

수지함침보드의 2차 탄화에 의한 고밀도 우드세라믹 제조*1 - 밀도경사 변화 -

오승원*2† · 진순식*2 · 변희섭*3

Manufacturing of High Density Woodceramics by Recarbonization Using a Resin Impregnation Board*1 - Change of Density Profile -

Seung Won Oh*2† · Soon Sick Jeon*2 · Hee Seop Byeon*3

요 약

본 연구에서는 고밀도 우드세라믹을 제조하기 위한 기초 연구로서 수지함침을 및 탄화온도에 따라 제조된 1차 탄화 우드세라믹을 수지 재 함침 후 2차 탄화하여 우드세라믹을 제조하고 밀도경사를 조사하였다. 2차 탄화 후 최소, 평균 및 최고밀도가 1차 탄화 우드세라믹보다 증가하였고, 밀도경사 비율도 증가하였다. 따라서 고밀도와 밀도경사 비율이 작은 균질한 우드세라믹을 제조하기 위해서는 2차 함침과 2차 탄화에 의한 우드세라믹 제조방법도 효과가 있는 것으로 나타났다.

ABSTRACT

A repeated impregnation and carbonization process was introduced to product high-density woodceramics using a resin impregnation board. The density profile were measured to further confirm morphologically and structurally occurred changes of one-time and two-time phenolic resin-treated and carbonized woodceramics. After the two-time carbonization of the products, the

*1 접수 2010년 12월 6일, 채택 2011년 1월 10일

*2 전북대학교 농업생명과학대학 농업과학기술연구소. College of Agriculture and Life Science, Institute of Agriculture Science & Technology, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea

*3 경상대학교 농업생명과학대학 농업생명과학연구원. College of Agriculture and Life Science, IALS, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea.

† 교신저자(corresponding author) : 오승원(e-mail: ohsw@jbnu.ac.kr)

minimum, average and maximum densities increased more than those of the one-time carbonized woodceramics, and the increase of density profile. Therefore, it is considered that the preparation of uniformed woodceramics with high-density and low density dissipation can be produced by a repeated impregnation and carbonization).

Keywords: woodceramics, carbonization, density profile, resin impregnation

1. 서 론

탄소재료는 오래전에 개발되어 철강업, 화학공업, 전기공업 등 여러 가지 목적으로 사용되어 왔다. 최근에는 신기술 개발로 새로운 탄소재료의 제조 및 이용에 있어서 첨단산업인 반도체, 우주항공 산업 등에도 광범위하게 사용되고 있어 탄소 재료에 대한 관심이 더욱 높아지고 있다(炭素材料學會, 1996).

이 중 특히 목탄은 역사가 매우 길며 취사용, 난방용, 흡착제 및 수질정화용으로 그 용도가 매우 다양하다. 그러나 목탄은 사용되는 원재료에 따라 제조과정에서 온도 및 함수율의 영향을 받으며, 제조자의 기술 숙련도에 따라 물성의 변이가 많아 제조 후 틀어짐과 균열 등이 발생하는 이유 때문에 첨단 탄소재료에 비해서 사용범위가 한정되고 있다. 이러한 결점을 보완하기 위하여 제조과정에서 목질 원재료에 열경화성 수지를 주입하여 탄화 후 할렐이나 비틀림을 억제하는 방법으로 우드세라믹(Woodceramic)을 제조하여 그 용도개발에 대한 연구가 진행되고 있다(Hirose *et al.*, 2001, 2002; Hokkirigawa *et al.*, 1995, 1996, 1996a; Oh *et al.*, 2000, 2003; Okabe *et al.*, 1996, 1996a). 우드세라믹의 주원료인 목재는 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 리그닌의 고분자물질로 이루어진 일종의 유기계 복합재료이다. 또한 이방성을 지닌 다공질재료로 친수성, 생분해성의 특징을 지니고 있다. 우드세라믹은 다공질 탄소재료로 목재 및 목질재료에 없는 많은 기능을 가지고 있어 그 이용분야도 다양 할 것으로 기대된다. 목재는 열전도율이 낮은 특성이 있으나 우드세라믹은 제조방법에 따라 열전도율이 높다. 그러나 다공질 재료이기 때문에 밀도가 높은 탄소재료와 비교하면 열전도율이 낮은 편이다(岡部, 1996). 따라서 우드세라믹을 공업적으로

이용하기 위해서는 고밀도 우드세라믹 제조에 관한 연구가 선행되어야 하기 때문에 이에 대한 연구들이 진행되고 있다(Xian *et al.*, 2002; Xie *et al.*, 2002; Zhao *et al.*, 2002).

