

왕겨의 혼합비율에 따른 톱밥·왕겨 혼합세라믹의 성질¹

오 승 원^{2,†}

Properties of Sawdust-Rice Husk Mixed Ceramic According to The Rice Husk Mixing Ratios¹

Seung Won Oh^{2,†}

요 약

제재과정에서 발생하는 톱밥과 농업부산물인 왕겨의 활용방안을 찾고자 왕겨의 혼합비율에 따라 혼합보드를 제조하고 수지함침 및 탄화과정을 거쳐 혼합세라믹을 제조하여 왕겨의 혼합비율에 따라 물성을 조사하였다. 같은 수지함침율에서 왕겨혼합비율이 증가함에 따라 탄화 후 밀도 및 휨강도는 증가하였으나 중량감소율은 감소하였다. 또한 같은 탄화온도에서 밀도와 휨강도는 왕겨혼합비율이 40%일 때 가장 큰 것으로 나타났다.

ABSTRACT

The physical and mechanical properties of sawdust-rice husk mixed ceramic were investigated with rice husk mixing ratios. The mixed ceramic board was produced with carbonization and resin impregnated sawdust-rice husk board at high temperature. At the same percentage of resin impregnation condition, density and bending strength of the mixed ceramic board increased with increasing the mixing rates of rice husk, whereas weight loss of the ceramic boards decreased. At the same temperature condition for the carbonization of resin impregnated sawdust-rice husk board, the density and bending strength were the highest with 40% of rice husk mixing ratio.

Keywords: sawdust, rice husk, mixed ceramic, resin impregnation

¹ Date Received March 27, 2014, Date Accepted April, 14, 2014

² 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: ohswn@jbnu.ac.kr)

1. 서 론

우리나라같이 목재 자급률이 낮은 국가에서는 이를 해결하기 위하여 경제수종의 육성 및 조림과 국내생산에서 이용 가능한 목재자원의 효과적인 가공방법이 개발되어야 할 것이다. 이러한 방법 중 하나로 목재의 제재과정에서 발생하는 톱밥을 이용한 신소재 개발의 일환으로 톱밥으로 보드를 제조하고 수지를 함침한 후 탄화하여 우드세라믹을 제조한 다음 그 성질 및 활용방안에 대한 연구가 진행되고 있다 (Hirose *et al.* 2001, 2002; Okabe *et al.* 1995, 1995a; Oh, 2004; Oh and Piao 2004; Oh and Byeon, 2003, 2004).

또한 농업부산물인 왕겨의 활용 방안에 대한 관심이 많아지고 있는데, 벼의 도정 시 발생하는 왕겨는 국내에서 연간 약 110만 톤의 많은 양이 생산되고 있음에도 불구하고 겉보기 밀도가 0.097~0.125 g/cm³로 폐기 시 부피가 커서 문제가 되고 있으며, 낮은 발열량과 높은 회분함량으로 매립 후에도 쉽게 분해되지 않는 단점을 지니고 있어 주로 농업용 퇴비, 돈사의 방습제 등으로 사용되어 왔다(Baek *et al.* 1998). 한편 왕겨를 목질보드 제조용 재료로 이용하는데 있어서도 표면이 강모와 규틴질로 덮여있어 수분흡수율이 톱밥의 1/3에 지나지 않으며, 목재와는 달리 성형성 및 접착력이 불량하여 목질재료분야에서 실용화하기에는 어려운 점이 있다(Lee *et al.* 1999). 그러나 왕겨에는 탄소성분이 약 40~50%, 규소함량이 30~40%인 점에 착안하여 최근에는 탄화왕겨로부터 활성탄을 제조하는 연구도 진행되고 있기 때문에 왕겨를 가공 처리하여 목질패널제품과 신소재 개발의 원료로 이용한다면 농가소득 및 목재수입의 대체효과가 클 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 제재과정에서 발생하는 톱밥과 농업부산물인 왕겨를 이용하여 혼합비율에 따라 혼합보드를 제조하고 수지를 함침한 후 고온에서 탄화하여 혼합세라믹을 제조한 다음 물성을 조사하여 왕겨의 혼합비율에 따른 혼합세라믹의 특성을 조사함으로써 톱밥과 왕겨의 새로운 용도개발을 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

2.1.1. 톱밥

톱밥은 낙엽송(*Larix kaempferi* C.) 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

왕겨(신동진 벼)는 정미소에서 구입하여 음건한 후 보드 제조 시 결합력을 높이기 위하여 분쇄기로 분쇄하여 입자크기를 18 mesh로 선별하고 함수율은 5% 이하로 조절하여 사용하였다.

