

톱밥-귤박 파티클보드의 역학적 성능에 미치는 밀도와 귤박첨가율의 영향¹

Taiquan Jin² · 강 춘 원^{2,†} · 오 승 원³ · 황 정 우³

Effect of Density and Mixing Ratio of Mandarin Peels on The Bending Performance of Sawdust-Mandarin Peels Particleboards¹

Taiquan Jin² · Chun-Won Kang^{2,†} · Seung-Won Oh³ · Jung-Woo Hwang³

요 약

본 연구는 밀도와 귤박첨가율이 다른 톱밥-귤박 파티클보드의 동적·정적탄성계수와 휨강도를 측정, 비교하여 밀도와 귤박의 첨가율이 파티클보드의 역학적 성능에 주는 영향과 동적탄성계수와 정적 휨강도 성능사이의 관계를 조사하였다. 톱밥-귤박 파티클보드의 밀도가 0.4에서 0.6 g/cm³로 증가할수록 휨성능은 증가하여, 밀도가 휨성능에 크게 영향하였으며, 밀도 0.4 g/cm³와 0.5 g/cm³의 톱밥-귤박 파티클보드에서 귤박의 첨가량이 증가할수록 휨성능은 감소하는 경향을 나타내었다. 톱밥-귤박 파티클보드의 동적탄성계수, 정적탄성계수 그리고 휨강도 사이에 높은 상관관계가 확인되었으며 양단 자유 휨진동시험에 의한 동적탄성계수로부터 비파괴적으로 정적 휨강도 성능의 예측이 가능할 것으로 사료되었다.

ABSTRACT

This study was carried out to estimate the effects of density and mixing ratio of mandarin peels on the bending performances of the sawdust-mandarin peels particle boards. The board density influenced significantly to the bending performance of boards. Dynamic modulus of elasticity (dMOE) and static modulus of elasticity (sMOE) and modulus of rupture (MOR) of particle boards decreased with an increase in the mixing ratio of mandarin peels at the board densities of 0.4 g/cm³ and 0.5 g/cm³. High correlations were found between the dMOE and sMOE, and dMOE and MOR of particle boards prepared. Therefore, it was concluded that the dMOE obtained by free vibration test using resonance frequency could be used for predicting the sMOE and MOR of sawdust-mandarin peels particle boards.

¹ Date Received November 27, 2014, Date Accepted January 20, 2015

² 전북대학교 생활과학대학 주거환경학과, 인간생활과학연구소. Department of Housing Environmental Design, and Research institute of Human Ecology, College of Human Ecology, Chonbuk National University, 567 Baeje-daero, deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do, 561-756, Korea

³ 전북대학교 농업생명과학대학 목재응용학과. Department of Wood Science and Technology, College of Agriculture & Life Sciences, Chonbuk National University, 567 Baeje-daero, deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do, 561-756, Korea

[†] 교신저자(Corresponding author) : 강춘원(e-mail: kcwon@jbnu.ac.kr)

Keywords : sawdust, mandarin peels, particle boards, dynamic modulus of elasticity, static modulus of elasticity, modulus of rupture, resonance frequency

1. 서 론

최근 친환경건축자재 선호로 인해 목재와 목질재료소비가 증가하는 상황에 대처하고 목질원료의 안정적 수급과 부족한 목재자원의 대체원료 개발의 차원에서 일상생활 폐기물, 농산물 폐기물 등과 목질재료와의 복합화에 의한 새로운 목질복합재료에 대한 연구개발이 활발해지고 있다(Kang *et al.* 2010; Park *et al.* 2011; Kang *et al.* 2012; Oh *et al.* 2012; Yang *et al.* 2013). 폐기물의 처리는 일반적으로 환경문제를 유발하므로 폐기물을 재활용하는 것은 환경문제의 해결은 물론 다음세대를 위한 자원보존 측면에도 중요하다. 따라서 농산폐기물을 재활용한 새로운 복합재료개발은 목재자원의 부족에 따른 가격상승에 대처하고 저탄소녹색성장에 기여할 수 있는 방안이다.