따라서 본 연구에서는 고밀도 우드세라믹 제조를 위한 기초 연구로서 톱밥을 이용하여 보드를 제조한 다음 페놀수지를 함침한 후 고온에서 탄화하여 1차 우드세라믹을 제조하였다. 이렇게 제조된 우드세라믹을 다시 재 함침한 후 2차 탄화하여 고밀도 우드세라믹을 제조하고 밀도 변화를 조사하기 위하여 탄화 온도 및 수지함침율에 따라 1, 2차 탄화 우드세라믹의 밀도경사를 측정하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

2.1.1. 톱밥

톱밥은 낙엽송(*Larix kaemferi 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, 수지첨가량은 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 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. 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 cm × 26 cm × 1.4 cm의 보드를 제조하였다. 이때 열압온도는 190°C, 가압압력은 40 kgf/cm² → 30 kgf/cm² → 20 kgf/cm² (3단 가압), 가압시간 6분 → 5분 → 4분 (3단 가압시간)으로 열압하여 밀도 0.6 g/cm³인 보드를 60매 제조하였다.

2.2.2. 함침 및 1차 탄화 우드세라믹 제조

제조한 보드를 두께 14 mm, 단면의 크기를 12 cm × 12 cm의 크기로 재단한 다음 항온항습기(온도: 20 ± 1°C, 습도: 65 ± 5%)에서 조습처리한 후 밀도를 계산하였다. 시험조건을 일정하게 하기 위하여 밀도 ± 0.02 g/cm³인 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 3반복 함침하여 함침율을 40~70%로 조절하였다(함침탱크 내부 직경: 31 cm). 함침 후 시편을 24시간 음건 후, 건조기에 넣고 60°C에서 8시간, 100°C와 135°C에서 각각 10시간씩 건조 및 경화시켰다.

시편 건조 후 수지함침율 40%, 50%, 60%, 70% 별

로 진공탄화로(KOVAC KSF-100 고려진공(주))를 이용하여 650°C에서 10개씩 탄화하였으며, 함침율 60%인 시편을 600°C, 800°C, 1000°C, 1200°C에서 10개씩 탄화하여 1차 탄화 우드세라믹을 제조하였다.

이 때 승온온도는 4°C/min이었으며, 목표온도에서 2시간 유지한 다음 냉각시켰다.

2.2.3. 수지 재 함침 및 2차 탄화 우드세라믹 제조

우드세라믹의 고밀도화를 위하여 1차 탄화 우드세라믹을 액상페놀수지가 들어있는 함침탱크에 넣은 후 1차 함침과 같은 방법으로 수지 재 함침한 다음 1차 탄화 우드세라믹 제조시와 같은 방법으로 건조, 경화 및 재 탄화하여 우드세라믹을 제조하였다.

2.2.4. 밀도경사

1, 2차 탄화 우드세라믹의 밀도분포를 측정하기 위하여 각 시편을 5 × 5 × 1 cm로 재단한 후 밀도분석기(density analyzer: BA1. Grecon사)를 이용하여 밀도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

