

# 톱밥과 왕겨로 제조된 세라믹의 전기적 성질과 원적외선 방사특성<sup>1</sup>

오 승 원<sup>2,†</sup>

## Electrical Properties and Far-infrared Ray Emission of Ceramics Manufactured with Sawdust and Rice Husk<sup>1</sup>

Seung Won Oh<sup>2,†</sup>

### 요 약

농림 부산물인 톱밥과 왕겨를 이용하여 세라믹을 제조하고 페놀수지 함침율과 탄화 온도에 따른 전기적 성질 및 원적외선 방사특성을 조사하였다. 원적외선 방사율과 방사 에너지 값은 탄화온도가 증가함에 따라 감소하였으며, 수지함침율 60%, 탄화온도 600℃일 때 원적외선 방사율은 0.930, 방사에너지는  $4.32 \times 10 \text{ w/m}^2$ 로 가장 높았다. 전기저항 값은 탄화온도가 증가함에 따라 감소하여 1200℃ 이상에서는 거의 도체에 가까운 성질을 보였다. 소비전력은 수지함침율이 높을수록 전기저항의 감소와 전류의 증가로 함께 증가하였다.

### ABSTRACT

This study investigated electrical properties and far-infrared ray emission according to the carbonizing temperature and phenol-formaldehyde (PF) resin impregnation ratio of ceramics manufactured using sawdust and rice husk. The far-infrared ray emission values and emission energy values decreased as the carbonizing temperature increased. The far-infrared ray emission values of the ceramics manufactured using a carbonizing process at 600℃ and a board with a PF resin impregnation ratio of 60 percent was 0.930; the emission energy presented the highest value of  $4.32 \times 10 \text{ w/m}^2$ .

The electric resistance decreased as the carbonizing temperature increased. For the increase in the carbonizing temperature above 1200℃, ceramics was very close to a conductor due to the small resistance. The power consumption increased by the decrease of electric resistance and increase of the electric current in the case of a higher resin impregnation ratio.

**Keywords :** sawdust, rice husk, ceramics, electrical properties, far-infrared ray emission

<sup>1</sup> Date Received October 30, 2015, Date Accepted December 25, 2015

<sup>2</sup> 전북대학교 목재응용과학과, 농업과학기술연구소. Department of Wood Science & Technology, Institute of Agriculture Science & Technology, Chonbuk National University, Chonju 54896, Republic of Korea

<sup>†</sup> 교신저자(Corresponding author): 오승원(e-mail: ohsw@jbnu.ac.kr)

## 1. 서 론

화석계 에너지 자원 고갈에 따른 새로운 대체 에너지 개발에 대한 관심이 증대되고 있는 현실에서, 바이오에너지 자원이라 불리는 목질 및 비목질자원의 유효활용을 위한 연구는 에너지 자원 문제를 해결하는데 중요한 역할을 할 것으로 생각된다. 최근에는 목질재료를 이용한 새로운 탄소재료의 제조방법 및 용도개발을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다 (Hokkirigawa *et al.*, 1995, 1996; Jin *et al.*, 2008; Li *et al.*, 2012; Oh *et al.*, 2000, 2001, 2003; Okabe *et al.*, 1995a,b, 1996).

이에 본 연구에서는 농림부산물인 톱밥과 왕겨를 이용하여 다양한 방법으로 새로운 탄소재료를 제조하고 이를 친환경적 건축 재료의 소재 및 공업적으로 이용가능성을 검토하기 위하여 혼합세라믹의 전기적 성질 및 원적외선 방사 특성을 조사하고자 한다. 원적외선이란 전자파의 일종으로 가시광선 보다 긴 파장측에서 나타나고, 특히 강한 열작용을 갖는 방사선을 말한다. 원적외선 산업은 건조분야에서 균일한 건조, 에너지절감 효과가 있으며, 기능 및 건강 측면에서 생육촉진, 세포활성화, 혈액 순환촉진, 대사기능 활성화 등 효과가 있어 오늘날 많은 관심의 대상이 되고 있고 앞으로 산업적으로 다양하게 이용될 것으로 생각된다(KFIA, 2000).

