녹차-숯-목재섬유 복합보드의 역학적 성능에 미치는 구성원료의 종류 및 배합비율의 영향^{*1}

박한민^{*2†} · 허황선^{*2} · 성은종^{*2} · 남경한^{*2} · 임재섭^{*2}

Effect of the Kind and Content of Raw Materials on Mechanical Performances of Hybrid Composite Boards Composed of Green Tea, Charcoals and Wood Fiber^{*1}

Han-Min Park^{*2†} · Hwang-Sun Heo^{*2} · Eun-Jong Sung^{*2}
Kyeong-Hwan Nam^{*2} · Jae-Seop Lim^{*2}

요 약

이 연구에서는 녹차-목재섬유 복합보드의 강도성능과 기능성을 보강한 건축내장재를 개발하기 위하여, 목재섬유에 녹차와 흑탄, 백탄, 활성탄 등 3종류의 숯을 혼합한 녹차-숯-목재섬유 복합보드를 제작하였고, 구성원료의 종류 및 그 배합비율이 복합보드의 정역학적 성능에 미치는 영향을 조사하였다. 녹차-숯-목재섬유 복합보드의 휨 강도성능은 백탄함유 복합보드에서 평균적으로 가장 높은 값을 나타내었으나, 숯의 종류에 따른 휨 강도성능의 차이는 크지 않았다. 그러나 그 값은 선행연구의 녹차-목재섬유 복합보드보다 현저한 휨 강도성능의 향상을 나타내었고, 녹차와 숯의 배합비율이 증가할수록 휨 강도성능의 감소가 확인되었다. 바인더로 사용된 요소수지의 종류에 따른 차이는 E₁급 요소수지를 사용한 복합보드가 E₀급 요소수지를 사용한 그것보다 높은 휨 강도성능을 나타냈지만, 양 수지간의 차이는 선행연구의 녹차-목재섬유 복합보드에 비해 현저히 감소하였다. 복합보드의 박리강도는 백탄 ≥ 활성탄 > 흑탄함유 복합보드의 순이었고, 백탄함유 복합보드에서는 목재섬유로만 구성된 대조보드와 거의 비슷한 값을 나타내는 것이 확인되었다.

ABSTRACT

In this study, eco-friendly hybrid composite boards were manufactured from green tea, three

^{*1} 접수 2012년 10월 19일, 채택 2013년 1월 21일

이 연구의 일부는 2012년 한국목재공학회 학술발표대회에서 발표되었음.

^{*2} 경상대학교 환경산림과학부, 농업생명과학연구원. Faculty of Forest Science, Institute of Agriculture & Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea.

† 교신저자(corresponding author) : 박한민(e-mail: phm0691@gnu.ac.kr)

kinds of charcoals and wood fiber for developing interior materials to reinforce the strength performances and the functionalities in addition to performances of the green tea-wood fiber hybrid boards. The effects for the kind and the component ratio of raw materials on mechanical properties were investigated. Bending strength performances of hybrid composite boards were highest in the hybrid composite boards composed of green tea, fine charcoal and wood fiber on average. However, the difference caused by the kind of charcoals was not large. These values were markedly improved than those of green tea - wood fiber hybrid composite boards reported in previous researches. And it was found that the bending strength performance decreased with increasing component ratios of green tea and charcoals. The difference between urea resins used as the binder showed the higher value in hybrid composite boards using E₁ grade urea resin than in those using E₀ grade urea resin, but the difference between hybrid composite boards manufactured by both resins decreased markedly than the green tea - wood fiber hybrid composite boards reported in previous research. The internal bond strength of hybrid composite boards was in the order of hybrid composite boards with fine charcoal, activated charcoal and black charcoal, and it was found that the hybrid composite boards with fine charcoal had a similar values to control boards composed of only wood fiber.

Keywords: green tea, charcoals, wood fiber, hybrid composite board, bending strength performances, internal bond strength

1. 서 론

최근 웰빙, 로하스 등 개인의 건강과 지속가능한 사회에 대한 관심이 급증하면서 실내공기 및 건축자재에 대한 관심 또한 갈수록 증대되고 있다. 이에 따라 목질재료는 기존의 목재소재로만 제조되던 것이 점차 원료의 기능성을 고려한 친환경 이종재료를 복합한 목질하이브리드 재료로 그 연구의 방향이 변화되고 있고, 특히, 내구성과 기능성을 고려한 다양한 친환경 하이브리드재료의 연구와 개발이 성황리에 이루어지고 있다(강 등, 2012; 박, 2006; 박 등, 1976; 이 등, 1998; 이 등, 1993; 전, 1985; 이 등, 2009; 한 등, 2005).

녹차와 숯은 항균, 항산화, 탈취 등 인체에 유익한 기능을 다수 함유하고 있어 친환경 하이브리드재료 연구의 중요한 원료가 되고 있다(공과 김, 2002; 박과 박, 2012; 박 등, 2010; 2011a; 2011b; 2012a; 2012b; 안 등, 2009; 오와 박, 2010; 이 등, 2007; 井出 등, 1991; 1994).

