

유채박 가수분해물을 이용한 중밀도섬유판(MDF) 제조용 접착제의 개발*1

양 인*2 · 한 규 성*2 · 최 인 규*3 · 김 용 현*4 · 안 세 희*5 · 오 세 창*5†

Development of Adhesive Resins Formulated with Rapeseed Flour Hydrolyzates for Medium Density Fiberboard (MDF)*1

In Yang*2 · Gyu-seong Han*2 · In-gyu Choi*3 · Yong-hyun Kim*4 ·
Sye-hee Ahn*5 · Sei-chang Oh*5†

요 약

목질 판상재료 생산을 위하여 현재 주로 사용되고 있는 석유화학계 접착제를 대체하여 재생가능한 원료로부터 대체 접착제를 개발하기 위한 관심이 증대하고 있다. 본 연구에서는 바이오 디젤 부산물인 유채박을 산 및 알칼리 가수분해를 통해 접착제를 제조하고, 이 접착제를 중밀도섬유판(MDF) 제조에 적용한 후 물성과 강도 특성을 조사하여 유채박의 중밀도 섬유판 제조용 접착제에 대한 가능성을 확인하고자 하였다. 먼저 유채박 접착제 조제를 위하여 유채박을 산과 알칼리 가수분해를 통해 개량한 다음, phenol formaldehyde (PF) prepolymer와 혼합하여 접착제를 제조하고 이를 중밀도 섬유판 제조용 접착제로 사용하였다. 제조된 중밀도 섬유판의 평균 함수율과 밀도는 모두 KS의 기준을 만족시키는 것으로 나타났으며, 흡수 두께 팽창률은 다소 높게 나타났다. 중밀도 섬유판의 휨강도는 요소수지 접착제로 제조한 중밀도 섬유판보다 낮은 것으로 나타났지만 박리강도는 일부 조건에서 요소수지 접착제로 제조한 중밀도 섬유판보다 높게 나타나 석유화학계 접착제의 대체 접착제로의 가능성을 보여주었다. 접착성능의 향상을 위해서는 최적화되는 중밀도 섬유판의 제조공정의 변수에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다.

*1 접수 2012년 1월 30일, 채택 2012년 5월 16일

*2 충북대학교 농업생명환경대학 목재종이과학과, Department of Wood and Paper Science, Chungbuk National University, Cheong Ju 361-763, Korea

*3 서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부 환경재료과학전공, Department of Forest Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

*4 (명) 신흥기업사, Shin Heung Ind. Co., Cheong Ju, 361-480, Korea

*5 대구대학교 생명환경대학 산림자원학과, Department of Forest Resources Science, College of Life and Environmental Science, Daegu University, Kyongsan 712-714, Korea

† 교신저자(corresponding author) : 오세창(e-mail: osc@daegu.ac.kr)

ABSTRACT

The interest to develop adhesives from renewable resources is growing to substitute petroleum-based adhesive resins in the manufacture of wood based panels. In our study, rapeseed flour (RSF), which is the by-product of bio-diesel produced from rapeseed, were hydrolyzed with acid and alkali. As a crosslinking agents of the RSF hydrolyzates, phenol-formaldehyde prepolymers (PF) were prepared. The RSF hydrolyzates and PF were mixed to complete the formulation of RSF-based adhesive resins, and the resins were applied to make the medium density fiberboard (MDF). The physical and mechanical properties of the MDF were measured to examine whether RSF can be used as raw materials of adhesive resins for the manufacture of MDF or not. The average moisture content and density of the MDF made with RSF-based adhesive resins satisfied the minimum requirement of KS standard, but the thickness swelling was not. The bending strengths of the MDF made with RSF-based adhesive resins were lower than that of the MDF made with commercial UF resins, but the internal bonding strengths of tested MDF in some make-up conditions of RSF-based adhesive resins were higher than that of MDF made with commercial UF resins. These results showed the potential of RSF as a raw material of adhesives for the production of MDF. Future works on the optimal manufacturing process conditions of MDF made with RSF-based adhesive resins are required to improve the performance of MDF made with RSF-based resins.

