

## 함침율 및 소성온도가 소나무 간벌재로 제조된 우드세라믹의 표면온도에 미치는 영향\*1

오 승 원\*2 · 변 희 섭\*3†

### Effect of Impregnation Ratio and Carbonizing Temperature on Surface Temperature of Woodceramics Made from Thinned Logs of *Pinus densiflora* S. et. Z.

Seung-Won Oh\*2 · Hee-Seop Byeon\*3†

#### 요 약

소나무 간벌재로 톱밥보드를 만든 후 우드세라믹을 제조하여 수지함침율 및 소성온도에 따른 우드세라믹의 표면온도의 변화를 조사하였다. 실리콘러버 히터의 표면온도가 증가함에 따라 우드세라믹의 표면온도도 빠른 속도로 증가하였으며, 히터의 설정표면온도가 70℃ 일때 수지함침율 80% 시편의 표면온도는 53.9℃이였으며, 소성온도 1,000℃ 조건으로 제조된 우드세라믹의 표면 온도는 54.2℃로 가장 높았다. 히터의 표면온도보다 우드세라믹 표면온도의 하강 속도가 느려 우드세라믹이 오랜 시간 열을 유지하고 있음을 알 수 있었다.

#### ABSTRACT

The change in surface temperature of woodceramics, made from thinned logs of *Pinus densiflora*, were investigated, by the impregnation ratio and carbonizing temperature. As the surface temperature of silicon rubber heater was going up, that of woodceramics also increase rapidly. In case of heaters

\* 1 접수 2004년 2월 4일, 채택 2004년 4월 15일

본 연구는 농림기술개발사업의 지원에 의하여 수행되었음

\* 2 전북대학교 농업생명과학대학, 생물산업연구소 College of Agriculture & Life Science, Research Institute of Bio-industry, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea

\* 3 경상대학교 농업생명과학대학, 농업생명과학연구원 College of Agriculture & Life Science, Institute of Agriculture & Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

† 주저자(corresponding author) : 변희섭(e-mail: hsbyeon@gsnu.ac.kr)

surface temperature at 70°C, the surface temperature of woodceramics was 53.9°C when a sample was the impregnation ratio of 80%, while it was 54.2°C when a sample was at 1,000°C in carbonizing temperature, showing the highest. Also, it was found that woodceramics maintained heat for a long time because the descending velocity of their surface temperature was lower than that of the heater.

**Keywords:** woodceramics, thinned logs, surface temperature

## 1. 서 론

우드세라믹은 목재나 목질재료에 열경화성 수지를 함침한 후 높은 온도에서 소성하여 만든 다공질 탄소 재료로서 가볍고 단단하며 내부식성, 열전도성이 우수하고 원적외선 방사와 전자파 차폐효과가 있는 새로운 물질로 알려져 있다(Okabe & Saito 1995a, 1995b; Okabe *et al.*, 1995a, 1995b, 1996). 이는 1995년 Okabe와 Saito가 개발하여 명명한 이래 이를 공업적으로 이용하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다(Hokkirigawa *et al.*, 1995, 1996; Oh, 2001; Oh & Byeon, 2003; Oh, *et al.*, 2000, 2001, 2003; Okabe & Saito, 1995a, 1995b; Okabe *et al.*, 1995a, 1995b, 1996; Suda *et al.*, 1999).

우드세라믹은 원재료의 밀도, 수지함침율, 소성 온도 등 원재료의 성질 및 제조방법에 따라 그 성질이 다양하여 이에 대한 체계적인 연구와 용도개발이 필요하리라 생각된다. 따라서 본 연구에서는 국내의 많은 생산량을 차지하는 소나무 간벌 소경재를 이용하여 톱밥보드를 만든 후 우드세라믹을 제조하여 수지함침율과 소성온도에 따른 표면온도를 조사함으로써 앞으로 우드세라믹을 온돌 마루판 하부소재로서의 이용가능성을 살펴보고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 공시재료

직경 12 cm 이하 소나무 간벌재를 전북 임실군에서 벌채하여 톱밥을 만든 후 입자의 크기를 1 mm 이하로 선별하고 함수율을 6% 이하로 조절하여 톱밥보드 제조용 재료로 사용하였다.

