

톱밥과 왕겨로 제조된 혼합세라믹의 물성*1 - 수지함침율 및 소성온도의 영향 -

오승원*2† · 박금희*3 · 정인수*4

Properties of Ceramics from a Board Mixed with Sawdust and Rice Husk

- Effect of Percentage of Resin Impregnation and Carbonization Temperature -

Seung-Won Oh*2† · Piao Jin Ji*3 · In-Soo Jeong*4

요 약

톱밥과 왕겨를 혼합하여 보드를 제조한 후 페놀수지에 함침율 40~70%로 함침한 후 소성온도 600~1200°C에서 소성하여 혼합세라믹을 제조한 다음 수지함침율과 소성온도에 따른 혼합세라믹의 밀도변화, 중량 및 치수감소율과 휨강도를 조사하였다. 수지함침율이 증가함에 따라 소성 후 두께 및 중량 감소율은 감소하였고 밀도와 휨강도는 증가하였다. 소성온도가 증가함에 따라 소성 후 길이, 두께 및 중량 감소율은 증가하였고 밀도는 소성온도 800°C까지는 증가하다가 1200°C에서는 약간 감소하였다.

ABSTRACT

This study aimed at offering basic data to develop a new use of sawdust and rice husk. Research investigated the variation of density, weight loss and dimensional decreasing rate by the percentage of resin impregnation and carbonization temperature of ceramics, which were formed by the percentage of resin impregnation of 40~80% and carbonization of 600~1200°C with board impregnated with phenolic resin made from sawdust and rice husk. The results of this study were as follows:

* 1 접수 2004년 11월 2일, 채택 2005년 2월 25일

* 2 전북대학교 농업생명과학대학, 생물산업연구소, College of Agriculture and Life Science, Research Institute of Bioindustry, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea.

* 3 일본 구주대학 농학부, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka 812-8581, Japan

* 4 익산대학교 목재공학과, Department of Wood Science and Technology, Iksan National College, Iksan 570-752, Korea

† 주저자(corresponding author) : 오승원(e-mail: ohsw@chonbuk.ac.kr)

1) As the percentage of resin impregnation increased, the thickness shrinkage and weight loss were decreased; on the other hand, density and modulus of rupture increased. Meanwhile, the carbonization temperature at 1200°C showed the highest values, as the density was 0.81 g/cm³ and the bending strength was 77.9 kgf/cm² in the percentage of resin impregnation at 70%.

2) As the carbonization temperature grew higher the linear shrinkage, thickness shrinkage and weight loss increased while the density increased until the carbonization temperature of 1000°C; but then decreased slightly at 1200°C.

Keywords: Ceramics, rice husk, sawdust, carbonization temperature, percentage of resin impregnation

1. 서 론

지구온난화와 환경파괴 및 목재소비량의 증가로 목재자원의 부족현상이 계속될 것으로 전망되며, 이러한 현실을 극복하기 위하여 목질을 비롯한 섬유자원의 대체효과를 가질 수 있는 국내 목재수급체계가 확립되어야 하고, 기타 농업 부산물을 이용한 신소재자원의 개발이 필요한 실정이다. 농업부산물중 하나인 왕겨는 까슬거리는 특성, 영양분이 적은 점, 잘 썩지 않는다는 점, 낮은 겉보기 밀도, 그리고 높은 회분 함량 등으로 이용에 제한을 받아왔다. 만약 국내 목재 생산량의 2배가 넘는 왕겨 섬유자원을 목질패널제품 등의 원료로 사용한다면, 농가소득증대에 크게 도움이 될 뿐 아니라 막대한 목재 수입자원의 대체효과를 가져올 수 있을 것이다(이화형 외, 1997). 그러나 이러한 왕겨는 목질 파티클과는 달리 보드 제조 시 접착성이 떨어지고, 구조 형태상 강도가 목재보드의 1/3 정도에 불과하기 때문에 실용화하기에는 여러 가지 어려운 제약이 있었다. 또한 본 연구에서 재료로 사용한 톱밥은 산림조합 통계에 의하면 국내 하루 생산량은 약 1,600 m³이며, 가격은 수중에 따라 차이는 있지만 약 26,600 원/m³로 원목가격의 1/5에 지나지 않는다. 그러므로 간벌제 및 입지 폐목재로 생산되는 톱밥을 효과적이고 고부가가치적으로 이용한다면 국내 임업 및 목재가공 산업의 활성화에 크게 기여할 것으로 생각된다. 한편 이러한 이용방법의 하나인 목재세라믹 제조에 관한 연구로는 Okabe와 Saito (1995)가 목질재료에 페놀수지를 함침한 후 진공상태에서 열 성형시켜 새로운 다공질 탄소재료를 개발하여 wood-ceramics라고 명명한 이래 최근에 다양한 제조방법과