Keywords: rapeseed flour (RSF), medium density fiberboard (MDF), hydrolyzates, RSF-based adhesive resins

1. 서 론

현재 목질계 판상재는 우수한 접착성능과 저렴한 가격, 용이한 작업성 등을 보유한 합성수지 접착제인 요소(urea-formaldehyde, UF), 멜라민(melamine-formaldehyde, MF), 페놀(phenol-formaldehyde, PF) 수지와 같은 포름알데히드계 접착제를 사용하여 대부분 제조되고 있다. 국내에서는 목질계 판상재 중 중밀도섬유판(Medium Density Fiberboard; MDF)의 생산은 2010년 현재 1,840천 m³에 이르고 있다(산림청, 2011). MDF는 표면이 매끈하고 곡면가공이 용이하여 가구재, 바닥재, 내장재 등에 널리 사용되며 사용되는 접착제는 주로 UF, MUF 계통의 포름알데히드를 함유한 석유화학계 접착제이다. 그러나 유가의 상승에 따른 석유화학계 접착제의 가격 불안정과 포름알데히드계 접착제에서 기인하는 새집증후군에 대한 문제점이 사회적으로 이슈화되면서 환경문제에 대한 관심도 높아지고 있는 실정이다. 이로 인해 1990년대 말부터 석유화학계 접착제를 대체할 수

있는 천연계 접착제에 대한 관심과 이에 대한 연구가 다시 시작되었다. 이러한 상황에서 석유화학계 접착제의 대체 접착제로 재생가능 자원을 이용하는 방안 에 대해 목재용 접착제로써 전분(Kuo, *et al.*, 1994), 대두(Yang *et al.*, 2005; 2006a; 2006b)과 같은 농작물을 이용하는 연구가 진행되어 일부 성공적인 결과를 보여주었다. 그러나 국내에서는 이들 원료에 대한 수급의 어려움과 높은 구매 비용으로 친환경 접착제의 원료로 사용하기에는 어려운 실정에 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 두부비지와 같이 무상 또는 매우 낮은 비용으로 대량의 원료 확보가 가능한 유기성 식품폐기물을 이용하여 목재 접착제를 제조하였으며 합판과 무늬목 제조에 적용시켜 성공적인 결과를 얻었다(오 등, 2008; 양 등, 2009). 그러나 두부비지 접착제는 점도가 높고 접착제 내에서 고흡분 함량이 낮아 도포형 접착제로만 사용이 가능하였으며, 긴 경화시간과 높은 열압온도는 상용화를 하기에는 문제점이 있어 이에 대한 추가적인 연구가 필요한 실정이다. 이와 같은 이유로 새로운 원료를 탐색하는 과

정에서 두부비지에 비해 단백질을 많이 함유하고 있으며, 향후 바이오 디젤을 국내에서 생산할 경우 용이하게 원료 확보가 가능한 유채박을 친환경 접착제의 원료로 사용하는 방안이 강구되었으며 일부 연구가 진행되었다(양 등, 2011).

유채씨로부터 식용유와 바이오디젤을 생산한 후 확보가 가능한 유채박의 양은 매년 25만 톤 이상이 될 것으로 예상되며 충분한 양의 유채박을 확보하는 것이 용이할 것으로 판단된다. 또한 유채박은 약 30%의 단백질과 40%의 전 섬유소를 함유하고 있는데 단백질은 탄수화물에 비해 높은 내수성을 가지며 아미노기, 카르복실기와 같은 다양한 관능기를 함유하고 있어 접착제의 원료로써 충분한 사용 가능성을 보유하고 있다고 생각된다.

따라서 본 연구에서는 바이오 디젤을 국내에서 생산할 경우 용이하게 원료 확보가 가능한 유채박을 이용하여 접착제를 조제하고, 조제된 접착제를 중밀도섬유판(MDF) 제조에 적용시켜 성능평가를 통해 유채박에 대한 친환경접착제로의 원료화 가능성을 확인하고자 본 실험을 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

본 연구에서 사용된 유채박은 중국 및 인도에서 수입된 유채박을 (주)대영TMS (경기, 평택)에서 구입하여 접착제의 합성원료로 사용하였다. 접착제 조제에 앞서 유채박을 가정용 믹서로 분쇄/선별하여 60 mesh 이하의 분말을 접착제의 원료로 사용하였다.

가수분해에 사용된 황산과 수산화나트륨 등은 화학실험용 시약을 구입하여 사용하였고, 가교제로 사용된 phenol-formaldehyde (이하 PF) prepolymer 제조용으로 화학실험용 페놀, 포르말린, 수산화나트륨 등을 덕산화학(경기, 용인)에서 구입하여 사용하였다.

유채박 접착제와의 접착성능을 비교하기 위해 석유화학계 접착제인 요소수지 접착제(urea-formaldehyde, UF, 고항분 함량 ; 60%)는 한솔 홈데코(전북, 익산)에서 분양받아 사용하였으며, 섬유판 제조에 사용된

Table 1. Properties of adhesive resins formulated with the rapeseed flour hydrolyzates

Type of adhesives		pH	Viscosity (cps)	Solid content (%)
Molar ratio	Hydrolysis concentration			
15	3%	7.6	4960	30.77
	5%	7.9	2600	37.84
	7%	8.4	3600	34.29
18	3%	7.6	2040	35.09
	5%	7.5	1600	40.82
	7%	8.2	3480	33.33
21	3%	7.3	2540	27.10
	5%	7.3	5400	16.67
	7%	7.7	3800	35.58

파이버는 한솔 홈데코(전북, 익산)에서 공급받아 사용하였다.