2.1.3. 수지

톱밥·왕겨 혼합보드 제조를 위하여 분말 상 페놀수지(코오롱유화(주), KNB-100PL)를 사용하였으며, 수지첨가량은 톱밥·왕겨 혼합량의 10%(중량 비)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

보드를 제조하기 위하여 균일하게 선별된 톱밥과 왕겨 및 분말 상 페놀수지를 충분히 혼합하여 열압기의 열판 위에 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 중량혼합비(이하 혼합비율로 함) 3 : 7, 4 : 6, 5 : 5, 6 : 4, 7 : 3에 따라 밀도 0.6 g/cm³로 총 5타입의 보드를 제조하였다. 이때 열압온도는 190℃, 가압압력은 40 kgf/cm² → 30 kgf/cm² → 20 kgf/cm² (3단 가압), 가압시간 6분 → 5분 → 4분(3단 가압시간)으로 하였다.

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

2.2.2. 혼합보드의 함침처리

제조한 보드를 두께 1.4 cm, 그리고 단면의 크기를 12 cm × 12 cm의 크기로 재단한 다음 항온항습기(20 ± 1°C, 습도 65 ± 5%)에서 조습처리한 후 밀도를 계산하였다. 또한 시험조건을 일정하게 하기 위하여 혼합비율별로 밀도 ± 0.02 g/cm³인 시편을 20 개씩 선정하였다.

준비된 시편을 액상 페놀수지가 들어있는 함침탱크에 넣은 후 감압(1기압)과 상압 및 초음파처리(주파수: 28 kHz, 출력: 564 W)를 반복 병행하여 수지 함침율을 40~70%로 조절하였다. 함침에 사용한 감압·초음파 함침장치는 함침탱크, 초음파진동부, 초음파 발전부, 진공펌프 등으로 구성되어 있다. 함침 후의 시편을 8시간 음건한 후, 다시 건조기에 넣고 60°C에서 8시간, 100°C에서 10시간, 135°C에서 8시간 연속 건조 및 경화시켰다.

2.2.3. 세라믹 제조

왕겨의 혼합비율별로 제조하여 함침된 보드 중 수지 함침율이 40 ± 2%, 50 ± 2%, 60 ± 2% 및 70 ± 2%인 시편을 탄화온도 800°C로, 수지 함침율 50 ± 2%인 시편을 탄화온도 600°C, 800°C, 1000°C 및 1200°C로 각각 10개씩 진공 탄화로를 이용하여 혼합세라믹을 제조하였다. 이때 실온에서 설정온도까지 4°C/min으로 승온 하였으며, 탄화설정온도에서 2시간 유지한 후 탄화로 주위에 냉각수를 순환시켜 냉각시켰다.

2.2.4. 치수, 중량변동 및 휨강도

각 조건별로 제조된 함침보드와 탄화 후의 혼합세라믹의 치수 및 중량을 측정하여 중량변동 및 밀도 변화를 계산하였다. 휨강도는 만능강도시험기(Shimadzu, AGS-10 kN, Autograph)를 이용하여 하중속도 5 mm/min 조건으로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수지 함침율에 따른 성질

제조된 혼합보드를 수지 함침율 40~70%로 조절하여 함침한 후 탄화온도 800°C로 탄화한 혼합세라믹의 왕겨 혼합비율에 따른 밀도, 중량 및 휨강도를 측정한 결과를 Figs. 1~3에 나타내었다. 밀도는 수지 함침율 40%인 경우 왕겨 혼합비율 30%일 때 0.57 g/cm³, 70%일 때 0.64 g/cm³이었으며, 수지 함침율 70%인 경우 왕겨 혼합비율 30%일 때 0.65 g/cm³, 70%일 때 0.73 g/cm³로 같은 수지 함침율 조건에서 왕겨 혼합비율이 증가함에 따라 탄화 후 밀도도 증가하였다. 이는 왕겨의 수지 침투율이 톱밥에 비해 떨어지지만 같은 수지 함침율 조건에서는 왕겨 속에 많이 함유되어 있는 규소가 밀도를 증가시키는 요인인 것으로 생각되며, 고밀도의 세라믹 제조에 왕겨의 이용가능성이 있을 것으로 판단된다. Oh and Piao (2004)는 3수종의 침엽수 간벌재로 제조된 우드세라믹의 성질조사에서 800°C로 제조된 우드세라믹의 경우 수지 함침율 40%일 때 밀도는 0.73~0.76