용도개발에 관한 연구가 진행 중이다(Hirose *et al.* 2002; Iizuka *et al.* 1999; Xian *et al.* 2002; Zhao *et al.* 2002; 오 2001, 2002; 오 등 2003). 따라서 본 연구에서는 농업부산물인 왕겨와 제재과정에서 발생하는 톱밥을 이용하여 톱밥·왕겨 혼합보드를 제조하고 수지를 함침한 후 600°C 이상의 고온으로 소성하여 세라믹화한 후 물성을 조사함으로써 톱밥과 왕겨의 새로운 용도개발을 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

2.1.1. 톱밥

톱밥은 낙엽송(*Larix kaemferi* C.) 간벌제로 제재 시 발생된 것을 시중 제재소에서 구입하여 사용하였으며, 보드 제조 시 시료의 균일함을 위하여 입자의 크기를 18 mesh로 선별하고 함수율은 6% 이하로 조절하였다.

2.1.2. 왕겨

왕겨는 전주시 덕진동 정미소에서 구입하여 음간한 후 보드 제조 시 결합력을 높이기 위하여 분쇄기로 분쇄하여 입자크기를 18 mesh로 선별하고 함수율은 5% 이하로 조절하여 사용하였다.

Table 1. Characteristics of phenol-formaldehyde resin for the test

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

2.1.3. 수지

톱밥·왕겨 혼합보드 제조를 위하여 분말상 페놀수지(코오롱유화(주), KNB-100PL)를 사용하였으며, 수지침가량은 톱밥·왕겨 혼합량의 10%(중량비)로 하였다. 세라믹 제조를 위한 함침에는 액상 페놀수지(코오롱유화(주), KPD-L777)를 사용하였으며 각 수지의 특성은 Table 1과 같다.

2.2. 시험방법

2.2.1. 혼합보드 제조 및 함침처리

보드를 제조하기 위하여 균일하게 선별된 톱밥과 왕겨 및 분말상 페놀수지를 충분히 혼합하여 열압기의 열판위에 있는 스테인레스 정방형 몰드 속에 넣고 시료상부의 높이를 일정하게 조절한 후 열압 성형하여 26 cm×26 cm×1.4 cm의 보드를 제조하였다. 보드의 제조조건은 톱밥과 왕겨의 중량혼합비를 5 : 5로 하여 밀도 0.6 g/cm³인 보드를 30반복 제조하였다. 이때 열압온도는 190°C, 가압압력은 40 kgf/cm² → 30 kgf/cm² → 20 kgf/cm²(3단 가압), 가압시간 6분 → 5분 → 4분(3단 가압시간)으로 하였다.

제조한 보드를 두께 14 mm, 그리고 단면의 크기를 12 cm×12 cm의 크기로 재단한 다음 항온습습기(20 ±1°C, 습도 65±5%)에서 조습처리한 후 밀도를 계산하여 밀도 0.6±0.02 g/cm³인 시편을 90개 선정하였다. 준비된 시편을 초음파 수지함침장치(동양 초음파(주))를 이용하여 액상 페놀수지가 들어있는 함침탱크에 넣은 후 감압과 초음파처리(주파수: 28 kHz, 출력: 564 W)를 20 min 동안 병행한 후 다시 상압에서

20분 동안 방치하는 방법으로 1~3반복하여 함침처리하였다. 함침 후의 시편을 8시간 음건한 후, 다시 건조기에 넣고 60°C에서 8시간, 100°C에서 10시간, 135°C에서 8시간 연속 건조 및 경화시켰다.