2.2. 유채박 접착제의 제조

2.2.1. 유채박의 가수분해

유채박의 이화학적 성질의 개량을 위하여 황산과 수산화나트륨을 사용하여 가수분해를 실시하였으며 사용된 황산과 수산화나트륨의 농도는 각각 3, 5 및 7%였다. 가수분해 방법은 각 농도의 황산 또는 수산화나트륨 용액 500 ml에 190 g의 유채박 분말을 첨가하여 80°C에서 60분간 반응시켜 각 농도에 대한 유채박 가수분해물을 제조하였다.

2.2.2. 가교제

가교제로 사용된 PF prepolymers는 포름알데히드와 페놀의 몰비를 1.5/1, 1.8/1, 2.1/1로 조절하여 3종류를 만들었으며, 이때 페놀과 수산화나트륨의 몰비는 0.1로 고정하였다. PF prepolymers의 조제는 반응기에 페놀, 포름알데히드 및 일정량의 수산화나트륨을 넣고 75°C에서 90분간 교반하면서 1차 반응을 완료한 후 나머지 양의 수산화나트륨을 더 넣은 뒤 95°C에서 60분간 추가로 교반하여 조제하였다.

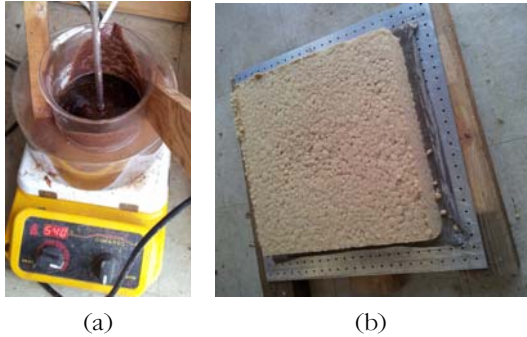


Fig. 1. Preparation of rapeseed flour hydrolyzates adhesives (a) and mat forming prior to hot pressing (b).

2.2.3. 유채박 접착제의 조제

준비된 유채박 가수분해물과 PF prepolymers를 혼합하여 조제하였으며, 고흡분 함량을 기준으로 35%의 유채박 산가수분해물(RSF-AC), 35%의 유채박 알칼리 가수분해물(RSF-AK) 그리고 30%의 PF prepolymer를 이용하였으며, 이렇게 혼합된 것을 Fig. 1의 (a)에서 처럼 각각 70°C에서 10분간 충분히 교반하여 중밀도섬유판 제조용 접착제로 사용하였다. 유채박 접착제는 세 종류(3%, 5%, 7%)의 유채박 가수분해물과 세 종류(F/P-1.5, F/P-1.8, F/P-2.1)의 PF prepolymers로 제조하여, 총 9 종류의 유채박 접착제를 조제하였으며 각각의 특징은 Table 1과 같다.

2.3. 중밀도 섬유판의 제조

중밀도 섬유판은 2,200 g의 파이버를 원통형 교반기(Blender)에 넣고 멎치지 않게 5분 동안 돌려준 후, 회전하는 원통형 교반기 내로 조제된 유채박 접착제를 파이버 고흡분 기준 8%를 고압 분무기를 사용하여 골고루 분사시켰다. 접착제 분사가 완료된 파이버를 350 mm × 350 mm 크기의 성형틀 안에 넣고 스틸와이어 위에서 골고루 분산시켜 성형시켰으며 성형된 매트 두께는 150 mm였다. 이 매트를 열압기로 옮겨 열압을 실시하였으며, 열압 조건은 온도 180°C, 압력 10 kg/cm²이며, 시간은 10분이었다. 한

편 비교시험용으로 요소수지를 사용하여 온도 140°C, 압력 10 kg/m², 시간은 5분으로 하여 대조용 중밀도 섬유판을 제조하였다. 두 섬유판에 대한 목표밀도는 0.5 g/cm³으로 조절하였으며, 각 조건마다 6개씩의 두께 12 mm의 중밀도섬유판을 제조하였다. 제조된 중밀도 섬유판은 냉각시킨 후 짐백에 넣어 성능시험 시까지 보관하였다.