우리 주변에는 적당한 활용방안이 개발되지 못한 여러 종류의 목질재료와 농업부산물이 있는데 그중 톱밥은 목재의 제재과정에서 발생하는 부산물로서 가축농가에서 분뇨처리용으로 사용되거나 부숙 부산물 제조 및 사료용으로 사용되고 있다. 산림청 통계자료에 따르면 제재업 부산물로 톱밥 생산량은 2009년 기준 약 32만 톤이며 저가의 농업용(51,000톤), 축산용(54,411톤)으로 10만 톤 이상 소비된다. 만약 톱밥을 효과적이고 고부가가치적으로 이용한다면 국내 임업과 목재가공 산업의 활성화에 기여할 것으로 생각된다. 국내산 감귤의 연간 생산량은 2007년도 기준 약 810,000톤이며, 외국의 경우 2005년 브라질과 미국을 포함한 주요 20개국의 감귤 생산량은 122,822,000톤 정도이며, 이들 중 85%는 주스로 가공되는데 가공 중 엄청난 양의 과피 등이 부산물로 나온다(Im *et al.* 2009). 굴박은 이미 오래 전부터 알려진 대로 건조시킬 경우 그 자체로도 진피라는 한약재로 쓰일 뿐 아니라 별도의 전처리 없이도 사료로서 활용될 수 있는 가능성도 있다(Jang *et al.* 2004). 하지만 굴박은 연중 2개월의 기간 동안 집중

적으로 발생하기 때문에 저장문제가 해결되지 않아 지역의 현안 문제로 대두되고 있으며 집중 발생 시에는 처분이 어려워 상당량을 해양투기 하고 있는데 부후기간이 길어 환경오염 문제가 심각하나 이를 효과적으로 처리할 수 있는 방안이나 기술이 없는 실정이다(Kim *et al.* 2011).

선행연구(Oh 2013)에서는 굴박과 제재소 부산물 톱밥을 혼합하여 복합파티클보드를 제조하고 굴박의 첨가비율에 따른 혼합보드의 물성 변화를 조사하였으며, 굴박의 첨가비율이 증가할수록 흡수율과 두께 팽창율은 감소하고 휨강도도 감소된다고 확인되었다.

한편 재료의 최종사용용도성능을 변화시키지 않으면서, 시험방법이 간단하고 정밀성과 재현성이 뛰어난 비파괴 방법이 널리 사용되고 연구되어지고 있으며, 진동시험에 의한 비파괴시험으로부터 휨강도 예측 가능여부가 연구되어지고 있다(Byeon *et al.* 2004; Byeon *et al.* 2011; Jin *et al.* 2011).

따라서 본 연구에서는 선행연구에 이어 톱밥과 굴박을 혼합하여 만든 톱밥-굴박 파티클보드의 탄성계수와 휨강도를 측정하고 밀도와 굴박첨가율이 파티클보드의 탄성계수와 휨강도에 미치는 영향, 동적탄성계수와 정적탄성계수와와의 상관관계를 분석하여 비파괴시험방법으로 휨강도 예측 가능 여부를 파악하고자 굴박첨가율 10%, 20%, 30%, 40%로 달리하여 밀도가 0.4 g/cm³, 0.5 g/cm³, 0.6 g/cm³인 톱밥-굴박 파티클보드를 제작하고 비파괴시험방법 중 흔히 사용되는 양단자유 휨진동 측정법을 적용하여 동적 탄성계수를 구하고 만능강도시험기를 이용하여 휨강도를 측정 후 그 상관관계를 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

보드 제조에 사용된 톱밥은 라디에타 파인(Pinus

radiata) 제재 시 발생된 것을 제재소에서 분양받아 사용하였으며, 보드 제조 시 시료의 균일함을 위하여 입자의 크기를 10~20 mesh로 선별하고 함수율은 9% 이하로 조절하였다. 굴뚝질은 산발적으로 발생하는 과피를 효율적으로 수집하는 방안이 미비하여 일단 본 시험에서는 동대문에 위치한 한약자재 도매상에서 구입하였고 분쇄기를 이용하여 분쇄한 후 10~20 mesh로 선별하고 함수율은 9% 이하로 조절하였다. 수지는 H사에서 사용되는 E1급 요소수지(고형분 60%)를 사용하였다.

2.2. 보드제조

보드를 제조하기 위하여 균일하게 선별된 톱밥과 굴박을 각각 에어스프레이를 이용하여 요소수지를 충분히 혼합한 후 매트를 성형하고 열압기의 열판위에 놓고 시료상부의 높이를 일정하게 조절한 후 열압성형 하여 35 cm × 35 cm × 1.1 cm의 보드를 제조하였다. 보드 제조 조건은 요소수지 첨가율은 보드 무게의 10%, 목표밀도를 0.4 g/cm³, 0.5 g/cm³ 그리고 0.6 g/cm³으로 3가지 조건으로 제조하였고, 밀도 별로 굴박의 첨가율을 보드무게의 10%, 20%, 30%, 40%로 4가지 조건으로 각 5매씩 총 60매의 보드를 제조하였다. 이때 열압온도는 150℃, 가압압력은 45 kgf/cm² → 35 kgf/cm² → 20 kgf/cm² (3단 가압), 가압시간 9분 → 2분 → 1분으로 3단 가압하였다. 열압과정에서 보드의 두께를 일정하게 하기 위하여 스톱바(distance bar)를 사용하였으며, 열에 의한 보드의 상·하면과 열판의 부착을 방지하기 위하여 테프론 코팅판을 사용하였다.