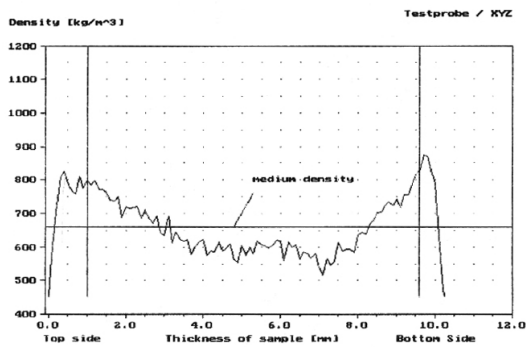
3.1. 수지함침율에 따른 우드세라믹의 밀도경사

보드 제조 시 필연적으로 두께 방향에서 밀도경사(Density profile)가 발생하며, 일반적으로 밀도경사

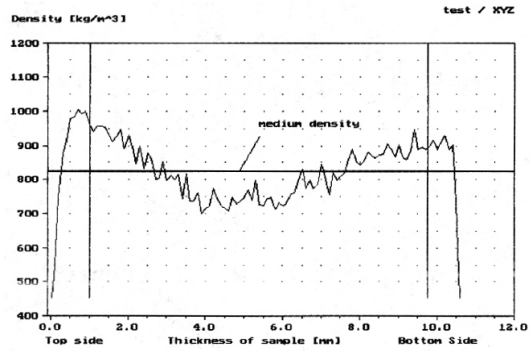
Table 2. Density profile of woodceramics according to the percentage of resin impregnation

PRI (%)	Type	D_{ave} (kg/m ³)	D_{min} (kg/m ³)	D_{max} (kg/m ³)	D_{min}/D_{ave} (%)
40	FC	660.9	524.0	908.2	79.3
	SC	824.8	714.0	1010.5	86.6
50	FC	692.5	541.0	870.3	78.1
	SC	862.2	759.0	1148.0	88.0
60	FC	693.2	599.0	949.2	86.4
	SC	909.6	766.0	1139.2	84.2
70	FC	828.6	680.0	1035.2	82.0
	SC	908.4	739.0	1149.9	81.4

PRI : Percentage of resin impregnation, FC : First carbonization.
 SC : Second carbonization, D_{ave} : Average density.
 D_{min} : Minimum density, D_{max} : Maximum density.
 D_{min}/D_{avg} : Proportion of minimum density to average density.



A : First carbonization



B : Second carbonization

Fig. 1. Density profile of woodceramics by 40 percent resin impregnation at carbonization temperature at 650°C.

는 보드류의 성질을 나타내는 중요한 지표이기 때문에 본 연구에서는 제조 조건별로 1, 2차 탄화 우드세라믹의 두께방향 밀도분포를 분석하기 위하여 밀도를 측정하였고 그 결과를 Table 2와 Figs. 1~2에 나타내었다.

1차 탄화 우드세라믹의 경우 평균밀도는 수지함침율 40%에서는 660.9 kg/m³에서 70%에서는 828.6 kg/m³로, 최소밀도는 수지함침율 40%에서는 524.0 kg/m³에서 70%에서는 680.0 kg/m³로, 최대밀도는 수지함침율 40%에서는 908.2 kg/m³에서 70%에서는

1,035.2 kg/m³로 수지함침율이 증가할수록 우드세라믹의 평균밀도, 최소밀도, 최대밀도가 비례하여 증가하는 경향을 나타냈다.

2차 탄화 우드세라믹의 경우 평균밀도는 수지함침율 40%에서는 824.4 kg/m³에서 70%에서는 908.4 kg/m³로, 최소밀도는 수지함침율 40%에서는 714.0 kg/m³에서 70%에서는 739.0 kg/m³로, 최대밀도는 수지함침율 40%에서는 1010.5 kg/m³에서 70%에서는 1149.9 kg/m³로 수지함침율의 증가에 따라 우드세라믹의 평균밀도, 최소밀도 및 최대밀도가 비례하

Table 3. Density profile of woodceramics according to the carbonization temperature

CT (°C)	Type	D _{ave} (kg/m ³)	D _{min} (kg/m ³)	D _{max} (kg/m ³)	D _{min} /D _{ave} (%)
600	FC	654.0	546.0	850.9	83.5
	SC	835.0	746.0	970.6	89.3
800	FC	792.4	667.0	1000.5	84.2
	SC	938.7	810.0	1160.7	86.3
1,000	FC	891.3	727.0	1120.3	81.6
	SC	964.4	895.0	1190.5	92.8
1,200	FC	798.8	652.0	1015.2	81.6
	SC	900.1	741.0	1089.2	82.3

