

## 재 탄화에 의한 고밀도 우드세라믹 제조 및 성질\*<sup>1</sup> - 탄화온도의 영향 -

오 승 원\*<sup>2†</sup> · 황 정 우\*<sup>2</sup>

## Properties and Manufacture of High Density Woodceramics by Re-carbonization\*<sup>1</sup>

- Effect of Carbonization Temperature -

Seung Won Oh\*<sup>2†</sup> · Jung Woo Hwang\*<sup>2</sup>

### 요 약

고밀도 우드세라믹 제조를 위한 기초연구로서 수지함침율 60%인 톱밥보드를 이용하여 탄화온도별로 제조된 1차 탄화 우드세라믹을 수지 재 함침한 후 2차 탄화하여 우드세라믹을 제조하고 그 물성을 조사하였다. 1, 2차 탄화 우드세라믹 성질 비교에서 탄화온도가 높아질수록 2차 탄화 후 중량 및 밀도증가율은 감소하였고 탄화온도 600°C일 때 1차 탄화 시보다 중량은 21.7%, 그리고 밀도는 1차 탄화 시 0.68 g/cm<sup>3</sup>에서 2차 탄화 시 0.82 g/cm<sup>3</sup>로 20.6% 증가하여 최고치를 나타냈다.

### ABSTRACT

Repeated impregnation and carbonization processes were performed to prepare high-density woodceramics using a sawdust board. The physical properties were investigated to confirm morphological and structural changes of one-time and two-time phenolic resin-treated and carbonized woodceramics. As comparing between one-time and two-time carbonized woodceramics, the weight and the density of the two-time carbonized woodceramics decreased with an increase of the carbonization temperature. When the carbonization temperature was 600°C, the weight increased by 21.7% and density increased by 20.6% from 0.68 g/cm<sup>3</sup> to 0.82 g/cm<sup>3</sup>, respectively, as a maximum value.

\*<sup>1</sup> 접수 2009년 6월 29일, 채택 2009년 7월 29일

\*<sup>2</sup> 전북대학교 농업생명과학대학, 농업과학기술연구소, College of Agriculture and Life Science, Institute of Agriculture Science & Technology Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea

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

**Keywords:** woodceramics, carbonization temperature, two-time carbonized woodceramics

## 1. 서 론

우드세라믹(Woodceramics)은 목재나 목질재료에 열경화성 수지를 함침한 후 진공상태의 고온에서 탄화하여 만든 새로운 다공질 탄소 재료로서 1995년 Okabe와 Saito가 개발하여 명명한 이래 다양한 제조 방법과 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 일반 목재 이외에 폐재의 이용이 가능하고, 생산폐기물인 목초액은 토양개량제, 방충제 등으로 이미 널리 사용되고 있다. 또한 사용 후 우드세라믹은 재 처리하여 활성탄이나 연료로서 재 이용이 가능하기 때문에 환경에 부담이 없고 조화하는 에코메트리얼(Eco-material)로서, 원재료의 종류 및 수지함침율, 탄화온도, 승온온도 등 제조조건에 따라 물성이 다양하며 특히 수지함침율과 탄화온도는 우드세라믹의 밀도에 많은 영향을 끼치는 인자로 알려져 있다(Hirose *et al.*, 2001, 2002; Oh *et al.*, 2000, 2001). 일반적으로 공업재료는 용도에 따라 요구되는 성능도 다르기 때문에 우드세라믹의 강도 강화를 위하여 우드세라믹과 다양한 재료들과의 복합화 연구도 수행되고 있다. Xie 등(2002)은 마찰재료로서 우드세라믹의 강도를 보강하기 위하여 Aluminum-Silicon 합금을 MDF로 제조된 우드세라믹에 침투시켜 다양한 조건에서 마모, 마찰특성을 검토하였다. Xian 등(2002)도 MDF로 제조된 우드세라믹에 마그네슘을 용융하여 침투시켜 혼합물을 만든 다음 강도 특성과 온도에 따른 마찰 특성을 조사하였다. 또한 Xian 등(2002)은 우드세라믹에 진공상태의 고압에서 용해된 알루미늄과 알루미늄 합금을 주입하여 우드세라믹을 강화시킨 후 전자현미경으로 구조를 관찰하고, XRD (X-ray diffraction), 휨강도, 압축강도 등을 측정하여 우드세라믹과 비교한 바 있다.