2.4. 중밀도 섬유판의 물성 및 강도 실험

제조된 중밀도 섬유판에 대해 'KS F 3200 섬유판'의 시험규격에 따라 밀도, 함수율, 흡수 두께 팽창률, 휨강도, 박리강도를 측정하여 구하였다. 휨 시험은 시험편의 표면에 평균 10 mm/min의 속도로 3점 하중을 가하여 탄성계수와 휨강도를 구하였으며, 박리강도는 알루미늄 블록에 시험편을 에폭시 접착제로 접착하고 시험편의 표면에 수직으로 인장 하중을 가하여 최대하중을 측정하여 구하였다. 폼알데하이드 방산량은 '국립 산림과학원 고시 제 2010-09호'의 시험규정에 따라 측정하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 밀도와 함수율

유채박 가수분해물의 농도와 PF 몰비에 따른 중밀도 섬유판의 물성을 Table 2에 나타내었다. 유채박 접착제로 제조한 중밀도 섬유판의 밀도는 0.46~0.51 g/cm³였으며, KS 기준인 0.35~0.85 g/cm³의 범위 내에 있어서 기준을 만족시켰다. 한편 UF로 제조한 중밀도 섬유판의 밀도가 가장 낮았으며, 3%의 2.1-F/P의 밀도가 가장 높았지만, 유채박 접착제로 제조한 중밀도 섬유판의 밀도 간에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

유채박 접착제로 제조한 중밀도 섬유판의 함수율은 5.1~7.6%의 범위에 있었으며, KS 기준인 5~13% 규정에 만족하는 것으로 나타났다. 각 접착제별로 제조한 중밀도 섬유판의 함수율 비교에서 7%의 유채박 가수분해물과 1.5-F/P PF prepolymer로 조

Table 2. Physical and mechanical properties of MDF made with rapeseed flour hydrolyzates adhesives

Type of adhesives		Density (g/cm ³)	M. C. (%)	Bending strength (N/mm ²)	Thickness swelling (%)	Internal bonding (N/mm ²)
Hydrolyzates Concentration	PF-molar ratio					
3%	15	0.46	5.2	9.4	19.2	0.20
	18	0.46	5.4	9.1	16.7	0.22
	21	0.51	5.7	9.9	14.9	0.16
5%	15	0.48	7.6	7.8	23.6	0.07
	18	0.47	5.7	10.2	13.4	0.33
	21	0.47	6.7	8.7	19.4	0.12
7%	15	0.48	5.1	8.4	17.4	0.10
	18	0.47	5.4	8.2	18.7	0.27
	21	0.46	5.4	5.8	21.3	0.10
UF		0.44	8.1	14.4	12.7	0.20

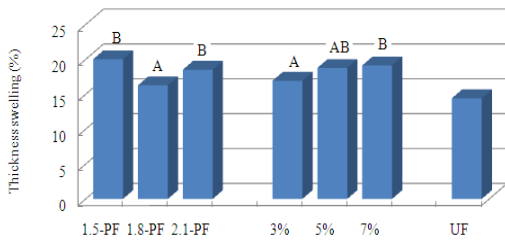


Fig. 2. Thickness swelling of MDF bonded with rapeseed flour hydrolyzates adhesives. Different capital letters over columns indicate significant difference at $p = 0.05$ (least significant difference test).

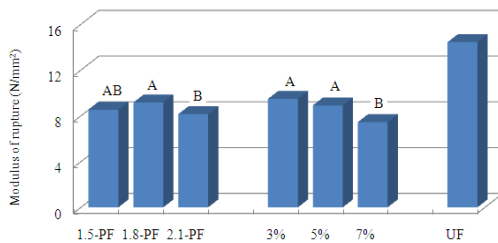


Fig. 3. Bending strength of MDF bonded with rapeseed flour hydrolyzates adhesives.

제한 접착제로 제조한 중밀도 섬유판의 함수율이 가장 낮았으며, 5%의 유채박 가수분해물과 1.5-F/P

PF prepolymer로 조제한 접착제로 제조한 중밀도 섬유판의 함수율이 가장 높은 값을 나타내었다. 비교대상인 UF로 제조한 중밀도 섬유판의 경우 8.1%의 함수율을 보였다.

3.2. 흡수 두께 팽창률

유채박 접착제로 제조된 중밀도 섬유판의 흡수 두께 팽창률은 1.8-F/P PF prepolymer로 조제한 접착제를 사용했을 때 가장 낮았으며, 1.5- 및 2.1-F/P prepolymer로 조제한 접착제에서 높은 값을 나타내었다(Fig. 2). 한편 유채박의 가수분해를 위하여 사용된 산 및 알칼리의 농도가 증가함에 따라 흡수 두께 팽창률은 증가하였으며, 특히 3%와 5% ($p = 0.06$), 5%와 7%($p = 0.40$) 간에는 차이가 나타나지 않았지만 3%와 7%사이에는 차이가 있는 것으로 조사되었다($p = 0.02$).

