목재공학 38(3): 178~184, 2010
Mokchae Konghak 38(3): 178~184, 2010

수지함침율이 닥나무 우드세라믹의 성질에 미치는 영향*1

변 희 섭*2 · 김 재 민*3 · 황 교 길*3 · 박 성 철*4 · 오 승 원*5†

The Effect of Resin Impregnation Ratio on the Properties of Woodceramics Made from *Broussonetia Kazinoki* Sieb.*1

Hee-Seop Byeon*2 · Jae-Min Kim*3 · Kyo-Kil Hwang*3 · Seong-Cheol Park*4 · Seung-Won Oh*5†

요 약

인피섬유로 한지를 제조하고 남은 닥나무 목질부를 고부가가치화 하기 위하여 닥나무 목질부로 파티클 보드를 제조하고 페놀수지 함침율 변화에 따른 닥나무재료 우드세라믹을 제조하여 물성을 검토하였다. 밀도, 휨강도성능, Brinell 경도, 압축강도 등은 수지함침량이 증가할수록 증가하였으며 밀도와 휨강도성능, 경도, 압축강도간 및 휨탄성계수와 강도간에는 유의성이 인정되는 밀접한 상관관계를 나타내었다.

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the properties of woodceramics made from woody part of *Broussonetia Kazinoki* at different impregnation ratios of phenolic resin of 40, 50, 60, 70%. The physical and mechanical properties increased with increasing impregnation ratio. The highest mean values of density, bending strength, Brinell hardness and compressive strength were 0.66 g/cm^3, 53 kgf/cm^2, 187 kgf/cm^2, 126 kgf/cm^2, respectively. There were close correlations between density and bending strength, Brinell hardness and compressive strength, and between MOE and MOR.

* 1 접수 2010년 2월 18일 채택 2010년 3월 17일
* 2 경상대학교 농업생명과학대학, 농업생명과학연구원. College of Agriculture & Life Science, IALS, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea
* 3 경상대학교 농업생명과학대학. College of Agriculture & Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea
* 4 천양제지(주). Chun Yang Paper, Co. Ltd.
* 5 전북대학교 농업생명과학대학, 농업과학기술연구소. College of Agriculture and Life Science, Institute of Agriculture Science & Technology Chonbuk National University, Chonju, 561-756, Korea
† 교신저자(corresponding author) : 오승원(e-mail: ohsw@jbnu.ac.kr)

Keywords: *Broussonetia Kazinoki*, resin impregnation ratio, density, bending strength, compression strength and Brinell hardness

1. 서 론

닥나무 인피섬유로 제조된 한지는 예로부터 필방재료, 창호지 등의 용도로 널리 이용되고 있으나 최근에는 공예재료, 의복 등의 재료로도 각광받고 있다. 많은 한지가 수입에 의존하고 있지만 앞으로는 고품질의 한지를 국내에서 많이 생산할 것으로 기대된다. 그런데 한지 제조를 위하여 인피섬유를 사용한 후의 닥나무 목질부(속대)는 닥나무 재적의 약 70~80%를 차지하고 있음에도 불구하고 아직 용도가 개발되지 않아 땔감연료용 이외에는 거의 폐기처리되고 있는 실정으로 고부가가치의 재료로 개발할 필요성이 제기되고 있다(오 등, 2009). 우드세라믹(Woodceramics)제조가 이러한 재료의 이용방안으로 적합할 것으로 판단된다.

우드세라믹은 목재나 목질재료에 열경화성 수지를 함침한 후 진공상태의 고온에서 탄화하여 만든 새로운 다공질 탄소 재료로서 1995년 Okabe와 Saito가 개발하여 명명한 이래 다양한 제조방법과 용도개발에 관한 기초연구가 진행되고 있다(Hokkirigawa *et al.*, 1995, 1996, 1996a; Kasai *et al.*, 1996; Oh *et al.*, 2000, 2001, 2003). 이러한 우드세라믹의 주원료가 되는 목재는 일반목재 이외에 폐재의 이용이 가능하고, 우드세라믹 생산부산물인 목초액은 토양개량제, 방충제 등으로 이미 널리 사용되고 있다. 또한 사용 후 우드세라믹은 재처리하여 활성탄이나 연료로서 재이용이 가능하기 때문에 환경에 부담이 없고 조화하는 친환경재료(Eco-material)로서 주목받고 있다.