선행 연구(박 등, 2012b)에서는 녹차-목재섬유 복합보드의 동역학적 성질 및 정역학적 성질에 관한 녹차 배합비율의 영향(박 등, 2010; 2011)에 부가하여 목재섬유에 녹차와 흑탄, 백탄 및 활성탄을 복합한 녹차-숯-목재섬유 복합보드를 E₀급 및 E₁급 요소수지를 바인더로 하여 제조하였고, 복합보드의 치수안정성, 탈취성 및 포름알데히드 방산량의 측정을 실시하여 복합보드의 물리적 특성에 미치는 구성원료의 종류 및 그 배합비율의 영향을 조사하였다. 그 결과, 녹차-숯-목재섬유 복합보드의 흡수두께팽윤율은 활성탄함유 복합보드를 제외하고 KS규격보다 현저히 낮은 값을 나타내었고, 암모니아가스 제거율도 30분~1시간 경과 후, 95% 전후의 높은 값을 나타내었다. 또한, 포름알데히드 방산량은 바인더로 사용된 E₀급 및 E₁급 요소수지보다 각각 한 단계씩 낮은 등급의 복합보드가 제조되어 우수한 기능성을 나타내는 것이 확인되었다. 따라서 본 연구에서는 녹차-숯-목재섬유 복합보드의 우수한 물리적 특성에 더하여 역학적 성능을 조사하기 위하여 정적 휨 강도시험 및

Table 1. Component ratios of raw materials of hybrid composite boards composed of green tea, 3 kinds of charcoals and wood fiber

T _A	T _{HB}	Component ratios of raw materials (%)				
		Green tea	Black charcoal	Fine charcoal	Activated charcoal	Wood fiber
E ₀ grade urea resin	Control	0 : 0 : 100	—	—	—	100
		25 : 25 : 95	25	25	—	95
	GBW	5 : 5 : 90	5	5	—	90
		10 : 10 : 80	10	10	—	80
	GFW	25 : 25 : 95	25	—	25	95
		5 : 5 : 90	5	—	5	90
		10 : 10 : 80	10	—	10	80
	GAW	25 : 25 : 95	25	—	25	95
		5 : 5 : 90	5	—	5	90
		10 : 10 : 80	10	—	10	80
E ₁ grade urea resin	Control	0 : 0 : 100	—	—	—	100
		25 : 25 : 95	25	25	—	95
	GBW	5 : 5 : 90	5	5	—	90
		10 : 10 : 80	10	10	—	80
	GFW	25 : 25 : 95	25	—	25	95
		5 : 5 : 90	5	—	5	90
		10 : 10 : 80	10	—	10	80
	GAW	25 : 25 : 95	25	—	25	95
		5 : 5 : 90	5	—	5	90
		10 : 10 : 80	10	—	10	80

Notes ; T_A : Types of adhesives, T_{HB} : Types of hybrid boards, GBW : Green tea, black charcoal and wood fiber, GFW : Green tea, fine charcoal and wood fiber, GAW : Green tea, activated charcoal and wood fiber. 25 : 25 : 95, 5 : 5 : 90 and 10 : 10 : 80 are the component ratios of green tea, 3 kinds of charcoals and wood fiber.

박리강도시험(인장박리시험)을 실시하였고, 복합보드의 역학적 성능에 미치는 구성원료의 종류 및 배합비율의 영향을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

본 연구에 사용된 목재섬유는 (주)한솔홈데코로부터 제공받은 시판용섬유판 제조에 사용되는 함수율 8%의 리기다소나무 목재섬유를 사용하였다. 녹차는 경상남도 하동군 화개면 소재 산곡다원에서 녹차제

조 후 남은 상품화가치가 없는 녹차잎을 매입하여 건조한 후 분말화하였고, 100 mesh의 체로 쳐서 복합보드용 녹차원료로 사용하였다. 숯은 기능성을 고려하여 시판되고 있는 흑탄, 백탄 및 활성탄을 구매하여 분쇄기로 분말화한 후, 100 mesh의 체로 쳐서 복합보드용 숯 원료로 사용하였다.

2.2. 시험방법

2.2.1. 녹차-숯-목재섬유 복합보드 제조

복합보드는 목재섬유에 대한 녹차분말 및 숯분말(흑탄, 백탄, 활성탄)의 배합비율을 Table 1과 같이

Fig. 1. Static four point bending test of hybrid composite boards made with green tea, charcoals and wood fiber.

하여 가로 330 mm, 세로 330 mm, 두께 12 mm의 녹차-숯-목재섬유 복합보드 20종류를 제조하였다. 바인더로 사용된 접착제는 포르말데히드 방산량을 기준으로 분류되는 E₀급 요소수지(0.5 mg/ℓ 이하)와 E₁급 요소수지(1.5 mg/ℓ 이하)를 사용하였다. 보드 제조시의 열압조건은 열압기의 열판온도 150°C, 압체압력 1.96 MPa, 압체시간 4분 30초로 설정하였고, 보드제조 후, 20°C, 65%RH의 항온항습실에서 일주일 이상 양생하였다.

