

소나무로 제조된 우드세라믹의 표면온도변화*1 - 승온속도 및 최고온도에서 유지시간의 영향 -

오 승 원*2†

A Changes in Surface Temperature of Woodceramics Made from *Pinus densiflora* S. et. Z.*1 - Effect of Heating Rate and Keeping Time at Maximum Temperature -

Seung Won Oh*2†

요 약

소나무 간벌제로 톱밥보드를 만든 후 우드세라믹을 제조하여 승온속도 및 최고온도에서의 유지시간에 따른 우드세라믹의 표면온도의 변화를 조사하였다. 승온속도 2°C/min와 유지시간 1시간의 조건으로 제조된 우드세라믹의 표면 온도가 가장 높았다. 히터의 표면 온도보다 우드세라믹의 표면온도의 하강 속도가 느려 우드세라믹이 오랜 시간 열을 유지하고 있음을 알 수 있었다.

ABSTRACT

Using woodceramics made from sawdust board of pine thinning logs, changes in surface temperature were investigated, by the heating rate and keeping time at maximum temperature. The heating rate of 2°C/min and keeping time at maximum temperature 1 hour, were the highest in surface temperature. Also, it was found that woodceramics maintained heat for a long time because the descending velocity of their surface temperature was slower than that of the heater.

Keywords: woodceramics, surface temperature, heating rate, keeping time

* 1 접수 2007년 3월 7일, 채택 2007년 4월 10일

본 연구는 농림기술개발사업의 지원에 의하여 수행되었음.

* 2 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)

1. 서 론

우드세라믹은 목재나 목질재료에 열경화성 수지를 함침한 후 높은 온도에서 소성하여 만든 다공질 탄소 재료로 목재의 성질을 유지하면서 가볍고 단단하며 내부식성, 열전도성이 우수하고 원적외선 방사와 전자파 차폐효과가 있는 새로운 소재로 알려져 있다(Okabe & Saito 1995a, 1995b; Okabe *et al.*, 1995a, 1995b, 1996; Oh & Byeon, 2006). 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; Okabe & Saito, 1995a, 1995b; Okabe *et al.*, 1995a, 1995b, 1996; Suda *et al.*, 1999; Zhao *et al.*, 2002).

우드세라믹은 원재료의 밀도, 수지함침율, 소성온도, 승온속도 및 최고온도에서 유지시간 등 원재료의 성질 및 제조방법에 따라 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 승온속도 및 최고온도에서 유지시간에 따른 표면온도 변화를 조사함으로써 앞으로 우드세라믹의 용도개발을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

직경 12 cm 이하 소나무 간벌재를 톱밥보드 제조용 재료로 사용하였다.

2.2. 보드제조

동근톱을 이용하여 톱밥을 만든 후 입자의 크기를 1 mm 이하로 선별하고 함수율을 6% 이하로 조절하였다. 보드를 제조하기 위하여 분말페놀수지와 톱밥

을 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/cm² (3단 가압), 열압시간 6→5→4분(3단 열압시간)으로 열압하여 밀도 0.6 g/cm³의 보드를 20매 제조하였다. 보드제조 시 사용한 접착제는 분말페놀수지(코오롱 유화(주) KNB -100PL)로서 용점 80~95°C, 수지 고형분 99%이었다. 열압 과정에서 보드의 두께를 일정하게 하기 위하여 thickness bar를 사용하였으며, 열에 의해서 보드의 상·하면과 열판의 부착을 방지하기 위하여 시료의 상부와 하부면 테프론 판을 깔아 실험하였다.

2.3. 함침 및 우드세라믹 제조

톱밥보드를 12 × 12 × 1.4 cm 크기로 재단한 다음 액상 페놀수지(코오롱유화(주), KPD-L777)가 들어 있는 가압 함침장치에 넣고 1기압에서 함침율을 60 ± 2%로 조절하여 함침하였다. 함침에 사용한 페놀수지의 특성은 고형분 51~53%, 비중 1.06, 점도 45~65 cps, 경화시간 80~95 sec이다. 함침 후 시료를 건조기에 넣고 60°C에서 10시간, 100°C와 135°C에서 각각 8시간씩 건조 및 경화시켰다. 건조한 다음 진공소결로(KOVAC KSF-100, 고려진공(주))를 이용하여 승온속도 2°C/min, 3°C/min, 4°C/min, 5°C/min, 6°C/min와 최고온도에서 유지시간 1, 2, 3, 4, 5시간의 조건으로 소성온도 800°C에서 각 5개씩 소성하였다.