### 2.2. 보드제조

보드를 제조하기 위하여 분말페놀수지와 톱밥을 함석통에 넣고 충분히 혼합하여 열압기의 열판 위에 있는 스테인레스 정방형 몰드 속에 넣은 다음 시료 상부의 높이를 일정하게 조절한 후 열압 성형하여 26×26×1.4 cm의 보드를 제조하였다. 이때 보드제조 조건은 수지혼합율 10%, 열압온도 190°C, 가압압력 40→20→10 kgf/cm<sup>2</sup>(3단 가압), 열압시간 6→5→4 min(3단 열압시간)으로 열압하여 밀도 0.6 g/cm<sup>3</sup>의 보드를 10장씩 제조하였다. 보드제조시 사용한 접착제는 분말페놀수지(코오롱유화(주) KNB-100PL)로서 용점 80~95°C, 수지고형분 99%였다. 열압 과정에서 보드의 두께를 일정하게 하기 위하여 thickness bar를 사용하였으며, 열에 의해서 보드의 상·하면과 열판의 부착을 방지하기 위하여 시료의 상부와 하부면 테프론 필름을 깔아 보드의 분리를 쉽게 하였다.

### 2.3. 함침 및 우드세라믹 제조

톱밥보드를 12×12×1.4 cm 크기로 절단한 다음 액상 페놀수지(KPD-L777, 코오롱유화(주))가 들어 있는 감압 함침장치에 넣고 1기압에서 함침율 40~80%로 조절하여 함침하였다. 함침에 사용한 페놀수지의 성질은 고형분 51~53%, 비중 1.06, 점도 45~65 cps, 경화시간 80~95 sec였다. 함침 후 시료를 건조기에 넣고 60°C에서 10 h, 100°C와 135°C에서 각각 8 h 건조 및 경화시켰다. 건조한 다음 진공소결로(KOVAC KSF-200V, 고려진공(주))를 이용하여 함침을 별로 800°C에서 소성하였으며, 함침율 70%인 시편을 600, 800, 1000, 1200, 1500°C에서 소

성하여 우드세라믹을 각각 4개씩 제조하였다. 이때 승온속도는 4°C/min였으며, 목표온도에서 2시간 유지한 다음 냉각시켰다.

## 2.4. 표면온도 측정

우드세라믹의 표면온도 변화를 측정하기 위하여 전기전압 조절장치에 실리콘 러버 히터를 연결한 다음, 20 V 상태에서 목표온도를 설정한 후 온도 센서를 이용하여 러버히터의 표면온도를 고정하였다. 목표온도로 가열된 실리콘 러버 히터 위에 함침율과 소성온도가 다른 우드세라믹을 올려놓고, 우드세라믹의 표면에 다른 온도 센서를 부착하여 시간의 경과, 히터의 바닥온도의 변화에 따른 우드세라믹의 표면온도 변화를 측정하였다. 또한 60°C로 설정된 실리콘러버 히터 위에서 30 min 동안 우드세라믹의 표면온도를 측정 후 히터의 전원을 꺼서 히터의 표면온도를 하강시키면서 30 min 동안 우드세라믹과 히터의 표면온도를 측정하여 온도하강 변화를 조사하였다. 이때 우드세라믹 표면온도의 측정은 실내(20±1°C)에서 Thermo Recorder (T and D Co., Ltd. TR-71S)를 이용하여 4개씩 2회 반복하였으며, 측정 저장된 자료를 컴퓨터에 연결하여 온도변화를 확인하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 시간의 경과에 따른 우드세라믹의 표면온도 변화

실리콘 러버히터 표면온도를 60°C로 설정하고 그 위에 소성 전 톱밥보드의 수지함침율과 소성온도 별로 제조된 우드세라믹을 올려놓은 다음 3 min 간격으로 30 min 동안 표면온도 변화를 측정된 결과는 Figs.1~2와 같다.

