

## 증량된 요소수지 접착제와 소나무 간벌재로 제조된 파티클보드의 성질\*1

오 용 성\*2† · 곽 준 혁\*2

### Properties of Particleboard Made from *Pinus densiflora* Thinning Log with Extended Urea-Formaldehyde Resin Adhesive\*1

Yong-Sung Oh\*2 · Jun-Hyuk Kwak\*2

#### 요 약

증량제로서 카제인과 콩을 첨가한 요소수지 접착제와 소나무 간벌재 파티클로 실험실 파티클보드를 제조하였다. 소나무 간벌재 파티클로 제조된 파티클보드를 성능 평가한 결과 소나무 간벌재는 파티클보드의 원료로서 적합하다. 증량된 요소수지로 접착된 파티클보드는 증량제의 첨가량이 증가함에 따라 기계적인 성능은 감소하는 경향이었다. 그러나 요소수지 접착제의 고형분량에 대해 카제인은 15%까지 콩은 20%까지 첨가하여 파티클보드 제조에 사용할 수 있다.

#### ABSTRACT

Particleboards (PBs) were made from *Pinus densiflora* thinning particle with urea-formaldehyde (UF) resin added casein and soybean as extender. The performance test results of the PB made showed that *Pinus densiflora* thinning log was suitable raw material for PB. As the extender addition in the UF resin was increased, the mechanical performance of the PB, bonded with the extended UF resin, were significantly decreased. However, casein and soybean can be used up to 15% and 20% of the UF resin solids respectively.

**Keywords:** urea-formaldehyde resin, soybean, casein, *Pinus densiflora*, thinning log, particleboard

\*1 접수 2002년 3월 7일, 채택 2002년 6월 4일

이 논문은 2001학년도 영남대학교 학술연구조성비 지원에 의한 것임.

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

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

## 1. 서 론

증량제는 일반적으로 목재의 단위면적 당 요구되는 접착제 첨가량을 감소시키기 위해 첨가되는 접착성질을 지닌 물질로서 정의된다(ASTM, 1996). 증량제는 보통 단백질 계통의 물질로서 목재접착제에 첨가되어 제조원가를 절감할 수 있고, 접착 성능을 개선할 수 있기 때문에 목질패널 산업에서 많이 사용되고 있다(Coggeshall, 1995). 외국의 목질패널산업에서 증량제에 대한 연구개발은 이미 오래 전부터 다양하게 수행되어 왔고, 최근에 목질패널산업에서 목질패널제품의 생산에 증량제의 사용은 더욱 증가되고 있다(Coggeshall, 1995).

1986년 Christiansen과 Gillespie(1986)는 페놀수지보다 가격이 싸고, 재생원료인 탄수화물계통의 물질들을 페놀수지에 결합시켜서 페놀을 35%까지 대체시켜 합판을 제조하였다. 제조된 합판의 성능은 증량제가 첨가되지 않은 페놀수지만으로 제조된 합판의 성능과 유사했다고 보고하였다. 1990년 Sellers와 Bomball(1990)은 구조용 합판을 접착하기 위해 사용되는 페놀수지 접착제의 고품분에 대해 methyl glucoside를 15% 대체해서 합판을 제조하였다. 제조된 합판의 성능 평가 결과는 미국합판위원회의 기준을 만족시킨다고 보고하였다. 1990년 Gardner 등(1990)은 증량제의 효과를 비교하기 위해 페놀수지에 증량제를 첨가하여 flakeboard를 제조하고 증량제를 첨가하지 않은 순수한 페놀수지만으로 제조된 flakeboard와 성능을 비교·평가하였다. 증량제를 첨가하여 제조된 flakeboard는 순수한 페놀수지만으로 제조된 flakeboard와 기계·물리적인 성능에서 유사했다고 보고하였다. 1994년 Johnson과 Kamke(1994)는 요소수지와 페놀수지에 증량제를 첨가하여 파티클보드와 flakeboard를 각각 제조하고 성능을 평가하였다. 제조된 파티클보드와 flakeboard의 휨강도와 박리강도는 증량제가 첨가됨에 따라 영향을 받지 않았다고 보고하였다. 1998년 Kuo 등(1998)은 페놀수지와 요소수지 및 콩단백질로 하드보드와 MDF를 제조하여 성능을 평가하였다. 페놀수지와 콩단백질로 제조된 하드보드와 MDF의 성능은 요소수지로 제조된

하드보드와 MDF의 성능과 비교된다고 하였다.