2.2.2. 녹차-숯-목재섬유 복합보드의 정적 휨 강도 시험

녹차-숯-목재섬유 복합보드의 정역학적 특성을 조사하기 위하여 실시한 정적 휨 시험은 300 mm (W) × 12 mm (T) × 300 mm (L)의 복합보드로부터 200 mm 폭으로 절단하여 Fig. 1과 같이 스패 270 mm, 하중점과 지점 사이의 거리 90 mm, 하중속도 5 mm/min의 4점하중방식으로 실시하였다. 단 하중속도는 시험편의 충격에 의한 변형을 감소시키기 위하여 KS F 3200의 섬유판 휨 시험의 규정보다 1/2의 속도로 감소시켜 실시하였다. 시험편 개수는 각 조건별 평균 20개로 하였다.

하중은 녹차-숯-목재섬유 복합보드의 길이방향에 직교하게 부하하였고, 만능재료시험기(Instron 5969)

Fig. 2. Internal bond test of hybrid composite boards made with green tea, charcoals and wood fiber.

를 이용하여 녹차-숯-목재섬유 복합보드 시험편의 하중-변위(처짐) 곡선을 그렸다. 하중-변위곡선으로부터 식 (1)을 이용하여 휨 탄성계수를 구하였고, 식 (2)를 이용하여 휨 강도를 구하였다.

$$Pa(3\ell^2 - 4a^2) / 4bh^3y \quad (1)$$

여기서, P : 하중, ℓ : 스패, a : 하중점과 지점 사이의 거리, b : 시험편의 폭, h : 시험편의 두께, y : 처짐.

$$3P_{max}a / bh^2 \quad (2)$$

여기서, P : 최대하중, ℓ : 스패, a : 하중점과 지점 사이의 거리, b : 시험편의 폭, h : 시험편의 두께.

2.2.3. 녹차-숯-목재섬유 복합보드의 박리강도 시험

시험편은 가로 300 mm, 세로 300 mm, 두께 12 mm의 녹차-숯-목재섬유 복합보드로부터 가로 50 mm, 세로 50 mm, 두께 12 mm의 블록을 제작하였고, 20°C, 65%RH의 항온항습실에서 1주일 이상 조습하여 박리강도시험용 시험편으로 사용하였다. 시험편의 개수는 복합보드의 구성원료의 배합비율에 따라 각각 18개씩 총 360개의 시험편을 제작하였다.

녹차-숯-목재섬유 복합보드의 접착성능을 조사하기 위하여, 일본의 공업규격인 JIS A 5908의 규정에

Table 2. Results of static bending test of hybrid composite boards composed of green tea, 3 kinds of charcoals and wood fiber

T_A	T_{HB}	ρ (g/cm ³)	E_s (GPa)	σ (MPa)	SE_s (GPa)	$S\sigma$ (MPa)
E ₀ grade urea resin	Control	0.780 (2.4)	4.92 (4.5)	43.0 (6.3)	6.30 (2.3)	55.2 (5.4)
	GBW 2.5 : 2.5 : 95	0.784 (2.9)	4.68 (5.3)	38.3 (5.4)	5.97 (3.8)	48.9 (4.7)
	GBW 5 : 5 : 90	0.764 (2.8)	4.25 (7.2)	31.6 (9.6)	5.56 (4.7)	41.4 (8.8)
	GBW 10 : 10 : 80	0.756 (3.0)	3.57 (12.1)	25.3 (22.8)	4.71 (10.0)	33.3 (20.7)
	GFW 2.5 : 2.5 : 95	0.752 (4.4)	4.23 (11.9)	32.4 (10.2)	5.61 (9.0)	43.1 (7.7)
	GFW 5 : 5 : 90	0.776 (2.9)	4.67 (6.6)	43.1 (7.3)	6.01 (4.4)	55.5 (6.2)
	GFW 10 : 10 : 80	0.786 (2.3)	4.11 (5.0)	29.4 (9.2)	5.23 (3.3)	37.4 (8.5)
	GAW 2.5 : 2.5 : 95	0.765 (2.0)	4.37 (3.6)	37.7 (7.3)	5.71 (2.4)	49.3 (7.4)
	GAW 5 : 5 : 90	0.786 (3.0)	4.45 (6.4)	36.9 (9.7)	5.66 (3.8)	46.9 (9.8)
	GAW 10 : 10 : 80	0.781 (2.1)	3.98 (4.4)	28.3 (5.5)	5.09 (3.8)	36.2 (5.2)
E ₁ grade urea resin	Control	0.785 (2.2)	5.08 (4.5)	48.9 (5.8)	6.47 (3.5)	62.2 (5.4)
	GBW 2.5 : 2.5 : 95	0.756 (2.7)	4.56 (4.4)	40.4 (8.3)	6.04 (3.5)	53.4 (8.0)
	GBW 5 : 5 : 90	0.752 (2.9)	4.25 (5.8)	36.2 (8.2)	5.65 (3.3)	48.1 (7.3)
	GBW 10 : 10 : 80	0.764 (2.3)	3.87 (5.3)	32.6 (7.2)	5.06 (5.2)	42.7 (6.9)
	GFW 2.5 : 2.5 : 95	0.777 (3.4)	4.74 (6.3)	44.3 (10.1)	6.09 (3.5)	56.9 (8.1)
	GFW 5 : 5 : 90	0.776 (2.9)	4.67 (6.6)	43.1 (7.3)	6.01 (4.4)	55.5 (6.2)
	GFW 10 : 10 : 80	0.761 (2.5)	4.04 (4.8)	34.5 (6.8)	5.31 (2.7)	45.2 (5.0)
	GAW 2.5 : 2.5 : 95	0.775 (2.3)	4.80 (4.9)	43.5 (9.8)	6.19 (3.4)	56.1 (9.5)
	GAW 5 : 5 : 90	0.712 (4.2)	4.14 (9.3)	25.6 (24.1)	5.80 (5.6)	35.9 (23.6)
	GAW 10 : 10 : 80	0.762 (5.4)	3.89 (10.4)	30.7 (12.9)	5.09 (6.1)	40.2 (8.9)