본 연구에서 재료로 사용하는 톱밥은 목재의 제재 과정에서 발생하는 임업부산물로서 그동안 주로 축산폐수정화용, 유기질비료 제조용 및 연료 등으로 소량 사용되어왔다. 산림청 통계에 의하면 톱밥 생산량은 2014년 말 기준 50,063 m<sup>3</sup>이며, 금액으로는 약 36억 원 가량이다(Korea Forest Service, 2015). 국내 목재 자급율이 약 12% 정도에 미치지 못하고 목재 원자재가격의 상승과 수요 감소에 따른 경영악화를 겪고 있는 목재 관련업계의 경우 톱밥의 효과적인 처리 방법과 유효활용에 많은 관심을 갖고 있다. 또한 왕겨는 벼의 도정 시 발생하는 부산물로 30~40%의 탄소성분과 20~30%의 실리카(SiO<sub>2</sub>) 성분으로 이루어져 있다(Korea Institute of Construction Technology, 1994). 세계의 쌀 생산량은 연간 약 5억

톤으로서 이의 부산물인 왕겨도 대량 발생하여 연간 3300만 톤으로 추정되며, 우리나라의 경우에도 벼 생산량이 연평균 730만 톤인데 이 중 16~18%를 왕겨로 추정하고 있다(Lee, 1999). 그동안 왕겨는 표면이 거친 특성, 영양분이 적은 점, 잘 썩지 않는다는 점, 낮은 걸보기밀도 및 높은 회분함량 등으로 일부는 쌀겨기름이나 왁스 제조에 사용되는 정도로서 유효한 이용방안을 찾아야 하는 실정이다.

이와 같이 톱밥과 왕겨는 농림부산물로서 많은 양이 생산되고 있음에도 불구하고 효과적인 처리와 유효활용에 어려움이 있어 이용에 한계를 느껴왔기 때문에 이를 재활용하여 새로운 제품을 개발하고 공업적으로 이용할 수 있는 가능성을 검토한다면 농림가의 소득증대, 관련 산업의 활성화 및 환경오염원의 차단이 이루어질 것으로 판단된다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 공시재료

#### 2.1.1. 톱밥

톱밥은 소나무 간벌재 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 정미소에서 구입하여 음건한 후 보드 제조 시 결합력을 높이기 위하여 분쇄기로 분쇄하여 입자 크기를 18 mesh로 선별하고 함수율은 5% 이하로 조절하여 사용하였다.

#### 2.1.3. 수지

톱밥·왕겨 혼합보드 제조를 위하여 분말상 페놀수지(코오롱유화(주), KNB-100PL)를 사용하였으며, 수지첨가량은 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.

**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. 시험방법

### 2.2.1 혼합보드 제조

보드를 제조하기 위하여 균일하게 선별된 톱밥과 왕겨 및 분말상 페놀수지를 충분히 혼합하여 열압기의 열판 위에 있는 스테인레스 정방향 몰드 속에 넣고 시료상부의 높이를 일정하게 조절한 후 열압 성형하여 26 cm × 26 cm × 1.4 cm의 보드를 제조하였다. 보드의 제조조건은 톱밥과 왕겨의 중량혼합비 3 : 7, 4 : 6, 5 : 5, 6 : 4, 7 : 3에 따라 밀도 0.6 g/cm<sup>3</sup>로 각 5장씩 총 25장의 보드를 제조하였다. 이때 열압온도는 190°C, 가압압력은 40 kgf/cm<sup>2</sup> → 30 kgf/cm<sup>2</sup> → 20 kgf/cm<sup>2</sup> (3단 가압), 가압시간 6분 → 5분 → 4분(3단 가압시간)으로 하였다. 열압과정에서 보드의 두께를 일정하게 하기 위하여 thickness bar를 사용하였으며, 열에 의한 보드의 상·하면과 열판의 부착을 방지하기 위하여 테프론 판을 사용하였다.