우드세라믹의 특성은 원재료의 종류 및 열경화성 수지의 함침율, 탄화온도, 승온온도 등의 제조조건에 따라 물성이 다양하게 변하며 특히 수지함침율과 소성탄화온도는 우드세라믹의 밀도에 많은 영향을 끼치는 인자로 알려져 있다(Hirose *et al.*, 2001, 2002; Oh *et al.*, 2000, 2001).

따라서 본 연구에서는 한지 제조의 원료인 닥나무의 효율적인 이용을 위하여 닥나무 인피로 한지를 제조하고 남은 목질부를 이용하여 페놀수지를 함침한 후 탄화하여 우드세라믹을 제조하고 수지함침율 차이에 의한 재료의 성능을 평가하고자 한다.

Table 1. Characteristics of phenol-formaldehyde resin used in this study

Items \ Resin types	Powder resin (Novolak type)	Liquid resin (Resol type)
Solid content (%)	99	51~53
Melting point (℃)	80~95	-
Specific gravity	-	1.06
Gelation time (sec.)	80~120	80~95
Plate flow (mm)	30~35	-
Viscosity (cps)	-	45~65

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

2.1.1. 원료

닥나무(*Broussonetia Kazinoki* Sieb.)에서 인피섬유를 제거한 목질부를 한지공장에서 분양받아 제분소에서 제조하여 사용하였으며, 보드제조 시 시료를 균일하게 하기 위하여 입자크기를 40 mesh로 선별하고 함수율을 8% 이하로 조절하였다.

2.1.2. 수지

파티클보드제조를 위하여 분말상 페놀수지(코오롱유화(주), KNB-100PL)를 사용하였으며, 수지첨가량은 파티클 중량의 10% (중량비)로 하였다. 세라믹 제조를 위한 함침에는 액상 페놀수지(코오롱유화(주), KPD-L777)를 사용하였으며 각 수지의 특성은 Table 1과 같다.

Table 2. The physical and mechanical properties of woodceramics made at different resin impregnation ratio

Impregnation rate (%)	Temperature (℃)	Density (g/cm^2)	MOE (kgf/cm^2)	MOR (kgf/cm^2)	Brinell hardness (kgf/cm^2)	Compression strength (kgf/cm^2)
40	600	0.52 (0.024)	12150 (2622)	32 (7)	116 (14)	63 (25)
50	600	0.55 (0.020)	16786 (4408)	46 (10)	134 (18)	82 (30)
60	600	0.60 (0.011)	21546 (6111)	51 (9)	134 (42)	88 (27)
70	600	0.66 (0.016)	23877 (8229)	55 (18)	187 (23)	126 (25)

Parenthesis is standard deviation, MOE: modulus of elasticity, MOR: modulus of rupture, Mean value from 10 replications.

2.2. 시험방법

2.2.1. 보드제조

보드를 제조하기 위하여 균일하게 선별된 닥나무 파티클과 분말상 페놀수지를 충분히 혼합하여 열압기의 열판위에 있는 정방형 스테인레스 몰드 속에 넣고 시료의 상부높이를 일정하게 조절한 후 열압 성형하여 260 × 260 × 11 mm의 보드를 제조하였다.

보드의 제조조건은 수지첨가량을 10%, 밀도 0.6 g/cm^{3}의 조건일 때 총 40매의 보드를 제조하였다. 이때 열압온도는 190°C, 가압압력은 50 kgf/cm^2 → 30 kgf/cm^2 → 20 kgf/cm^2 (3단 가압), 가압시간 6분 → 5분 → 4분 (3단 가압시간)으로 하였다. 보드의 두께는 thickness bar (Stopper)를 사용하였으며 thickness bar (Stopper)까지 도달시간을 5초로 하였다.