CT : Carbonization temperature.
 FC, SC, D_{ave}, D_{min}, D_{max}, D_{min}/D_{avg} are the same as in Table 2

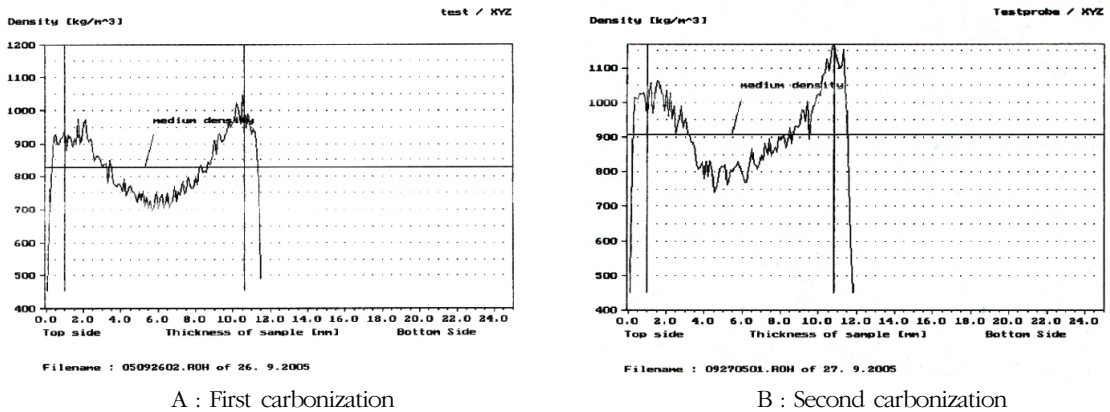


Fig. 2. Density profile of woodceramics by 70 percent resin impregnation at carbonization temperature at 650°C.

여 증가하는 경향을 나타냈으며 수지함침율 50, 60, 70%에서 최대밀도치가 비슷하였다.

평균밀도에 대한 최소밀도의 비율(Proportion of minimum density to average density, D_{min}/D_{ave})인 밀도경사는 수지함침율 40%인 경우 1차 탄화 후 79.3%에서 2차 탄화 후 86.6%로 증가하였으며, 수지함침율 50%인 경우도 78.1%에서 88.0%로 증가하였는데, 이는 1차 수지함침율이 적을수록 1차 탄화 후 2차 함침 시 많은 양의 수지가 시편내부로 다량 함침되어 2차 탄화 후 최소 밀도치를 증가시켰기 때문으로 판단된다. 또한 모든 수지함침율별 제조조건에서 2차 탄화 후 평균밀도, 최소밀도, 최대밀도가 1

차 탄화 시 보다 증가하였음을 알 수 있었으며, 수지함침율 50%일 때가 2차 탄화 후 표층과 심층간의 밀도차이가 가장 적은 것으로 나타났다.

3.2. 탄화온도에 따른 우드세라믹의 밀도경사

탄화온도에 따른 우드세라믹 밀도를 Table 3과 Figs. 3~4에 나타내었다. 1차 탄화 우드세라믹의 경우 평균밀도는 탄화온도 600°C에서는 654.0 kg/m³, 1,000°C에서는 891.3 kg/m³, 1,200°C에서는 798.8 kg/m³으로, 최소밀도는 탄화온도 600°C에서는 546.0

