	5	
		70℃ 2hrs	• sample size : 50 mm × 50 mm • immersion water on 70℃ 2hrs	5	
		100℃ 2hrs	• sample size : 50 mm × 50 mm • boilling water on 100℃ 2hrs	5	
	Free-Formaldehyde emission test		• sample size : 100 mm × 50 mm • 24hrs air sampling at desiccator • absorbance measure on 412 nm	9	KS F 3104/ (KS M 1998)

의 경우 높은 접착제 고형분(100%)과 점도를 고려하여 매트함수율 12%를 기준으로 물을 첨가하여 사용하였다.

2.1.3. 첨가제 및 내수제

보드 제조에 사용된 접착제의 경화제로써 본 연구에서는 MF, UF 접착제 보드에 한하여 20% NH_4Cl를 수지 고형분 대비 2% 첨가 하였다. 내수제로서는 PWE (Paraffin wax emulsion)가 모든 접착제에 사용되었고, 수지 고형분 대비 CL 0.5%, SL 0.3%를 각각 첨가하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 보드 제조

보드 제조는 실험실 교반기를 이용한 혼합방식의 도포 방법을 이용하였으며, 보드의 제조를 위해 실험실용 유압식 Single press를 사용하였다. 보드의 규격은 250 mm × 250 mm × 12 mm로 하였고 12 mm Thickness bar를 사용하였다. 열압 Cycle은 온도 145℃, 목표압력은 40 kgf/cm^2, 시간 15 sec/mm으로 적용하였다. 접착제의 고른 혼합을 위해 60초 이상 교반하였으며 혼합하기 전 Oven dryer에서 바로 꺼내어

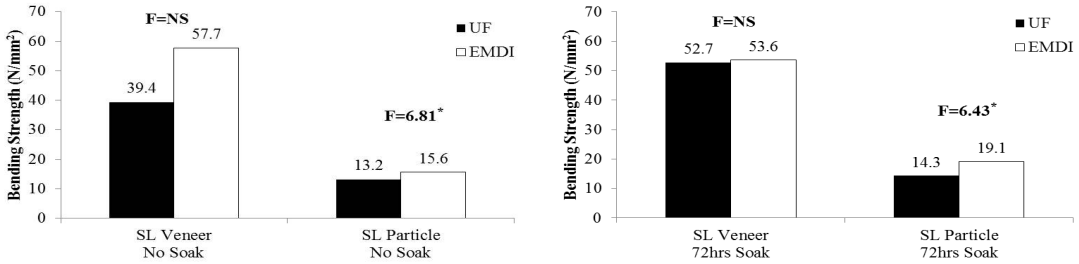


Fig. 1. The result of bending strength.

Table 4. The result of mechanical properties

Bending Strength	Com-Ply board (N/mm²)	Particle board (N/mm²)	F-value
UF	39.4	13.2	F = 27.96*
EMDI	57.7	15.6	F = 63.24**
Bending strength after boiling test	**Com-Ply board (N/mm²)**	**Particle board (N/mm²)**	**F-value**
UF	33.9	4.4	F = 31.47**
EMDI	6.4	6.3	F = 46.33**
Internal bonding	**Pre-treatment (N/mm²)**	**No pretreatment (N/mm²)**	**F-value**
UF	0.518	1.212	F = 45.19**
EMDI	0.756	1.262	F = 17.53**

사용하였다. 목표 매트함수율은 12%이며, 파티클보드의 중층과 표층의 비율은 40 : 60, 밀도는 700 kg/m³를 목표로 설정하였다. 접착제 및 경화제, 왁스 에멀젼의 함량 및 조건은 Table 2와 같다. 보드 제조 조건에 따라 조건당 5반복을 실시하였다.

2.2.2. 물성 시험 및 통계분석

실험 제조된 보드는 24시간 실온에서 조습한 다음 물성 시험편을 채취하였다. 보드의 물리 · 기계적 특성은 Table 3에 명시한 항목에 대하여 KS 기준을 준용하여 측정하였다.