### 2.2.2 혼합보드의 함침처리

제조한 보드를 두께 14 mm, 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 혼합비별로 밀도 ± 0.02 g/cm<sup>3</sup>인 시편을 10개씩 선정하였다. 준비된 시편을 액상 페놀수지가 들어 있는 함침탱크에 넣은 후 감압(1기압)과 초음파처리(주파수: 28 kHz, 출력: 564 W)를 20분 동안 병행한 후 다시 상압에서 20분 동안 방치하는 방법으로 3반복하여 함침 처리하였다(함침탱크 내부직경 ϕ 31

cm). 함침에 사용한 감압·초음파 함침장치는 함침탱크, 초음파 진동부, 초음파 발전부, 진공펌프 등으로 구성되어있다. 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

혼합비율별로 함침 후 경화된 시편 중 수지함침율이 40 ± 3%, 50 ± 3%, 60 ± 3%, 70 ± 3%인 시편을 선정하여 진공 탄화로를 이용하여 600°C, 800°C, 1000°C, 1200°C, 1500°C로 각각 탄화하여 세라믹을 제조하였다. 이때 승온속도는 4 °C/min, 최고 온도에서 유지시간은 2시간의 조건으로 하였다.

### 2.2.4 전기적 성질 및 원적외선 방사율 조사

탄화온도 및 수지 함침율별로 제조된 우드세라믹의 양쪽 가장자리 옆에 폴리머형 동도전 paste (삼정 금속도료화학, S-5000)를 coating한 후 전선을 연결하고 Digital power meter를 이용하여 저항, 전압, 전류 및 소비전력을 측정하여 전기적 특성을 조사하였다. 또한 세라믹의 원적외선 특성을 조사하기 위하여 가로 30 mm × 세로 30 mm × 두께 2 mm의 시편을 제작하여 공시재료로 사용하였다.

원적외선 방사율은 FT-IR Spectrometer (MIDAC, Corporation)를 이용하여 50°C에서 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 전기적 특성

톱밥과 왕겨 혼합보드로 제조된 세라믹을 면상발 열체나 열적 특성을 지닌 재료로 개발하여 산업분야에 활용하기 위해서는 전기적 특성이 매우 중요하다.

톱밥과 왕겨의 혼합비율별로 제조된 보드를 수지 함침하여 함침율 50 ± 3%로 조절된 함침보드를 탄화온도 및 왕겨혼합율별로 탄화하여 만든 세라믹의 전기저항을 측정한 결과를 Table 2에 나타내었다. 탄화온도 600°C로 제조된 세라믹의 저항은 134.2~154.3 Ω으로 컸으나, 탄화온도가 높을수록 저항이

**Table 2.** Electric resistivity of ceramics by carbonization temperature

CT (°C) \ MR (%)	30	40	50	60	70
600	141.5	149.3	154.3	140.0	134.2
800	8.3	9.8	7.5	8.4	9.0
1000	2.5	2.8	2.2	2.2	2.3
1200	1.8	1.8	1.5	1.4	1.4
1500	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2

CT : Carbonization temperature MR : Mixing rate of rice husk

**Table 3.** Electric resistivity of ceramics by percentage of resin impregnation

PRI (%) \ MR (%)	30	40	50	60	70
40	11.1	10.4	9.5	12.0	11.5
50	8.3	9.8	7.5	8.4	9.0
60	8.0	9.4	6.3	9.4	7.8
70	7.9	7.9	6.0	4.3	5.5

PRI : Percentage of resin impregnation MR : Mixed rate of rice husk

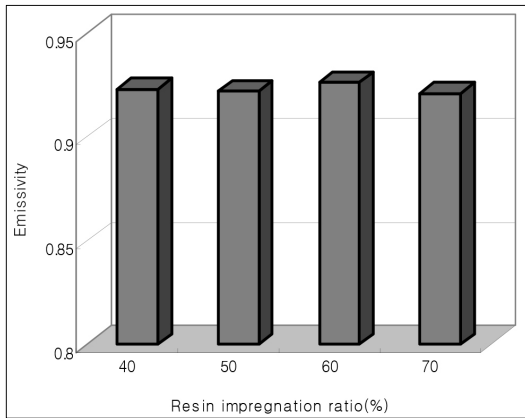
작아져 1200℃ 이후에는 거의 도체에 가까운 저항값을 나타냈다. 이는 탄화온도 600℃ 정도에서는 탄소화의 불충분으로 거의 절연체에 가까웠기 때문이며, 탄화온도가 높을수록 밀도도 증가하여 전기 저항이 적은 것으로 사료된다. 한편 탄화온도를 800℃로 고정하고 수지함침율별로 제조된 세라믹의 저항을 측정한 결과를 Table 3에 나타내었다. 수지함침율이 증가함에 따라 저항이 감소하는 경향을 보여 탄화과정 중 수지가 유리질탄소로 변화되어 저항에 영향을 미친 것으로 사료된다. 또한 수지함침율 및 탄화온도에 따른 왕겨 혼합비율과 전기저항과의 관계는 일정한 경향이 없었다. Oh and Byeon (2006)은 소나무 간벌재로 제조된 우드세라믹의 전기저항은 소성온도가 증가함에 따라 감소하여 탄화온도 800℃일 때 0.5 Ω이었으며 1000℃ 이후 높은 온도에서는 0.2 Ω으로 거의 도체에 가까운 저항값을 나타냈다고 보고한 바 있다. 그러나 본 연구에서 제조된 혼합세라믹의 저항값은 톱밥만으로 제조된 우드세라믹 저항값보다 약간 크게 나타났는데, 이는 수지함침과정에서 전체적인 함침율은 변함이 없으나 왕겨의 특성상 왕겨부위에 수지함침이 잘 되지 않아 탄화과정에서 균일한