왕겨의 혼합비율에 따른 톱밥·왕겨 혼합세라믹의 성질

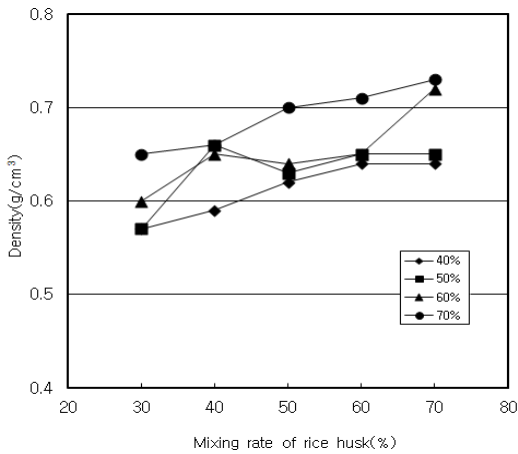


Fig. 1. Relationship between density and mixing rate of rice husk according to the percentage of resin impregnation.

Legend: Percentage of resin impregnation

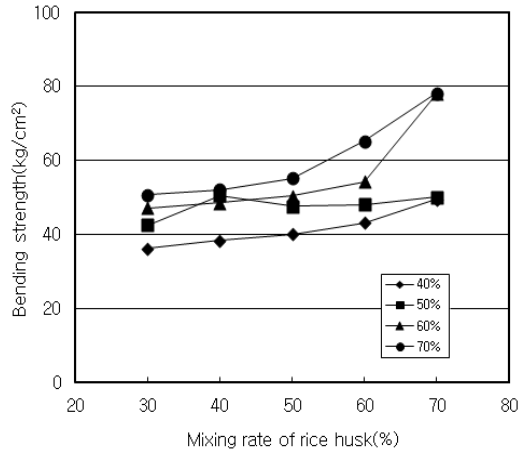


Fig. 3. Relationship between bending strength and mixing rate of rice husk according to the percentage of resin impregnation.

Legend: Percentage of resin impregnation

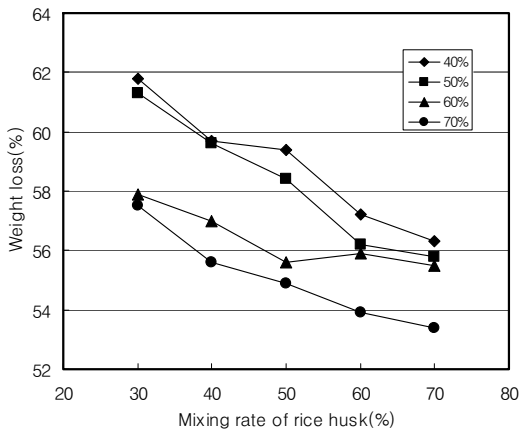


Fig. 2. Relationship between weight loss and mixing rate of rice husk according to the percentage of resin impregnation.

Legend: Percentage of resin impregnation

g/cm³, 80%일 때는 0.83~0.84 g/cm³로 수지 함침율이 높을수록 탄화 후 밀도는 증가하였다고 하였으며, Oh and Byeon (2002)은 MDF를 이용하여 탄화온도 800℃로 우드세라믹을 제조한 결과 수지 함침율

40%일 때 0.79 g/cm³, 80%일 때 0.88 g/cm³이었다고 밝힌바 있어 본 연구결과와는 밀도차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 2차 가공재료인 보드에서 같은 수지 함침율일지라도 왕겨부분에 수지함침이 어려워 탄화 후 유리질 탄소는 적었기 때문으로 추측된다.