2.2.2. 세라믹 제조

함침하여 경화된 시편 중 수지함침율이 40±3%, 50±3%, 60±3%, 70±3%인 시편을 각각 20개씩 80개 선정하여 진공 소결로(KOVAC, KSF-200V, 고려진공(주))를 이용하여 600°C, 800°C, 1000°C, 1200°C로 각각 5개씩 수지함침율 및 소성온도에 따라 소성하여 세라믹을 제조하였다. 이때 실온에서 설정온도까지 4°C/min으로 승온하였으며, 설정온도에서 2시간 유지한 후 소성로 주위에 냉각수를 순환시켜 냉각시켰다.

2.2.3. 물성 측정

2.2.3.1. 치수변동 및 휨강도

소성 후의 혼합세라믹에 대하여 조습처리한 후 치수와 중량을 측정하여 치수변화, 중량변화 및 휨강도를 조사하였다. 휨강도는 만능강도시험기(Shimadzu, AGS-10 kN, Autograph)를 이용하여 하중속도 5 mm/min 조건으로 측정하였다.

2.2.3.2. 함침율 계산

함침보드의 수지함침율은 혼합보드의 전건중량에 대하여 주입된 수지량을 백분율로 표시한 것으로 식 (1)로부터 구하였다.

$$\text{수지함침율 (\%)} = (W_1 - W_n) / W_n \times 100 \quad (1)$$

여기서, W_1 : 수지함침 후의 보드 전건중량(g)

W_n : 수지함침 전의 보드 전건중량(g)

Table 2. Properties of ceramics after carbonizing

CT ^a (°C)	PRI ^b (%)	WL ^c (%)	D ^d (g/cm ³)	LS ^e (%)	TS ^f (%)	MOR ^g (kg/cm ²)
600	40	52.3 ^h (6.5) ⁱ	0.70(0.02)	16.8(2.1)	24.1(2.7)	48.3(6.2)
	50	52.0(6.0)	0.72(0.02)	17.0(2.5)	24.2(2.5)	50.2(5.0)
	60	50.2(6.1)	0.77(0.03)	17.5(3.3)	25.0(2.9)	61.7(7.3)
	70	50.5(4.8)	0.75(0.02)	17.9(2.1)	22.8(2.3)	62.1(8.3)
800	40	53.0(5.9)	0.72(0.02)	18.0(2.5)	26.3(2.6)	54.3(6.4)
	50	52.0(5.0)	0.77(0.03)	18.1(2.3)	25.2(2.5)	56.5(5.7)
	60	51.0(4.7)	0.82(0.04)	18.1(2.2)	24.0(2.3)	66.0(6.5)
	70	49.0(5.0)	0.84(0.03)	20.9(3.9)	23.9(2.2)	69.4(6.4)
1000	40	53.2(6.0)	0.74(0.03)	19.8(3.1)	28.1(2.6)	66.2(7.1)
	50	52.9(5.8)	0.76(0.04)	20.0(3.0)	27.9(2.4)	71.2(5.6)
	60	50.4(5.0)	0.82(0.02)	20.0(4.1)	27.2(2.7)	73.0(8.5)
	70	50.5(4.8)	0.85(0.04)	20.1(3.9)	27.0(3.3)	75.7(7.0)
1200	40	56.6(6.3)	0.65(0.02)	20.0(2.9)	28.7(3.0)	71.1(8.2)
	50	56.7(5.7)	0.72(0.03)	20.9(2.0)	26.8(2.7)	74.3(6.9)
	60	53.0(6.0)	0.80(0.04)	20.8(2.1)	26.0(4.2)	75.6(7.0)
	70	53.2(5.1)	0.81(0.03)	20.9(2.0)	25.5(2.4)	77.9(9.3)

^aCarbonizing temperature, ^bPercentage of resin impregnation, ^cWeight loss, ^dDensity, ^eLinear shrinkage, ^fThickness shrinkage, ^gModulus of rupture as determined from a bending strength, ^hEach mean value from 5 replications, ⁱParenthesis is standard deviation

3. 결과 및 고찰

Table 2는 톱밥과 왕겨로 제조된 혼합세라믹의 수지함침 및 소성온도에 따른 중량 및 밀도변화, 치수변동과 휨강도를 나타낸 것이다.