이와 같이 우드세라믹의 새로운 용도개발을 위해서는 우수한 강도성능을 지닌 우드세라믹 제조기술

의 개발이 필요하기 때문에, 본 연구에서는 톱밥을 이용하여 우드세라믹을 제조하고, 탄화 온도별로 이를 다시 재 함침과 재 탄화 과정을 거쳐 고밀도 우드세라믹 제조방법을 찾기 위한 기초실험을 실시하였다. 또한 탄화온도에 따른 물성변화를 검토하여 고밀도 우드세라믹을 온돌마루판의 하부소재로의 이용하기 위한 생산 가능성을 살펴보았다.

## 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 유지하기 위하여 입자 크기를 18 mesh 이하로 선별하고 함수율은 6% 이하로 조절하였다.

#### 2.1.2. 수지

톱밥보드 제조를 위하여 분말상 페놀수지(코오롱유화(주), KNB-100PL)를 사용하였으며, 수지침가량은 톱밥 중량의 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 used in this study

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. 보드제조

보드를 제조하기 위하여 균일하게 선별된 톱밥과 분말상 페놀수지를 충분히 혼합하여 열압기의 열판 위에 있는 스테인레스 정방형 몰드 속에 넣고 시료상부의 높이를 일정하게 조절한 후 열압 성형하여 26 × 26 × 1.4 cm의 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 열압하여 밀도 0.6 g/cm<sup>3</sup>인 보드를 60매 제조하였다.

### 2.2.2. 함침 및 1차 탄화 우드세라믹 제조

제조한 보드를 두께 14 mm, 단면의 크기를 12 × 12 cm의 크기로 재단한 다음 항온습습기(온도: 20 ± 1°C, 습도: 65 ± 5%)에서 조습처리한 후 밀도를 계산하였다. 시험조건을 일정하게 하기 위하여 밀도 ±0.02 g/cm<sup>3</sup>인 시편을 120개 선정하였다.

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 함침율을 60%로 조절하였다. 함침 후 시편을 24시간 음건 후, 건조기에 넣고 60°C에서 8시간, 100°C와 135°C에서 각각 10시간씩 건조 및 경화시켰다. 시편 건조 후 함침율 60%인 시편을 진공탄화로(KOVAC KSF-100 고려진공(주))를 이용하여 600°C, 800°C, 1000°C, 1200°C에서 20개씩 탄화하여 1차 탄화 우드세라믹을 제조하였다. 이때 승온온도는 4°C/min이었으며, 목표온도에서 2시간 유지한 다음 냉각시켰다.

### 2.2.3. 수지 재 함침 및 2차 탄화 우드세라믹 제조

우드세라믹의 고밀도화를 위하여 제조된 1차 탄화 우드세라믹을 액상페놀수지가 들어있는 함침탱크에 넣은 후 1차 함침과 같은 방법으로 수지 재 함침한 다음 1차 탄화 우드세라믹 제조 시와 같은 방법으로

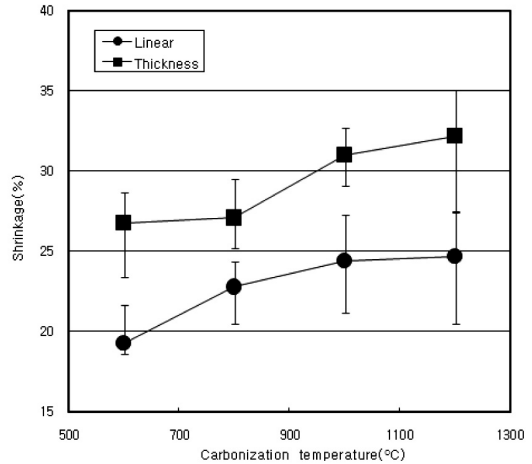


Fig. 1. Shrinkage of woodceramics after first carbonization according to the carbonization temperature.

건조, 경화 및 재 탄화하여 우드세라믹을 제조하였다.

### 2.2.4. 치수변동, 중량 및 밀도측정

각각의 조건별로 시험편을 10개씩 선정하여 각 단계별로 제조된 톱밥보드, 1차 탄화 우드세라믹, 2차 함침 우드세라믹 및 2차 탄화 우드세라믹에 대하여 조습처리한 후 치수와 중량을 측정하여 치수변화 및 밀도를 조사하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 1차 탄화 우드세라믹의 물리적 성질

수지함침율 60%인 시편을 탄화온도를 달리하여 제조한 우드세라믹의 길이감소율, 두께감소율 및 밀도변화를 Figs. 1, 2에 나타내었다.

