

## 톱밥보드로 제조된 우드세라믹의 표면온도 변화<sup>1</sup>

- 수지 함침율과 소성온도의 영향 -

오승원<sup>2</sup> · 박금희<sup>2</sup> · 변희섭<sup>3</sup>

## Change in Surface Temperature of Woodceramics Manufactured by Sawdust Boards<sup>1</sup>

- Effect of the Rate of Resin Impregnation and Burning Temperature -

Seung-Won Oh<sup>2</sup>, Jin-Ji Piao<sup>2</sup> and Hee-Seop Byeon<sup>3</sup>

### 요 약

낙엽송 간벌재 톱밥보드로 우드세라믹을 제조한 후 수지함침율 및 소성온도에 따른 우드세라믹의 표면온도 변화를 조사하였다. 히터의 표면온도가 증가함에 따라 우드세라믹의 표면온도도 급속히 증가하였으며 수지함침율 70~80%, 소성온도 800~1000℃ 조건으로 제조된 우드세라믹의 표면온도가 상대적으로 높았다. 히터의 표면온도보다 우드세라믹 표면온도의 하강속도가 느려 우드세라믹이 오랜 시간 열을 유지하고 있음을 알 수 있었다.

### ABSTRACT

Using woodceramics made from sawdust board of *Larix leptolepis* thinning logs, change in surface temperature were investigated, by the rate of resin impregnation and burning temperature. As the surface temperature of silicon rubber heater was going up, that of woodceramics also increase rapidly. Woodceramics made from under the condition of the rate of resin impregnation 70-80% and burning temperature 800-1000℃, were higher than that of surface temperature. 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* : sawdust board, woodceramics, resin impregnation, burning temperature

1. 접수 2003년 4월 20일 Received on April 20, 2003.  
본 연구는 농림기술개발사업의 지원에 의하여 수행되었음.
2. 전북대학교 농업생명과학대학, 생물산업연구소 College of Agriculture & Life Science, Research Institute of Bioindustry, 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.

## 서 론

톱밥은 수분 흡수율이 약 272.4%로 다른 수분 조절재에 비하여 수분흡수율이 높아 주로 가축농가에서 가축분뇨 처리용으로 사용하고 있으며 일부는 톱밥을 부숙시켜 부산물 비료로 사용되고 있다(임업연구원, 2000). 산림조합 통계에 의하면 국내의 하루 톱밥 생산량은 약 1,600m<sup>3</sup>이고 톱밥가격은 수중에 따라 차이가 있지만 약 26,600원/m<sup>3</sup>이며 톱밥생산의 주요 원자재는 소나무와 낙엽송 간벌재 및 임지 폐목재이다. 국내 목재사용량의 94%를 수입에 의존하고 있는 실정에서 이러한 톱밥을 효율적이고 고부가 가치적으로 이용 하므로써 국내 임업 및 목재산업의 활성화에 기여 할 것으로 생각된다.

이러한 방법의 하나로 톱밥보드의 제조와 우드세라믹 제조 등 활용방법에 대한 연구가 진행되고 있다(오, 2001, 2002; 오 등, 2000). 우드세라믹은 목재나 목질재료에 열경화성 수지를 함침시킨 후 고온에서 소성하여 만든 다공질 탄소재료로서 내부식성, 열전도성, 전자파 차폐 효과 등 우수한 성질을 지니고 있어 앞으로 공업적으로 다양하게 이용 될 것으로 기대된다(Hirose *et al.*, 2001; Kano *et al.*, 1997; Okabe, 1996; Okabe *et al.*, 1995a, 1995b, 1996; Suda *et al.*, 1999). 따라서 본 연구에서는 낙엽송 간벌재 톱밥으로 보드를 만든 후 함침과 소성과정을 거쳐 우드세라믹을 제조하여 실리콘 러버히터의 표면온도에 따른 우드세라믹의 표면온도 변화를 조사하여 우드세라믹의 용도개발에 필요한 자료를 얻고자 한다.