3.1 혼합세라믹의 중량 및 밀도 변화

Fig. 1은 톱밥·왕겨 혼합보드의 수지함침 후와 소성한 후의 무게를 측정하여 혼합세라믹의 중량 감소율을 평균값으로 나타낸 것이다.

함침율에 따른 혼합세라믹의 중량 감소율은 전체적으로 약 50% 이상으로, 중량 감소율은 소성온도 600°C의 경우 함침율 40%일 때 52.3%, 70%일 때 50.5%, 1200°C의 경우 함침율 40%일 때 56.5%,

70%일 때 53.2%로 수지함침율이 증가함에 따라 감소하였다. 또한 중량 감소율은 소성온도 1200°C의 경우보다 높은 수치를 나타내었다(Fig. 1-A).

소성온도에 따른 혼합세라믹의 중량 감소율은 함침율 40%와 70% 시편의 경우 소성온도 600°C일 때 52.3%와 50.5%, 1000°C일 때 53.2%와 50.5%, 1200°C일 때 56.5%와 53.2%로 소성온도 600~1000°C 영역에서는 일정한 수치를 나타내었고 1200°C로 상승하면서 빠른 증가를 나타내었다. 또한 함침율이 40%, 50%인 시편은 60%, 70% 시편보다 평균 2% 높은 중량 감소율을 나타내었는데 이는 열처리 시 페놀수지의 중량감소량이 목질재료보다 많다는 것을 알 수 있다(Fig. 1-B).

오와 변(2002)은 MDF로 제조된 우드세라믹의 소성온도별 물성 조사에서 소성온도 500°C일 때 길이, 두께 및 중량 감소율은 각각 19.4%, 26.3%, 59.9%

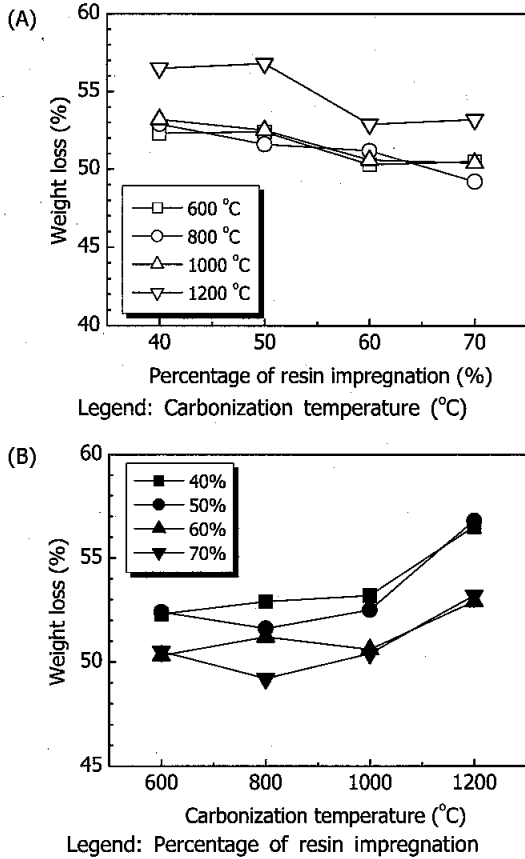


Fig. 1. Weight loss of ceramics after carbonization.

이었으며, 소성온도 1000°C일 때 각각 22.5%, 31.6%, 65.3%로 소성온도가 증가함에 따라 길이, 두께 및 중량 감소율도 완만히 증가함을 밝힌 바 있다. 그러나 본 연구와의 변화율의 차이는 세라믹의 제조 조건 및 원재료의 차이에 기인된 것으로 생각된다.

Fig. 2는 톱밥·왕겨 혼합세라믹의 소성 후 밀도를 평균값으로 나타낸 것이다.