2.4. 표면온도 측정

우드세라믹의 표면온도 변화를 측정하기 위하여 전기전압 조절장치에 실리콘 러버히터를 연결한 다음, 20 V 상태에서 목표온도를 설정한 후 온도 센서를 이용하여 러버히터의 표면온도를 고정하였다. 목표온도로 가열된 실리콘 러버히터 위에 승온속도와 최고온도에서 유지시간이 다르게 제조된 우드세라

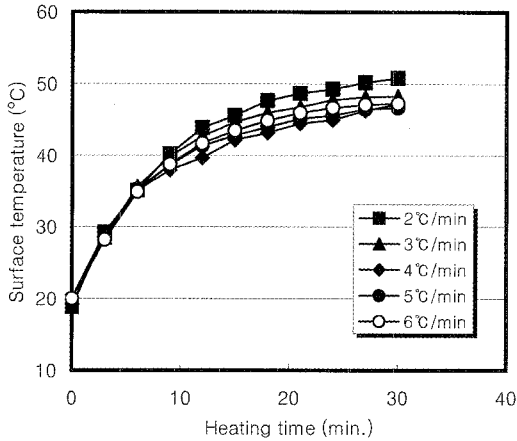


Fig. 1. Relationship between heating time and surface temperature of woodceramics in heating rate.

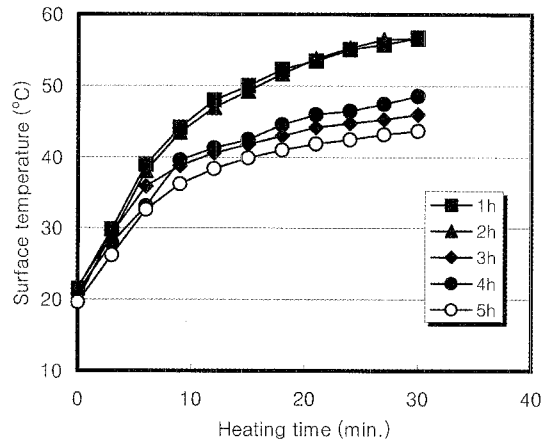


Fig. 2. Relationship between heating time and surface temperature of woodceramics in keeping time.

믹을 올려놓고, 우드세라믹의 표면에 온도 센서를 부착하여 시간의 경과, 히터의 바닥온도의 변화 및 히터온도하강에 따른 우드세라믹의 표면온도 변화를 측정하였다. 표면온도변화 측정은 각 조건별로 소성된 시편 중 형상이 완전한 것 2개씩을 선별하여 측정하여 평균하였다. 이때 우드세라믹 표면온도의 측정은 실내(20 ± 1°C)에서 Thermo Recorder (T and D Co., Ltd. TR-71S)를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 시간의 경과에 따른 표면온도 변화

실리콘 러버히터 표면온도를 60°C로 설정하고 그 위에 우드세라믹을 올려놓은 다음 3분 간격으로 30분 동안 표면온도 변화를 측정한 결과는 Figs. 1~2와 같다.

승온속도에 따른 표면온도는 시간이 경과함에 따라 증가하였으며, 경과시간 9분까지는 급격히 상승하다가 그 이후에는 완만한 경향을 나타내어 우드세라믹은 초기에 열전달 속도가 빠름을 알 수 있었다. 경과시간 30분 후의 표면온도는 승온속도 2°C/min 시편의 경우 50.8°C, 3°C/min는 48.3°C, 5°C/min는

46.7°C로 승온속도 2°C/min일 때 우드세라믹의 표면온도가 가장 높았으며, 승온속도 5°C/min 시편의 표면온도가 가장 낮았다. 이는 소성속도가 느린 경우 충분한 소성으로 인하여 많은 양의 유리질탄소가 존재함으로써 밀도가 증가하였기 때문으로 생각된다(오와 변, 2005).