Notes ; The values are the average of twenty measurements. T_A : Types of adhesives, T_{HB} : Types of hybrid boards, ρ : Density, E_s : Static bending modulus of elasticity, σ : Bending strength, SE_s : E_s /specific gravity, $S\sigma$: σ /specific gravity, Each value in parentheses is the coefficient of variation.

Fig. 3. Static bending modulus of elasticity (E_s) of hybrid composite boards composed of green tea, 3 kinds of charcoals and wood fiber.

Notes : ▲ : Averaged values. GBW, GFW and GAW: See the note in Table 1.

맞게 제작한 금속블록을 시험편의 양면에 핫멜트수지로 접착하였고, 이 블록을 재료시험기의 하중어테치먼트에 걸어 인장하중을 가하여 시험편을 박리시켜 파괴하였다. 하중속도는 1 mm/min로 하였다. 단 하중속도는 시험편의 충격에 의한 변형을 감소시키기 위하여 KS F 3200의 섬유판 인장박리시험의 규정보다 1/2의 속도로 감소시켜 실시하였다. 인장박리시험의 사진을 Fig. 2에 나타낸다. 하중은 시험편의 판면에 수직으로 작용시켰고, 시험편의 박리파괴시의 최대하중을 구하여 다음의 식 (3)을 이용하여 박리강도(IB)를 산출하였다.

$$IB = P/A \quad (3)$$

여기서, P 는 박리 파괴시의 최대하중, A 는 시험편의 판면적.

3. 결과 및 고찰

3.1. 녹차-숯-목재섬유 복합보드의 휨 탄성계수

녹차-숯-목재섬유 복합보드의 정적 휨 시험의 결과를 바인더로 사용한 접착제의 종류에 따라 Table 2에 나타내고, 복합보드의 구성원료의 종류 및 그 배합비율이 복합보드의 정적 휨 탄성계수에 미치는 영향을 Fig. 3에 나타내었다.

녹차-숯-목재섬유 복합보드의 정적 휨 탄성계수는 E_0 급 요소수지를 바인더로 사용하였을 경우, 흑탄함유 복합보드는 3.57~4.68 GPa, 백탄함유 복합보드는 4.11~4.67 GPa, 그리고 활성탄함유 복합보드에서는 3.98~4.45 GPa의 범위에 있었고, 구성원료의 종류에 따른 휨 탄성계수의 뚜렷한 차이는 나타나지 않았지만, 백탄함유 복합보드가 전반적으로 약간 높은 값을 나타내었다. E_1 급 요소수지를 바인더로 사용하였을 경우, 흑탄함유 복합보드는 3.87~4.56 GPa, 백탄함유 복합보드는 4.04~4.74 GPa, 그리고 활성탄함유 복합보드에서는 3.89~4.80 GPa의 범위에 있었고, 백탄이 평균적으로 약간 높은 값을 나타내었으나, 숯의 종류에 따른 휨 탄성계수의 뚜렷한 차이는 나타나지 않았다.