2.2.2. 함침 및 탄화 우드세라믹 제조

제조한 보드를 두께 11 mm, 단면의 크기를 120 mm × 120 mm 의 크기로 재단한 다음 준비된 시편을 액상 페놀수지가 들어있는 함침탱크에 넣은 후 감압(1기압)과 초음파처리(주파수: 28 KHz, 출력: 564 W)를 20분 동안 병행한 후 다시 상압에서 20분 동안 방치하는 방법으로 반복횟수를 조절하여 수지함침율이 다른 함침보드를 제조하였다. 함침 후 시편을 24시간 음건 후, 건조기에 넣고 60°C에서 8시간, 100°C와 135°C에서 각각 10시간씩 건조 및 경화시켰다. 시편 건조 후 함침율 40 ± 2%, 50 ± 2%, 60 ± 2%, 70 ± 2%인 시편을 진공탄화로(KOVAC KSF-100 고려진공(주))를 이용하여 600°C에서 각 함침율별로 20개씩 탄화하여 우드세라믹을 제조하였다. 이때 승온온도는 4℃/min이었으며, 목표온도에서 2시간 유지한 다음 냉각시켰다.

2.3. 강도성능시험

휨강도성능시험용 시험편은 시편의 크기를 110 mm × 10 mm × 10 mm로 재단하여 항온 항습기에서 온도 20 ± 1°C, 습도 65 ± 5%로 조습처리한 후 각각의 조건별로 10개씩 선정하고 휨강도성능 시험을 실시하였다. 휨강도 시험은 KS F 2208 규정에 따라 만능강도시험기(TAESHIN, model TSU-2)를 사용하여 1.0 mm/min의 하중속도(cross head speed)로 실시하여 휨 탄성계수 및 휨강도를 측정하였다.

Brinell 경도시험은 40 mm × 40 mm × 10 mm 크기의 시편을 만능강도시험기를 이용하여 KS F 2212 규정에 따라 지름 10 mm의 쇠구슬을 0.5 mm/min의 하중속도로 우드세라믹 표면에 1/π mm의 깊이까지 압입하여 측정하였으며, 3지점에서 실시하였다.

압축강도 시험은 30 mm × 10 mm × 10 mm 크기의 시편을 KS F 2206규정에 따라 만능강도시험기를 사용하여 0.5 mm/min의 하중속도로 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 밀도

밀도는 Table 2와 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 탄화온도가 600°C이고 탄화 전 페놀수지 함침율이 40 ± 2%, 50 ± 2%, 60 ± 2%, 70 ± 2%일 때 탄화 후의 우드세라믹의 밀도는 각각 0.52 g/cm^3, 0.55 g/cm^3, 0.60 g/cm^3, 0.66 g/cm^{3}의 값을 나타내었다. 따라서

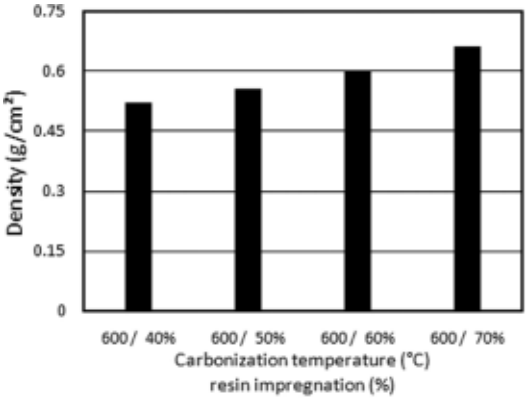

Fig. 1. Density according to resin impregnation ratio at carbonization temperature of 600°C.

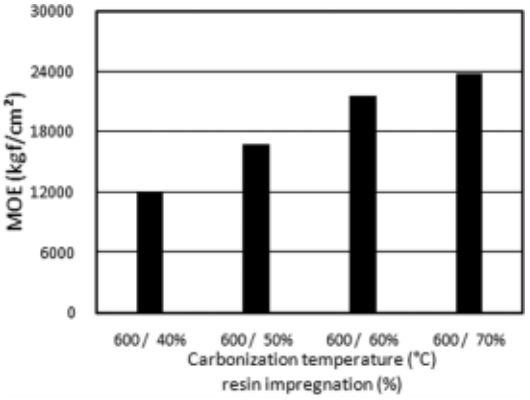

Fig. 2. MOE according to resin impregnation ratio at carbonization temperature of 600°C.

탄화온도가 600°C일 때는 탄화 전의 페놀수지 함침율이 증가할수록 탄화 후의 우드세라믹의 밀도가 증가하는 경향을 나타내었다.