2.3. 동적탄성계수 측정

시험편의 중앙에 진동수신을 위한 가속도계(accelerometer, B&K)를 부착하고, 임팩트 해머(impact hammer, Type 8203, B&K)로 한쪽 끝을 가볍게 두드려 임팩트 해머와 가속도계에서 얻어낸 주파수응답함수(frequency response function)를 신호

분석기(FFT analyzer, Type 3065, B&K)로 분석하여 고유진동수(f_0)를 측정하였다. 각 시험편은 5회 가볍게 두드려 평균된 고유진동수(f_0)를 이용하여 회전관성과 전단영향을 고려한 공진주파수(resonance frequency, f)를 계산하고, 이 공진주파수를 이용하여 동적탄성계수(dMOE)를 구하였다. 공진주파수와 동적 탄성계수는 각각 식 (1)과 식 (2)를 이용하여 계산하였다(Kataoka and Ono 1975).

$$f = f_0(1 + \alpha h^2/l^2) \quad (1)$$

여기서, f_0 은 고유진동수(주파수분석기에서 얻어진 값), α 는 진동형태에 의한 상수 8.2, h 는 시험편 두께, l 은 시험편의 길이이다. 식 (1)에서 보정한 공진주파수 f 를 식 (2)를 이용하여 동적탄성계수를 구하였다.

$$dMOE = 48\pi^2 \rho l 4f^2/m^4 h^2 \quad (2)$$

여기서, ρ 는 밀도, l 은 시험편길이, f 는 공진주파수, m 은 기본 진동에 의한 상수로서 4.73, h 는 시험편두께이다.

2.4. 휨시험

톱밥-굴박 파티클보드의 정적 역학적 특성을 조사하기 위해 만능강도시험기(autograph 1.000 gh, shimadzu cooperation)를 이용하여 3점지지 중앙집중 하중, 스펠길이 16.5 cm의 조건으로 10 mm/min의 하중속도로 휨강도시험을 실시하고 식 (3)과 식 (4)를 이용하여 정적 탄성계수(sMOE)와 휨강도(MOR)를 구하였다.

$$sMOE = Pl^3 / 4bh^3y \quad (3)$$

여기서, P 는 하중, l 은 스펠길이, b 는 시험편의 폭, h 는 시험편의 두께, y 는 변위이다.

$$MOR = 3Pl / 2bh^2 \quad (4)$$

Table 1. Properties of particle boards made at different density and mixing rate of mandarin peels (f: resonant frequency, dMOE: dynamic modulus of elasticity, sMOE: static modulus of elasticity, MOR: modulus of rupture)

Mixing rate of mandarin peels (%)	Target density (g/cm ³)	Average density (g/cm ³)	f (Hz)	dMOE (MPa)	sMOE (MPa)	MOR (Mpa)
10	0.4	0.42 (0.02)	240.00 (16.30)	443.24 (77.58)	208.36 (38.52)	2.97 (0.59)
	0.5	0.49 (0.01)	254.00 (11.31)	572.20 (62.94)	239.57 (26.02)	3.65 (0.39)
	0.6	0.61 (0.01)	325.20 (5.43)	1162.78 (51.68)	487.56 (29.28)	3.49 (0.49)
20	0.4	0.42 (0.01)	212.20 (13.08)	349.19 (47.84)	155.32 (22.72)	1.96 (0.36)
	0.5	0.50 (0.01)	238.40 (11.92)	527.91 (65.84)	206.38 (25.80)	3.30 (0.47)
	0.6	0.62 (0.01)	323.89 (11.45)	1164.51 (89.94)	446.18 (29.26)	6.62 (0.54)
30	0.4	0.43 (0.02)	185.20 (17.31)	269.85 (58.86)	115.25 (25.52)	1.56 (0.38)
	0.5	0.49 (0.02)	204.00 (30.17)	388.94 (125.19)	159.07 (68.26)	2.42 (0.79)
	0.6	0.61 (0.02)	345.60 (15.99)	1327.28 (158.03)	459.95 (40.29)	5.68 (0.40)
40	0.4	0.42 (0.01)	165.00 (8.96)	214.47 (24.77)	94.09 (10.00)	1.30 (0.15)
	0.5	0.53 (0.01)	252.20 (15.62)	625.85 (81.39)	274.02 (37.12)	3.49 (0.64)
	0.6	0.62 (0.02)	325.20 (15.75)	1206.33 (143.05)	440.15 (44.93)	5.38 (0.49)