3.3. 휨강도

Fig. 3은 유채박 접착제로 제조한 MDF의 휨강도를 나타낸 것으로 가교제로 사용된 PF prepolymer의 포르말데히드와 페놀의 몰비 그리고 유채박의 가수분해 조건에 따른 휨강도의 영향을 보여준다. PF prepolymer에서 포르말데히드와 페놀의 몰비

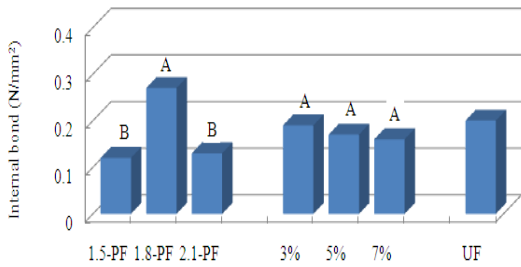
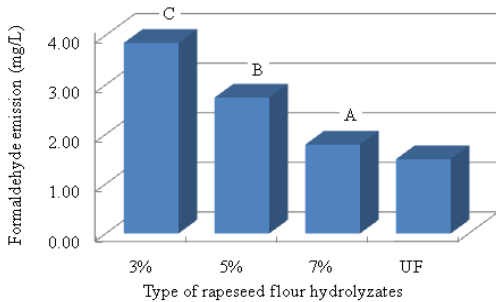
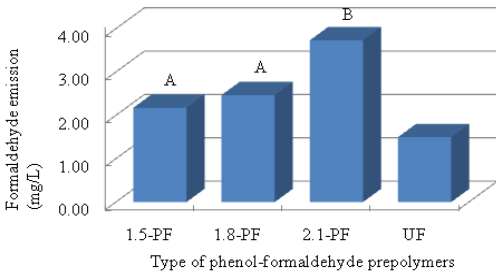


Fig. 4. Internal bonding strength of MDF bonded with rapeseed flour hydrolyzates adhesives



(a)



(b)

Fig. 5. Formaldehyde emission rate of MDF bonded with rapeseed flour hydrolyzates adhesives.

에 따른 휨강도의 영향을 보면, 1.5-PF와 1.8-PF ($p = 0.20$) 그리고 1.5-PF와 2.1-PF ($p = 0.30$) 간의 휨강도에는 차이가 없었으나, 1.8-PF와 2.1-PF 간에는 차이가 있는 것으로 나타났다($p = 0.04$). 이와 같

은 결과는 유채박 접착제 제조에 있어 1.8-F/P PF prepolymer를 사용하는 것이 본 실험에서 사용한 열압조건에서 유채박 가수분해물과 최적 가교반응에서 기인한 것으로 보인다. 한편 유채박의 가수분해 농도에 따른 휨강도 비교에서는 3%와 5% 사이에는 차이가 없었으나($p = 0.17$), 3%와 7%($p = 0.01$) 그리고 5%와 7%($p = 0.03$) 사이에는 차이가 있었는데, 이 결과는 유채박의 과도한 가수분해로 유채박 내에 함유되어 있는 단백질 및 탄수화물의 분자량이 크게 감소하며 고유의 접착능력이 상실한 것이 영향을 미쳤을 것으로 생각된다.

3.4. 박리강도

Fig. 4는 유채박 접착제로 조제한 중밀도 섬유판의 박리강도에 대한 결과로써 1.8-F/P PF prepolymer를 이용한 접착제에서 가장 높은 값을 보였으며(1.5-와 1.8-F/P : $p = 0.01$; 1.8-과 2.1-F/P : $p = 0.01$), 1.5-F/P와 2.1-F/P 간에는 차이가 없었는데($p = 0.39$), 이 결과를 토대로 유채박 접착제에서 1.8-F/P PF prepolymer를 가교제로 사용하는 것이 본 실험의 열압 조건에서 중밀도 섬유판의 심층까지 충분한 열전달을 통한 접착제의 경화에 최적 조건으로 생각한다. 한편 유채박의 가수분해를 위하여 사용된 산 및 알칼리의 농도에 따른 박리강도에는 차이가 없었으며(3%와 5% : $p = 0.32$; 3~7% : $p = 0.08$; 5%와 7% : $p = 0.34$), 따라서 유채박 접착제로 제조한 중밀도 섬유판 내에서 접착제의 경화를 위한 열전달은 가교제로 사용된 PF prepolymer의 F/P 몰비에 영향을 받는 것으로 판단된다.