800°C에서 소성된 우드세라믹의 수지함침율에 따른 표면온도는 시간이 경과함에 따라 증가하였으며, 경과시간 15 min까지는 급격히 상승하다가 그 이후에는 완만한 경향을 나타내어 초기에 열전달

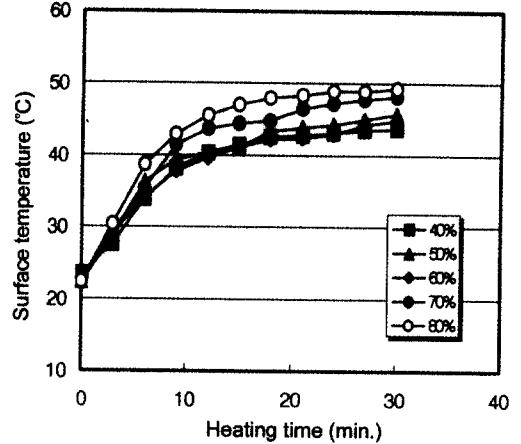


Fig. 1. Relationship between heating time and surface temperature of woodceramics. (Legend : Impregnation ratio)

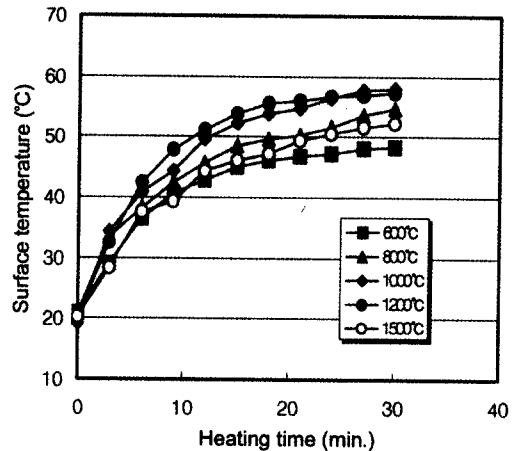


Fig. 2. Relationship between heating time and surface temperature of woodceramics. (Legend : Carbonizing temperature)

속도가 빠름을 알 수 있었다. 경과시간 30 min 후의 표면온도는 함침율 40%의 경우 43.7°C, 60%는 44.8°C, 80%는 49.2°C로 함침율 80%의 표면온도가 가장 높았으며, 함침율 40% 시료의 표면온도가 가장 낮았다. 이는 함침율이 서로 다른 함침보드를 소성함으로써 소성 후 페놀수지의 탄화에 의한 밀도의 차이가 생겨 나타난 결과로 생각된다(Okabe et

al., 1996).

합침을 70%의 합침보드를 온도별로 소성하여 만든 우드세라믹의 표면온도는 시간이 경과함에 따라 증가하였으며, 수지합침율에 따른 온도변화와 같이 경과시간 15 min까지는 온도가 급상승하는 경향을 보였다. 경과시간 30 min 후의 표면온도는 소성온도 600℃ 시편의 경우 48.3℃, 1,000℃는 57.9℃, 1,500℃는 52.3℃로 소성온도 1,000℃ 시편의 표면온도가 가장 높았으며, 600℃의 표면온도가 상대적으로 낮았다. 1,500℃에서 소성된 시편의 표면온도가 약간 낮은 이유는, 일반적으로 우드세라믹은 소성온도 1,200℃ 이후에 밀도가 약간 감소하여 우드세라믹의 열전달에 영향을 미쳤기 때문으로 생각되며 열전도는 밀도와 깊은 관계가 있는 것으로 판단된다.

Okabe(1996)는 합침을 68.9%인 MDF로 소성온도에 따른 밀도를 측정된 결과 소성온도 800℃까지는 밀도가 증가한 후 1,500℃까지 감소하였다가 다시 증가하는 경향이 있다고 하였으며, Oh & Byeon(2003)은 MDF로 제조된 우드세라믹의 표면온도를 600℃~1,200℃에서 측정된 결과 소성온도 1,200℃에서 가장 높았다고 보고한 바 있다.

### 3.2. 히터의 표면온도 변화에 따른 우드세라믹의 표면온도 변화

각 합침율 및 소성온도별로 제조된 우드세라믹을 실리콘러버 히터 위에 올려놓고 히터의 표면온도를 25℃에서 70℃까지 상승시키면서 우드세라믹 표면온도 변화를 측정된 결과는 Figs.3~4와 같다.