Notes: Numbers in parenthesis are standard deviations

여기서, P는 최대하중, l은 스패길이, b는 시험편의 폭, h는 시험편의 두께이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 톱밥-귤박 파티클보드의 역학적 성능과 밀도와의 관계

톱밥-귤박 파티클보드의 조건별 양단 자유 휨진동 시험에 의한 공진주파수와 동적탄성계수, 그리고 만능강도시험기에 의한 휨강도시험으로부터 얻은 정적탄성계수와 휨강도를 Table 1에 나타내었다. 목표밀

도 0.4 g/cm³, 0.5 g/cm³, 0.6 g/cm³의 톱밥-귤박 파티클보드의 실제밀도는 0.01~0.02 g/cm³의 편차를 나타내었다. 톱밥-귤박 파티클보드의 동적탄성계수는 214.47~1327.28 MPa의 범위, 정적탄성계수는 94.09~487.56 MPa의 범위, 휨강도는 1.3~6.62 MPa의 범위를 나타내었다. 귤박의 첨가율 10%일 때 휨강도는 밀도 0.5 g/cm³보다 0.6 g/cm³에서 약간 작은 값을 나타내었으나 전체적으로 동적·정적탄성계수와 휨강도는 밀도가 증가함에 따라 모두 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 Oh (2013)의 톱밥-귤박 파티클보드에 있어 밀도가 증가하면서 휨강도가 증가한다는 결과와 유사하였다.

Table 2. Regression models density and mechanical properties of the sawdust-mandarin peels particle boards (dMOE: dynamic modulus of elasticity, sMOE: static modulus of elasticity, MOR: modulus of rupture)

Properties	Mixing rate of mandarin peels (%)	Density (g/cm ³)	Equation	R ²
dMOE	10	0.4	$y = 3858.2x - 1161.6$	0.9419
		0.5	$y = 4112.7x - 1448.9$	0.6848
		0.6	$y = 5115x - 1946.3$	0.7286
	20	0.4	$y = 2489x - 703.27$	0.3865
		0.5	$y = 3654.2x - 1284$	0.6749
		0.6	$y = 5792.7x - 2414.9$	0.3769
	30	0.4	$y = 2818.8x - 974.99$	0.88
		0.5	$y = 4243x - 1704.9$	0.3501
		0.6	$y = 6512.4x - 2620.1$	0.8095
	40	0.4	$y = 1836.6x - 563.33$	0.29
		0.5	$y = 5946.6x - 2553.4$	0.5105
		0.6	$y = 7813.9x - 3664$	0.793
sMOE	10	0.4	$y = 1926.2x - 592.82$	0.9523
		0.5	$y = 1675x - 583.68$	0.6645
		0.6	$y = 2859.3x - 1250.4$	0.7093
	20	0.4	$y = 898.46x - 224.59$	0.2234
		0.5	$y = 1441.5x - 508.57$	0.684
		0.6	$y = 2115.3x - 860.94$	0.4749
	30	0.4	$y = 1236.9x - 420.8$	0.8681
		0.5	$y = 1711.6x - 685.6$	0.1917
		0.6	$y = 1022.3x - 159.7$	0.3069
	40	0.4	$y = 796.74x - 243.32$	0.3345
		0.5	$y = 2589.4x - 1110.4$	0.4654
		0.6	$y = 589.27x + 72.858$	0.0457
MOR	10	0.4	$y = 27.386x - 8.4219$	0.8162
		0.5	$y = 24.234x - 8.2569$	0.6111
		0.6	$y = 52.543x - 24.24$	0.8408
	20	0.4	$y = 11.514x - 2.9059$	0.147
		0.5	$y = 17.575x - 5.4176$	0.3053
		0.6	$y = 40.808x - 18.598$	0.5203
	30	0.4	$y = 17.763x - 6.0171$	0.7974
		0.5	$y = 23.478x - 9.1698$	0.2703
		0.6	$y = 7.3615x + 1.2171$	0.1655
	40	0.4	$y = 10.261x - 3.0414$	0.2343
		0.5	$y = 37.435x - 16.525$	0.3266
		0.6	$y = 7.5221x + 0.6939$	0.0616

Note: The model is of the form: $y = ax + b$.