수지침침보드의 2차 탄화에 의한 고밀도 우드세라믹 제조

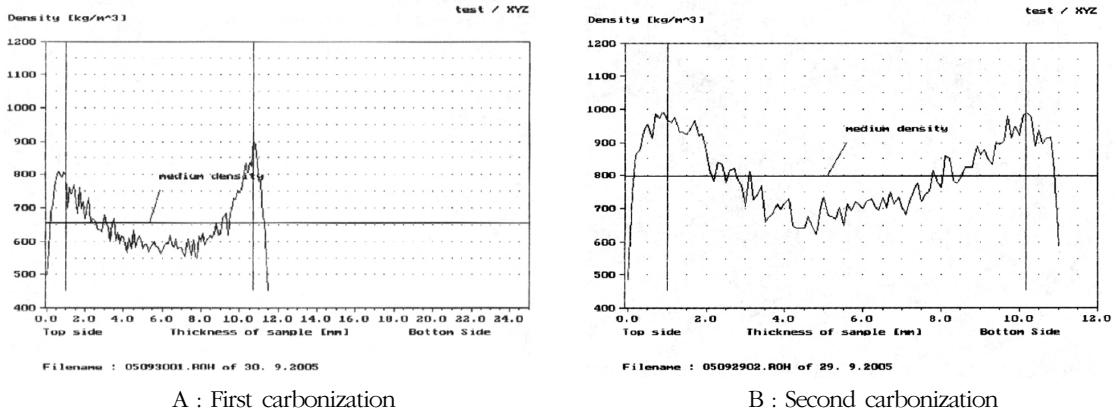


Fig. 3. Density profile of woodceramics at carbonization temperature of 600°C in 60 percent resin impregnation.

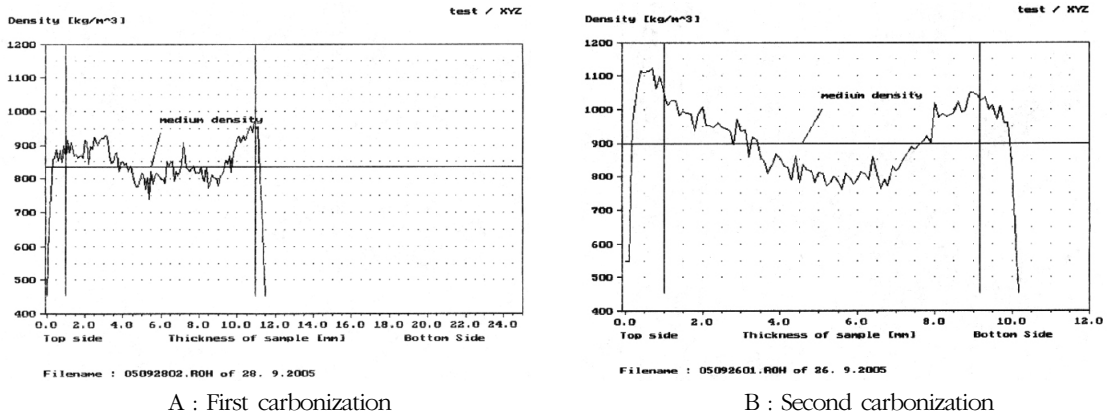


Fig. 4. Density profile of woodceramics at carbonization temperature of 1,200°C in 60 percent resin impregnation.

kg/m³, 1,000°C에서는 727.0 kg/m³, 1,200°C에서는 652.0 kg/m³로, 최대밀도는 탄화온도 600°C에서는 850.9 kg/m³, 1,000°C에서는 1,120.3 kg/m³, 1,200°C에서는 1,015.2 kg/m³로 탄화온도가 높아질수록 1,000°C까지는 우드세라믹의 평균밀도, 최소밀도, 최대밀도가 비례하여 증가하다가 1,200°C에서는 감소하는 경향을 나타냈다.

2차 탄화 우드세라믹의 경우 평균밀도는 탄화온도 600°C에서는 835.0 kg/m³, 1,000°C에서는 964.4 kg/m³, 1,200°C에서는 900.1 kg/m³로 각각 나타났으며, 최소밀도의 경우는 탄화온도 600°C에서는 746.0

kg/m³, 1,000°C에서는 895.0 kg/m³, 1,200°C에서는 741.0 kg/m³로 각각 나타났다. 최대밀도의 경우는 탄화온도 600°C에서는 970.6 kg/m³, 1,000°C에서는 1,190.5 kg/m³, 1,200°C에서는 1,089.2 kg/m³로 각각 나타나 탄화온도 1,000°C까지는 우드세라믹의 평균밀도, 최소밀도 및 최대밀도가 탄화온도 상승에 비례적으로 상승하며 최대치를 나타냈다가 탄화온도 1,200°C에서는 1,000°C에 비하여 평균밀도, 최소밀도 및 최대밀도가 감소하였다. 또한 모든 탄화온도별 제조조건에서 우드세라믹은 2차 탄화 후 평균밀도, 최소밀도, 최대밀도가 1차 탄화시보다 증가하였음을

알 수 있었다.