수지함침 보드는 1차 탄화 후 길이와 두께가 감소하였다. 길이감소율은 탄화온도 600°C일 때 19.3%, 1000°C일 때 24.4%, 1200°C일 때 24.7%, 두께감소율은 탄화온도 600°C일 때 26.8%, 1000°C일 때 31.0%, 1200°C일 때 32.2%로 탄화온도가 높아짐에 따라 감소율도 완만히 증가하여 Hirose (2001)의 연구결과

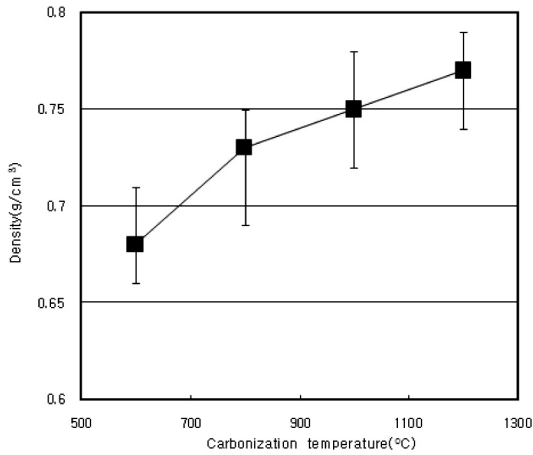


Fig. 2. Density of woodceramics after first carbonization according to the carbonization temperature.

와 유사하였으며, 일반적으로 두께감소율이 길이감소율보다 5~10% 큰 경향과 일치하였다(Okabe *et al.*, 1996).

Okabe *et al.* (1996)은 MDF로 제조된 우드세라믹의 특성조사에서 탄화온도 400°C일 때 길이감소율은 8%, 두께감소율은 14%이었으며, 600°C일 때 길이감소율은 18%, 두께감소율은 26%이었고 1000°C일 때 길이감소율은 25%, 두께감소율은 27%라고 보고한 바 있으며, 600°C 이하의 저온영역에서 급격한 치수 수축이나 중량감소는 주로 구성성분의 탈리 반응에 의한 것이며, 1000°C 이하에서의 치수 및 중량의 변화는 목재와 수지의 탄화에 의해 구조가 변화하였기 때문이고 탄화온도 1000°C 이상에서는 중량감소율이 완만해지는데 이는 페놀수지의 방향족 다환구조의 형성과 탄소화에 의한 것이라고 보고하였다.

밀도는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 탄화온도 600°C일 때 0.68 g/cm<sup>3</sup>, 1000°C일 때 0.7 g/cm<sup>3</sup>, 1200°C일 때 0.77 g/cm<sup>3</sup>로 탄화온도가 높아짐에 따라 증가하였다. 岡部(1996)는 함침율 68.9%인 MDF 함침재로 탄화온도에 따른 우드 세라믹의 밀도를 조사하여 밀도가 탄화온도 500°C에서 0.70 g/cm<sup>3</sup>, 800°C에서 0.85 g/cm<sup>3</sup>로 증가하다 1000°C에서는 0.80 g/cm<sup>3</sup>로 감소하고 탄화온도 2000°C까지는 완만히 감소한 후 다시 증가하는 경향을 보였다고 밝힌 바 있다.

본 연구 결과에서는 탄화온도 1200°C까지 밀도가 감소 없이 계속 증가하는 것으로 나타났는데 이는 탄화온도가 높아지면서 길이, 두께 등 치수감소율에 비하여 상대적으로 중량감소율이 컸기 때문으로 생각된다. 그러나 탄화온도가 높을수록 밀도는 증가한다는 이전의 연구결과(Oh *et al.*, 2000; Okabe *et al.*, 1996, 1996a)와는 같은 경향이었으나 밀도 값은 약간 적었는데, 이는 함침에 사용했던 원재료의 종류 및 제조과정에서 압력, 온도 및 수지 첨가량 등의 차이에 기인된 것으로 판단되어 이에 대한 확실한 규명이 필요한 것으로 판단된다.