유리질탄소의 분포가 어려웠기 때문으로 생각된다. 따라서 세라믹 제조 시 탄화온도 및 수지함침율의 변화로 전기저항 조절이 가능하기 때문에 용도에 따라 세라믹의 제조방법을 선택할 수 있을 것으로 판단된다.

또한 탄화온도 800℃ 이상에서는 저항이 너무 작아 전기적 특성을 조사하기 어렵기 때문에 톱밥과 왕겨의 혼합비가 5 : 5인 보드를 함침율 별로 탄화온도 650℃에서 제조된 세라믹을 이용하여 전기연결 후 30분 후의 저항, 표면온도 및 소비전력 등의 전기적 특성을 조사한 결과는 Table 4에 나타내었다. 전압 약 3 V를 통전한 상태에서 함침율이 증가함에 따라 전기저항은 감소하고 전류는 증가하여 소비전력은 증가하였다. 이는 함침율 증가로 인한 세라믹의 밀도 증가가 원인으로 사료된다. 30분 후의 세라믹 가장자리 4군데의 표면온도 평균값은 저항이 클수록 감소하였으며 저항 4 Ω 정도에서 표면온도가 45℃ 이상으로 나타났다. 이러한 결과 역시 소나무로 제조된 우드세라믹의 전기적 특성에서 저항과 전류 및 소비전력과의 관계는 본 연구결과와 같은 경향이었으나(Oh and Byeon, 2006), 같은 조건으로 제조된

**Table 4.** Electric properties of ceramics

Percentage of resin impregnation (%)	Resistivity ( $\Omega$ )	Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	voltage (V)	Electric current (A)	Consumption of Electric power (Wh)
50	13.20	37.5	3.85	0.47	1.82
60	8.52	39.8	3.69	0.65	2.40
70	4.30	45.7	3.54	1.25	4.43
80	2.15	51.6	3.29	2.25	7.41



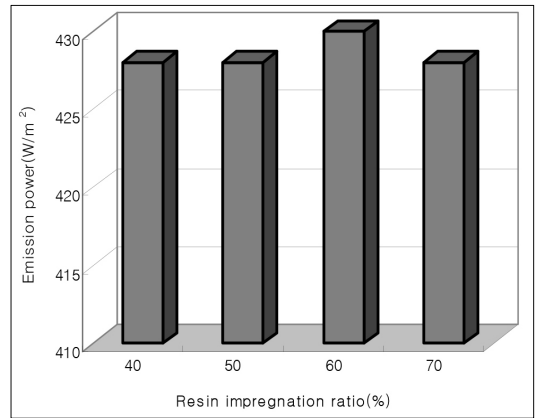
**Fig. 1.** Relationship between resin impregnation ratio and emissivity.

혼합세라믹의 저항값이 높아 우드세라믹 측정값에 비해 전류와 소비전력은 작았으나 30분 후의 표면온도는 낮아 온도를 높이기 위해서는 높은 전압으로 통전해야 할 것으로 판단된다.

### 3.2. 세라믹의 원적외선 방사특성

함침을 별로 탄화온도 800 $^{\circ}\text{C}$ 에서 탄화한 세라믹과 수지함침율 50%의 함침보드를 탄화온도별로 탄화하여 만든 세라믹의 원적외선 방사율과 방사에너지를 측정된 결과를 Figs. 1~4에 나타내었다.