## 재료 및 방법

### 2.1 공시재료

직경 12cm 이하 낙엽송 간벌재를 톱밥보드 제조용 재료로 사용하였다.

### 2.2 보드제조

함수율 6% 이하로 건조된 톱밥을 분말 페놀수지와 충분히 혼합하여 열압기의 열판 위에 있는 스테인레스 정방형 몰드 속에 넣고 상부 높이를 일정하게 조절한 후 열압 성형하여 26×26×1.4cm 의 보드를 제조하였다. 보드제조 조건은 수지혼합율 10%, 열압온도 190℃, 가압압력 40→20→10 kgf/cm<sup>2</sup>, 열압시간 6→5→4 분으로 하여 밀도 0.6g/cm<sup>3</sup>의 보드를 제조하였다. 보드 제조 시 사용한 분말 페놀수지(코오롱유화(주)KNB-100PL)의 용점은 80~95℃, 수지 고형분은 99%이다.

### 2.3 함침 및 우드세라믹 제조

12×12×1.4cm 의 크기로 절단된 톱밥보드를 액상 페놀수지(KPD-L777, 코오롱 유화(주))가 들어있는 감압 함침장치에 넣고 함침율을 40~80%로 조절하여 함침시켰다. 함침에 사용한 페놀수지의 특성은 고형분 51~53%, 비중 1.06, 점도 45~65 cps, 경화시간 80~95 sec 이다. 함침보드를 60℃에서 10시간 100℃와 135℃에서 8시간 건조한 다음 진공소결로(KOVAC, KSF-200V)를 이용하여 함침율 40~80% 별로 800℃에서 소성하였으며, 함침율 70% 시편을 600, 800, 1000, 1200, 1500℃에서 소성하여 우드세라믹을 제조하였다.

### 2.4 표면온도의 측정

설정온도 및 시간의 경과에 따른 우드세라믹의 표면온도를 측정하기 위하여 전기전압 조절장치에 실리콘 러버히터를 연결하고, 20V에서 목표온도를 설정한 후 온도센서를 이용하여 히터의 표면온도를 고정하였다. 가열된 실리콘러버 히터위에 우드세라믹을 올려놓고 그 위에 다른 온도센서를 부착하여 시간의 경과, 히터바닥온도의 변화 및 온도하강 시간에 따른 우드세라믹의 표면온도 변화를 측정하였

다. 이때 우드세라믹 표면온도 측정은 실내 ( $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ )에서 Thermo Recorder(T and D Co., Ltd TR-71S)를 이용하여 측정하였다.

## 결과 및 고찰

### 3.1 시간의 경과에 따른 우드세라믹의 표면 온도

실리콘 러버히터의 표면온도를  $60^{\circ}\text{C}$ 로 설정하고 그 위에 수지함침을 및 소성온도 별로 제조된 우드세라믹을 올려놓은 다음 3분간격으로 30분동안 우드세라믹의 표면온도 변화를 측정한 결과는 Figs.1~2와 같다. 수지 함침율에 따른 표면온도는 시간이 경과함에 따라 경과시간 15분까지는 급격히 상승하다가 그 이후에는 완만한 상승경향을 나타내어 우드세라믹은 초기에 열전달이 빠름을 알 수 있었다. 경과시간 30분 후의 표면온도는 수지 함침율 40% 시편의 경우  $45.1^{\circ}\text{C}$ , 60%는  $50.6^{\circ}\text{C}$ , 80% 시료는  $45.8^{\circ}\text{C}$ 로 함침율 60%로 제조된 우드세라믹의 표면온도가 가장 높았으며 함침율 40% 시편의 표면온도가 가장 낮게 나타났다. 일반적으로 함침율이 높으면 우드세라믹 제조 후 밀도도 증가하여 열 전달이 양호 할 것으로 생각되나, 본 연구에서는 함침율 80%의 밀도는  $0.84\text{g}/\text{cm}^3$ 로 함침율 60%의 밀도  $0.80\text{g}/\text{cm}^3$ 보다 컸으나 열전달은 오히려 좋지 않은 것