그룹간의 유의성 검정의 필요가 있는 데이터는 완전임의 배치법으로 유의성 검정을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 강도적 특성

3.1.1. 휨 강도

Fig. 1과 Table 4에서 나타난 바와 같이 보드의 구성에 따른 휨강도는 Com-Ply 보드의 휨강도와 파티클보드를 비교한 결과, Table 4와 Fig. 1에서 나타난 바와 같이 표층을 베니어로 사용한 Com-Ply 보드가 파티클을 표층으로 사용한 PB 대비 요소수지는 298% (F=27.96*), EMDI 370% (F=63.24**) 높은 휨강도를 각각 나타냈으며, UF, EMDI를 적용한 시험편 모두 섬유방향의 휨 강도가 섬유 직각방향의 강도보다 높게 측정이 되었다. 이는 휨강도는 SL의 강도와 정비례한다는 점에 비추어 볼 때, SL용 베니어가 SL용 파티클보다 높은 강도를 나타내는 것이라 판단된다. 또한 EMDI수지를 사용한 보드에서 UF수

Fig. 2. Irregular site of crack on bending strength.

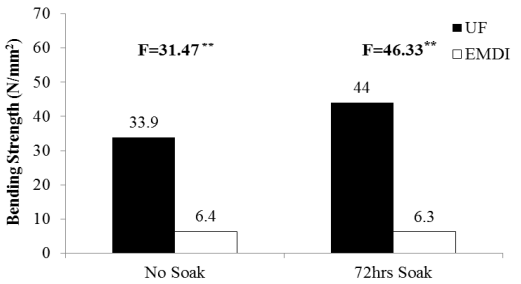


Fig. 3. The result of bending strength after boiling test.

지를 사용한 보드보다 높은 휨강도를 나타내었으며, 보드의 수침전처리가 휨강도에 미치는 영향은 뚜렷하게 나타나지 않았다. 보드의 CL에 사용된 파티클의 크기가 4~16 mesh 수준의 경우 성상이 불균일함으로 인해 시험편간 편차가 크게 나타났고 이는 Fig. 2와 같이 시편에 하중이 가해질 때 파괴현상의 발생위치가 불균일하였고, 휨강도가 저감되는 현상이 나타났기 때문이라 판단된다.

3.1.2. 습윤시 휨 강도

UF수지를 CL에 사용하여 제작한 보드는 100℃ 끓임 실험 적용이 불가하여 EMDI수지를 CL에 사용하여 제작한 복합보드와 파티클보드를 이용해 습윤 휨강도를 측정을 하였다. Table 4와 Fig. 3에서 나타난 바와 같이 표층을 베니어로 사용한 Com-Ply 보드가 파티클을 표층으로 사용한 PB 대비 요소수지는 529% (F=31.47**), EMDI 698% (F=46.33**) 높은 습윤시 휨 강도를 각각 나타냈으며, CL에 사용된 파티클의 전처리여부와 관계없이 Com-Ply 보드가 높게 측정되었다. 특히 Com-Ply 보드의 경우 KS F 3104 바탕 파티클보드의 기준치인 7.5 N/mm^{2}보다 월등히 높은 강도를 나타내었다. 이는 베니어 층에 사용된 고내수성 EMDI수지의 사용과 더불어 베니어에 의해 외부로부터 수분 침투를 억제하는 효과가 있었을 것으로 판단한다. 파티클의 전처리 유무에 따른 시편간의 강도차이는 유의차가 인정되지 않았다.

3.1.3. 박리강도

Com-Ply 보드는 목파율 100%로 시편의 95% 이상이 표층박리가 발생하였다. 이는 SL에 사용된 EMDI의 우수한 접착력에 비해 CL의 강도보다 낮다는 것을 의미하며, CL의 접착 강도가 베니어의 인장전단력보다 높은 정도로 우수한 것 때문으로 판단된다. Table 4와 Fig. 4에서 나타난 바와 같이 전처리한 파티클 대비 전처리를 하지 않은 파티클 대비 요소수지는 233% (F=45.19**), EDMDI 166% (F=17.53**)의 증가로 고도의 유의차가 인정되며, 이는 파티클 전처리로 인하여 합판을 만들 때 사용되었던 UF수지가 파티클의 72시간 수침 시 물에 유리되어 분리됨으로써 보드 제작 시 첨가된 EMDI 및 UF수지의 내부결합강도에 영향을 준 것이라 판단된다. 모든 시편에서 KS F 3104 파티클보드의 기준치인 0.3 N/mm^{2}보다 높은 수치를 나타내었다.