800℃에서 소성된 우드세라믹의 수지합침율에 따른 표면온도는 실리콘러버 히터의 표면온도가 증가함에 따라 합침율 40% 시편의 경우 히터의 표면온도 25℃일 때 21℃에서 표면온도 70℃일 때 47.2℃, 60% 시편의 경우 표면온도 25℃일 때 20.5℃에서 표면온도 70℃일 때 53.5℃, 80% 시편의 경우 표면온도 25℃일 때 20.1℃에서 표면온도 70℃일 때 53.9℃로 히터의 표면온도가 높을수록 우드세라믹의 열전도성이 빠름을 알 수 있었다. 합침율별 우드

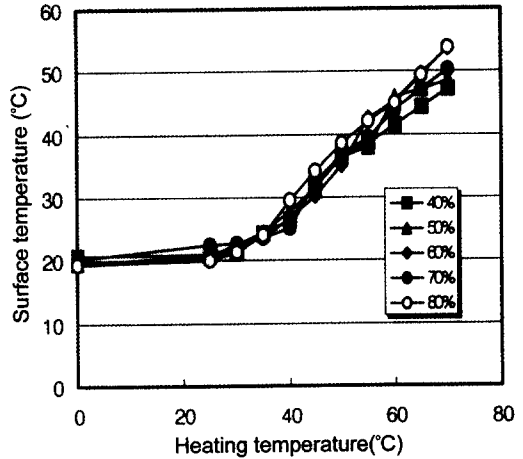


Fig. 3. Relationship between heating temperature and surface temperature of wood-ceramics.

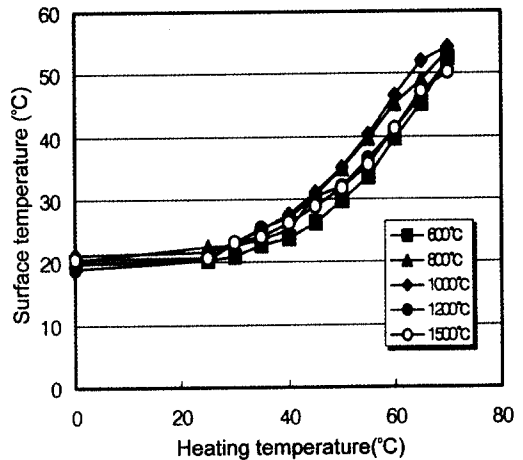


Fig. 4. Relationship between heating temperature and surface temperature of wood-ceramics.

세라믹의 표면온도는 합침율 80% 시편이 가장 높았고, 합침율 40% 시편이 가장 낮아 수지합침율이 소성 후 우드세라믹의 밀도에 영향을 미친 것으로 생각되며 열전도성과 우드세라믹의 밀도는 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다. 합침율이 같은(70%) 합침보드를 온도별로 소성하여 표면온도를 조사한

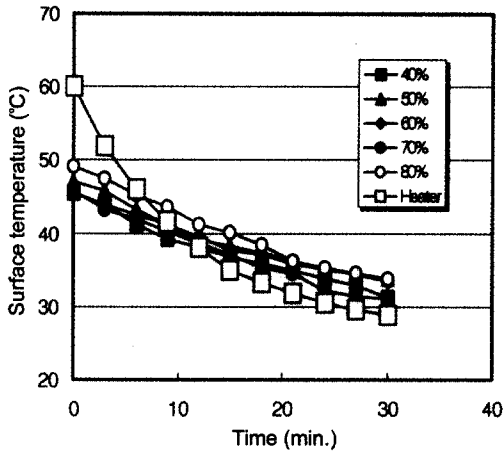


Fig. 5. Relationship between time and descent of surface temperature of woodceramics.