廣瀬(1997)는 승온속도가 5°C/min보다 빠른 경우 탄소화가 진행되는 단계에서 많은 메틸기나 페놀성 산소가 분해가스로 밖으로 빠져나가 우드세라믹의 거친 구조로 인하여 밀도가 감소된다고 보고한 바 있다.

최고온도에서 유지시간별로 소성하여 만든 우드세라믹의 시간의 경과에 따른 표면온도는 시간이 경과함에 따라 증가하였으며 승온속도에 따른 온도변화와 같이 경과시간 9분까지는 온도가 급상승하는 경향을 보였다. 경과시간 30분 후의 우드세라믹의 표면온도는 유지시간 1시간 시편의 경우 56.7°C, 2시간 시편은 56.6°C, 5시간 시편은 43.7°C로 유지시간 1시간 시편의 표면온도가 가장 높았으며, 유지시간 5시간 시편의 표면온도가 가장 낮았다. 이는 최고온도 유지시간 2시간일 때 밀도가 가장 높았다는 오와 변(2005)의 보고와 관련이 있어 시편의 밀도가 열전달에 영향을 미친 것으로 판단된다.

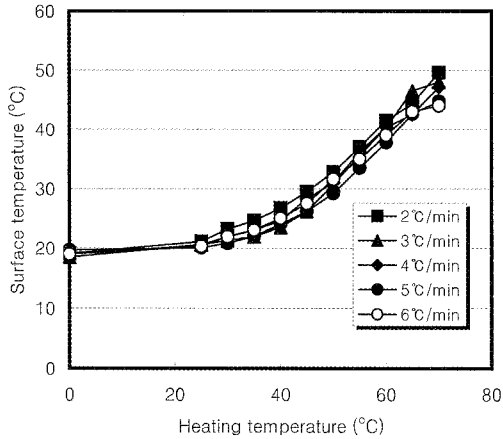


Fig. 3. Relationship between heating temperature and surface temperature of woodceramics in heating rate.

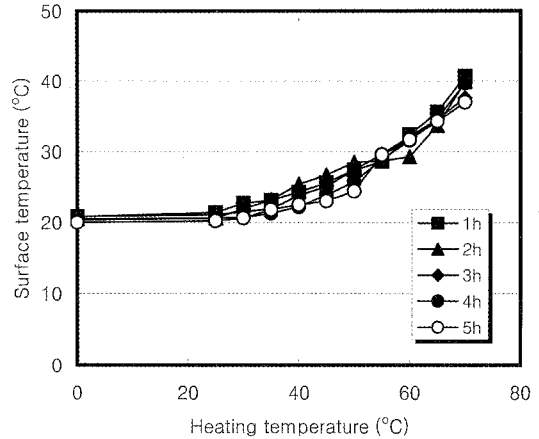


Fig. 4. Relationship between heating temperature and surface temperature of woodceramics in keeping time.

3.2. 히터의 표면온도 변화에 따른 우드세라믹의 표면온도 변화

각 승온속도 및 유지시간별로 제조된 우드세라믹을 실리콘 러버히터 위에 올려놓고 히터의 표면온도를 25°C에서 70°C까지 상승시키면서 우드세라믹 표면온도 변화를 측정 한 결과는 Figs. 3~4와 같다.

승온속도에 따른 우드세라믹의 표면온도는 실리콘 러버히터의 표면온도가 증가함에 따라 승온속도 2°C/min 시편의 경우 히터의 표면온도 25°C일 때 21.1°C, 표면온도 70°C일 때 49.6°C, 4°C/min 시편의 경우 표면온도 25°C일 때 20.5°C, 표면온도 70°C일 때 47.1°C, 6°C/min 시편의 경우 표면온도 25°C일 때 20.3°C, 표면온도 70°C일 때 44.0°C로 히터의 표면온도가 증가할수록 우드세라믹의 열전도성이 빠름을 알 수 있었다. 승온속도별 우드세라믹의 표면온도는 승온속도 2°C/min 시편이 가장 높았고, 승온속도 6°C/min 시편이 가장 낮아 승온속도가 느릴수록 소성 후 밀도가 높았다는 연구결과와 비교하여 열전도성과 우드세라믹의 밀도는 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다. 유지시간별로 제조된 우드세라믹의 표면온도를 조사한 결과, 실리콘 러버히터의 표면온도가 증가함에 따라 유지시간 1시간 시편의