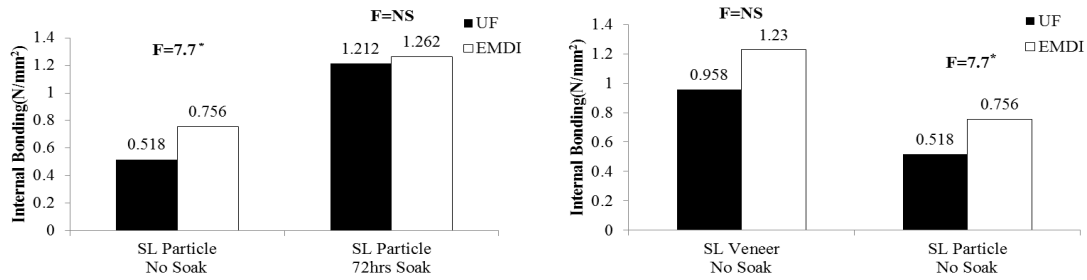


Fig. 4. The result of internal bonding.

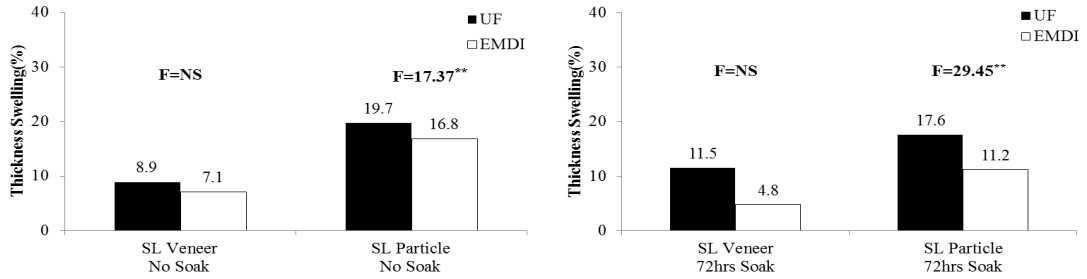


Fig. 5. The result of thickness swelling test on 20℃ 2hrs.

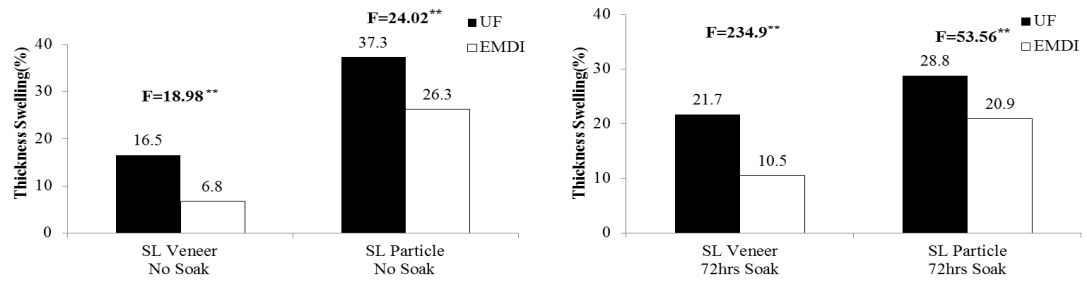


Fig. 6. The result of thickness swelling test on 20℃ 24hrs.