로 나타났다. 소성온도별 시간의 경과에 따른 우드세라믹의 표면온도는 시간이 경과함에 따라 증가하였으며 경과시간 15분까지는 온도가 급격히 상승하는 경향을 보였다. 경과시간 30분 후의 우드세라믹의 표면온도는 소성온도  $600^{\circ}\text{C}$  시편의 경우  $52.2^{\circ}\text{C}$ ,  $1000^{\circ}\text{C}$  시편은  $55.2^{\circ}\text{C}$ ,  $1500^{\circ}\text{C}$  시편은  $53.5^{\circ}\text{C}$ 로 소성온도  $1000^{\circ}\text{C}$  시편의 온도가 가장 높았으며,  $600^{\circ}\text{C}$  시편의 표면온도가 가장 낮았다. 이는 소성온도  $1200^{\circ}\text{C}$  이후에는 밀도가 약간 감소하여 우드세라믹의 열전도에 영향을 미친 것으로 생각되며, 우드세라믹의 열전도는 소성온도 및 밀도와 깊은 관련이 있는 것으로 판단된다.

### 3.2 히터 표면온도 상승에 따른 우드세라믹의 표면온도 변화

각 조건별로 제조된 우드세라믹을 실온에서 실리콘러버 히터 위에 올려놓고 히터의 표면온도를  $25^{\circ}\text{C}$ 에서  $70^{\circ}\text{C}$ 까지 상승시키면서 우드세라믹 표면온도를 측정한 결과는 Figs.3~4와 같다. 수지 함침율에 따른 우드세라믹의 표면온도는 실리콘 러버히터의 표면온도가 상승함에 따라 함침율 40% 시편의 경우 히터의 표면온도가  $25^{\circ}\text{C}$ 일 때  $21^{\circ}\text{C}$ 에서 표면온도  $70^{\circ}\text{C}$ 일 때  $47.7^{\circ}\text{C}$ 로, 60% 시편의 경우 히터표면온도  $25^{\circ}\text{C}$ 일 때  $21.2^{\circ}\text{C}$ 에서 표면온도  $70^{\circ}\text{C}$ 일 때  $48.1^{\circ}\text{C}$ 로, 70% 시편은 히터의 표면온도  $25^{\circ}\text{C}$ 일

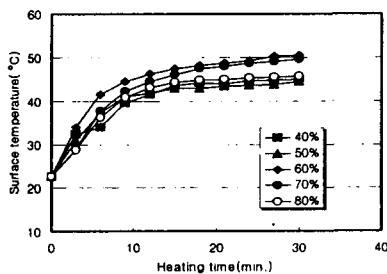


Fig 1 Relationship between heating time and surface temperature of woodceramics (Legend : Resin content).

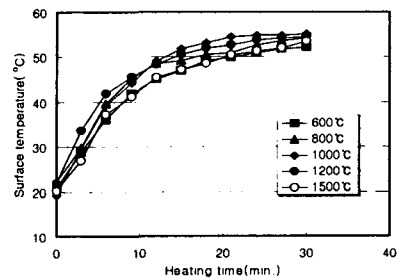


Fig 2 Relationship between heating time and surface temperature of woodceramics (Legend : burning temperature).

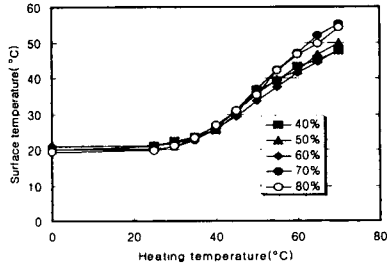


Fig. 3 Relationship between heating temperature and surface temperature of woodceramics

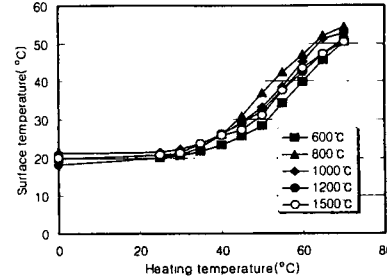


Fig. 4. Relationship between heating temperature and surface temperature of woodceramics.