수지함침율에 따른 혼합세라믹의 밀도는 Fig. 2-A와 같이 소성온도 600°C와 1200°C의 경우 각각 함침율 40%일 때 0.70 g/cm³와 0.65 g/cm³, 70%일 때 0.75 g/cm³와 0.81 g/cm³로 수지함침율이 증가함에 따라 증가함을 알 수 있었다. 오와 변(2002)은 함침한 MDF를 소성한 후의 밀도를 조사한 결과 소성온도 800°C에서 함침율 40%일 때 0.79 g/cm³, 60%일 때

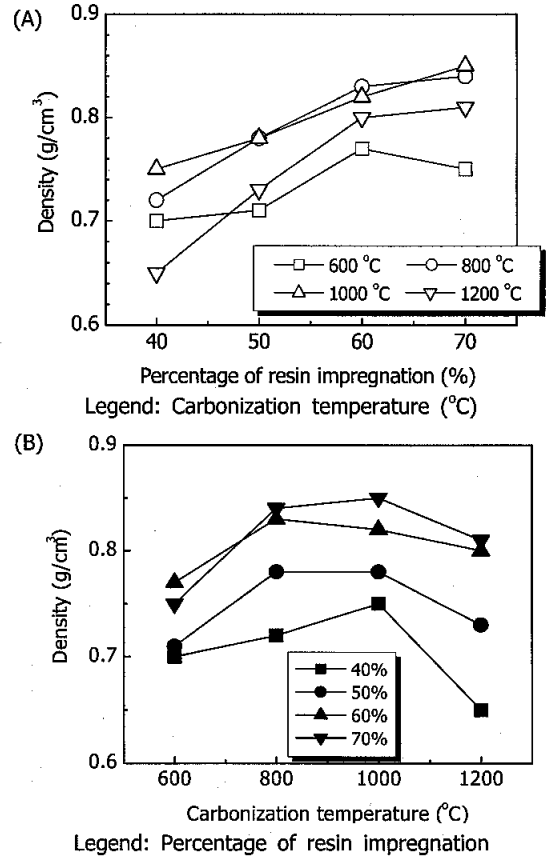


Fig. 2. Density of ceramics after carbonization.

0.83 g/cm³, 80%일 때 0.88 g/cm³로 페놀수지의 양이 많을수록 소성 후의 밀도도 증가하는 결과를 얻었다.

소성온도에 따른 혼합세라믹의 밀도는 소성 시 톱밥, 왕겨 및 수지의 탄소 화에 의한 구조변화로 인한 치수변화와 중량변화에 기인한 것으로 소성온도가 증가함에 따라 800°C까지 증가하다가 800~1000°C 영역에서는 변화폭이 작았고, 1200°C에서는 감소하였다(Fig. 2-B). 岡部(1996)는 함침율 68.9%인 MDF 함침재료 소성온도에 따른 우드세라믹의 밀도를 조사하여 500°C에서 0.70 g/cm³, 800°C에서 0.85 g/cm³로 증가하다가 1000°C에서는 0.80 g/cm³로 소성온도 2000°C까지는 완만히 감소한 후 다시 증가하는 경향을 보였다고 밝힌 바 있다. 이러한 소성 후 밀도변화는 세라믹의 물리 및 기계적성질 등에 크게 영향을 미칠 것으로 생각되어 세라믹의 제조 조건, 원재료의 특

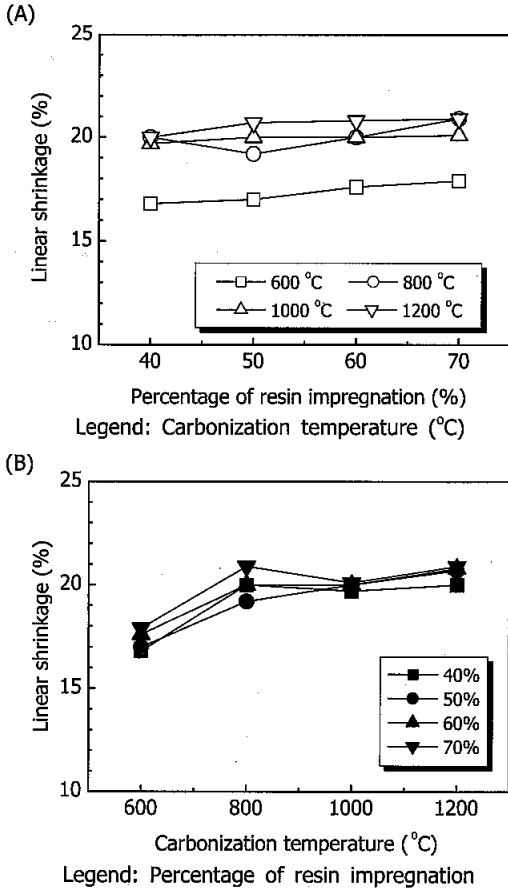


Fig. 3. Linear shrinkage of ceramics after carbonization.