톱밥-귤박 파티클보드의 역학적 성능에 미치는 밀도와 귤박첨가율의 영향

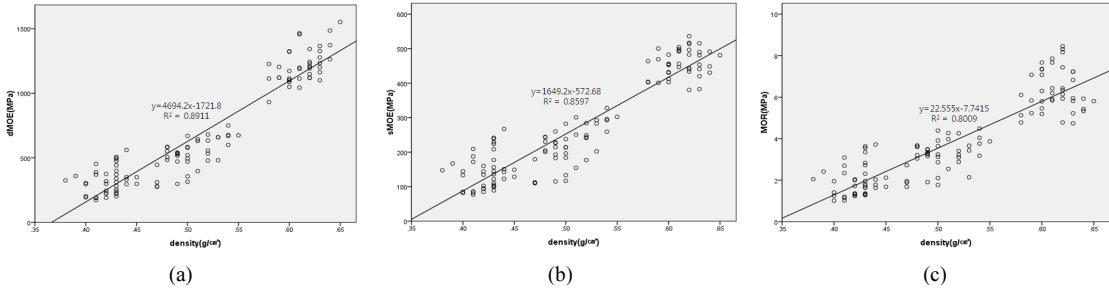


Fig. 1. Relation between density and mechanical properties of the sawdust and mandarin peels particle boards (a: relation between density and dynamic modulus of elasticity (dMOE), b: relation between density and static modulus of elasticity (sMOE), c: relation between density and modulus of rupture (MOR)).

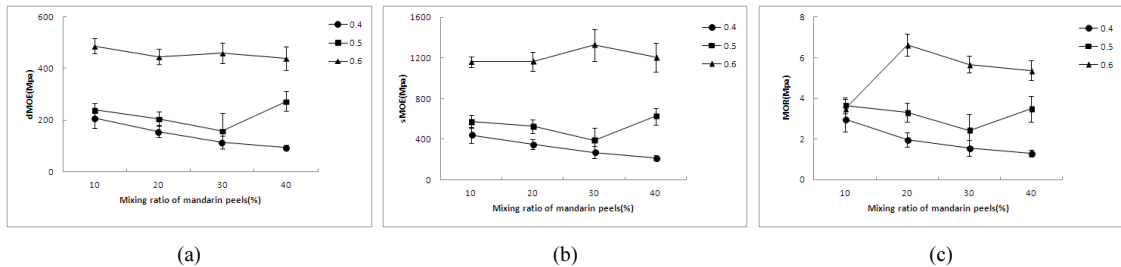


Fig. 2. The mechanical properties of the sawdust and mandarin peels particle boards (a: the dynamic modulus of elasticity (dMOE), b: the static modulus of elasticity (sMOE), c: the modulus of rupture (MOR)).

Table 2는 밀도가 톱밥-귤박 파티클보드의 강도적 성능에 미치는 영향을 파악하고자 조건별 톱밥-귤박 파티클보드의 밀도와 동적·정적 탄성계수, 휨강도와와의 상관관계를 분석한 결과이다. 톱밥-귤박 파티클보드의 밀도와 동적·정적 탄성계수 및 휨강도와와의 관계를 살펴보면 귤박첨가율이 10%, 밀도가 0.4 g/cm^3 일 때 밀도와 동적탄성계수 및 정적탄성계수 사이 결정계수 값(R^2)은 각각 0.9419, 0.9523으로 밀도가 탄성계수에 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났고, 귤박첨가율이 40%, 밀도가 0.4 g/cm^3 일 때 밀도와 휨강도 사이에서 0.8408로 최고의 결정계수 값을 나타내었다. 그러나 기타 귤박의 첨가율별 밀도와 동적·정적 탄성계수, 휨강도와와의 상관관계의 결정계수 값은 다양하게 나타내었다. 보통 동일한 원재료를 사용하였을 때 파티클보드의 밀도와 역학적 성능은 높은 상관관계를 이루고 있으나 두 가지 이상의 원재료를 사용한 복합재료인 경우 원재료 간의 밀도차이