경우 표면온도 25°C일 때 21.4°C에서 표면온도 70°C일 때 40.7°C로, 유지시간 3시간 시편의 경우 표면온도 25°C일 때 20.6°C에서 표면온도 70°C일 때 39.9°C로, 유지시간 5시간 시편의 경우 표면온도 25°C일 때 20.2°C에서 표면온도 70°C일 때 37.0°C로 증가하여 히터의 표면온도를 높일수록 각각 최고온도에서 유지시간별로 제조된 우드세라믹의 표면온도도 증가함을 알 수 있었다. 또한 유지시간별 우드세라믹의 표면온도는 유지시간 1시간에서 소성된 시편이 가장 높았으며 유지시간 5시간으로 소성한 우드세라믹이 가장 낮았다. 이러한 결과 역시 최고온도에서의 유지시간에 따른 소성 후 밀도의 차이에 기인된 것으로 생각할 때 오와 변(2005)은 최고온도에서 유지시간 2시간일 때 소성 후 밀도가 가장 크다고 보고한 바 있으나, 본 연구에서는 유지시간 1시간일 때가 표면온도가 높게 나타나 실리콘러버히터의 온도를 저온에서 고온으로 올릴 때 우드세라믹의 표면온도변화에 영향을 미치는 인자는 단순히 밀도만이 아닌 다른 인자가 작용 했을 것으로 판단되어 앞으로 이에 대한 심도있는 연구가 필요할 것으로 생각된다. 한편 Nonaka 등(1999)은 우드세라믹의 열전도율과 밀도와의 관계는 측정온도가 높을수록, 고온에서 소성한 시편일수록 열전도는 직선적으로 증가한다고 보고한 바 있다.

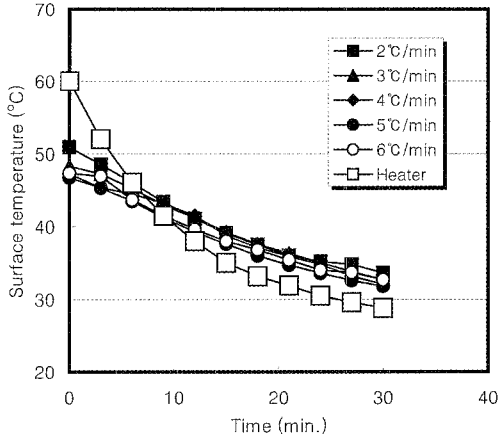


Fig. 5. Relationship between time and descent of surface temperature of woodceramics in heating rate.

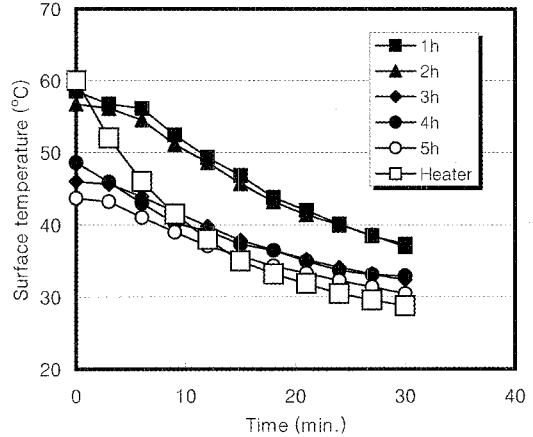


Fig. 6. Relationship between time and descent of surface temperature of woodceramics in keeping time.

3.3. 시간의 경과에 따른 우드세라믹의 표면온도 하강

각 승온속도 및 유지시간 별로 제조된 우드세라믹의 표면온도 하강변화를 알아보기 위하여 표면온도 60°C로 설정된 실리콘 러버히터 위에 우드세라믹을 올려놓고 30분 후의 온도를 측정하였다. 그 후 히터의 전원을 꺼서 히터의 표면온도를 하강시키면서 3분 간격으로 30분 동안 우드세라믹의 표면온도와 히터의 표면온도를 측정하여 온도의 하강변화를 조사하였다.