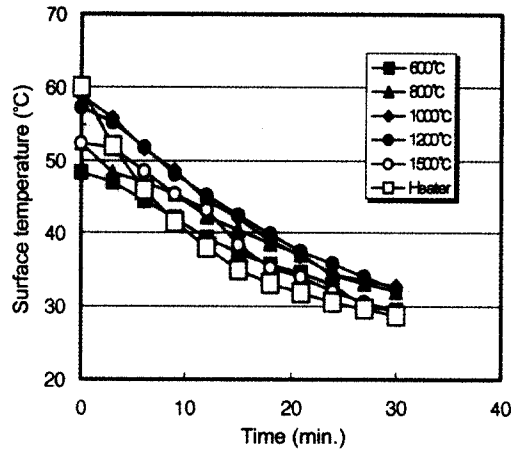


Fig. 6. Relationship between time and descent of surface temperature of woodceramics.

결과, 실리코너버 히터의 표면온도가 증가함에 따라 소성온도 600°C 시편의 경우 표면온도 25°C일 때 20.2°C에서 표면온도 70°C일 때 52.6°C, 1,000°C 시편의 경우 표면온도 25°C일 때 20.8°C에서 표면온도 70°C일 때 54.2°C, 1,500°C 시편의 경우 표면온도 25°C일 때 20.8°C에서 표면온도 70°C일 때 50.3°C로 증가하여 히터의 표면온도를 높일수록 우드세라믹의 표면온도도 증가함을 알 수 있었다. 또한 소성온도별 우드세라믹의 표면온도는 1,000°C로 소성한 시편이 가장 높았으며 소성온도 1,200°C 이후에는 밀도가 약간 감소하여 표면온도가 다소 낮아진 것으로 생각된다. Nonaka 등(1999)은 우드세라믹의 열전도율과 밀도와의 관계는 측정온도가 높을수록, 고온에서 소성한 시편일수록 열전도는 직선적으로 증가한다고 보고한 바 있다.

### 3.3. 시간의 경과에 따른 우드세라믹의 표면온도 하강

Fig. 5와 같이 800°C에서 소성된 우드세라믹의 수지함침율에 따른 표면온도 하강은 히터의 표면온도가 30 min 동안 60°C에서 28°C로 감소함에 따라 함침율 40% 시편의 경우 45.4°C에서 31.2°C로, 60% 시편은 45.5°C에서 33.4°C로, 80% 시편은 49.2°C에

서 33.8°C로 시간이 경과함에 따라 우드세라믹의 표면온도는 완만히 하강하였다. 한편 함침율 80% 시편이 처음온도와 30 min 후의 온도차이가 15.4°C로 온도변화가 컸으며, 함침율 60% 시편은 12.1°C로 상대적으로 작았다. 또한 전체적으로 히터의 표면온도보다 우드세라믹의 표면온도 하강속도가 느려 우드세라믹이 오랜 시간 열을 유지하고 있음을 알 수 있었다.

수지함침율 70%의 함침보드를 소성온도별 소성한 우드세라믹의 표면온도의 하강은 Fig. 6에 나타난 바와 같이 히터의 표면온도가 30 min 동안 60°C에서 28°C로 감소함에 따라 소성온도 600°C 시편의 경우 48.2°C에서 29.5°C로, 1,000°C 시편의 경우 58.9°C에서 32.8°C로, 1,500°C 시편은 52.3°C에서 29.4°C로 시간이 경과함에 따라 우드세라믹 표면온도는 완만히 하강하였다. 한편 소성온도 1,000°C 시편이 처음온도와 30 min 후의 온도 차이가 26.1°C로 온도변화가 가장 빨랐으며, 600°C 시편은 18.7°C로 상대적으로 작았다. 이러한 결과는 같은 함침율 조건에서 1,000°C 시편의 밀도가 0.83 g/cm<sup>3</sup>로 가장 크기 때문에 온도의 하강도 밀도에 의해 영향을 받은 것으로 판단된다. 이상의 결과, 우드세라믹을 온돌마루판의 하부소재로 사용하기 위해서는 수지함침율은 80%, 소성온도는 1,000°C 정도의 조건에서

제조된 우드세라믹이 히터에서 열전달된 초기온도가 비교적 높고 30 min 후에 측정된 하강온도도 높은 조건이므로 표면온도 변화 및 열의 전달속도 측면에서 적당할 것으로 판단된다. 그러나 표면온도의 변화는 밀도와 밀접한 관계가 있는 것으로 생각되어 수지함침율의 증가 및 소성온도의 변화 등 제조방법과 열전도율이 실제 온도에 적합한지 여부에 대한 모델연구가 필요하리라 생각된다.