3.2. 두께팽윤율/수분흡수율

복합보드의 상온수(20℃) 조건하의 내수성을 평가하기 위한 방법의 U-Type test 결과 전반적으로 UF를 사용한 보드에 비해 EMDI를 사용한 보드의 내수성이 뛰어난 것으로 나타났으며 Com-Ply 보드가 파티클보드보다 높은 내수성을 나타내었다. 이러한 경향은 EMDI가 내수 접착제로서 높은 내수력을 나타낸다는 것을 알 수 있고, 강도적 성질을 포함하여 내수성도 UF수지보다 높은 수준의 특성을 나타내었다. 또한 준 내수(M-Type test, 70℃ 2hrs) 및 완전내수(P-Type test, 100℃ 2hrs) 실험에도 U형 실험의 경향과 유사한 결과를 나타내었으며 파티클 전처리가 물리 · 기계적 특성과 내수성에서 크게 영향을 주지 않는다는 것을 알 수 있었다. 20℃ 24hrs, 70℃ 2hrs 수침 처리를 한 시험편에서는 SL의 형태 및 사용접착제의 조건에서 고도의 유의차가 인정되었으며 수침 유무의 차이에서는 유의차가 인정되지 않았다. Com-Ply

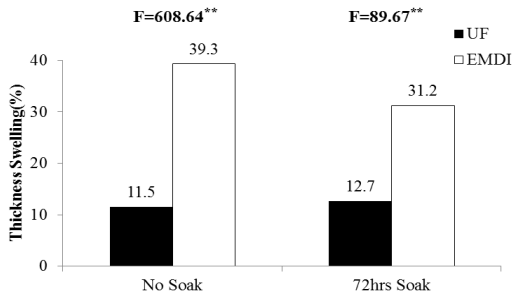


Fig. 7. The result of thickness swelling test on 70°C 2hrs.

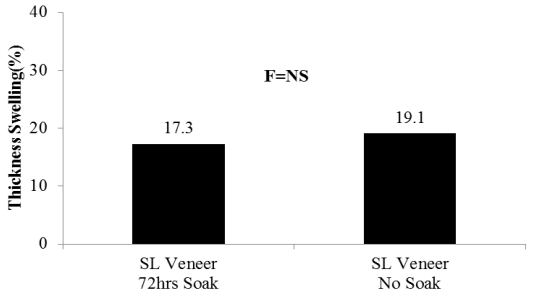


Fig. 8. The result of thickness swelling test on 100°C 2hrs.

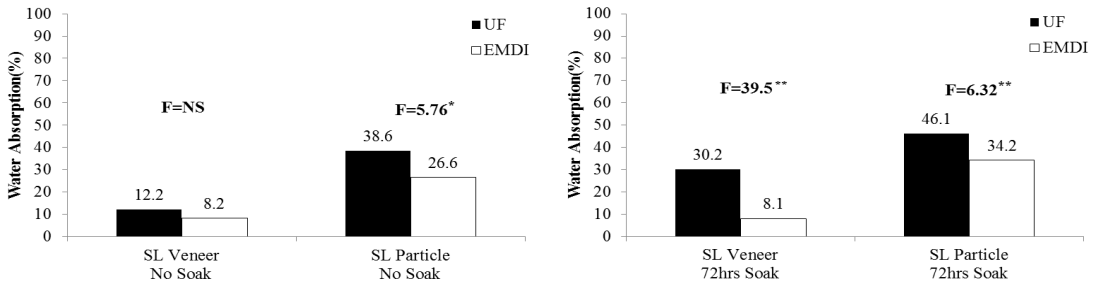


Fig. 9. The result of water absorption test on 20°C 2hrs.

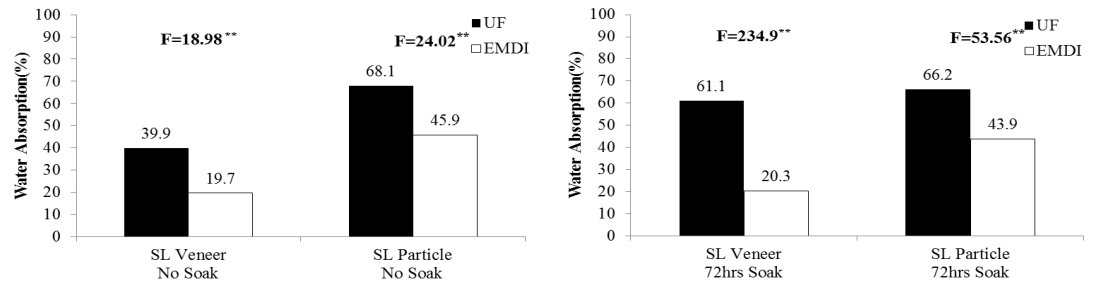


Fig. 10. The result of water absorption test on 20°C 24hrs.