녹차와 숯의 배합비율이 증가할수록 모든 복합보드에서 휨 탄성계수는 감소하는 경향을 나타내었다. 이것은 전보(박 등, 2010)의 녹차-목재섬유 복합보드의 결과에서도 나타난 바와 같이, 원료의 길이가 길고 탄성계수가 우수한 목재섬유의 기여는 감소하고, 분말로 구성되어 탄성계수가 낮은 녹차나 숯의 기여는 증가하기 때문으로 생각된다. 녹차와 숯의 배합비율 증가에 따른 휨 탄성계수의 감소비율은 활성탄함유 복합보드가 가장 컸고, 백탄함유 복합보드가 가장 적은 것이 확인되었다. 이 값은 목재섬유로만 구성된 대조보드보다 0.73~0.95배의 낮은 값을 나타내었고, 녹차-목재 복합보드의 휨 탄성계수보다는 1.3~1.7배의 높은 값을 나타내었고, 그 증가비율은 3종류의 숯을 함유한 모든 복합보드에서 E_0 급 요소수지를 바인더로 사용한 복합보드가 E_1 급 요소수지를 바인더로 사용한 그것에 비해 높은 값을 나타내었다. 그러나 녹차와 숯의 배합비율 10%까지는 휨 탄성계수의 감소가 크지 않았고, 녹차-목재섬유 복합보드의 결과와 비슷한 경향을 나타내었다.

녹차-숯-목재복합보드의 비 휨 탄성계수(휨 탄성계수/비중)는 E_0 급 요소수지를 바인더로 사용한 경우, 흑탄함유 복합보드에서는 4.71~5.97 GPa, 백탄함유 복합보드에서는 5.23~6.01 GPa, 활성탄함유 복합보드에서는 5.09~5.71 GPa의 값을 나타내었고, E_1 급 요소수지를 바인더로 사용한 경우, 흑탄함유 복합보드에서는 5.06~6.04 GPa, 백탄함유 복합보드에서는 5.31~6.09 GPa, 활성탄함유 복합보드에서는 5.09~6.19 GPa의 값을 나타내었다. 이 값은 휨 탄성계수의 1.27~1.40배의 높은 값을 나타내었고, E_1 급 요소수지를 바인더로 사용한 경우가 E_0 급 요소수지를 바인더로 사용한 경우보다 비 휨 탄성계수의 증가비율이 약간 큰 것이 확인되었다.

3.2. 녹차-숯-목재섬유 복합보드의 휨 강도

녹차-숯-목재섬유 복합보드의 구성원료의 종류 및 그 배합비율이 복합보드의 정적 휨 강도에 미치는 영향을 Fig. 4에 나타낸다. 복합보드의 휨 강도는 E_0 급

Fig. 4. Bending modulus of rupture (σ) of hybrid composite boards composed of green tea, 3 kinds of charcoals and wood fiber.

Note: ▲ : Averaged values. GBW, GFW and GAW: See the note in Table 1.

요소수지를 사용하였을 경우, 흑탄함유 복합보드에서는 25.3~38.3 MPa, 백탄함유 복합보드에서는 29.4~43.1 MPa, 그리고 활성탄함유 복합보드에서는 28.3~37.7 MPa의 범위에 있었고, 백탄함유 복합보드가 약간 높은 값을 나타내었으나, 구성원료의 종류에 따른 휨 강도의 차이는 크지 않았다. E₁급 요소수지를 바인더로 사용하였을 경우, 흑탄함유 복합보드에서는 32.6~40.4 MPa, 백탄함유 복합보드에서는 34.5~44.3 MPa, 그리고 활성탄함유 복합보드에서는 25.6~43.5 MPa의 범위에 있었고, E₀급 요소수지를 바인더로 사용한 경우와 같이 백탄이 전반적으로 약간 높은 값을 나타내었으나, 구성원료의 종류에 따른 휨 강도의 차이는 크지 않았다.

복합보드의 녹차와 숯의 배합비율이 증가함에 따라 전반적으로 휨 강도는 감소하는 경향을 나타내었고, 이 결과는 저자 등의 선행연구(박 등, 2010; 2011)를 비롯하여, 박 등(1976)이 보고한 톱밥혼합 파티클보드, 전 양(1985)이 보고한 마섬유함유 하드보드, 이 등(1993)이 보고한 과쇄한 제지 슬러지 함유 파티클보드, 이와 박(1982)이 보고한 수피함유 파티클보드, 박(2006)의 은행나무 잎 분말함유 파티클보드 등의 연구에서 강도성능이 낮은 녹차, 톱밥, 마섬유, 제지 슬러지, 수피, 은행나무 잎분말의 배합비율이 증가할수록 휨 강도는 감소한다는 보고와 일치한다. 그리고 녹차와 숯의 배합비율의 증가에 따른 휨 강도의 그 감소비율은 E₀급 요소수지를 바인더로 사용하였을 경우, 흑탄 > 활성탄 > 백탄함유 복합보드의 순이었고, E₁급 요소수지를 바인더로 사용하였을 경우, 활성탄 > 흑탄 > 백탄함유 복합보드의 순으로, 휨 탄성계수에서와 같이 백탄함유 복합보드는 다른 숯에 비해 그 함유량이 다소 높아져도 휨 강도의 감소량이 적은 것이 확인되었다. 이것은 내구성과 기능성을 겸비한 건축내장재료의 폭 넓은 응용가능성을 나타낸다. 이 값은 녹차 및 숯을 함유하지 않은 대조보드보다 E₀급 요소수지를 바인더로 사용하였을 경우에는 0.59~0.92배, E₁급 요소수지를 바인더로 사용하였을 경우에는 0.51~0.91배의 낮은 값을 나타내었고, 녹차 및 숯의 함유량의 증가에 따른 휨 강도의 감소 정도는 휨 탄성계수보다 큰 것이 확인되었