### 3.2. 2차 함침 우드세라믹의 물리적 성질

고밀도 우드세라믹을 제조하기 위하여 1차 탄화하여 제조된 우드세라믹을 재 함침하여 성질을 조사한 결과는 Table 2와 같다. 수지 재 함침한 우드세라믹은 1차 탄화 우드세라믹에 비해 길이, 두께, 중량 및 밀도가 증가하였으며 탄화온도에 따른 길이 및 두께 증가율은 탄화온도 600°C일 때 각각 0.51%, 1.43%, 1000°C일 때 0.41%, 1.37%, 1200°C일 때 0.44%, 2.15%로 길이증가율보다 두께증가율이 약간 컸으나

Table 2. Properties of woodceramics after impregnation with phenol resin

		Linear swelling (%)	Thickness swelling (%)	Increasing rate of weight (%)	Increasing rate of density (%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )
CT <sup>a</sup> (°C)	600	0.51 <sup>b</sup> (0.03) <sup>c</sup>	1.43(0.40)	38.65(3.95)	35.23(4.11)	0.92(0.04)
	800	0.70(0.10)	1.09(0.25)	36.73(3.57)	31.52(3.08)	0.96(0.07)
	1000	0.41(0.11)	1.37(0.37)	35.62(4.15)	28.05(3.12)	0.96(0.05)
	1200	0.44(0.07)	2.15(0.51)	22.25(3.01)	19.51(1.78)	0.92(0.04)

<sup>a</sup> Carbonization temperature, <sup>b</sup> Each mean value from 10 replications, <sup>c</sup> Parenthesis is standard deviation

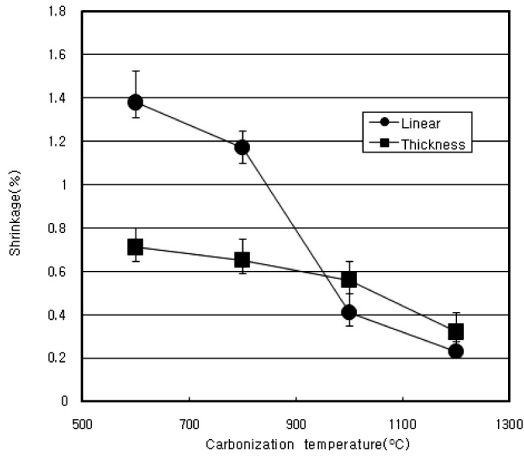


Fig. 3. Shrinkage of woodceramics after second carbonization according to the carbonization temperature.

탄화온도별로는 큰 차이가 없었다. 중량증가율은 탄화온도 600°C일 때 38.65%, 1200°C일 때 22.50%로 탄화온도가 높아짐에 따라 감소하였고, 밀도증가율도 탄화온도 600°C일 때 35.23%, 1000°C일 때 28.05%, 1200°C일 때 19.51%로 탄화온도가 높을수록 감소하였다. 수지는 우드세라믹 시편의 공극을 통해 침투하기 때문에 1차 탄화 과정 중 고온에서 탄화하여 밀도가 증가된 우드세라믹 시편일수록 수지함침율이 감소하였고, 그에 따라서 전반적인 중량 및 밀도증가율이 적게 나타났다고 생각된다.

### 3.3. 2차 탄화 우드세라믹의 물리적 성질

수지 재 함침한 우드세라믹 시편을 1차 탄화 우드세라믹 제조 시와 같은 온도 조건으로 2차 탄화한 우드세라믹의 탄화 온도별 길이감소율, 두께감소율, 중량감소율 및 밀도변화를 Figs. 3, 4에 나타내었다. 2차 탄화 우드세라믹 시편은 수지 재 함침 후 2차 탄화 전 우드세라믹 시편에 비해 길이 및 두께가 감소하였다.

길이감소율은 탄화온도 600°C일 때 1.38%, 1000°C일 때 0.41%, 1200°C일 때 0.23%로 탄화온도가 높아질수록 감소율이 적었으며, 두께감소율도 탄화온도

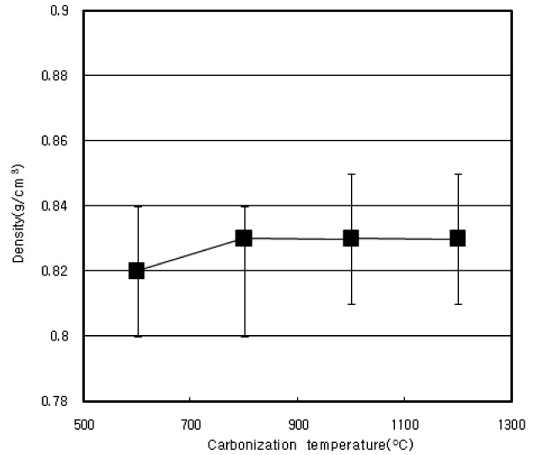


Fig. 4. Density of woodceramics after second carbonization according to the carbonization temperature.