이와 같이 국외에서의 접착제에 첨가되는 증량제에 관한 연구 동향은 매우 활발하여 여러 목질패널제조 분야에서 연구 결과가 발표되고 있고, 또 산업 현장에서 경쟁력 있는 목질패널제조에 매우 활발하게 활용되고 있는 실정이다. 따라서 국내에서 이런 분야에 대한 연구는 매우 필요하고 또 국내 목질패널제품의 경쟁력 확보를 위해서도 절실히 필요하다.

한편 유엔식량농업기구(FAO)의 보고에 의하면, 2010년까지 세계적으로 원목의 수급은 원활하지만, 지역과 국가에 따라 차이가 있다고 분석하고 있다(Youngquist & Hamilton, 2000). 2002년 국내의 목재수급계획에 대한 산림청의 보고에 의하면, 2002년 목재자급율을 2001년과 비슷한 수준인 5.6%로 유지하기로 했다(한국목재신문, 2002). 국내에서는 가지치기 및 간벌 등 숲가꾸기가 지속적으로 실시되고 있어서 앞으로 목질패널산업에서 간벌·소경재의 이용은 적극 장려되어야 한다.

따라서 본 연구의 목적은 동·식물성 단백질인 카제인과 콩을 실험실에서 합성한 요소수지 접착제에 첨가한 요소수지 접착제 혼합물과 소나무 간벌재로부터 얻어진 파티클로 파티클보드를 제조하고 증량제가 첨가되지 않은 요소수지 접착제만으로 제조된 파티클보드와 성능을 비교·평가하기 위한 것이다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 목재파티클

본 연구에 사용한 소나무의 수령은 20년이고 직경은 14 cm인 간벌재로부터 목재파티클이 얻어졌고, 12~3.5 mesh 크기의 파티클을 건조·선별하였다. 선별된 목재파티클의 함수율은 사용할 당시에 4~5%이다.

### 2.2. 요소수지와 증량제

목재파티클을 접착하기 위한 요소수지는 포름알데

히드와 요소의 몰비가 1.15로 실험실에서 합성하였고 요소수지의 합성과정은 오(1998)와 오·곽(2001)에 의해 수행된 방법과 유사하다. 합성한 요소수지의 비휘발성분은 50%, 유리포름알데히드는 0.54%이다. 합성한 요소수지에 첨가된 증량제로는 미국 Aldrich와 Sigma회사의 카제인과 콩을 각각 사용하였고, 카제인가루와 콩가루의 크기는 75  $\mu\text{m}$ 미만이다.

### 2.3. 실험실 파티클보드 제조

증량된 요소수지 접착제는 목재파티클의 전건무게에 대해 6%의 고형분량을 첨가하였고, 왁스는 1%를 첨가하였다. 요소수지 접착제와 왁스가 첨가된 목재파티클은 밀도 769  $\text{kg}/\text{m}^3$ 인 파티클보드를 제조하기 위해 무게 측정하였다. 패널의 크기가  $25 \times 25 \times 0.63$  cm인 파티클보드를 열압온도는 162°C에서 열압시간은 5분으로 제조하였다. 2종류의 증량제는 요소수지 접착제의 고형분량에 대해 0, 5, 10, 15, 20% 대체하여 3반복씩 총 30개( $2 \times 5 \times 3$ )의 파티클보드를 제조하였다.