한편 같은 왕겨 혼합비율별 수지 함침율에 따른 밀도는 왕겨 혼합비율 30%인 경우 수지 함침율 40%일 때 0.57 g/cm³, 60%일 때 0.6 g/cm³, 70%일 때 0.65 g/cm³이었으며, 왕겨 혼합비율 70%인 경우 수지 함침율 40%일 때 0.64 g/cm³, 60%일 때 0.72 g/cm³, 70%일 때 0.73 g/cm³로 수지 함침율이 높을수록 탄화 후 밀도도 증가하였다. 이는 수지 함침율이 높은 함침보드의 세포벽에 들어있는 많은 양의 페놀수지가 탄화과정에서 유리질탄소(glassy carbon)로 변환되어 세포벽을 강화시켜 탄화 후 밀도 증가 요인으로 작용하였기 때문으로 생각되며 일반적인 woodceramics 성질과도 같았다(Oh and Piao, 2004; Okabe and Saito 1995; Okabe *et al.* 1995a).

중량 감소율은 수지 함침율 40%인 경우 왕겨혼합을 30%일 때 61.8%, 70%일 때 56.3%이었으며, 수지 함침율 70%인 경우 왕겨 혼합비율 30%일 때

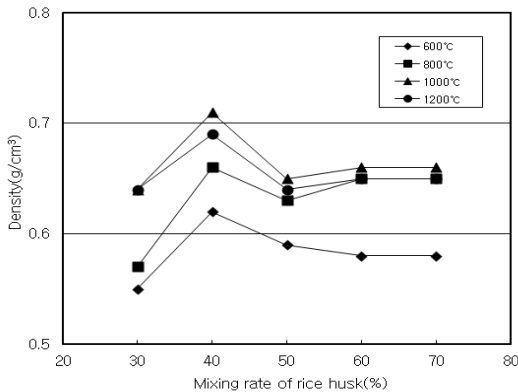


Fig. 4. Relationship between density and mixing rate of rice husk according to the carbonizing temperature.
Legend: Carbonization temperature

57.5%, 70%일 때 53.4%로 같은 수지 함침율 조건에서 왕겨 혼합비율이 증가함에 따라 탄화 후 중량 감소율은 감소하였다. 이는 수지 함침량이 같을 때 탄화과정에서 왕겨보다 톱밥이 빨리 연소되어 톱밥양이 많을수록 중량 감소율이 증가함을 의미한다. Oh and Piao (2004)는 3수종의 칩엽수로 제조된 우드세라믹의 성질조사에서 탄화온도 800°C인 경우 수지 함침율 40%일 때 중량 감소율은 61~62%, 80%일 때 57~58.5%로 수지 함침율이 증가함에 따라 중량 감소율은 감소한다고 하였으며 감소율은 톱밥과 왕겨로 제조된 혼합세라믹보다 많음을 알 수 있었다.

한편 같은 왕겨 혼합비율별 수지 함침율에 따른 중량 감소율은 왕겨 혼합비율 30%인 경우 수지 함침율 40%일 때 61.8%, 50%일 때 61.3%, 70%일 때 57.5%이었으며, 왕겨 혼합비율 70%인 경우 수지 함침율 40%일 때 56.3%, 50%일 때 55.8%, 70%일 때 53.4%로 수지 함침율이 높을수록 중량 감소율은 감소하였다. 이는 탄화과정에서 폐놀수지가 유리질 탄소로 변하면서 중량감소량이 목질재료보다 많았다는 것을 알 수 있다.

휨강도는 수지 함침율 40%인 경우 왕겨 혼합비율 30%일 때 36.2 kgf/cm², 50%일 때 40.1 kgf/cm², 70%일 때 49.5 kgf/cm²이었으며, 수지 함침율 70%인 경우 왕겨 혼합비율 30%일 때 50.7 kgf/cm², 50%