600°C일 때 0.71%, 1000°C일 때 0.56%, 1200°C일 때 0.32%로 탄화온도가 높아질수록 감소율이 적었다. 2차 탄화 우드세라믹의 길이감소율은 함침보드의 1차 탄화 우드세라믹 제조시의 탄화온도별 길이감소율 19.3%, 22.8%, 24.4%, 24.7%와 비교하여 1.38%, 1.17%, 0.41%, 0.23%로 적은 길이감소율을 나타냈다. 또한 두께감소율도 함침보드의 1차 탄화 우드세라믹 제조시의 탄화온도별 두께감소율 26.8%, 27.1%, 31%, 32.2%와 비교하여 0.71%, 0.65%, 0.56%, 0.32%로 적은 두께감소율을 나타냈다.

즉, 2차 탄화 우드세라믹의 치수수축은 수지 재 함침율이나 탄화온도를 달리한 모든 제조 조건의 우드세라믹에서 밀도의 상승에도 불구하고 1차 탄화 우드세라믹 제조 시와 비교하여 미약하게 나타난 것이다.

따라서 2차 탄화에 의한 우드세라믹 밀도의 일정함은 앞으로 우드세라믹의 적절한 용도개발에 있어서 제조방법의 중요한 의미가 있는 것으로 생각된다.

Figs. 5, 6은 수지 재 함침과 재 탄화를 거친 2차 탄화 우드세라믹과 1차 탄화 우드세라믹의 탄화온도별 중량과 밀도를 비교하여 증가율을 나타낸 것이다.

2차 탄화 후 우드세라믹의 중량 및 밀도는 1차 탄화 우드세라믹에 비해 상당히 증가하였으며 중량증가율은 탄화온도 600°C일 때 21.7%, 1000°C일 때

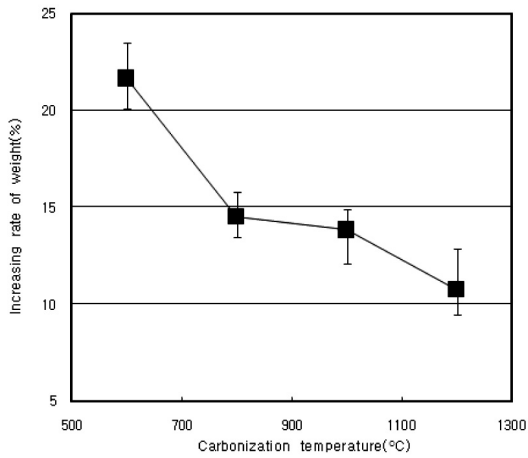


Fig. 5. Increasing rate of weight after second carbonization according to the carbonization temperature.

13.9%, 1200°C일 때 10.8%로 탄화온도가 높아짐에 따라 감소하였다. 탄화온도가 낮을수록 중량증가율이 높은 이유는 탄화온도가 낮았던 1차 탄화 우드세라믹일수록 우드세라믹의 밀도가 낮아 2차 수지 함침 시 많은 양의 수지가 우드세라믹에 함침되어 2차 탄화 과정에서 유리질 탄소로 변환되어 중량이 증가된 것으로 판단된다. 밀도증가율은 탄화온도 600°C일 때 20.6%, 1000°C일 때 10.6%, 1200°C일 때 7.8%로 탄화온도가 높아질수록 밀도증가율은 감소하였다. 이러한 결과는 1차 탄화 시 상대적으로 낮은 탄화온도인 600°C에서 제조된 우드세라믹의 밀도가 0.68 g/cm<sup>3</sup>로 낮았기 때문에 2차 함침 시 많은 양의 수지가 주입되어 2차 탄화 후 밀도증가율이 높게 나타난 것으로 판단된다.

이상의 결과에서 고밀도 우드세라믹을 제조하기 위해서는 1차 탄화한 우드세라믹을 재 함침하여 2차 탄화하는 방법도 효과적임을 알 수 있었다.

그러나 예비 실험에서 3차 함침 후 3차 탄화를 시도해 보았으나 함침과정에서 수지의 주입이 어려워 시편이 균열되는 현상이 발생하였으며 앞으로 원재료의 다양화, 함침방법 및 수지의 선정 등을 고려하여 고밀도 우드세라믹 제조에 관한 더 많은 검토가 필요할 것으로 생각된다.