세라믹의 5~20  $\mu\text{m}$  파장영역에서 이상 흑체대비 전방사율은 수지함침율에 따라서 수지함침율 40%일 때 0.923, 60%일 때 0.926, 70%일 때 0.921이었으며, 방사에너지는 40%, 50%, 70%일 때  $4.28 \times 10^2 \text{ w/m}^2$ 로 같았으며, 수지함침율 60%일 때  $4.30 \times 10^2 \text{ w/m}^2$



**Fig. 2.** Relationship between resin impregnation ratio and emission power.

로서 수지함침율별로 일정한 경향은 없었다.

한편 탄화온도별 전방사율 및 방사에너지는 탄화온도 600 $^{\circ}\text{C}$ 일 때 0.930,  $4.32 \times 10 \text{ w/m}^2$ , 1000 $^{\circ}\text{C}$ 일 때 0.921,  $4.28 \times 10^2 \text{ w/m}^2$ , 1200 $^{\circ}\text{C}$ 일 때 0.914,  $4.24 \times 10^2 \text{ w/m}^2$ 로 탄화온도가 증가함에 따라 감소하는 방사특성을 나타내었다. Oh와 Byeon (2006)이 소나무 간벌재로 제조된 우드세라믹의 원적외선 방사율 측정에서 탄화온도가 높을수록 방사율은 감소한다는 결과와 같은 경향이였다.

이러한 원적외선 방사율은 규사(0.60~0.80), 맥반석(0.90),  $\text{SiO}_2$  (0.83)보다 높았으며 숯(0.93), 그라파이트(0.93), 세라믹코팅판(0.924) 등과 비슷하였다(KFIA, 2000). 특히 Okabe (1996)가 MDF를 재료로 800 $^{\circ}\text{C}$ 에서 탄화하여 만든 우드세라믹의 방사율 측정값 0.80보다 우수하였으며, Oh와 Byeon (2006)이 소나무로 제조된 우드세라믹의 전방사율 및 방사

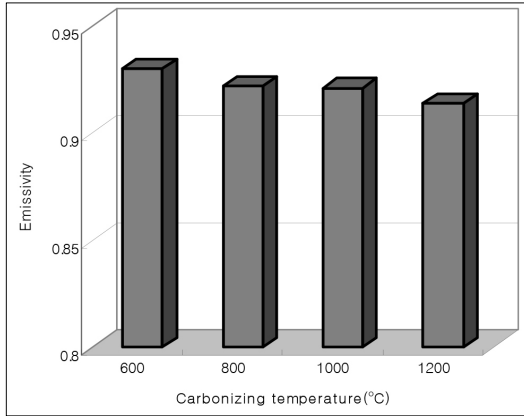


Fig. 3. Relationship between carbonizing temperature and emissivity.

에너지 측정값 경향과 일치하였으나, 전방사율의 경우 전 탄화조건에서 우드세라믹 측정값보다 높게 나타나 원적외선 관련 제품개발을 위하여 세라믹 제조 시 왕겨의 혼합이 효과적일 것으로 판단된다.

이상의 결과 수지함침율 60~70%, 탄화온도 600~700°C 조건으로 탄화하여 제조된 세라믹이 발열판으로 사용하기에 적당할 것으로 판단되며, 일반적으로 원적외선 방사는 시료의 표면 상태에 따라 다른 성질을 나타내기 때문에 탄화온도와 원적외선 방사 특성과의 관계를 규명하기 위해서는 시료의 표면상태도 같이 검토되어야 할 것이다. 또한 표면온도의 변화도 저항값의 차이에 영향을 받기 때문에 시료 전 부분에 대한 구체적인 검증이 필요하다고 생각된다.