일 때 55.2 kgf/cm², 70%일 때 78.2 kgf/cm²로 왕겨 혼합비율이 증가함에 따라 소성 후 휨강도도 증가하였다. 이는 왕겨 속에 들어있는 규소성분이 세라믹의 밀도를 증가시키는 요인으로 작용한 것으로 판단된다. 같은 왕겨 혼합비율별 수지 함침율에 따른 휨강도는 왕겨 혼합비율 30%인 경우 수지 함침율 40%일 때 36.2 kgf/cm², 50%일 때 47.2 kgf/cm², 70%일 때 50.7 kgf/cm²이었으며, 왕겨 혼합비율 70%인 경우 수지 함침율 40%일 때 49.5 kgf/cm², 60%일 때 78.0 kgf/cm², 70%일 때 78.2 kgf/cm²로 수지 함침율이 증가할수록 탄화 후 휨강도도 증가하였다. 이는 세포내강에 침투되어있는 폐놀수지가 탄화과정에서 유리질탄소(glassy carbon)로 변환되면서 수지함침량이 많을수록 세포벽을 더욱 강화시켰기 때문으로 판단된다(Oh and Byeon 2002). 그러나 Oh (2004), Oh and Byeon (2002)이 간벌제 및 MDF로 제조한 우드세라믹의 휨강도 값 보다 낮은 값을 나타냈는데, 이는 보드 제조 및 탄화과정에서 왕겨와 톱밥의 불균일한 조직이 충분한 결합력을 갖지 못해서 나타난 결과로 생각된다.

3.2. 탄화온도에 따른 성질

제조된 혼합보드를 수지 함침율 50%로 함침하고 탄화온도 600°C, 800°C, 1000°C, 1200°C로 탄화한 혼합세라믹의 왕겨 혼합비율에 따른 밀도, 중량 및 치수변동과 휨강도를 Figs. 4~6에 나타냈다.

밀도는 탄화온도 600°C인 경우 왕겨 혼합비율 30%일 때 0.55 g/cm³, 70%일 때 0.58 g/cm³이었으며, 탄화온도 1000°C의 경우 왕겨 혼합비율 30%일 때 0.64 g/cm³, 70%일 때 0.66 g/cm³로 왕겨 혼합비율이 증가할수록 탄화 후 밀도도 약간 증가하는 경향을 보였으며, 특히 모든 탄화온도에서 왕겨 혼합비율 40%일 때 밀도가 가장 큰 것으로 나타났다.

한편 같은 왕겨 혼합비율 별 탄화온도에 따른 밀도는 왕겨 혼합비율 30%인 경우 탄화온도 600°C일 때 0.55 g/cm³, 1000°C와 1200°C일 때 0.64 g/cm³이었으며, 왕겨 혼합비율 40%인 경우 탄화온도 600°C일 때 0.62 g/cm³, 800°C일 때 0.66 g/cm³, 1000°C일

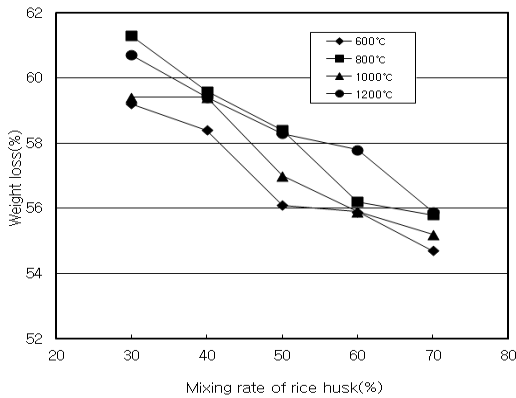


Fig. 5. Relationship between weight loss and mixing rate of rice husk according to the carbonizing temperature.

Legend: Carbonization temperature

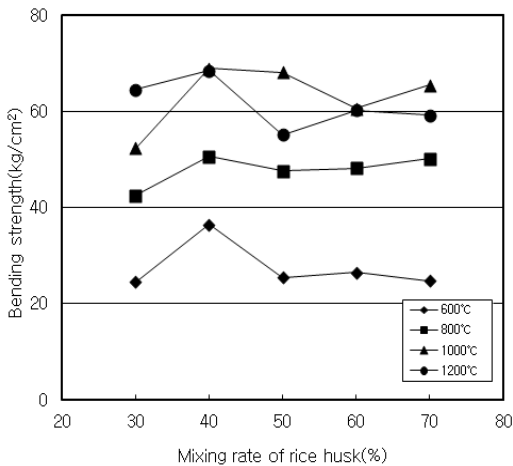


Fig. 6. Relationship between bending strength and mixing rate of rice husk according to the carbonizing temperature.