### 2.4. 파티클보드의 성능평가

제조된 총 30개의 파티클보드로부터 밀도, 박리강도, 휨과피계수 및 두께팽창률과 물흡수율 등을 측정

하였다. 패널로부터 얻어진 시편들은 ASTM D 1037 (ASTM, 1998)의 과정에 의해서 측정하였다.

### 2.5. 통계분석

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

## 3. 결과 및 고찰

파티클보드의 성능평가 결과가 Table 1에 요약되어 있다. 제조된 파티클보드의 밀도 분포범위는 701 ~ 726  $\text{kg}/\text{m}^3$ 이었다. 분산분석 결과에 의하면 증량제의 종류와 첨가량의 상호작용에 대한 제조된 파티클보드의 밀도는 1% 수준에서 유의성이 있었다. 증량제의 종류에 대한 파티클보드 밀도의 LSD 검정에서는 콩이 증량제로 사용된 파티클보드의 밀도가 카제인이 증량제로 사용된 파티클보드의 밀도보다 5% 수준에서 높았다. 증량제 첨가량이 0%인 파티클보드의

Table 1. Test results of particleboard made with extender type and application rate.

Extender type & application rate (%)	Panel density ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	Normalized internal bond (kPa)	Modulus of rupture (MPa)	Thickness swell		Water absorption		
				2-h (%)	24-h (%)	2-h (%)	24-h (%)	
Control	0	722	1,165	17.7	12.7	29.8	14.7	44.1
	5	715	684	14.2	13.1	44.3	15.4	70.5
Casein	10	703	276	9.8	16.5	52.0	18.9	77.3
	15	708	360	10.7	17.9	53.0	21.4	80.0
	20	701	112	6.5	23.1	56.6	24.9	82.5
	5	717	615	13.5	14.3	44.9	14.6	64.4
Soybean	10	719	440	13.7	19.5	50.2	16.8	70.5
	15	717	402	10.6	18.7	56.5	21.3	84.0
	20	726	441	11.3	20.3	56.5	22.2	83.4

Internal bond values are normalized to 769  $\text{kg}/\text{m}^3$  density. Each value of MOR, thickness swell and water absorption represents an average of 6 test specimens.

Table 2. Average panel test data by extender type.

Extender type	Panel density (kg/m <sup>3</sup> )	Normalized internal bond (kPa)	Modulus of rupture (MPa)	Thickness swell		Water absorption	
				2-h (%)	24-h (%)	2-h (%)	24-h (%)
Casein	710 B	522 B	12.0 B	16.7 A	47.2 A	18.9 A	70.9 A
Soybean	720 A	609 A	13.1 A	17.1 A	47.5 A	18.0 A	69.2 A

Means with the same letter are not significantly different (5% level).

밀도는 증량제가 첨가된 다른 4종류의 파티클보드의 밀도보다 5% 수준에서 높았다.

제조된 파티클보드의 목표된 밀도 769 kg/m<sup>3</sup>에 대해 normalized internal bond(정상화된 박리강도)가 얻어졌다. 정상화된 박리강도의 분포범위는 112~1165 kPa이었다. 증량제 첨가량이 0%인 파티클보드의 정상화된 박리강도는 1165 kPa로 KS F 3104 파티클보드 8.0형의 규정 값을 만족시키고 있다. 이 결과는 소나무 간벌재가 파티클보드 제조의 원료로서 적합하다는 것을 보여준다. 분산분석 결과에 의하면 증량제의 종류와 첨가량의 상호작용에 대한 제조된 파티클보드의 정상화된 박리강도는 1% 수준에서 유의성이 있었다. 증량제의 종류에 대한 파티클보드의 정상화된 박리강도의 LSD 검정에서는 콩이 증량제로 사용된 파티클보드의 정상화된 박리강도가 카제인이 증량제로 사용된 파티클보드의 정상화된 박리강도보다 5% 수준에서 높았다. 증량제 첨가량이 증가함에 따라 정상화된 박리강도는 감소하는 경향이었다. 증량제 첨가량이 0%인 파티클보드의 정상화된 박리강도는 증량제가 첨가된 다른 4종류의 파티클보드의 정상화된 박리강도보다 5% 수준에서 높았다.