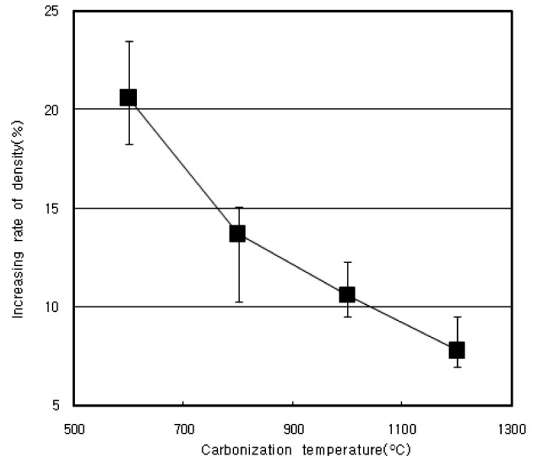


Fig. 6. Increasing rate of density after second carbonization according to the carbonization temperature.

## 4. 결 론

본 연구에서는 고밀도 우드세라믹을 제조하기 위한 기초 연구로서 탄화온도에 따라 제조된 1차 탄화 우드세라믹을 수지 재 함침 후 2차 탄화하여 우드세라믹을 제조하고 그 물리적 성질을 조사하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 1차 탄화 우드세라믹의 경우 탄화온도가 높아짐에 따라 탄화 후 길이, 두께 및 밀도는 증가하였다.
- 2) 2차 함침 우드세라믹의 경우 탄화온도가 높아짐에 따라 길이 및 두께증가율은 일정한 경향이 없었으며, 밀도 증가율은 감소하였다.
- 3) 2차 탄화 우드세라믹의 경우 탄화온도가 높아짐에 따라 길이 및 두께감소율은 감소하였고, 밀도는 모든 탄화 온도에서 0.82~0.83 g/cm<sup>3</sup>로 거의 일정하였다.
- 4) 1, 2차 탄화 우드세라믹의 물리적 성질 비교에서 탄화온도가 높아질수록 2차 탄화 후 중량 및 밀도증가율은 감소하였고, 탄화온도 600°C일 때 1차 탄화 시보다 중량은 21.7%, 밀도는 20.6% 증가하여 최고치를 나타냈다.

이상의 결과로 수지 재 함침 후 탄화방법에 의한 고밀도 우드세라믹 제조 가능성을 확인하였으며 금

후 함침수지의 선정, 주입재의 다양성에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 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.
2. Hirose, T., T. X. Fan, T. Okabe, and M. Yoshimura. 2002. Effect of carbonizing speed on the property change of woodceramics impregnated with liquefied wood. *Materials Letters* 52: 229~233.
3. 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.
4. Hokkirigawa, K., T. Okabe, and K. Saito. 1996. Wear properties of new porous carbon materials: woodceramics. *Journal of Porous Materials* 2: 229~235.
5. Hokkirigawa, K., T. Okabe, and K. Saito. 1996a. Friction properties of new porous carbon materials: woodceramics. *Journal of Porous Materials* 2: 237~243.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Oh, S. W. and T. Okabe. 2003. Manufacture of woodceramics chip tile from waste wood. *Forest Products Journal* 53(7/8): 50~53.
11. Okabe, T. and K. Saito. 1995. Development of woodceramics. *Transactions of the Material Research Society of Japan* 18: 681~684.
12. Okabe, T., K. Saito, and K. Hokkirigawa. 1996. The effect of burning temperature on the structural changes of woodceramics. *Journal of Porous Materials* 2: 215~221.
13. Okabe, T., K. Saito, and K. Hokkirigawa. 1996a. New porous carbon materials woodceramics : Development and fundamental properties. *Journal of Porous Materials* 2: 207~213.
14. Xian, Q. X., X. Tong, Di Z. Fan, T. Sakata, and Mori, H. 2002. Mechanical Properties and damping behavior of woodceramics/ Zk 60A Mg alloy composite. *Materials Research Bulletin* 37: 1133~1140.
15. Xian, Q. X., D. Zang, T. K. Fan, Sakata, T., H. Mori, T. Okabe, and T. Hirose. 2002. The fabrication of composites with interpenetrating networks based on woodceramics. *Materials Letters* 56: 102~107.
16. Xie, X. Q., T. X. Fan, B. H. Sun, D. T. Zang, T. Sakata, H. Mori, and T. Okabe. 2002. Dry sliding friction and wear behavior of woodceramics/ Al-Si composites. *Material Science and Engineering* 1~7.
17. 岡部敏弘. 1996. 木質系多孔質炭素材料 ウッドセラミックス. 内田老鶴園. p. 269.