3.5. 포름알데히드 방산량

유채박 접착제로 제조한 중밀도 섬유판에서 포름알데히드 방산량에 대한 PF prepolymer의 F/P 몰비와 유채박의 가수분해 조건의 영향을 조사한 결과는 Fig. 5(a)와 같다. 유채박 가수분해물에 1.5-, 1.8-, 2.1-F/P PF prepolymers로 조제한 접착제를 이용하여 제조된 중밀도 섬유판의 포름알데히드 방산량은

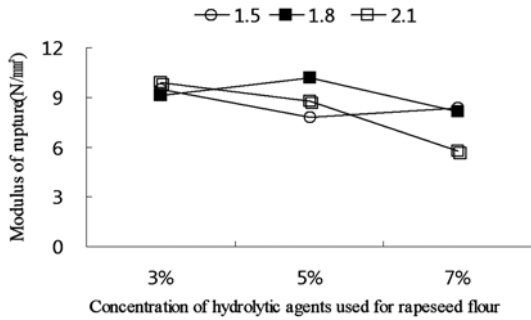


Fig. 6. Interaction between molar ratio of PF prepolymer and concentration of hydrolyzates in bending strength of MDF.

각각 2.18, 2.47, 3.73 mg/ℓ로 측정되었으며, 따라서 PF prepolymer의 F/P 몰비가 증가함에 따라 포름알데히드 방산량도 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 높은 F/P 몰비의 PF prepolymer를 사용함에 따라 접착제 내에서 함유된 포름알데히드의 양이 증가에 따른 당연한 결과라 생각된다. 한편 유채박의 가수분해 조건에 따른 포름알데히드 방산량 결과를 보면, 3, 5, 7% 유채박 가수분해물로 조제한 유채박 접착제로 제조한 중밀도 섬유판의 포름알데히드 방산량은 각각 3.85, 2.74, 1.79 mg/ℓ로 조사되었으며, 유채박의 가수분해를 위한 농도의 증가와 함께 포름알데히드 방산량이 감소하였는데, 유채박의 가수분해 농도가 증가함에 따라 많은 관능기가 노출되고 결과적으로 그 관능기와 포름알데히드의 가교결합을 통하여 방산되는 포름알데히드 양이 감소한 것으로 추정된다(Fig. 5(b)).

3.6. 유채박 가수분해물과 PF prepolymer의 상호 영향

3.6.1. 휨강도

Fig. 6은 유채박 가수분해물과 PF prepolymer 간의 휨강도에 대한 상호 영향을 나타낸 것으로, 1.8-F/P PF prepolymer로 조제한 접착제에서는 유채박의 가수분해 농도를 3에서 5%로 증가시켰을 때 휨강도가 증가하다가 7%의 농도에서 감소하였으며, 1.5-F/P

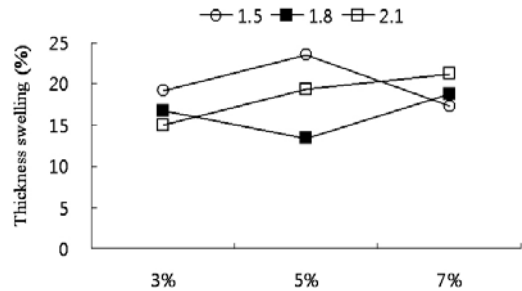


Fig. 7. Interaction between molar ratio of PF prepolymer and concentration of hydrolyzates in thickness swelling of MDF.

PF prepolymer로 조제한 접착제에서는 1.8-F/P PF prepolymer와 상반된 결과를 나타내었다. 한편, 2.1-F/P PF prepolymer로 조제한 접착제에서는 유채박의 가수분해를 위하여 사용된 산과 알칼리의 농도를 증가시키기에 따라 휨강도는 감소하였다. 이는 앞서 설명하였듯이 유채박의 과도한 가수분해로 유채박 내에 함유되어 있는 단백질 및 탄수화물의 분자량이 크게 감소하며 접착능을 일부 상실한 것이 영향을 미쳤을 것으로 보인다. UF로 제조한 중밀도 섬유판의 휨강도는 14.4 N/mm²로 유채박 접착제에 비해 비교적 높았는데, 따라서 유채박 접착제를 사용할 경우 높은 휨강도를 가지는 중밀도 섬유판을 제조하기 위하여 1.5-F/P PF prepolymer 조건에서는 7% 이상의 농도로 가수분해시킨 유채박을 이용하거나 1.8-F/P PF prepolymer 조건에서는 4에서 6% 농도 범위의 유채박 가수분해물을 이용하는 것이 효율적이라고 생각된다.

3.6.2. 흡수 두께 팽창률

유채박 접착제로 제조한 중밀도 섬유판의 흡수 두께 팽창률은 휨강도와 유사한 경향을 보였다(Fig. 7). 즉, 1.5-F/P의 5%에서 가장 많이 팽윤되었으며, 7%의 농도에서 흡수 두께 팽창률이 크게 감소하였고, 1.8-F/P에서는 3에서 5%로 가수분해 농도를 증가시켰을 때 감소하다가 농도를 7%로 올렸을 때 다시 크게 증가하였다. 2.1-F/P에서는 농도의 증가와 함께 계속 증가하였다. 흡수 두께 팽창률은 1.8-F/P PF