제조된 파티클보드의 휨파괴계수 분포범위는 6.5~17.7 MPa이었다. 분산분석 결과에 의하면 증량제

의 종류와 첨가량의 상호작용에 대한 제조된 파티클보드의 휨파괴계수는 1% 수준에서 유의성이 있었다. 증량제의 종류에 대한 파티클보드의 휨파괴계수의 LSD 검정에서는 콩이 증량제로 사용된 파티클보드의 휨파괴계수는 카제인이 증량제로 사용된 파티클보드의 휨파괴계수보다 5% 수준에서 높았다. 증량제 첨가량이 증가함에 따라 휨파괴계수는 감소하는 경향이었다. 증량제 첨가량이 0%인 파티클보드의 휨파괴계수는 증량제가 첨가된 다른 4종류의 파티클보드의 휨파괴계수보다 5% 수준에서 높았다.

제조된 파티클보드의 두께팽창률 분포범위는 2-h 두께팽창률이 12.7~23.1%이고 24-h 두께팽창률이 29.8~56.6%이었다. 분산분석 결과에 의하면 증량제 종류에 대한 제조된 파티클보드의 24-h 두께팽창률은 5% 수준에서 유의성이 없었다. 증량제 첨가량에 대한 파티클보드의 24-h 두께팽창률은 1% 수준에서 유의성이 있었다. 증량제의 첨가량에 대한 파티클보드의 24-h 두께팽창률의 LSD 검정에서는 증량제 첨가량이 0%인 파티클보드의 24-h 두께팽창률은 증량제가 첨가된 다른 4종류의 파티클보드의 24-h 두께팽창률보다 5% 수준에서 낮았다. 증량제가 5% 첨가된 파티클보드의 24-h 두께팽창률은 증량제가 10% 첨가된 파티클보드의 24-h 두께팽창률보다 5% 수준에서

Table 3. Average panel test data by application rate.

Application rate (%)	Panel density (kg/m <sup>3</sup> )	Normalized internal bond (kPa)	Modulus of rupture (MPa)	Thickness swell		Water absorption	
				2-h (%)	24-h (%)	2-h (%)	24-h (%)
0	722 A	1165 A	17.7 A	12.7 C	29.8 D	14.7 C	44.1 D
5	716 B	649 B	13.9 B	13.7 C	44.6 C	15.0 C	67.4 C
10	711 B	357 CD	11.7 C	18.0 B	51.1 B	17.8 B	73.9 B
15	712 B	379 C	10.6 C	18.3 B	54.7 A	21.3 A	82.0 A
20	713 B	275 D	8.9 D	21.7 A	56.5 A	23.5 A	82.9 A

Means with the same letter are not significantly different (5% level).

낮았고, 증량제가 10% 첨가된 파티클보드의 24-h 두께팽창률은 증량제가 15% 첨가된 파티클보드의 24-h 두께팽창률보다 5% 수준에서 낮았다. 그러나 증량제가 15%와 20% 첨가된 파티클보드의 24-h 두께팽창률은 5% 수준에서 유의성이 없었다.