오 등(2004)도 간벌재로 제조된 보드의 탄화 전 페놀수지 함침율이 40%일 때 소나무, 낙엽송, 잣나무의 우드세라믹의 밀도는 각각 0.76 g/cm^3, 0.73 g/cm^3, 0.75 g/cm^{3}이었으며, 탄화 전의 페놀수지 함침율이 높은 80%일 때는 소나무, 낙엽송 간벌재로 제조된 우드세라믹의 밀도는 각각 0.83 g/cm^3, 0.84 g/cm^{3}의 높은 값을 나타낸 본 연구와 유사한 경향을 보고한 바 있다. 또한 라디에타소나무로 제조된 MDF를 이용한 우드세라믹 제조에서도 수지함침율이 증가할수록 밀도가 증가하는 경향을 보였다고 보고하고 있다(오와 변, 2002; Oh, 2005). 탄화 전 페놀수지 함침율이 높을수록 우드세라믹의 밀도가 높아지는 것은 수지함침율이 높을수록 세포벽에 함침되어 있는 많은 양의 페놀수지가 탄화과정에서 유리질탄소로 변환하여 세포벽을 강화시키기 때문에 밀도가 증가하는 것으로 알려져 있다(Okabe & Saito, 1995a, 1995b).

3.2. 휨 탄성계수

Table 2와 Fig. 2에 탄화온도 600°C에서 수지함침율에 따른 휨 탄성계수 값을 나타내었다. 밀도의 경우와 같이 페놀수지 함침율이 높아질수록 높은 휨 탄성계수의 값을 나타내어 탄화온도 600°C에서 수지함침율이 40 ± 2%, 50 ± 2%, 60 ± 2%, 70 ± 2% 일 때 휨 탄성계수의 값은 각각 12,150 kgf/cm^2, 16,786 kgf/cm^2, 21,456 kgf/cm^2, 23,877 kgf/cm^{2}을 나타내었다. 본 연구의 휨 탄성계수의 값은 Byeon 등(2004)이 보고한 소나무 잣나무 낙엽송 간벌재의 값 약 27,000 kgf/cm^2~80,000 kgf/cm^2 정도와 비슷한 값을 나타내었다.

3.3. 휨강도

Table 2와 Fig. 3에 탄화온도 600℃에서 수지함침율에 따른 휨 강도 값을 나타내었다. 탄화온도 600°C에서 페놀수지 함침율이 40 ± 2%, 50 ± 2%, 60 ± 2%, 70 ± 2% 일 때 휨강도의 값은 각각 32 kgf/cm^2, 46 kgf/cm^2, 51 kgf/cm^2, 55 kgf/cm^{2}을 나타내어 밀도 및 휨 탄성계수의 경우와 유사하게 페놀수지 함침율이 높아질수록 거의 직선적으로 증가하는 경향의 휨강도를 나타내었다.

이러한 경향은 라디에타 소나무로 제조된 MDF를 이용한 우드세라믹 제조에서도 수지함침율이 증가할수록 휨강도가 직선적으로 증가하였다는 보고(오와 변, 2002; Oh, 2005)와 일치한다. 또한 페놀수지 함침율과 탄화온도조건에서 수종의 밀도에 따른 차이가 나타났는데 비슷한 페놀수지 함침율조건 40%, 60%, 80%에서 탄화온도 600°C 조건의 라디에타소나무의 경우의 휨강도는 각각 71 kgf/cm^2, 82 kgf/cm^2, 137

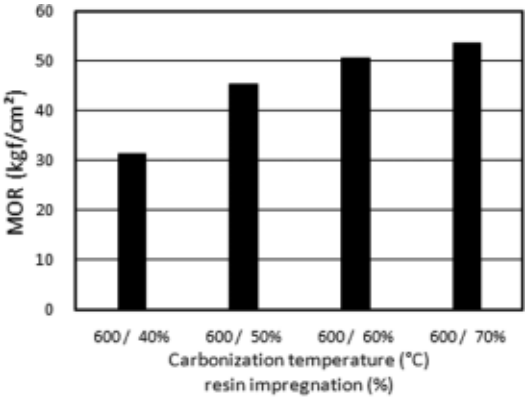

Fig. 3. MOR according to resin impregnation ratio at carbonization temperature of 600°C.