때 20.5°C에서 표면온도 70°C일 때 55.2°C로 히터의 표면온도를 상승시킴에 따라 직선적으로 상승하였다. 함침율별 우드세라믹 표면온도는 함침율 70% 시편이 가장 높았고, 40% 시편이 가장 낮아 함침율이 높은 보드의 페놀수지가 소성과정에서 많은 양의 유리질탄소(glassy carbon)로 변환되면서 밀도에 영향을 미쳐서 나타난 결과로 생각된다.

소성온도별 우드세라믹의 표면온도는 실리콘 러버히터의 표면온도가 상승함에 따라 소성온도 600°C시편의 경우 히터의 표면온도 25°C일 때 19.9°C에서 70°C일 때 50.3°C로, 800°C 시편은 히터의 표면온도 25°C일 때 20.5°C에서 70°C일 때 54.3°C로, 1500°C 시편은 히터의 표면온도 25°C 일 때 20.7°C에서 70°C일 때 50.3°C로 증가하여 히터의 표면온도를 높일수록 우드세라믹의 표면온도는 급격히 상승하였다. 또한 실리콘 러버히터 표면온도 상승에 따른 소성온도별 우드세라믹의 표면온도는 80

0°C로 소성한 시편이 가장 높았으며 소성온도 1200°C 이후에는 소성 후 밀도가 약간 감소하여 표면온도의 변화에 영향을 미친 것으로 판단된다.

### 3.3 시간의 경과에 따른 우드세라믹의 표면 온도 하강

함침율 및 소성온도 별로 제조된 우드세라믹의 표면온도 하강변화를 알아보기 위하여 표면온도 60°C로 설정된 실리콘 러버히터 위에 우드세라믹을 올려놓고 30분 후의 표면온도를 측정하였다. 그 후 히터의 전원을 꺼서 히터의 표면온도를 하강시키면서 3분 간격으로 30분 동안 우드세라믹의 표면온도와 히터의 표면온도 하강을 측정하여 시간의 경과에 따른 우드세라믹의 열 유지 정도를 조사하였다. Fig.5 에 나타낸 바와 같이 수지 함침율에 따른 우드세라믹의 표면온도 하강은 히터의

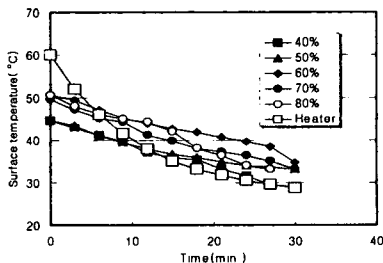


Fig.5 Relationship between time and descent of surface temperature of woodceramics.

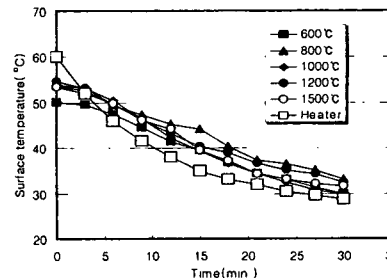


Fig 6 Relationship between time and descent of surface temperature of woodceramics