성, 수지의 종류 및 화학적반응 등 다각적인 연구가 필요하리라 생각된다. 또한 Okabe 등(1996)은 소성 온도 1000°C 이상에서 감소율이 완만해지는 이유는 페놀수지의 방향족다환구조 형성과 탄소화에 의한 것이라고 보고한 바 있다.

3.2. 혼합세라믹의 치수 변동

Fig. 3은 톱밥·왕겨 혼합보드의 수지함침 후와 소성 후의 길이를 측정하여 혼합세라믹의 길이감소율을 평균값으로 나타낸 것이다.

수지함침율에 따른 혼합세라믹의 길이감소율은 소성온도 600°C의 경우 16.8%에서 17.9%로, 소성온도

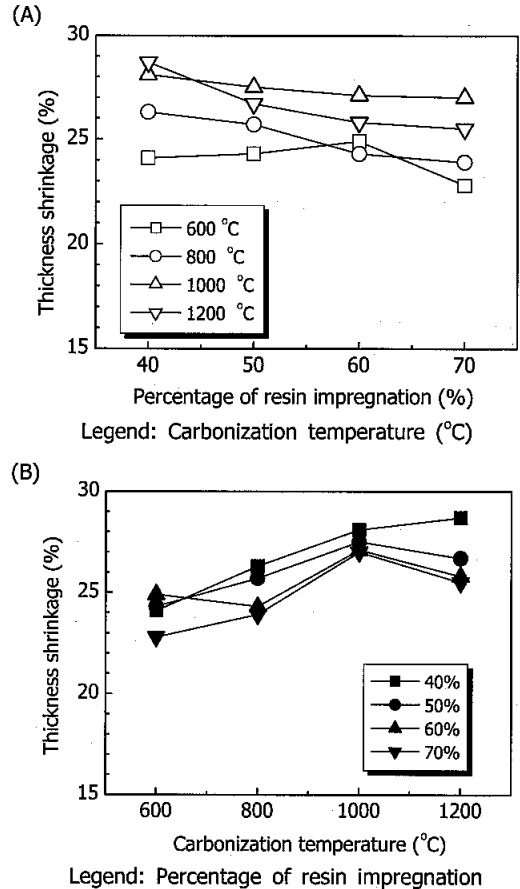


Fig. 4. Thickness shrinkage of ceramics after carbonization.

1200°C에서는 20.0%에서 20.9%로 함침율의 증가에 따라 완만히 증가하였다(Fig. 3-A). 소성온도에 따른 혼합세라믹의 길이감소율은 600°C, 800°C, 1200°C일 때 각각 약 17%, 20%, 21%로 함침율별 큰 차이를 나타내지 않았다. 또한, 600~800°C 영역에서는 빠른 증가를 나타내고 800~1200°C 영역에서는 완만히 증가하여 길이변화가 적음을 알 수 있었다(Fig. 3-B).

Fig. 4는 톱밥·왕겨 혼합보드의 수지함침 후와 소성 후의 두께를 측정하여 혼합세라믹의 두께감소율을 평균값으로 나타낸 것이다.