다. 이 값은 전보(박 등, 2010)의 녹차-목재섬유 복합보드의 그것보다 0.85~1.7배의 값을 나타내었고, 녹차와 숯의 배합비율 10%에서 높은 변동계수로 낮은 값을 나타낸 활성탄 함유 복합보드를 제외하고 모든 복합보드에서 녹차-목재섬유 복합보드보다 휨 강도가 향상되었으며, 그 증가비율은 E₀급 요소수지를 바인더로 사용한 복합보드가 E₁급 요소수지를 바인더로 사용한 그것보다 큰 것이 확인되었다. 바인더로 사용한 요소수지의 종류에 의한 차이는 E₁급 요소수지가 E₀급 요소수지의 약 1.05~1.37배의 높은 값을 나타내어 녹차-목재섬유 복합보드의 그것과 일치하는 경향을 나타내었고, 바인더로 사용한 E₀급과 E₁급 요소수지 사이는 차이 녹차-목재섬유 복합보드의 1.3~1.8배보다 상당량 감소하는 것이 확인되었다. 또한, 이 값은 녹차와 숯의 배합비율 10%까지는 한국산업표준규격(KS F 3200, 2011)에 제시된 중밀도 섬유판(MDF)의 휨 강도에 따른 4가지 유형 중 최상위 35형(35 MPa 이상)에 상당하는 값을 나타내었고, 배합비율 20%에서도 중상위 유형인 30형(30 MPa 이상) 및 25형(25 MPa 이상)에 상당하는 값을 나타내는 것이 확인되었다.

녹차-숯-목재복합보드의 비 휨 강도(휨강도/비중)는 E₀급 요소수지를 바인더로 사용한 경우, 흑탄함유 복합보드에서는 33.3~48.9 MPa, 백탄함유 복합보드에서는 37.4~55.5 MPa, 활성탄함유 복합보드에서는 36.2~49.3 MPa의 값을 나타내었고, E₁급 요소수지를 바인더로 사용한 경우, 흑탄함유 복합보드에서는 42.7~53.4 MPa, 백탄함유 복합보드에서는 45.2~56.9 MPa, 활성탄함유 복합보드에서는 35.9~56.1 MPa의 값을 나타내었다. 이 값은 휨 강도의 1.27~1.41배의 높은 값을 나타내었고, E₁급 요소수지를 사용한 경우가 E₀급 요소수지를 사용한 경우보다 비 휨 강도의 증가비율이 약간 큰 것이 확인되었다.

3.3. 녹차-숯-목재섬유 복합보드의 박리강도

복합보드의 박리강도를 평가하기 위한 인장박리시

Table 3. Results of internal bond measurements of hybrid composite boards composed of green tea, 3 kinds of charcoals and wood fiber

T _A	T _{IB}	ρ (g/cm ³)	IB (MPa)	SIB (MPa)	T _A	T _{IB}	ρ (g/cm ³)	IB (MPa)	SIB (MPa)
E ₀ grade urea resin	Control	0.802	0.731 (0.1)	0.910 (0.1)	E ₁ grade urea resin	Control	0.770	0.641 (0.1)	0.833 (0.1)
	GBW 2.5 : 2.5 : 95	0.821	0.594 (0.1)	0.724 (0.1)		GBW 2.5 : 2.5 : 95	0.777	0.473 (0.2)	0.611 (0.2)
	GBW 5 : 5 : 90	0.790	0.564 (0.2)	0.712 (0.2)		GBW 5 : 5 : 90	0.739	0.608 (0.1)	0.824 (0.1)
	GBW 10 : 10 : 80	0.794	0.560 (0.2)	0.705 (0.2)		GBW 10 : 10 : 80	0.776	0.526 (0.3)	0.673 (0.3)
	GFW 2.5 : 2.5 : 95	0.788	0.703 (0.1)	0.891 (0.1)		GFW 2.5 : 2.5 : 95	0.802	0.615 (0.2)	0.765 (0.2)
	GFW 5 : 5 : 90	0.793	0.751 (0.1)	0.948 (0.1)		GFW 5 : 5 : 90	0.777	0.644 (0.1)	0.828 (0.1)
	GFW 10 : 10 : 80	0.812	0.782 (0.2)	0.964 (0.2)		GFW 10 : 10 : 80	0.770	0.681 (0.1)	0.884 (0.1)
	GAW 2.5 : 2.5 : 95	0.787	0.560 (0.2)	0.712 (0.2)		GAW 2.5 : 2.5 : 95	0.790	0.670 (0.1)	0.847 (0.1)
	GAW 5 : 5 : 90	0.791	0.699 (0.2)	0.885 (0.2)		GAW 5 : 5 : 90	0.770	0.627 (0.2)	0.814 (0.2)
	GAW 10 : 10 : 80	0.792	0.694 (0.1)	0.875 (0.1)		GAW 10 : 10 : 80	0.785	0.690 (0.2)	0.877 (0.2)

Notes : The values are the average of 18 measurements. IB : Internal bond, SIB : IB/specific gravity, ρ , T_A, T_{IB} : See the note in Table 1. Each value in parentheses is the coefficient of variation.