제조된 파티클보드의 물흡수율 분포범위는 2-h 물흡수율이 14.6~24.9%이고, 24-h 물흡수율이 44.1~83.4%이었다. 분산분석 결과에 의하면 증량제 종류에 대한 제조된 파티클보드의 24-h 물흡수율은 5% 수준에서 유의성이 없었다. 증량제 첨가량에 대한 파티클보드의 24-h 물흡수율은 1% 수준에서 유의성이 있었다. 증량제의 첨가량에 대한 파티클보드의 24-h 물흡수율의 LSD 검정에서는 증량제 첨가량이 0%인 파티클보드의 24-h 물흡수율은 증량제가 첨가된 다른 4종류의 파티클보드의 24-h 물흡수율보다 5% 수준에서 낮았다. 증량제가 5% 첨가된 파티클보드의 24-h 물흡수율은 증량제가 10% 첨가된 파티클보드의 24-h 물흡수율보다 5% 수준에서 낮았고, 증량제가 10% 첨가된 파티클보드의 24-h 물흡수율은 증량제가 15% 첨가된 파티클보드의 24-h 물흡수율보다 5% 수준에서 낮았다. 그러나 증량제가 15%와 20% 첨가된 파티클보드의 24-h 물흡수율은 5% 수준에서 유의성이 없었다.

#### 4. 결 론

증량된 요소수지 접착제를 소나무 간벌재 파티클의 전건무게에 대해 6% 첨가하여 실험실 파티클보드를 제조하고 성능 평가한 결과 얻어진 결론은 다음과 같다.

1) 소나무 간벌재 파티클로 제조된 파티클보드는 성능 면에서 KS F 3104 파티클보드 8.0형을 만족시켰다. 따라서 소나무 간벌재는 파티클보드의 원료로서 적합하다.

2) 콩으로 증량된 요소수지 접착제로 제작된 파티클보드가 카제인으로 증량된 요소수지 접착제로 제작된 파티클보드보다 기계적인 성능이 5% 수준에서 유의하게 좋았다.

3) 증량된 요소수지 접착제로 제작된 파티클보드는 증량제 첨가량이 증가할수록 성능면에서 감소하는 경향이다. 요소수지 접착제의 고형분량에 대해 카제인

의 경우 15%까지 콩의 경우 20%까지 첨가하여 사용할 수 있다.

#### 참 고 문 헌

1. 오용성. 1998. 요소수지로 제작된 파티클보드의 포름알데히드 방산량과 성능평가. 목재공학 26(4): 92~97.
2. 오용성, 광준혁. 2001. 파티클보드의 열압으로부터 포름알데히드 배출량 조사. 목재공학 29(4): 33~39.
3. 한국목재신문. 2002. 2002 목재수급계획. p. 3.
4. 한국표준협회. 1997. KS 파티클보드 KS F 3104. 서울.
5. ASTM. 1996. Standard terminology of adhesives ASTM D 904-94. Vol. 1506 Adhesives. American Society for testing Materials. West Conshohocken, Pa. pp. 29~38.
6. Christiansen, A. W. and R. H. Gillespie. 1986. Potential carbohydrates for exterior-type adhesives. Forest Prod. J. 36(7/8): 20~28.
7. Coggeshall, B. 1995. State of the art report: Extenders and fillers in the global forest products industry. Wood Adhesives 1995. p. 186~192.
8. Gardner, D. J., S. K. Waage, and T. J. Elder. 1990. Bonding flakeboard with filled and extended phenol-formaldehyde resin. Forest Prod. J. 40(7/8): 31~36.
9. Johnson, S. E. and F. A. Kamke. 1994. Carbohydrate-based extender for wood-particulate composites. Forest Prod. J. 44(3): 46~48.
10. Kuo, M., D. Adams, D. Myers, D. Curry, H. Heemstra, J. Smith, and Y. Bian. 1998. Properties of wood/agricultural fiberboard bonded with soybean-based adhesives. Forest Prod. J. 48(2): 71~75.
11. SAS Institute. 1988. Statistical analysis User's Guide. SAS Institute, Cary, NC. 1028p.
12. Sellers, T. Jr., and W. A. Bomball. 1990. Methyl glucoside as an extender/modifier for phenol-formaldehyde resin used to bond structural plywood. Forest Prod. J. 40(2): 52~56.
13. Youngquist, J. A. and T. E. Hamilton. 2000. A look at the world's timber resources and processing facilities. In: XXI IUFRO World Congress 2000. Kuala Lumpur, Malaysia. Sub-plenary sessions Vol. 1. p. 183~190.