와 접착력차이, 원재료를 혼합하는 과정에서 발생하는 편차로 인해 밀도와 역학적 성능과의 상관관계는 다소 불규칙하다고 선행연구에서 확인되었다(Park *et al.* 2011; Oh, 2013; Park *et al.* 2012). Fig. 1은 귤박 첨가율에 상관없이 파티클보드 전체를 통합하여 밀도가 동적 및 정적 탄성계수, 휨강도와와의 주는 영향을 분석한 결과이다. 밀도와 동적 및 정적 탄성계수, 휨강도 사이는 선형 상관관계를 이루며 결정계수 값은 각각 0.8911, 0.8597과 0.8009로써 밀도는 파티클보드의 기계적 성질에 가장 큰 영향을 주는 주요인자인 것으로 나타났다. 이 결과로부터 톱밥과 귤박을 혼합한 파티클보드에서 밀도는 동적 및 정적 탄성계수와 휨강도에 큰 영향을 주며 밀도로부터 탄성계수와 휨강도의 예측이 가능할 것으로 판단되나, 귤박첨가율이 증가할수록 파티클보드 제조과정에서 톱밥과 귤박을 균일하게 혼합하는데 더욱 유의해야 할 필요가 있을 것으로 사료된다.

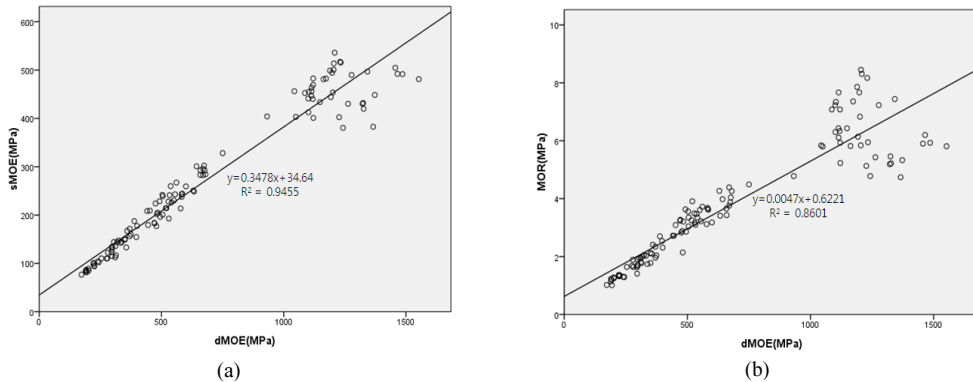


Fig. 3. Relation between dynamic modulus of elasticity (dMOE) and static modulus of elasticity (sMOE) (a) and the relation between dynamic modulus of elasticity (dMOE) and modulus of rupture (MOR) (b) for the sawdust and mandarin peels particle boards.

3.2. 톱밥-굴박 파티클보드의 역학적 성능과 굴박의 첨가율의 관계

Fig. 2에서 밀도 0.4 g/cm^3 일 때 굴박의 첨가율이 증가함에 따라 파티클보드의 동적·정적탄성계수와 휨강도는 모두 감소하는 것으로 나타나 굴박 첨가율이 증가할수록 굴박과 톱밥의 결합력이 떨어지는 것으로 판단된다. 밀도 0.5 g/cm^3 로 제조된 보드에서 굴박첨가율이 10%에서 30%로 증가함에 따라 동적·정적탄성계수와 휨강도는 감소하는 경향을 보였으나 굴박첨가율 40%일 때는 증가하는 경향을 나타내었다. 밀도 0.6 g/cm^3 에서는 굴박첨가율 10%일 때 동적탄성계수와 휨강도의 최저값은 각각 1162.78 MPa와 3.30 MPa로 나타났고, 정적탄성계수의 최저값은 굴박첨가율 40%일 때 440.15 MPa로 나타나서 톱밥에 대한 굴박의 첨가율별 탄성계수와 휨강도는 일정한 경향은 없는 것으로 나타났다. 또한 Fig. 2에서 밀도가 증가하면서 굴박첨가율 변화에 따른 강도 적성능의 편차가 큰것을 확인할 수 있다. 이는 밀도가 증가하면서 굴박의 양이 많기 때문에 파티클보드 제조과정 톱밥과 굴박의 혼합이 균일하지 않은 것이 원인인 것으로 사료된다. 전반적으로 톱밥의 밀도보다 훨씬 큰 밀도의 굴박은 부피를 아주 적게 차지하기 때문에 파티클보드의 역학적 성질은 주로 톱밥사이의 결합력에 의해 좌우되며 굴박의 첨가로 인해

톱밥사이의 결합력은 다소 영향을 받으나 밀도가 증가할수록 파티클보드 제조과정 톱밥과 굴박의 혼합이 균일하지 않아 일정한 경향을 나타내지 않은 것으로 판단된다.