보드의 높은 내수성은 베니어 SL에 사용된 EMDI 수지의 영향과 함께 베니어 층에서의 수분 차단의 영향이라 판단된다.

수분흡수율의 경우에도 U형, M형, P형 실험에서 두께팽윤율과 상응한 결과를 나타내었으며 보드의 물리적 특성 중 두께팽윤률과 수분흡수율의 관계는 정비례하였다.

3.3. 포름알데히드 방산량

합판 부산물을 이용한 보드 제조 시 가장 우려되는 품질문제는 높은 유리 포름알데히드의 방산량이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 합판 부산물을 72시간 동안 상온수에 수침한 파티클을 대조군으로 비교 실험하였다. 유리 포름알데히드 방산량의 경우 EMDI를 사용한 Com-Ply 보드가 UF수지로 사용한 보드에 비해 현저히 낮은 방산량을 나타내었다. 이는 사용 접

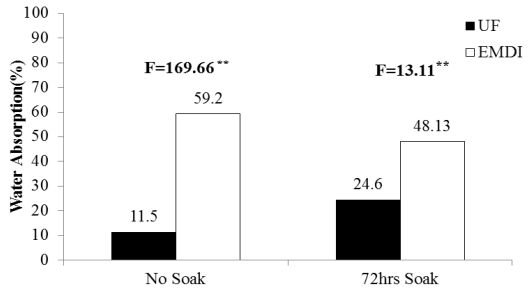


Fig. 11. The result of water absorption test on 70°C 2hrs.

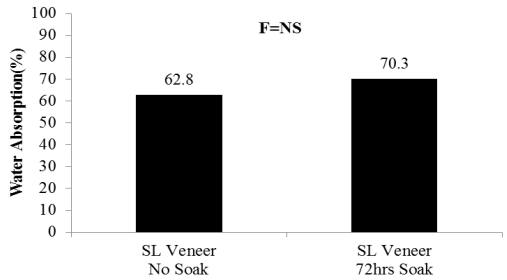
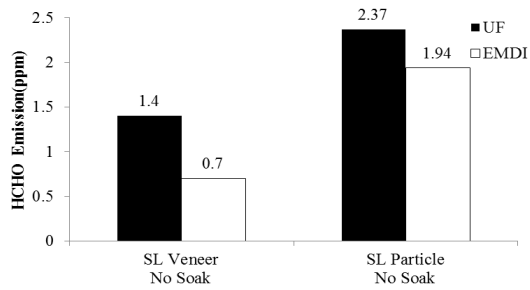


Fig. 12. The result of water absorption test on 100°C 2hrs.



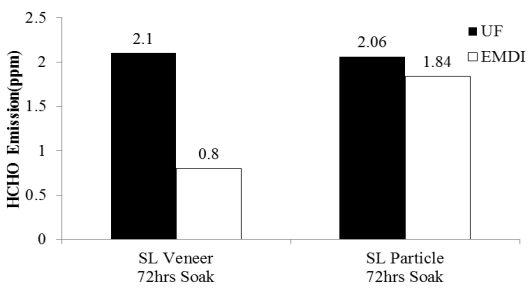


Fig. 13. The result of HCHO Emission test.

착제에 포르말린의 유무와 더불어 Com-Ply 보드는 SL의 베니어가 외부로 방산되는 포름알데히드를 지연시켜주는 효과가 있다고 판단된다. 그러나 SL에 EMDI를 사용한 Com-Ply 보드는 무 포름알데히드 보드가 아닌 0.7~0.8 ppm의 포름알데히드가 보드에서 검출되었는데 이유는 합판 제조 시 사용된 접착제의 유리 포름알데히드가 잔존하여 제작된 파티클 보드에서 검출되는 것이라 판단된다. 궁극적으로 잔존하는 유리 포름알데히드의 양을 줄이고자 실행하였던 72시간 수침 전처리 파티클보드의 포름알데히드 방산량의 변화는 Com-Ply 보드(방산량 증가)와 파티클보드(방산량 감소)의 결과가 상반되는 결과를 나타내었으며 이는 전처리로 인해 파티클의 잔존 포름알데히드가 외부로 방출되어 제거되지 못하고 오히려 물에 녹아 나와 파티클의 표면에 탈착하여 더 높은 포름알데히드 방산을 초래하였다고 판단된다.