수지함침율에 따른 혼합세라믹의 두께감소율은 소성온도 600°C, 800°C, 1000°C, 1200°C의 경우 각각 24.1~22.8%, 26.3~23.9%, 28.1~27.0%, 28.7~

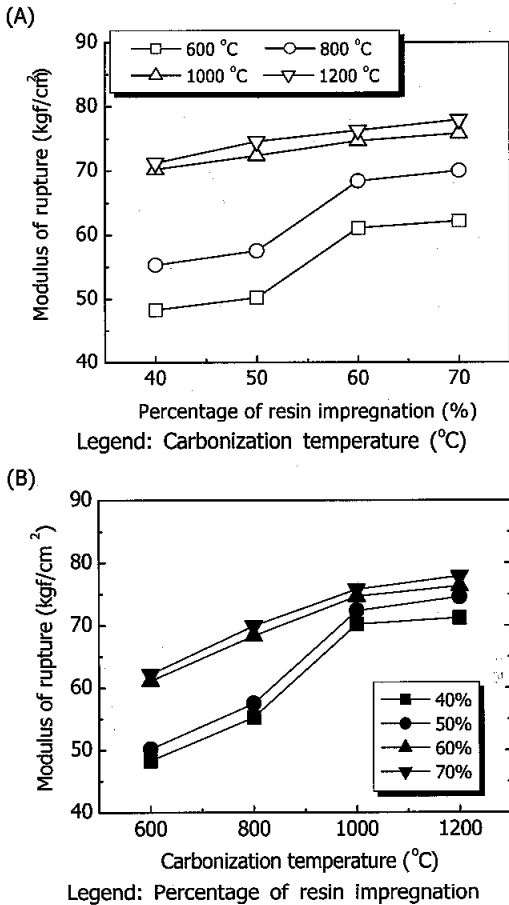


Fig. 5. Modulus of rupture of ceramics after carbonization.

25.5%로 수지함침율이 증가함에 따라 완만히 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 4-A).

소성온도에 따른 혼합세라믹의 두께감소율은 함침율 40% 시편의 경우 소성온도 600°C일 때 24.1%, 1000°C일 때 28.1%, 1200°C일 때 28.7%이었으며, 함침율 70% 시편은 소성온도 600°C일 때 22.8%, 1000°C일 때 27.0%, 1200°C일 때 25.5%로 길이감소율보다 컸으며 소성온도 1000°C 경우가 가장 큰 것으로 나타났다. 또한 함침율이 40%, 50%인 시편의 두께감소율은 함침율이 60%, 70%인 시편보다 다소 높은 수치를 나타내었다(Fig. 4-B).

또한 Oh 등(2000)은 아오모리 산 Hiba wood로 제조된 우드세라믹의 길이, 두께 및 중량 감소율은 수지

함침율이 증가할수록 감소하였다고 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 길이, 두께 및 중량 감소율이 Oh 등의 결과보다 다소 낮게 나타났는데, 이것은 수지함침율, 소성 시 승온속도, 밀도경사 등 제조조건 및 재료의 물성 차이에 기인된 것으로 판단된다.

3.3. 휨강도

Fig. 5는 톱밥·왕겨 혼합세라믹의 휨강도를 평균값으로 나타낸 것이다.

수지함침율 별 혼합세라믹의 휨강도는 소성온도 600°C의 경우 수지함침율 40%일 때 48.3 kgf/cm², 70%일 때 62.1 kgf/cm², 1200°C의 경우 함침율 40%일 때 71.1 kgf/cm², 70%일 때 77.9 kgf/cm²로 수지함침율이 증가할수록 증가하였다(Fig. 5-A). 이는 세포내강에 침투한 페놀수지가 탄화과정에서 유리상탄소(glassy carbon)로 변환되면서 세포벽을 강화시켜 강도에 영향을 미쳤기 때문인 것으로 판단된다(Okabe, 1996). 그러나 이 결과는 Okabe 등(1996)이 MDF로 제조된 우드세라믹의 휨강도 측정결과보다 낮은 값을 나타냈는데 이는 소성과정에서 왕겨와 톱밥의 불균일한 조직이 충분한 결합력을 갖지 못했기 때문으로 생각된다.

또한 혼합세라믹의 휨강도는 소성온도가 증가함에 따라 증가하였는데 600°C에서 1000°C까지는 빠른 증가를 나타내었고 1000°C 이상에서는 완만히 증가하여 1200°C에서 최대치를 나타내었다(Fig. 5-B). 또한 600°C에서 함침율 40, 50%인 시편의 휨강도는 약 50 kgf/cm²로 60, 70% 시편의 약 62 kgf/cm²보다 낮은 값을 나타내었지만 이러한 차이는 소성온도가 증가함에 따라 작아졌다. 소성온도와 휨강도와의 관계 또한 소성온도의 증가에 따라 밀도가 증가하여 휨강도에 영향을 미쳤기 때문으로 판단되지만 1000~1200°C 영역에서는 밀도가 감소했지만 휨강도가 미세한 증가를 보인 것은 왕겨와 톱밥의 이물질 혼합에 의한 소성온도별 물리·화학적 결합력의 차이에 기인된 것으로 추측되어 이에 대한 확실한 규명이 필요하다고 생각된다.