3.3. 톱밥-굴박 파티클보드의 동적탄성계수와 정적 휨강도 성능과의 관계

Table 3은 조건별 톱밥-굴박 파티클보드의 동적탄성계수와 정적탄성계수 및 휨강도와와의 상관관계를 나타낸다. 톱밥-굴박 파티클보드의 동적탄성계수와 정적탄성계수와와의 관계를 살펴보면, 파티클보드의 밀도가 0.4 g/cm^3 와 0.5 g/cm^3 일 때 동적탄성계수와 정적탄성계수는 모두 0.9 이상의 결정계수 값을 나타내며 아주 높은 상관관계를 나타내었고, 밀도 0.6 g/cm^3 의 파티클보드에서는 굴박의 첨가율이 10%와 20%일 때 각각 0.8731과 0.8605의 결정계수 값으로 밀도 0.4 g/cm^3 와 0.5 g/cm^3 의 파티클보드보다 다소 낮지만 높은 상관관계를 나타내었으나, 굴박의 첨가율 30%와 40%일 때는 각각 0.3193과 0.0245의 결정계수 값으로 비교적 낮은 상관관계를 나타내었다. 굴박의 첨가율별 및 밀도별 파티클보드의 동적탄성계수와 휨강도와와의 상관관계를 살펴보면, 밀도가 0.4 g/cm^3 와 0.5 g/cm^3 인 파티클보드에서 굴박의 첨가율 10%와 30%일 때 모두 0.9 이상의 결정계수 값을 나

Table 3. Regression models between dynamic modulus of elasticity (dMOE) and static modulus of elasticity (sMOE) and dynamic modulus of elasticity (dMOE) and modulus of rupture (MOR) for the sawdust and mandarin peels particle boards

Properties	Density (g/cm ³)	Mixing rate of mandarin peels (%)	Equation	R ²
dMOE vs sMOE	0.4	10	$y = 0.4949x - 10.98$	0.9934
		20	$y = 0.4533x - 2.964$	0.9112
		30	$y = 0.4323x - 1.3992$	0.994
		40	$y = 0.3926x + 9.8948$	0.9444
	0.5	10	$y = 0.4101x + 4.913$	0.9837
		20	$y = 0.3739x + 9.0098$	0.945
		30	$y = 0.533x - 48.253$	0.9559
		40	$y = 0.4515x - 8.5497$	0.9802
	0.6	10	$y = 0.5294x - 128$	0.8731
		20	$y = 0.3018x + 94.76$	0.8605
		30	$y = 0.1441x + 268.74$	0.3193
		40	$y = -0.0491x + 499.44$	0.0245
dMOE vs MOR	0.4	10	$y = 0.0072x - 0.2433$	0.9034
		20	$y = 0.0064x - 0.2883$	0.7386
		30	$y = 0.0062x - 0.1263$	0.9537
		40	$y = 0.0055x + 0.1198$	0.789
	0.5	10	$y = 0.006x + 0.2009$	0.9349
		20	$y = 0.0044x + 0.9887$	0.3746
		30	$y = 0.0062x - 0.0094$	0.9806
		40	$y = 0.0074x - 1.1712$	0.8953
	0.6	10	$y = 0.0078x - 1.3869$	0.6676
		20	$y = 0.0043x + 1.6619$	0.5039
		30	$y = 0.0009x + 4.4484$	0.1376
		40	$y = -0.0006x + 6.1155$	0.0309

Note: The model is of the form: $y = ax + b$

타내며 아주 높은 상관관계를 나타냈으나, 기타 조건의 파티클보드에서는 다양한 결정계수의 값을 나타내었다. 밀도와 굴박의 첨가율에 관계없이 파티클보드 전체를 통합하여 톱밥-굴박 파티클보드의 동적탄성계수와 정적탄성계수 및 휨강도와의 상관회귀그래프를 Fig. 3에서 나타내었다. 톱밥-굴박 파티클보드의 동적탄성계수와 정적탄성계수 및 휨강도 사이 상관관계를 이루고 있으며 결정계수의 값은 0.9456과

0.8501이다. 이러한 결과는 녹차-목재섬유 복합보드의 동적 탄성계수와 정적 휨강도와의 사이에 매우 밀접한 상관관계를 나타낸다는 Park *et al.* (2011)의 결과와 일치하다. 따라서 양단 자유 휨진동 실험으로 얻은 동적탄성계수로부터 정적탄성계수를 예측 가능할 것으로 사료된다.

4. 결 론

이 연구에서는 밀도와 굴박의 첨가율이 톱밥-굴박 파티클보드의 동적·정적탄성계수와 휨강도 미치는 영향과 동적탄성계수와 정적 휨강도 성능 사이의 관계를 조사하여 다음의 결과를 얻었다.