Legend: Carbonization temperature

때 0.71 g/cm³로 전반적으로 밀도는 탄화온도 600℃ 일 때가 가장 낮았으며 1000℃일 때가 가장 컸다. 또한 Oh *et al.* (2005)도 왕겨 혼합비율 50%인 톱밥 왕겨 혼합세라믹의 탄화온도별 밀도 조사에서 수지 함침율 40%일 때 탄화온도 600℃에서는 0.70 g/cm³, 1000℃에서는 0.75 g/cm³인 반면, 1200℃에서는 0.65 g/cm³로 탄화온도 1000℃까지는 밀도가 증가하

었다고 밝힌 바 있다. 이러한 이유는 탄화온도 저온 영역에서는 구조성분의 탈리반응 및 고온영역에서의 방향족 다환구조의 형성과 탄소 화에 의한 중량의 변화, 1500℃ 이상 초고온에서의 흑연 화에 기인된 것으로 판단된다(Okabe *et al.* 1995, 1995a).

중량 감소율은 탄화온도 600℃인 경우 왕겨 혼합비율 30%일 때 59.2%, 50%일 때 56.1%, 70%일 때 54.7%이었으며, 탄화온도 1200℃인 경우 왕겨 혼합비율 30%일 때 60.7%, 50%일 때 58.3%, 70%일 때 55.9%로 왕겨 혼합비율이 증가할수록 탄화 후 중량 감소율은 감소하였다. 이는 왕겨 혼합량이 많을수록 톱밥의 연소량이 적어 중량 감소율이 적은 것으로 판단된다.

한편 같은 왕겨 혼합비율별 탄화온도에 따른 중량 감소율은 왕겨혼합비율 30%인 경우 탄화온도 600℃일 때 59.2%, 800℃일 때 61.3%이었으며, 왕겨혼합율 70%인 경우 탄화온도 600℃일 때 54.7%, 1000℃일 때 55.2%, 1200℃일 때 55.9%로 탄화온도가 높을수록 중량 감소율도 큰 것으로 나타났다. Oh and Byeon (2002)은 MDF로 제조된 우드세라믹의 성질 조사에서 수지 함침율 40%일 때 탄화온도 500℃의 중량 감소율은 59.9%, 800℃는 63.2%, 1000℃는 65.3%로 탄화온도가 증가함에 따라 중량 감소율도 증가하였다고 보고하였다. 또한 Oh *et al.* (2005)은 톱밥과 왕겨의 혼합비율을 50 : 50으로 제조된 혼합세라믹의 중량 감소율은 수지 함침율 40%와 70%시 험편의 경우 탄화온도 600℃일 때 52.3%와 50.5%, 1000℃일 때 53.2%와 50.5%, 1200℃일 때 56.2%와 53.2%로 탄화온도 600~1000℃ 영역에서는 일정한 수치를 나타내었고 1200℃ 이후에는 빠른 증가를 보였다고 보고하였다.

힘강도는 탄화온도 600℃의 경우 왕겨 혼합비율 30%일 때 24.5 kgf/cm², 70%일 때 24.7 kgf/cm², 탄화온도 1200℃ 경우 왕겨 혼합비율 30%일 때 64.5 kgf/cm², 70%일 때 59.2 kgf/cm²로 탄화온도별 왕겨 혼합비율에 따른 힘강도는 일정한 경향은 없었으나, 모든 탄화온도에서 왕겨 혼합율 40%일 때가 가장 큰 것으로 나타나 앞에서 언급한 밀도의 영향을 받은 것으로 판단된다. 같은 왕겨 혼합비율에서 탄화온

도에 따른 휨강도는 왕겨 혼합비율 30%인 경우 탄화온도 600℃일 때 24.5 kgf/cm², 1000℃일 때 52.4 kgf/cm², 1200℃일 때 64.5 kgf/cm²이었으며, 왕겨 혼합비율 60%인 경우 탄화온도 600℃일 때 26.5 kgf/cm², 1000℃일 때 60.6 kgf/cm², 1200℃일 때 60.2 kgf/cm²로 탄화온도가 증가할수록 휨강도도 증가하였으며 탄화온도 1000℃와 1200℃일 때 휨강도 값은 비슷하였다. Okabe *et al.* (1995)은 MDF로 제조된 우드세라믹의 탄화온도와 휨강도와의 관계에서 탄화온도 300~500℃까지는 감소하다가 500~800℃까지는 증가하고 800~1500℃까지는 최고치에 달한 후 그 이후에는 감소하는 경향이 있다고 하였으며, 이는 탄화과정에서 목재의 열분해온도 및 폐놀 수지의 화학반응에 의한 밀도의 증가 때문이라고 밝힌바 있어 본 연구 결과도 이와 같은 경향이였다.