4. 결 론

본 연구에서는 제재과정에서 발생하는 톱밥과 농업 부산물인 왕겨를 이용하여 톱밥·왕겨 혼합보드를 제조한 후 수지함침율 및 소성온도별로 세라믹화 하여 세라믹의 성질을 조사하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 수지함침율이 증가함에 따라 소성 후 두께 및 중량 감소율은 감소하였고, 밀도와 휨강도는 증가하였으며, 소성온도 1200°C의 경우 수지함침율 70%일 때 밀도 0.81 g/cm³, 휨강도 77.9 kgf/cm²로 최대치를 나타냈다.

2) 소성온도가 증가함에 따라 소성 후 길이, 두께 및 중량 감소율은 증가하였고 밀도는 소성온도 1000°C까지는 증가하다가 1200°C에서는 다소 감소하였다.

참 고 문 헌

- Hirose, T., T. Fujino, T. Fan, H. Endo, T. Okabe, and M. Yoshimura. 2002. Effect of carbonization temperature on the structural changes of woodceramics impregnated with liquefied wood. *Carbon* 40: 761~765.
- Iizuka, H., F. Masimi, T. Okabe, and K. Saito. 1999. Mechanical properties of woodceramics: A porous carbon material. *Journal of Porous Materials* 6: 175~184.
- Oh, S. W., T. Hirose, and T. Okabe. 2000. Manufacturing characteristics of woodceramics from thinned small logs(II)- Dimensional change, weight change and compressive strength-. *Mokchae Konghak* 28(4): 56~60.
- Okabe, J. and K. Saito. 1995. Development of woodceramics. *Transactions of the Material Research Society of Japan* 18: 681~684. *International Ecomaterial Conference, Xian, China* pp. 1~4.
- Xian, X. Q., D. Zhang, T. X. Fan, T. Sakata, H. Mori, T. Okabe, and T. Hirose. 2002. The fabrication of composites with interpenetrating networks based on woodceramics. *Materials Letters* 56: 102~107.
- Zhao B. Y., T. Hirose, T. Okabe, D. Zhang, T. X. Fan, and K. A. Hu. 2002. Woodceramics prepared from wood powder/phenolated wood composite. *Journal of Porous Materials* 9: 195~201.
- 岡部敏弘. 1996. 木質系多孔質炭素材料 “ウッドセラミクス”. 内田老鶴園.
- 岡部敏弘, 齊藤幸司. 1995. 多孔質炭素材料 “ウッドセラミクス”とその活用について. *遠赤外線協會* 6(7): 1~7.
- 오승원. 2001. 삼나무 간벌재로 제조된 우드세라믹의 성질-증기분사 및 그 시간의 영향-. *목재공학* 29(2): 69~75.
- 오승원. 2002. 간벌재로 제조된 톱밥보드의 물성-가압 압력 및 열압시간의 영향- *임산에너지* 21(2): 10~16.
- 오승원, 박금희, 변희섭. 2003. 톱밥보드로 제조된 우드세라믹의 표면온도변화-수지함침율과 소성온도의 영향-. *임산에너지* 22(1): 24~29.
- 오승원, 변희섭. 2002. MDF로 제조된 우드세라믹의 성질. *목재공학* 30(2): 115~120.
- 오승원, 변희섭. 2003. MDF로 제조된 우드세라믹의 표면온도변화(II)-수지함침율과 소성온도의 영향-. *목재공학* 31(1): 41~45.
- 이화형 외. 1999. 왕겨를 이용한 환경친화형 목질신소재 개발. *농림부 최종연구보고서*.
- 임업연구원. 2000. 폐목재 수집체계 개선 및 재활용 추진방향. *연구자료* 159호.