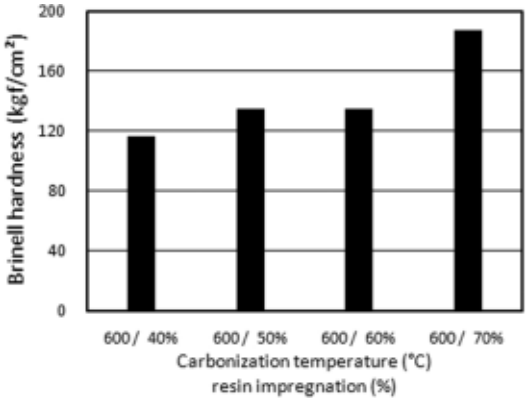

Fig. 4. Brinell hardness according to ratio of resin impregnation at carbonization temperature of 600°C.

kgf/cm^2 정도의 값으로 닥나무를 사용한 본 연구의 경우보다 높은 값을 나타내었다. 그리고 오 등(2005)은 톱밥과 왕겨로 제조된 혼합세라믹의 탄화온도 600°C에서 페놀수지 함침율이 40, 50, 60, 70% 일 때 휨강도의 값은 각각 48 kgf/cm^2, 50 kgf/cm^2, 61 kgf/cm^2, 62 kgf/cm^{2}을 나타내었다고 보고하였는데 이 값은 본 연구의 닥나무 우드세라믹의 강도 값보다도 약간 높은 값이다. 이러한 결과는 탄화과정에서 왕겨와 파티클의 불균일한 조직으로 인하여 충분한 결합력을 갖지 못했기 때문으로 해석하고 있는데 본 연구의 닥나무 우드세라믹의 경우에도 이와 유사한 원인으로 낮은 강도 값을 나타낸 것으로 생각된다.

3.4. 경도

Table 2와 Fig. 4에 탄화온도 600°C에서 수지함침율에 따른 Brinell 경도 값을 나타내었다. 탄화온도 600°C에서 페놀수지 함침율이 40 ± 2%, 50 ± 2%, 60 ± 2%, 70 ± 2% 일 때 Brinell 경도 값은 각각 116 kgf/cm^2, 134 kgf/cm^2, 134 kgf/cm^2, 187 kgf/cm^{2}을 나타내어 페놀수지 함침량이 많아질수록 밀도가 증가하고 경도도 증가하였다.

Byeon 등(2004)도 간벌재로 제조된 페놀수지함침 우드세라믹의 탄화온도 600°C에서 제조한 소나무, 낙엽송, 잣나무의 우드세라믹의 경도값은 각각 159 kgf/cm^2, 121 kgf/cm^2, 171 kgf/cm^{2}을 나타내어 본 연구의 값과 큰 차이가 없음을 보고한 바 있다. 또한, 일반적으로 목재의 수종 간 경도차이는 밀도에 비례하는 경향이 있다는 연구(이 외, 2008; 伏谷, 1985; 北原, 1977)와 유사한 결과를 보였다.

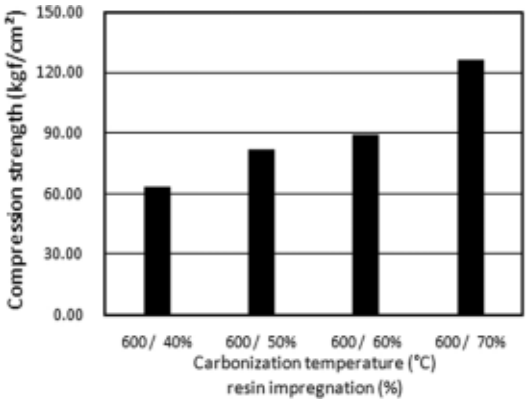

Fig. 5. Compression strength according to resin impregnation ratio at carbonization temperature of 600°C.