#### 4. 결 론

본 연구에는 농림부산물인 톱밥과 왕겨를 이용하여 혼합보드를 제조한 다음 수지함침하고 고온에서 탄화하여 세라믹을 제조한 후 이를 공업적으로 사용하기 위한 가능성을 검토하고자 전기적 성질 및 원적외선 방사특성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 탄화온도별로 제조된 세라믹의 전기저항은 탄화온도 600°C의 경우 134.2~154.3 Ω으로 높았으나

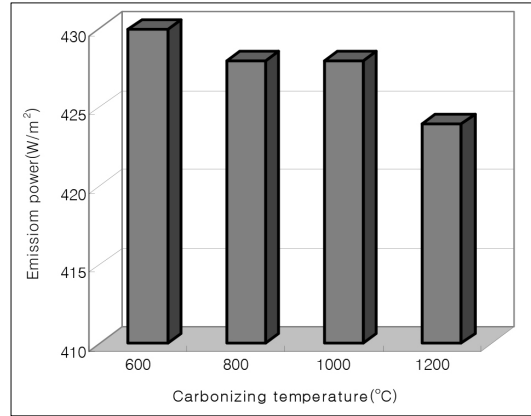


Fig. 4. Relationship between carbonizing temperature and emission power.

탄화온도가 높을수록 저항이 작아져 1200°C 이후에는 거의 도체에 가까운 저항값을 나타냈다. 수지함침율별 저항값은 수지함침율이 증가함에 따라 감소하였다. 함침율을 달리하여 탄화온도 650°C로 제조된 세라믹의 전기적 성질은 전압 3 V를 통전한 상태에서 수지함침율이 증가함에 따라 전기저항은 감소하고 전류는 증가하여 소비전력은 증가하였다. 원적외선 방사율 및 방사에너지는 수지함침율별로 일정한 경향은 없었으나 탄화온도가 증가함에 따라 감소하는 방사특성을 보였다. 수지함침율 50%, 탄화온도 600°C일 때 방사율 0.930, 방사에너지  $4.32 \times 10 \text{ w/m}^2$ 으로 가장 높았다.

#### REFERENCES

- Hokkirigawa, K., Okabe, T., Saito, K. 1995. Development of porous carbon material “woodceramics”-Fundamental wear properties under unlubricated condition on air, under base-oil impregnated condition and in water. Journal of the Society of Materials Science, Japan 44(501): 800-804.
- Hokkirigawa, K., Okabe, T., Saito, K. 1996. Wear properties of new porous carbon materials:

- woodceramics. *Journal of Porous Materials* 2: 229-235.
- Jin, Y., Zang, T., Zhao, X., Cheng, X. 2012. Microstructure and properties of woodceramics prepared from lignin-modified phenol-formaldehyde resin. *Journal of Wuhan University of Technology-mater.* 27(6): 1077-1080.
- Korea Far Infrared Association 2000. The data of far-infrared. Estimation and Application. 155pp.
- Korea Forest Service, 2015. Statistical Yearbook of Forestry, 45.
- Korea Institute of Construction Technology. 1994. A study on the reuse of treated wastewater: Focused on the reclamation of treated wastewater by the activated carbon prepared from korean rice. pp. 43-54.
- Lee, H.H. 1999. Development of rice hull board for the new ecomaterial. Report of Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs.
- Li, W., Jang, L., Ning, L., Jang, S., Shenghu, G. 2008. Effect of microwave irradiation on the basic properties of woodceramics made from carbonized tobacco stems impregnated with phenolic resin. *Industrial Crops and Products* 28: 143-154.
- Oh, S.W., Byeon, H.S. 2003. Change of Surface temperature in woodceramics made from MDF (II) Effect of impregnation rate and burning temperature-. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 31(1): 41-45.
- Oh, S.W., Byeon, H.S. 2006. Far-infrared ray emission and electrical properties of woodceramics manufactured with thinned logs. *Forest Products Journal* 56(7/8): 29-32.
- Oh, S.W., Okabe, T., Hirose, T. 2000. Electrical properties of woodceramics made from thinned logs of *Crytomeria japonica*D. Don. *Journal of the Korean Society of Furniture Technology* 11(1): 31-36.
- Oh, S.W., Okabe, T. 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.
- Okabe, T. 1996. Porous carbon materials "woodceramics". Uchida Rokakuho Publishing Co., Ltd. pp. 112-115.
- Okabe, T., Saito, K. 1995a. Development of woodceramics. *Transactions of the Material Research Society of Japan* 18: 681-684.
- Okabe, T., Saito, K. 1995b. The examination of the manufacturing method of woodceramics (I) Structural changes affected by burning temperature -. *International Ecomaterial Conference, Xian, China* pp. 1-4.
- Okabe, T., Saito, K., Hokkirigawa, K. 1996. The effect of burning temperature on the structural changes of woodceramics. *Journal of Porous Materials* 2: 215-221.