4. 결 론

본 연구에서는 제재 시 발생하는 톱밥과 농업부산물인 왕겨를 이용하여 왕겨의 혼합비율별로 혼합보드를 제조하고 수지를 함침한 다음 고온에서 탄화하여 혼합세라믹을 제조한 후 왕겨의 혼합비율에 따른 물성을 조사하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 동일한 수지 함침율 조건에서 왕겨 혼합비율이 증가함에 따라 탄화 후 밀도 및 휨강도는 증가하였으나 중량 감소율은 감소하였다. 또한 수지 함침율 증가에 따라 탄화 후 밀도 및 휨강도는 증가하였으나, 중량 감소율은 감소하였다.

2) 동일한 탄화온도 조건에서 밀도와 휨강도는 왕겨 혼합비율 40%일 때 가장 컸으며, 중량 감소율은 왕겨혼합비율이 증가함에 따라 감소하였다. 또한 탄화온도가 증가할수록 탄화 후 밀도, 중량 감소율 및 휨강도는 증가하였다.

REFERENCES

- Baek, I.H., Bin, H.S., kim, T.Y., kim, K.Y., Nam, K.C. 1998. The manufacture of activated carbon from agricultural by-products and their adsorption performance for the organics. *Journal of Korean Society of environmental Engineers* 20(10): 1485-1493.
- Hirose, T., Fan, T.X., Okabe, T., Yoshimura, M. 2001. Effect of carbonizing temperature on the basic properties of woodceramics impregnated with liquefied wood. *Journal of Material Science* 36: 4145-4149.
- Hirose, T., Fujino, T., Fan, T., Endo, H., Okabe, T., Yoshimura, M. 2002. Effect of carbonization temperature on the structural changes of wood-ceramics impregnated with liquefied wood. *Carbon* 40: 761-765.
- Lee, H.H. 1999. Development of rice hull board for the new ecomaterial. Report of ministry of agriculture, food and rural affairs.
- Oh, S.W. 2004. Resin Impregnation of sawdust board for making woodceramics(I) -Effect of impregnation method and time on physical and mechanical properties-. *Mokchae Konghak* 32(3): 25-32.
- Oh, S.W. 2004. Development of manufacturing technique for heating board of Functional wood-ceramics from thinned logs. Report of ministry of agriculture, food and rural affairs.
- Oh, S.W., Byeon, H.S. 2002. Properties of wood-ceramics made from MDF. *Mokchae Konghak* 30(2): 115-120.
- Oh, S.W., Byeon, H.S. 2003. Resin impregnation of sawdust board for making woodceramics(II) -Effect of density and addition rate of phenol formaldehyde resin-. *Mokchae Konghak* 31(5): 15-22.
- Oh, S.W., Byeon, H.S. 2004. Effect of impregnation ratio and carbonizing temperature on surface temperature of woodceramics made from thinned logs of *Pinus densiflora* S. et. Z.. *Mokchae Konghak* 32(4): 1-7.
- Oh, S.W. Piao, J.J. 2004. Properties of wood-

- ceramics made from thinned logs(I) -Effect of resin impregnation rate and burning temperature-. Mokchae Konghak 32(1): 73-79.
- Oh, S.W., Piao, J.J., Jeong, I.S. 2005. Properties of ceramics from a board mixed with sawdust and rice husk -Effect of percentage of resin impregnation and carbonization temperature-. Mokchae Konghak 33(3): 30-37.
- Okabe, T., Saito, K. 1995. Development of woodceramics. Transactions of the Material Research Society of Japan 18: 681-684.
- Okabe, T., K. Saito, H. Togawa, and Y. Kumagai. 1995. Electromagnetic shielding characteristic of porous carbon material "woodceramics". International Ecomaterial Conference, Xian, China pp. 9-12.
- Okabe, T., Saito, K., Togawa, H., Kumagai, Y. 1995a. Development of porous carbon material "woodceramics" -Electromagnetic shielding characteristics -Journal of the Society of Materials Science Japan 44(498): 288-291.
- Piao, J.J. 2004. Physical and mechanical properties of ceramics from board mixed with sawdust and rice husk. Master's thesis. Chonbuk National University.