험의 결과를 Table 3에 나타내고, 복합보드의 구성원료 및 그 배합비율이 복합보드의 박리강도에 미치는 영향을 Fig. 5에 나타낸다.

복합보드의 박리강도는 Fig. 5에 나타난 것처럼, E₀급 요소수지를 바인더로 사용하였을 경우, 흑탄함유 복합보드에서는 0.560~0.594 MPa, 백탄함유 복합보드에서는 0.703~0.782 MPa, 그리고 활성탄함유 복합보드에서는 0.560~0.699 MPa의 범위로 백탄 > 활성탄 > 흑탄의 순으로 박리강도의 크기가 나타났고, 모든 녹차와 숯의 배합비율에서 백탄함유 복합보드가 가장 높은 값을 나타내는 것이 확인되었다. 이 값은 목재섬유로만 구성된 대조보드보다 흑탄함유 복합보드에서는 0.77~0.81배, 활성탄함유 복합보드에서는 0.77~0.96배의 다소 낮은 값을 나타내었으나, 백탄함유 복합보드에서는 0.96~1.07배로 대조보드와 거의 비슷한 박리강도를 나타내는 것이 확인

되었다.

한편, E₁급 요소수지를 사용하였을 경우, 흑탄함유 복합보드에서는 0.473~0.608 MPa, 백탄함유 복합보드에서는 0.615~0.681 MPa, 그리고 활성탄함유 복합보드에서는 0.627~0.690 MPa의 범위에 있었고, 활성탄함유 복합보드가 가장 높은 값을 나타내었으나, 백탄함유 복합보드와의 차이는 적었다. 이 값은 목재섬유로만 구성된 대조보드보다 흑탄함유 복합보드에서는 0.74~0.95배의 낮은 값을 나타내었으나, 백탄 및 활성탄함유 복합보드에서는 0.96~1.1배의 거의 비슷한 박리강도를 나타내는 것이 확인되었다. 바인더로 사용한 요소수지의 종류에 따른 차이를 보면 포름알데히드의 몰비가 적은 E₀급 요소수지가 E₁급 요소수지보다 약간 높은 값을 나타내었는데, 이것은 제조한 보드의 밀도가 E₀급 요소수지를 바인더로 사용한 복합보드가 E₁급 요소수지를 바인

Fig. 5. Effect of the kind and component ratio of raw materials on internal bond (IB) of hybrid composite boards composed of green tea, 3 kinds of charcoals and wood fiber

Legend : ■ : Averaged values. GBW, GFW and GAW : See the note in Table 1.

더로 사용한 그것보다 다소 높았던 것과 제한된 환경에서의 보드 제조조건과 양이 많아 수지의 보관기간의 차이 등에 기인한 것으로 생각된다.

녹차-숯-목재섬유 복합보드의 비박리강도(박리강도/비중)는 E₀급 요소수지를 바인더로 사용한 경우, 흑탄 함유 복합보드에서는 0.705~0.724 MPa, 백탄함유 복합보드에서는 0.891~0.964 MPa, 활성탄함유 복합보드에서는 0.712~0.885 MPa의 값을 나타내었고, E₁급 요소수지를 바인더로 사용한 경우, 흑탄함유 복합보드에서는 0.611~0.824 MPa, 백탄함유 복합보드에서는 0.765~0.884 MPa, 활성탄함유 복합보드에서는 0.814~0.877 MPa의 값을 나타내었다. 이 값은 박리강도의 1.2~1.4배의 높은 값을 나타내었고, E₁급 요소수지를 바인더로 사용한 경우가 E₀급 요소수지를 바인더로 사용한 경우보다 비박리강도의 증가비율이 약간 큰 것이 확인되었다.

4. 결 론

1) 녹차-숯-목재섬유 복합보드의 휨 강도성능은 전체적으로 백탄의 강도성능이 우수하였으나, 숯의 종류에 따른 차이는 크지 않았다. 녹차 및 숯의 배합에 따라 대조보드의 그것보다 휨 강도성능은 감소하였고, 그 감소비율은 녹차 및 숯의 배합비율이 증가할수록 커지는 것이 확인되었으나, 배합비율 10%까지의 감소량은 크지 않았다.

2) 녹차-숯-목재섬유 복합보드의 제조에 사용한 수지의 종류에 따른 휨 강도의 차이는 포름알데히드 함유량이 높은 E₁급 요소수지가 E₀급 요소수지보다 약 1.05~1.37배의 높은 휨 강도를 나타내는 것이 확인되었다.