표면온도가 30분 동안 60℃에서 28.8℃로 감소함에 따라 함침율 40% 시편의 경우 44.7℃에서 29.1℃로, 60% 시편은 50.6℃에서 34.7℃로, 80% 시편은 50.6℃에서 33.2℃로 시간이 경과함에 따라 우드세라믹의 표면온도도 완만히 하강하였다. 한편 함침율 80% 시편의 처음온도와 30분 후의 온도차이가 17.4℃로 온도 변화가 가장 컸으며, 함침율 50% 시편은 11.5℃로 상대적으로 작아 함침율이 높은 시료의 온도 변화가 빠르게 나타났다. 또한 전체적으로 히터의 표면온도보다 우드세라믹의 표면온도도 하강속도가 느려 우드세라믹이 오랜 시간 열을 유지하고 있음을 알 수 있었다. 소성온도를 달리하여 제조된 우드세라믹의 소성온도에 따른 표면온도의 하강은 Fig.6과 같이 히터의 표면온도가 30분 동안 60℃에서 28.8℃로 감소함에 따라 소성온도 600℃ 시편은 50.2℃에서 30.0℃로, 1000℃ 시편은 54.0℃에서 29.8℃로, 1500℃ 시편은 53.5℃에서 31.7℃로 시간이 경과함에 따라 우드세라믹의 표면온도도 완만히 하강하였다. 한편 소성온도 1000℃로 제조된 시편의 처음온도와 30분 후의 온도차이가 24.2℃로 온도변화가 컸으며, 600℃ 시편은 20.2℃로 상대적으로 작아 우드세라믹 표면온도의 하강은 수지함침율 보다 소성온도에 의해 영향을 많이 받음을 알 수 있었다. 이상의 결과, 낙엽송 간벌재로 제조된 우드세라믹을 열적성질과 관련된 재료로 이용하기 위해서는 수지 함침율 70~80%, 소성온도 800~1000℃ 정도에서 제조된 우드세라믹을 사용하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 또한 본 실험에서 제조된 우드세라믹은 열을 오랫동안 유지하고있기 때문에 난방용 면상발열체의 재료로 사용이 기대된다. 그러나 우드세라믹의 표면온도 변화는 시편의 밀도와 밀접한 관련이 있는 것으로 생각되어 수지 함침율과 소성온도의 변화 등 제조방법과 물성에 대한 연구와 우드세라믹을 직접 전기에 연결하여 정확한 표면온도의 변화를 확인할 필요가 있을 것으로 생각된다.

## 결론

낙엽송 간벌재로 툽밥보드를 만든 후 우드세라믹을 제조하여 수지함침율과 소성온도에 따른 우드세라믹의 표면온도를 조사하였다. 히터 표면온도 60℃에서의 우드세라믹의 표면온도는 시간이 경과함에 따라 증가하였으며 수지함침율 60%와 소성온도 1000℃로 제조된 시편의 표면온도가 가장 높았다. 히터의 표면온도를 상승시킴에 따라 히터의 표면온도 70℃일 때 함침율 70%와 소성온도 800℃로 제조된 우드세라믹의 표면온도가 가장 높았다. 시간의 경과에 따른 표면온도의 하강은 함침율 80%와 소성온도 1000℃의 시편의 처음온도와 30분 후의 온도차이가 각각 17.4℃와 24.2℃로 온도 하강 속도가 가장 빨랐다.

## 참고 문헌

1. Hirose, T., T. X. Fan, T. Okabe, and M. Yoshimura. 2001. Effect of carbonization temperature on the basic properties of woodceramics impregnated with liquefied wood. *Journal of Materials Science* 36: 4145~4149.
2. Kano, M., M. Momota, T. Okabe, and K. Saito. 1997. Specific heat capacity of new porous carbon materials: woodceramics. *Thermochimica Acta* 292:175~177.
3. Okabe, T., Saito, H. Togawa, and Y. Kumagai. 1995a. Electromagnetic shielding characteristic of porous carbon material "woodceramics". *International Ecomaterial Conference, Xian, China* pp.9~12.
4. 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.

5. 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.
6. Suda, T., N. Kondo. T. Okabe, and K. Saito. 1999. Electrical properties of woodceramics.. *Journal of Porous Materials* 6: 255~258.
7. 오승원. 2001. 삼나무간벌재로 제조된 우드세라믹의 성질 - 증기분사 및 그 시간의 영향 -. *목재공학* 29(2) : 69~75.
8. 오승원. 2002. 우드세라믹 제조용 석탄산 수지 함침보드의 수지함침율과 치수증가율 - 증기분사시간의 영향 -. *목재공학* 30(2) : 158~164.
9. 오승원, T. Okabe and T. Hirose. 2000. 삼나무 간벌재로 제조된 우드세라믹의 전기적성질. *한국가구학회지* 11(1) ; 31~36.
10. 임업연구원, 2000. 폐목재의 수집체계 개선 및 재활용 추진방향. 연구자료. 159호