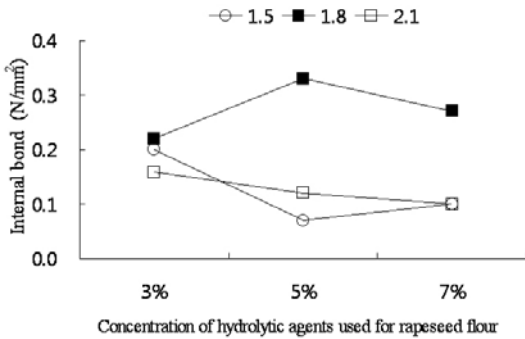


Fig. 8. Interaction between molar ratio of PF prepolymer and concentration of hydrolyzates in internal bonding strength of MDF.

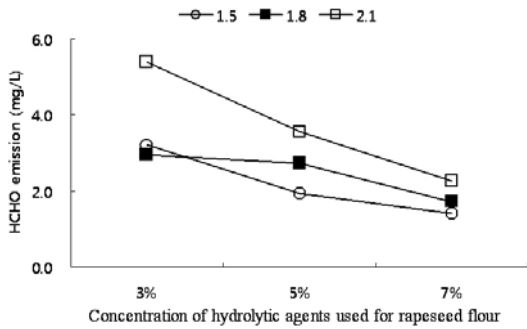


Fig. 9. Interaction between molar ratio of PF prepolymer and concentration of hydrolyzates in formaldehyde emission of MDF.

prepolymer로 조제된 접착제를 사용했을 때 가장 낮았으며, UF로 제조된 중밀도 섬유판의 흡수 두께 팽창률은 12.7%로 유채박 접착제로 제조한 중밀도 섬유판보다 전반적으로 낮게 나타났다. 흡수 두께 팽창률 측정 결과를 토대로 1.8-F/P PF prepolymer와 5%의 유채박 가수분해물을 사용하는 것이 가장 적합한 유채박 접착제 조제 조건으로 판단된다. PF prepolymer와 가수분해 농도에 따른 흡수 두께 팽창률의 차이는 휨강도와 동일한 이유에서 비롯된 것으로 판단된다.

3.6.3. 박리강도

유채박 접착제로 제조한 중밀도 섬유판의 박리강도에 대한 PF의 포름알데히드와 페놀의 몰비 및 유채박의 가수분해 농도의 상호 영향은 Fig. 8에 나타내었다. 1.5-F/P에서는 유채박의 가수분해 농도를 3에서 5%로 증가시켰을 때 박리강도가 크게 감소하다가 7%의 농도에서 약간 증가하였으며, 1.8-F/P에서는 반대의 결과를 나타내었다. 또한 2.1-F/P에서는 농도의 증가와 함께 박리강도가 감소하는 것으로 조사되었다. 한편 UF를 이용하여 제조한 중밀도 섬유판의 박리강도는 0.2 N/mm²으로 나타났다. 전체적으로 보아 1.8-F/P PF prepolymer를 이용한 접착제에서 가장 높은 값을 보였으며 산 및 알칼리의 농도에 따른 박리강도에는 차이가 없이 나타났으므로 박리강도는 PF prepolymer의 F/P 몰비에 영향을 받는 것으로 판단된다. 따라서 추후 1.8-F/P PF prepolymer를 유채박 접착제 조제에 사용하는 방안과 그 PF의 몰비에서 가수분해 정도에 따른 박리강도에 대한 실험이 추가적으로 필요할 것으로 생각한다.

3.6.4. 포름알데히드 방산량

포름알데히드 방산량에 대한 PF의 포름알데히드와 페놀의 몰비 및 유채박의 가수분해를 위해 사용된 산 및 알칼리의 농도에 따른 상호 영향은 Fig. 9에서 알 수 있듯 사용된 모든 PF prepolymer에서 농도가 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다. 특히 1.8-F/P prepolymer를 사용한 유채박 접착제에서 유채박의 가수분해에 사용된 농도를 5에서 7%로 증가시켰을 때 포름알데히드 방산량이 크게 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 UF로 제조한 중밀도 섬유판의 포름알데히드 방산량보다 높았으며, KS F 3101에서 규정된 E0급의 포름알데히드 평균 방산량(0.5 mg/ℓ)보다도 높아 유채박 접착제로 제조한 모든 중밀도 섬유판의 포름알데히드 방산량보다 낮은 F/P 몰비의 PF prepolymer를 이용하거나 유채박의 가수분해시 사용된 산 및 알칼리의 농도를 증가시켜 유채박 접착제를 제조하는 방안이 필요할 것으로 생각된다.