- 1) 톱밥-굴박 파티클보드의 휨성능은 굴박의 첨가량에 관계없이 밀도가 0.4~0.6 g/cm³으로 증가할수록 증가하여, 밀도가 휨성능에 크게 영향하였다.
- 2) 밀도 0.4 g/cm³와 0.5 g/cm³의 톱밥-굴박 파티클보드에서 비교한 굴박 첨가율과 휨성능과의 관계에서는 굴박의 첨가량이 증가할수록 휨성능은 감소하는 경향을 나타내었다.
- 3) 톱밥-굴박 파티클보드의 동적탄성계수와 정적탄성계수 및 휨강도 사이에 높은 상관관계가 확인되었으며 양단 자유 휨진동실험에 의한 동적탄성계수로부터 비파괴적으로 정적탄성계수와 휨강도의 예측이 가능한 것으로 확인되었다.

사 사

본연구는 중소기업청 과제(1303002553)의 지원을 받아 연구되었습니다.

REFERENCES

- Byeon, H.S., Ahn, S.Y., Oh, S.W., Piao, J.J. 2004. Nondestructive bending strength evaluation of woodceramics using resonance Frequency Mode. *Journal of The Korean Wood Science and Technology* 32(3): 8-14.
- Byeon, H.S., Kim, J.M., Won, K.R., Oh, S.W. 2011. Nondestructive Bending Strength Evaluation of Woodceramics Made from Woody Part of *Broussonetia kazinoki* Sieb. Effect of Resin Impregnation Ratio. *Journal of The Korean Wood Science and Technology* 39(5): 398-405.
- Im, H.S., Yoon, C.H., Oh, E.H. 2009. A study on the antibiotic effect using the d-limonene oil extracted to wasted mandarin peels in Cheju. *Journal of the Korean Oil Chemists Society* 26(3): 350-356.
- Jang, S.Y., Choi, H.K., Ha, N.Y., Kim, O.M., Jeong, Y.J. 2004. Study on the antimicrobial effects of citrus peel by different extract methods. *Korean Journal of Food Preservation* 11(3): 319-324.
- Jin, T.Q., Kang, C.W., Lee, N.H., Kang, H.Y., Matsumura, J. 2011. Changes in the color and physical properties of wood by high temperature heat treatment. *Journal of Faculty Agriculture Kyushu University* 56(1): 129-137.
- Kang, C.W., Oh, S.W., Lee, T.B., Kang, W., Matsumura, J. 2010. Sound absorption capability and mechanical properties of a composite rice hull and sawdust board. *Journal of Wood Science* 58: 273-278.
- Kang, C.W., Park, H.J., Jeon, S.S. 2012. Sound absorption capability and bending strength of miscanthus particle based board. *Journal of The Korean Wood Science and Technology* 40(1): 38-43.
- Kataoka, A., Ono, T. 1975. The relations of experimental factors to the vibration and the measuring values of dynamic mechanical properties of wood I. The experimental errors due to the measuring apparatus. *Mokuzai Gakkaishi* 21: 543-550.
- Kim, Y.M., Lee, H.W., Lee, S.H., Kim, S.S., Park, S.H., Jeon, Z.K., Kim, S.D., Park, Y.K. 2011. Pyrolysis properties and kinetics of mandarin peel. *Korean Journal of Chemical Engineering* 28(10): 2012-2016.
- Korea Forest Research Institute. 2000. The collecting system for enhancement of wastewood recycling. Research data. No. 159.
- Oh, S.W., Park, H.J., Hwang, J.W. 2012. Characteristics of board made from miscanthus

- sinensis var. purpurascens particles. Journal of Agriculture and Life Sciences 46(2): 43-48.
- Oh, S.W. 2013. Manufacture and physical properties of composite board with sawdust and orange peels. Journal of The Korean Wood Science and Technology 41(6): 528-534.
- Park, H.M., Lee, S.K., Seok, J.H., Choi, N.K., Kwon, C.B., Heo, H.S., Byeon, H.S., Yang, J.K., Kim, J.C. 2011. Effect of green tea content on dynamic modulus of elasticity of hybrid boards composed of green tea and wood fibers, and prediction of static bending strength performances by flexural vibration test. Journal of The Korean Wood Science and Technology 39(6): 538-547.
- Park, H.J., Oh, S.W., Wen, M.Y. 2012. Manufacture and properties of miscanthus-wood particle composite boards. Journal of wood Science 58: 459-464.
- Yang, I., Lee, K.H., Oh, S.C. 2013. Manufacture and performance evaluation of medium-density fiberboard made with coffee bean residue-wood fiber. Journal of The Korean Wood Science and Technology 41(4): 293-301.