3) 배합한 숯의 종류에 따라 백탄 $\geq$ 활성탄 > 흑탄 순으로 높은 박리강도를 나타내었고, 이 값은 백탄함유 복합보드에서는 목재섬유만으로 된 대조보드의 0.96~1.1배의 값을 나타내어 양자의 차이가 거의 없는 것이 확인되었다.

참 고 문 헌

1. 한국산업표준규격. 2011. KS F 3200. 섬유판.
2. 강춘원, 박희준, 전순식. 2012. 역새파티클보드의 흡음 성능과 휨강도성능. 목재공학 40(1): 38~43.
3. 공석우, 김병로. 2002. 국산 주요 수종 및 목질재료 탄화물의 흡착 특성. 목재공학 30(4): 33~40.
4. 박상범. 2006. 은행나무 잎을 혼합하여 제조한 파티클보드의 물리·기계적 성질과 포름알데히드 저감효과. 임산에너지 25(2): 28~33.
5. 박상범, 박주생. 2012. 대나무 숯 성형보드의 연소특성. 목재공학 40(1): 19~25.
6. 박수경, 서문배, 이필우. 1976. 톱밥혼합물이 파티클보드재질에 미치는 영향. 목재공업 4(1): 33~37.
7. 박한민, 강동현, 임나래, 이수경, 정강원, 김종철, 조정환. 2010. 녹차와 목재섬유복합보드의 정적 휨 강도성능에 미치는 녹차배합비율의 영향. 농업생명과학연구 44(5): 1~8.
8. 박한민, 이수경, 석지훈, 최남경, 권창배, 허황선, 변희섭, 양재경, 김종철. 2011a. 녹차-목재섬유복합보드의 동적탄성률에 미치는 녹차배합비율의 영향 및 휨 진동법에 의한 정적 휨 강도성능 예측. 목재공학 39(6): 538~547.
9. 박한민, 이수경, 석지훈, 최남경, 권창배, 허황선, 김종철. 2011b. 목재섬유, 톱밥 및 녹차 이중복합보드의 정적 휨 강도성능에 미치는 녹차 및 톱밥 배합비율의 영향. 농업생명과학연구 45(6): 41~46.
10. 박한민, 이수경, 석지훈, 최남경, 권창배, 허황선, 변희섭, 양재경, 김종철. 2012. 이중복합보드의 동적탄성률에 미치는 녹차와 톱밥배합비율의 영향 및 정적 휨 강도성능의 예측. 농업생명과학연구 46(2): 9~17.
11. 박한민, 허황선, 남경한, 임재섭. 2012. 녹차-숯-목재섬유 복합보드의 물리적 특성. 목재공학 투고중.
12. 안병준, 조태수, 이성숙, 백기현, 김선익. 2009. 목탄을 이용한 친환경 건축자재 이용기술 (I)-목탄으로 제조된 건축자재의 특성평가-. 목재공학 37(6): 537~545.
13. 오승원, 박희준. 2010. 톱밥과 왕겨 혼합보드로 제조된 세라믹의 표면온도변화-수지함침률 및 탄화온도의 영향-. 목재공학 38(1): 43~48.
14. 이원희, 변희섭, 배현미. 1998. 페타이어를 이용한 목질고무 복합패널의 물성에 관한 연구-원료혼합비율에 따른 복합패널의 재질변화-. 목재공학 26(1): 70~75.
15. 이필우, 윤형운, 김대준, 손정일. 1993. 슬러지-파티클보드의 제조가능성 및 구성비율에 관한 기초연구. 목재공학 21(2): 57~65.

16. 전 양. 1985. 마섬유 첨가로 인한 하드보드 재질변화. 목재공학 13(6): 36~39.
17. 이세나, 이병호, 김현중, 김수민, 엄영근. 2009. 대나무 분말의 함량 및 입자크기에 따른 바이오 복합재의 물성평가. 목재공학 37(4): 310~319.
18. 이오규, 최원준, 조태수, 백기현. 2007. 목탄계 건축자재에 의한 포름알데히드 흡착. 목재공학 35(3): 61~69.
19. 한태형, 신랑호, 권진현. 2005. 목재파티클과 재생폴리프로필렌을 이용한 복합패널제조 및 물성에 관한 연구. 목재공학 33(6): 46~54.
20. 井出 勇、石原 茂久、川井秀一、吉田 弥壽郎、中路 誠、高松 敦久. 1991. 耐火性炭素複合材料の製造と開発(第1報) - グラファイトフェノールホルムアルデヒド樹脂熱硬化性オーバーレイしたパーティクルボードの耐火性能と物性. 木材學會誌 37(11): 1026~1033.
21. 井出 勇、石原 茂久、樋口 尚登、西川 昌信. 1994. 竹炭からの機能性炭素複合材料素材の開発. 材料 43(485): 152~157.