3.5. 압축강도

Table 2와 Fig. 5에 탄화온도 600℃에서 수지함침율에 따른 압축강도 값을 나타내었다. 탄화온도 600°C에서 페놀수지 함침율이 40 ± 2%, 50 ± 2%, 60

Table 3. Summary of regression parameters for relationships between density, MOR, MOE, BH and CS for woodceramics made at different resin impregnation ratio

Parameter	Regression model	Coefficient of determination R^2	Correlation coefficient r
Density vs. MOE	y = 80623x - 28476	0.405	0.636
Density vs. MOR	y = 150.1x - 42.57	0.275	0.524
MOE vs. MOR	y = 0.002x + 8.924	0.639	0.799
Density vs. BH	y = 55.08x - 17.65	0.500	0.707
Density vs. CS	y = 350.9x - 115.3	0.295	0.543

MOE: modulus of elasticity, MOR: modulus of rupture, BH: Brinell hardness, CS: compression strength.

± 2%, 70 ± 2%일 때 압축강도 값은 각각 63 kgf/cm^2, 82 kgf/cm^2, 88 kgf/cm^2, 126 kgf/cm^{2}을 나타내어 페놀수지 함침량이 많아질수록 압축강도가 증가하였다. 오 등(2009)은 탄화 전의 닥나무보드 소재의 경우에서도 수지함침량이 증가할수록 압축강도가 증가하는 결과를 보고하였다. Byeon 등(2004)도 소나무, 잣나무 낙엽송 간벌재를 이용하여 수지 함침율 70%, 탄화온도 600°C로 제조한 우드세라믹의 압축강도가 본 연구의 값보다는 낮은 33 kgf/cm^2, 73 kgf/cm^2, 42 kgf/cm^{2}을 보고한 바 있다.

3.6. 강도요소간의 상관관계

3.6.1. 밀도와 휨강도성능과의 관계

Table 3에 밀도와 휨탄성계수와의 관계, 밀도와 휨강도와의 관계를 나타내었다. 밀도와 휨탄성계수 및 밀도와 휨강도와의 사이에는 유의성 1% 수준에서 인정되는 밀접한 상관관계를 나타내었다. 휨탄성계수와 휨강도 사이에는 유의성 1% 수준에서 인정되며 상관계수 0.799의 결과는 Byeon 등(2004)이 보고한 소나무 잣나무, 낙엽송 간벌재 우드세라믹 및 일본 목재소재의 경우에 보고된 상관계수(中井, 1982, 1984)보다 매우 높은 상관관계를 나타내었는데 이것은 본 연구의 닥나무 우드세라믹은 파티클으로 제조 후 보드로 만들 때의 입자의 크기나 제조조건 등이 동일하여 소재의 경우에서 옹이나 섬유경사 등이 휨탄성계수나 강도에 미치는 영향의 정도가 다르기 때문으로 생각된다.

3.6.2. 밀도와 경도의 관계

Table 3에 밀도와 브리넬경도와의 관계를 나타내었다. 밀도와 경도 사이에는 유의성 1% 수준에서 인정되는 상관계수 0.707의 상관관계를 나타내었다. 이러한 높은 상관관계의 결과로 미루어 브리넬경도의 추정은 밀도의 측정으로 가능할 것으로 판단된다.

3.6.3. 밀도와 압축강도의 관계

Table 3에 밀도와 압축강도와의 관계를 나타내었다. 밀도와 압축강도 사이에서도 밀도와 경도의 경우와 같이 유의성 1% 수준에서 인정되는 상관관계를 나타내었다. 소재의 경우 밀도와 압축강도 간에는 높은 상관관계가 나타나지만 닥나무우드세라믹의 경우 낮은 상관관계가 나타난 것은 소재의 경우는 수종차이에 의하여 밀도의 범위가 넓게 나타났지만 닥나무 우드세라믹의 경우 동일 수종으로 밀도의 분포범위가 넓지 않은 때문으로 생각된다.

4. 결 론

인피섬유로 한지를 제조하고 남은 닥나무 목질부를 고부가가치화 하기 위하여 닥나무 목질부를 이용하여 파티클보드를 제조하고 이 보드에 페놀수지 함침율을 변화시켜 닥나무재료 우드세라믹을 제조하고 함침율 변화에 따른 물성을 평가하였다.

1) 밀도, 휨강도성능, 브리넬 경도, 압축강도 등은 페놀수지 수지함침량이 증가할수록 거의 직선적으로 증가하였다.