Fig. 5와 같이 승온속도에 따른 표면온도의 하강은 히터의 표면온도가 30분 동안 60°C에서 28.8°C로 감소함에 따라 승온속도 2°C/min 시편의 경우 50.9°C에서 33.6°C로, 4°C/min 시편은 47.2°C에서 32.1°C로, 6°C/min 시편은 47.3°C에서 32.7°C로 시간이 경과함에 따라 우드세라믹의 표면온도는 완만히 하강하였다. 한편 승온속도 2°C/min 시편이 처음온도와 30분 후의 온도차이가 17.3°C로 온도변화가 컸으며, 승온속도 6°C/min 시편은 14.6°C로 상대적으로 작았다. 또한 전체적으로 히터의 처음온도와 30분 후의 표면온도차이인 31.2°C보다 우드세라믹의 표면온도 하강속도가 느려 우드세라믹이 오랜 시간 열

을 유지하고 있음을 알 수 있었다.

각 유지시간별로 소성한 우드세라믹의 표면온도의 하강은 Fig. 6에 나타난 바와 같이 히터의 표면온도가 30분 동안 60°C에서 28°C로 감소함에 따라 유지시간 1시간 시편의 경우 58.5°C에서 37.3°C로, 유지시간 2시간 시편의 경우 46.0°C에서 32.4°C로, 유지시간 5시간 시편은 43.7°C에서 30.5°C로 시간이 경과함에 따라 우드세라믹 표면온도는 완만히 하강하였다. 한편 유지시간 1시간 시편이 처음온도와 30분 후의 온도차이가 21.1°C로 온도변화가 가장 빨랐으며, 유지시간 5시간 시편은 13.2°C로 상대적으로 작았다. 이러한 결과는 유지시간 1, 2시간일 때 우드세라믹의 밀도가 높아 앞에서 언급한 대로 30분 후의 표면온도가 높은 상태에서 전원을 끄고 하강시켰기 때문에 하강속도가 느린 것으로 생각된다. 이상의 결과, 우드세라믹을 온돌마루판의 하부소재로 사용하기 위해서는 승온속도 2°C/min, 3°C/min, 최고 온도에서의 유지시간 1, 2시간 정도의 조건에서 제조된 우드세라믹이 표면온도 변화 및 열의 전달속도 측면에서 적당할 것으로 판단된다. 그러나 표면온도의 변화는 밀도와 밀접한 관계가 있는 것으로 생각되어 수지함침율 및 소성온도의 변화 등 제조방법과 열전도율, 강도 등 다양한 성질에 대한 연구가 필요하리라 생각된다.

4. 결 론

소나무 간벌재로 우드세라믹을 제조한 후 승온속도 및 유지시간에 따른 우드세라믹의 표면온도 변화를 조사한 결과는 다음과 같다.

실리콘 러버히터 표면온도가 60°C일 때 시간의 경과에 따른 우드세라믹의 표면온도를 측정할 결과 시간이 경과함에 따라 우드세라믹 표면온도도 증가하였으며, 승온속도 2°C/min, 유지시간 1시간 조건으로 제조된 우드세라믹의 표면온도가 가장 높았다. 히터의 표면온도를 25°C에서 70°C로 상승시키면서 측정된 우드세라믹의 표면온도는 히터의 표면온도가 증가함에 따라 우드세라믹의 표면온도도 증가하였으며, 히터표면온도 70°C일 때 승온속도 2°C/min 시편의 경우 우드세라믹 표면온도는 49.6°C, 유지시간 1시간 시편은 표면온도가 40.7°C로 가장 높게 나타났다. 시간의 경과에 따른 표면온도의 하강은 승온속도 2°C/min와 유지시간 1시간 시편이 처음온도와 30분 후의 온도차이가 각각 17.3°C와 21.2°C로 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

- 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.
- 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.
- 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., and H. S. Byeon. 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., 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., 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. 1996. Porous carbon materials "woodceramics". Uchida Rokakuho Publishing Co., Ltd. pp. 112~115.
- Okabe, T. and K. Saito. 1995a. Development of woodceramics. *Transactions of the Material Research Society of Japan* 18: 681~684.
- 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.
- 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* 44(498): 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.
18. 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.
19. 오승원, 변희섭. 2005. 승온속도 및 최고온도 유지시간이 간벌재로 제조된 우드세라믹의 성질에 미치는 영향. *목재공학* 33(3): 38~44.
20. 廣瀬 孝. 1997. ウッドセラミックスの強度性能向上に関する研究. 東京農工大大学院 修士論文.