본 실험의 결과들을 종합하면, 1.8-F/P PF prepolymer와 5%의 유채박 가수분해물을 유채박 접착제

조제에 사용하는 것이 가장 적합한 조건으로 생각한다. 그러나 박리강도를 제외한 대부분의 품질 조사 항목에서 UF로 조제한 중밀도 섬유판과 비교하여 낮았으며, 심지어 UF로 제조한 중밀도 섬유판도 KS 규격 조건에 미치지 못하는 것으로 조사되었다. 따라서 접착제의 조제 방안보다는 중밀도 섬유판의 제조 조건에 대한 추가 실험이 필요할 것으로 판단된다. 특히 본 실험시에 사용된 압력을 10 kg/cm²에서 현재 중밀도 섬유판 제조시에 적용되고 있는 압력인 30 kg/cm² 이상까지 올리거나, 또는 열압 온도 및 시간을 조절하는 방안 등이 향후 수행되어야 할 것으로 생각된다.

4. 결 론

유채박 접착제로 제조한 중밀도 섬유판의 물성을 분석한 결과, 밀도 및 함수율은 KS기준인 0.35~0.85 g/cm³와 5~13%의 범위에 각각 만족하는 것으로 나타났다. 한편 휨강도, 흡수 두께 팽창률, 박리강도는 1.8-F/P PF prepolymer와 5%의 유채박 가수분해물을 사용하여 조제한 접착제를 적용시킨 MDF에서 가장 좋은 결과를 나타내었다. 포름알데히드 방산량의 경우, PF prepolymer의 F/P 몰비가 낮고 유채박의 가수분해시 사용된 산 및 알칼리의 농도가 증가할수록 감소하였다. 상기 결과를 종합하면 5%의 유채박 가수분해물과 1.8-F/P PF prepolymer로 제조한 유채박 접착제를 이용하는 것이 강도 및 포름알데히드 방산량을 고려하여 MDF 생산을 위한 최적 유채박 접착제 제조 조건이라는 결론을 얻었다. 그러나 휨강도, 흡수 두께 팽창률, 포름알데히드 방산량 값이 UF를 적용시켜 제조한 MDF보다 떨어지고 KS 규격에도 미치지 않는 것으로 나타났는데, 이는 MDF의 제조 과정에서 열압시 적용된 압력이 10 kg/cm²으로 매우 낮아 섬유간의 접착을 위한 접근 정도가 떨어지고 결과적으로 접착제 및 목섬유간의 경화가 제대로 일어나지 않은 결과에서 기인한 것으로 추정된다. 따라서 향후 유채박 접착제를 중밀도 섬유판 제조에 적용시킬 경우 다양한 열압 공정에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 농림수산식품부의 농림수산식품기술기획평가원의 지원에 의해 수행하였다.

참 고 문 헌

1. Kuo, M. L., Z. Liu, and J. L. Jane. 1994. Corn starch as copolymer in plywood phenolic adhesives. 1994. Proceedings Corn Utilization Conference V., St. Louis, USA, June 8-10, pp. 129~132.
2. Oh, Y., Jr. T. Seller, M. G. Kim, and R. C. Strickland. 1994. Evaluation of phenol-formaldehyde OSB resins modified with lignin residues from acid-hydrolyzed waste newsprint. For. Prod. J. 44(2): 25~29.
3. Yang, I., M. L. Kuo, and D. J. Myers. 2005. Physical properties of hybrid poplar flakeboard bonded with alkaline phenolic soy adhesives. J. of the wood Science and Technology 33(5): 66~75.
4. Yang, I., M. L. Kuo, and D. J. Myers. 2006. Bond quality of soy-based phenolic adhesives in southern pine plywood. J. of the American Oil Chemists' Society 83(3): 231~237.
5. Yang, I., M. L. Kuo, D. J. Myers, and A. B. Pu. 2006. Comparison of protein-based adhesive resins for wood composites. J. of Wood Science 52(6): 503~508.
6. 산림과학원. 2010. 데시케이터법에 의한 목질관상제품의 폼알데하이드 방출량 측정방법. 국립 산림과학원 고시 제 2010-09호
7. 산림청. 2011. 임업통계연보 제 40호.
8. 양인, 안세희, 최인규, 최원실, 김삼성, 오세창. 2009. 두부비지 가수분해물과 페놀수지로 조제한 마루판 화장용 접착제의 접착성능. 목재공학회지 37(4): 388~396.
9. 양인, 한규성, 최인규, 김용현, 안세희, 오세창. 2011. 유채박을 이용한 단판적층재용 접착제의 개발 및 성능평가. 목재공학회지 39(3): 221~229.
10. 오세창, 안세희, 최인규, 정한섭, 윤영호, 양인. 2008. 두부비지를 이용한 합판용 접착제의 개발 및 적용. 목재공학회지 36(3): 30~38.
11. 한국산업규격. 2006. 섬유판 KSF 3020. 지식경제부 기술표준원.