2) 밀도와 휨강도성능, 경도, 압축강도간 및 휨탄성계수와 휨강도간에는 1% 수준에서 유의성이 인정되는 상관관계를 나타내었다.

참 고 문 헌

1. Byeon, H. S., S. Y. Ahn, S. W. Oh, and J. J. Piao. 2004. Mechanical properties of woodceramics according to carbonizing temperature. Journal of the Korea Wood Science and Technology 32(3): 59~65.
2. Hirose, T., T. X. Fan, T. Okabe, and M. Yoshimura. 2001. Effect of carbonizing temperature on the basic properties of woodceramics impregnated with liquefied wood. Journal of Materials Science 36: 4145~4149.
3. Hirose, T., T. X. Fan, T. Okabe, and M. Yoshimura. 2002. Effect of carbonizing speed on the property change of woodceramics impregnated with liquefacient wood. Materials Letters 52: 229~233.
4. Hokkirigawa, K., T. Okabe, and K. Saito. 1995. Development of porous carbon materials "woodceramics"-Fundamental wear properties under unlubricated condition on air, under base-oil impregnated condition in water-. Journal of the Society of Materials Science Japan. 44(501): 800~804.
5. Hokkirigawa, K., T. Okabe, and K. Saito. 1996. Wear properties of new porous carbon materials: woodceramics. Journal of Porous Materials 2: 229~235.
6. Hokkirigawa, K., T. Okabe, and K. Saito. 1996a. Friction properties of new porous carbon materials: woodceramics. Journal of Porous Materials 2: 237~243.
7. Kasai, K., K. Shibata, K. Saito, and T. Okabe. 1996. Humidity Sensor characteristics of woodceramics. Transactions of the Materials Research Society of Japan 20: 92~95.
8. Oh, S. W. 2005. Properties of woodceramics obtained by high temperatures and phenolic resin impregnation. Forest Products J. 55(9): 27~30.
9. Oh, S. W. and H. S. Byeon. 2003. Change of surface temperature in woodceramics made from MDF(Ⅱ) -Effect of impregnation rate and burning temperature-. Journal of the Korea Wood Science and Technology 31(1): 41~45.
10. Oh, S. W., T. Hirose, and T. Okabe. 2000. Manufacturing characteristics of woodceramics from thinned small logs(Ⅰ) - Resin impregnation rate and bending strength -. Journal of the Korean Wood Science and Technology 28(4): 51~55.
11. Oh, S. W. and T. Okabe. 2001. Properties of woodceramics chip tile made from waste wood(Ⅱ) -Effect of additions and woodceramics chip-. Journal of the Korean Wood Science and Technology 29(3): 68~72.
12. Oh, S. W. and T. Okabe. 2003. Manufacture of woodceramics chip tile from waste wood. Forest Products Journal 53(7/8): 50~53.
13. Okabe, T. and K. Saito. 1995a. Development of woodceramics. Transactions of the Material Research Society of Japan 18: 681~684.
14. Okabe, T. and K. Saito. 1995b. The examination of the manufacturing method of woodceramics (Ⅰ). -Structural changes affected by burning temperature-. International Ecomaterial Conference, Xian, China pp. 1~4.
15. 中井 孝, 山井良三郎. 1982. 日本産 主要35樹種强度的性質. 林試硏報. No. 319: 13~46.
16. 中井 孝. 1984. 國産造林木强度的性質. 木材工業. 39(11): 552~556.
17. 오승원, 변희섭. 2002. MDF로 제조된 우드세라믹의 성질. 목재공학. 30(2): 115~120.
18. 오승원, 박금희. 2004. 간벌재로 제조된 우드세라믹의 성질(I)- 수지함침율 및 소성온도. 목재공학. 32(1): 73~79.
19. 오승원, 박금희, 정인수. 2005. 톱밥과 왕겨로 제조된 혼합세라믹의 물성 - 수지함침율 및 소성온도의 영향. 목재공학. 33(3): 30~37.
20. 오승원, 박성철. 2009. 닥나무 목질부로 제조된 보드의 성질(I). 목재공학. 37(3): 216~221.
21. 이화형 외. 2008. 신고 목재물리 및 역학. 향문사.
22. 伏谷賢美. 1985. 木材の物理. 文永堂.
23. 北原覺一. 1977. 木材物理. 森北出版.