평균밀도에 대한 최소밀도의 비율(Proportion of minimum density to average density, D_{\min}/D_{ave})인 밀도경사는 탄화온도 600°C의 경우 1차 탄화 후 83.5%에서 2차 탄화 후 89.3%로 탄화온도 800°C에서는 84.2%에서 86.3%로 탄화온도 1,000°C에서는 81.6%에서 92.8%로 증가하여 2차 탄화 후 표층과 심층간의 밀도 차이가 줄어든 것으로 나타났다. 이상의 결과에서 고밀도의 균일한 우드세라믹을 제조하기 위해서 1차 탄화 후 재 함침한 다음 2차 탄화하는 방법이 효과적인 것으로 판단되며, 이러한 제조방법이 다양한 용도에 맞는 양질의 우드세라믹을 제조하는데 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구는 고밀도 우드세라믹을 제조하기 위한 기초 연구로서 수지함침보드를 이용하여 수지함침율 및 탄화온도에 따라 1차 탄화 우드세라믹을 제조한 다음, 수지 재 함침 과 2차 탄화과정을 거쳐 2차 탄화 우드세라믹을 제조하여 밀도변화를 조사하였다.

1) 수지함침율에 따른 밀도경사는 수지함침율 40%일 때 1차 탄화 후 79.3%에서 2차 탄화 후 86.6%로 증가하였으며, 수지함침율 50%인 경우도 78.1%에서 88.0%로 증가하였다.

2) 탄화온도에 따른 밀도경사는 탄화온도 600°C의 경우 1차 탄화 후 83.5%에서 2차 탄화 후 89.3%로, 탄화온도 800°C에서는 84.2%에서 86.3%로, 탄화온도 1,000°C에서는 81.6%에서 92.8%로 각각 증가하여 2차 탄화 후 표층과 심층간의 밀도 차이가 줄어든 것으로 나타났다.

3) 수지함침율 40% 일 때 1, 2차 탄화 후 밀도변화는 1차 탄화 시 660.9 kg/m³에서 2차 탄화 후 824.8 kg/m³로 증가하였으며, 탄화온도 600°C일 때 1, 2차 탄화 후 밀도변화는 1차 탄화 시 654.0 kg/m³에서 2차 탄화 후 835.0 kg/m³로 증가하였다. 따라서 2차 탄화방법이 우드세라믹의 밀도 증가에 효과적인 방법임을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- 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.
- 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.
- 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.
- Hokkirigawa, K., T. Okabe, and K. Saito. 1996. Wear properties of new porous carbon materials: woodceramics. *Journal of Porous Materials* 2: 229~235.
- Hokkirigawa, K., T. Okabe, and K. Saito. 1996a. Friction properties of new porous carbon materials: woodceramics. *Journal of Porous Materials* 2: 237~243.
- 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.
- Oh, S. W. and T. Okabe. 2003. Manufacture of woodceramics chip tile from waste wood. *Forest Products Journal* 53(7/8): 50~53.
- Oh, S. W., T. Okabe, and T. Hirose. 2000. Electrical properties of woodceramics made from thinned logs of *Cryptomeria japonica* D. Don. *Journal of the Korean Society of Furniture Technology* 11(1): 31~36.
- 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.
- Okabe, T., K. Saito, and K. Hokkirigawa. 1996a. New porous carbon materials woodceramics : Development and fundamental properties. *Journal*

- of Porous Materials 2: 207~213.
11. Xian, Q. X., T. X. Fan, Z. Di, T. Sakata, and H. Mori. 2002. Mechanical Properties and damping behavior of woodceramics/Zk 60 A Mg alloy composite. Materials Research Bulletin 37: 1133~1140.
 12. Xian, X. Q., D. Zang, T. K. 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.
 13. 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.
 14. 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.
 15. 岡部敏弘. 1996. 木質系多孔質炭素材料 ウッドセラミックス. 内田老鶴圃. 42~82
 16. 素材料學會編. 1996. 新・炭素材料入門. リアライズ社. 10~80.