#### 4. 결론

소나무 간벌재로 우드세라믹을 제조한 후 소성 전 수지함침율과 소성온도에 따른 우드세라믹의 표면온도 변화를 조사한 결과는 다음과 같다.

표면온도가 60℃로 설정된 실리코너버 히터 위에 우드세라믹을 올려놓은 후 시간의 경과에 따른 우드세라믹의 표면온도 측정결과 시간이 경과함에 따라 우드세라믹 표면온도도 증가하였으며, 수지함침율 80%와 소성온도 1,000℃ 시편의 표면온도가 가장 높았다. 히터의 표면온도를 25℃에서 70℃로 상승시키면서 측정된 우드세라믹의 표면온도는 히터의 표면온도가 증가함에 따라 우드세라믹의 표면온도도 증가하였으며, 히터표면온도 70℃일 때 함침율 80% 시편의 경우 우드세라믹 표면온도는 53.9℃, 소성온도 1,000℃ 시편은 표면온도가 54.2℃로 가장 높게 나타났다. 시간의 경과에 따른 표면온도의 하강은 함침율 80%와 소성온도 1,000℃ 시편이 처음온도와 30 min 후의 온도차이가 각각 15.4℃와 26.1℃로 온도 하강속도가 가장 빨랐다.

또한 전체적으로 히터의 표면온도보다 우드세라믹의 표면온도 하강속도가 느려 우드세라믹이 오랜 시간 열을 유지하고 있음을 알 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- Hokkirigawa, K., T. Okabe, and K. Saito. 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., T. Okabe, and K. Saito. 1996. Wear properties of new porous carbon materials: woodceramics. Journal of porous Materials 2: 229~235.
- Hirose, T., T. X. Fan, T. Okabe, and M. Yoshmura. 2001. Effect of carbonization temperature on the basic properties of woodceramics impregnated with liquefied wood. Journal of Materials Science 36: 4145~4149.
- Kano, M., M. Momota, T. Okabe, and K. Saito. 1997. Specific heat capacity of new porous carbon materials: woodceramics. Thermochemica Acta 292: 175~177.
- Nonaka, K., M. Fushitani, T. Hirose, and T. Okabe. 1999. Thermal conductivity of woodceramics. Proceeding of 11th MRS-J annual meeting, session 1. New plant materials pp. 98~101.
- Oh, S. W. 2001. Properties of woodceramics made from thinned logs of *Cryptomeria japonica* D. Don -Effect of steam injection and its time-, Journal of the Korean Wood Science and Technology 29(2): 69~75.
- 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 Korean Wood Science and Technology 31(1): 41~45.
- 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.
- 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.
- Oh, S. W. and T. Okabe. 2003. Manufacture of woodceramics chip tiles from waste wood, Forest Products Journal 53(7/8): 50~53.
- Okabe. 1996. Porous carbon materials "woodceramics".

- Uchida Rokakuho Publishing Co., Ltd. pp. 112~115.
12. Okabe, T. and K. Saito. 1995a. Development of woodceramics. Transactions of the Material Research Society of Japan 18: 681~684.
  13. Okabe, T. and K. Saito. 1995b. The examination of the manufacturing method of woodceramics(I)-Structural changes affected by burning temperature-, International Ecomaterial Conference, Xian, China pp. 1~4.
  14. Okabe, T., K. Saito, H. Togawa, and Y. Kumagai. 1995a. Electromagnetic shielding characteristic of porous carbon material "woodceramics". International Ecomaterial Conference, Xian, China pp. 9~12.
  15. Okabe, T., K. Saito, H. Togawa, and Y. Kumagai. 1995b. Development of porous carbon material "woodceramics"-Electromagnetic shielding characteristics-Journal of The Society of Materials Science Japan 449498: 288~291.
  16. 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.
  17. Suda, T., N. Kondo, T. Okabe, and K. Saito. 1999. Electrical properties of woodceramics. Journal of Porous Materials 6: 255~258.