4. 결 론

건설 폐잔재와 가설재 및 각재 이외에 가구폐기물의 합판 폐기물의 증가가 두드러지고 있는 시점에서 합판 폐기물 사용을 전제로 한 PB를 제작하였다. 파티클의 성상으로 인하여 물리 · 기계적 강도의 유의차가 인정되지 않는 결과도 있었지만, 70% 이상 대부분의 데이터에서 고도의 유의차가 인정됨을 확인하였으며 그에 따른 결과는 다음과 같다.

1) 보드 제작 시 파티클보드의 표층을 대신하여 베니어를 적층시켜 보드를 제작하거나 EMDI 접착제를 사용했을 때 휨 강도, 습윤시 휨 강도 및 박리 강도와 내수성이 모두 향상되는 것을 알 수 있다. 특히 베니어 적층보드에 EMDI수지를 사용하였을 경우, 섬유방향 및 섬유직각방향의 휨 강도는 각각 57.7 N/mm^2, 25.1N/mm^{2}의 높은 결과를 나타냈으며, 이는 KS F 3104 파티클보드의 휨강도 규격의 30.0-15.0형 규격을 상회하는 결과이다.

2) 파티클의 수침 전처리가 보드의 물리적 강도에

큰 영향을 주지 못한다는 점, 또한 담수 형식의 수침 전처리로 인한 합판 정재단 부산물의 잔존 포름알데히드 제거 방식이 오히려 악영향이 될 수 있겠으나, 박리 강도의 경우에 UF, EMDI 모두에서 233%, 166% (F=45.19**, F=17.53**)로 비추어 보았을 때 내부접착력이 증가한다는 것을 알 수 있다.

3) 두께팽윤률과 수분흡수율은 U형, M형, P형 실험에서 상응한 결과를 나타내었으며, EMDI가 내수 접착제로써 강도적 성질을 포함하여 내수성 시험에도 UF수지보다 높은 수준의 특성을 나타내었다. 그러나 파티클 전처리에 따른 뚜렷한 차이는 보이지 않는다.

4) EMDI를 사용한 보드가 UF수지로 사용한 보드에 비해 현저히 낮은 방산량을 나타내었지만 EMDI를 사용하였음에도 합판 제조 시 사용된 접착제의 포름알데히드가 잔존하여 무 포름알데히드 보드가 아닌 0.7~0.8 ppm의 포름알데히드가 보드에서 검출되었다. 또한 잔존 포름알데히드의 양을 줄이고자 실행하였던 72시간 수침 전처리는 파티클보드의 포름알데히드 방산량을 증가시키는 결과를 초래하였다.

참 고 문 헌

1. 오용성. 2002. 폐목재로 제조된 파티클보드의 성능평가. 목재공학 30(4): 23~26.
2. 산림청. 1994. '94 국제열대목재협정'. 서울. 산림청.
3. 환경부. 2003. '폐목재의 발생 및 재활용실태'. 환경부.
4. 한국목재재활용협회. 2009. '폐목재 유통실태 보고서'. 17~18.
5. William E. johns 외 4명. 1982. The effect of species and moisture content on the bonding efficiency of polymeric MDI isocyanate.
6. Galbraith, C. J., S. C. Cohen, and P. R Stula. 1985. The use of EMDI isocyanate binders for the production of dry process hardboard.
7. Hawke, R. N. B., C. H. Sun, and M. R. Gale. 1993. Effects of fiber mat moisture content on physical properties of EMDI hard board.
8. 한국산업규격. 2006. 파티클보드. KS F 3104.
9. 한국산업규격. 1999. 목재의 흡수량 측정 방법. KS F 2204.
10. 한국산업규격. 1998. 2009 건축내장재의 포름알데히드 방산량 측정 - 제4부 : 데시케이터법.
11. ASTM. 1998. Standard test methods for evaluating preperties of National Standard Institute, New York.