

톱밥과 왕겨 혼합보드로 제조된 세라믹의 표면 온도 변화*¹ - 수지함침율 및 탄화온도의 영향 -

오 승 원*^{2†} · 박 희 준*³

A Change in Surface Temperature of Ceramics Made from Board Mixed with Sawdust and Rice Husk*¹

- Effect of Resin Impregnation Rate and Carbonization Temperature -

Seung Won Oh*^{2†} · Hee Jun Park*³

요 약

톱밥과 왕겨로 제조된 혼합보드로 세라믹을 제조한 후 수지함침율 및 소성온도에 따른 세라믹의 표면온도를 조사하였다. 경과시간 초기에 표면온도가 급상승 하였으며 수지함침율 60~70%와 소성온도 1200°C로 제조된 세라믹의 표면온도가 가장 높았다. 히터의 표면온도보다 혼합세라믹의 표면온도 하강속도가 느려 혼합세라믹의 열 보존력이 높음을 알 수 있었다.

ABSTRACT

This study was aimed at offering basic data to develop a new use of sawdust and rice husk. The results of this study were as follows: In surface temperature of ceramics by resin impregnation rate, the velocity was great in the early time of heat transfer because the temperature precipitously increased to 10 minutes elapsed. Also, the surface temperature of ceramics manufactured in resin impregnation rate of 60~70% indicated the highest. Heat transfer was fast in terms of the changes in surface temperature of ceramics according to the carbonization temperature, as because the density of ceramics made on condition of the

*¹ 접수 2009년 12월 4일, 채택 2010년 1월 12일

*² 전북대학교 농업생명과학대학 생물산업연구소. College of Agriculture and Life Science, Research Institute of Bioindustry, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea

*³ 전북대학교 생활과학대학. College of Human Ecology, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea

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

carbonization temperature of 1000°C and 1200°C was high. Moreover, ceramics maintained heat for a long time because the descent velocity of surface temperature of ceramics was slower than that of heater.



Keywords: woodceramics, rice husk, sawdust, surface temperature

1. 서 론

톱밥은 목재의 제재과정에서 발생하는 부산물로서 수분흡수율이 약 272%로 매우 높아 주로 가축농가에서 가축분뇨 처리용으로 사용하고 일부는 부산물 재료 및 활성탄 제조용으로 사용되고 있다. 국내의 하루 톱밥 생산량은 약 1600 m³이며 톱밥생산의 주요 원재료는 소나무와 낙엽송으로 알려져 있으며, 톱밥가격은 원목가격의 약 1/5에 지나지 않는다(2000, 임업연구원). 그러므로 이러한 톱밥을 효과적이고 고부가가치적으로 이용한다면 국내임업 및 목재 가공산업의 활성화에 크게 기여할 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 탄화하여 만든 다공질 탄소재료로서 내부식성, 열전도성, 전자파 차폐 효과 등 우수한 성질을 지니고 있어 앞으로 공업적으로 다양하게 이용 될 것으로 기대된다(Hirose *et al.*, 2002; Kano *et al.*, 1996; Okabe and Saito, 1995, 1995a; Okabe *et al.*, 1995, 1995a; Suda *et al.*, 1999).

또한 본 연구에서 재료로 사용한 왕겨는 30~40%의 탄소성분과 20~30%의 실리카(SiO₂) 성분으로 이루어져 있으며 표면이 강모와 큐틴질로 덮혀 있어 수분흡수율이 톱밥의 1/3 정도에 지나지 않으며 보드제조 시 목재 파티클과는 달리 성형성이 좋지 않고 접착력이 불량하여 목질보드에 비하여 강도가 떨어지기 때문에 목질재료분야에서는 실용화에 어려움을 겪고 있다. 그러나 연간 생산량은 1347천 톤으로 많은 양을 차지하고 있기 때문에 목질패널 제품으로 이용하기위한 방법을 개발한다면 농가소득증대에

도움이 될 뿐 아니라 목재수입자원의 대체효과를 가져올 수 있을 것이다(이화형 외, 1999). 따라서 본 연구에서는 낙엽송 톱밥과 왕겨를 혼합하여 보드를 제조하고 함침과 탄화과정을 거쳐 혼합세라믹을 제조하여 이를 발열판으로 이용가능성을 검토하고자 혼합세라믹의 표면온도변화를 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

2.1.1. 톱밥

톱밥은 낙엽송(*Larix kaemferi C.*) 간벌재 제재 시 발생된 것을 시중 제재소에서 구입하여 사용하였으며, 보드 제조 시 시료의 균일함을 위하여 입자의 크기를 18 mesh로 선별하고 함수율은 6% 이하로 조절하였다.

2.1.2. 왕겨

왕겨는 시중 정미소에서 구입하여 음건한 후 보드 제조 시 결합력을 높이기 위하여 분쇄기로 분쇄하여 입자크기를 18 mesh로 선별하고 함수율은 5% 이하로 조절하여 사용하였다.

2.1.3. 수지

톱밥·왕겨 혼합보드 제조를 위하여 분말상 페놀수지(코오롱유화(주), KNB-100PL)를 사용하였으며, 수지첨가량은 톱밥·왕겨 혼합량의 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. 혼합보드 제조 및 함침

균일하게 선별된 툽밥과 양겨를 5 : 5로 혼합하고 분말상 페놀수지를 중량비 10% 첨가하여 충분히 혼합한 다음 열압기의 열판위에 있는 스테인레스 정방형 몰드 속에 넣고 시료상부의 높이를 일정하게 조절 한 후 열압 성형하여 밀도 0.6 g/cm³, 크기 1.4 cm × 26 cm × 26 cm (T × W × L)의 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 하였다.

2.2.2. 함침 및 세라믹 제조

제조한 보드를 두께 1.4 cm, 그리고 단면의 크기를 12 cm × 12 cm의 크기로 재단한 다음 시편을 액상 페놀수지가 들어있는 함침탱크에 넣은 후 감압(760 mmHg)과 초음파처리(주파수 : 28 kHz, 출력 : 564 W)를 20분 동안 병행한 후 다시 상압에서 20분 동안 방치하는 방법으로 반복수를 달리하여하여 함침처리 하였다. 함침 후의 시편을 8시간 음건한 후, 다시 건조기에 넣고 60°C에서 8시간, 100°C에서 10시간, 135°C에서 8시간 연속 건조 및 경화시켰다. 그 중에서 반복함침 횟수에 따라 수지함침율이 40 ± 3%, 50 ± 3%, 60 ± 3%, 70 ± 3%인 시편을 선정하여 진공탄화로를 이용하여 600°C, 800°C, 1000°C, 1200°C로 각각 탄화하여 세라믹을 제조하였다. 이때 실온에서 설정온도까지 4°C/min으로 승온하였으며, 설정온도에서 2시간 유지한 후 탄화로 주위에 냉각수를 순환

시켜 냉각시켰다.

2.2.3. 세라믹의 표면온도 측정

혼합보드로 제조된 세라믹의 표면온도 변화를 측정하기 위하여 전기전압 조절장치에 실리콘러버 히터(Silicon rubber heater)를 연결하고 목표온도를 설정한 후 온도센서를 히터의 중앙에 부착하여 온도를 올리면서 히터의 표면온도를 설정하였다. 가열된 실리콘러버 히터 위에 세라믹을 올려놓고, 그 중앙 표면에 온도센서(T and D Co.Ltd TR-71S)를 종이 테이프에 부착하여 온도 상승 및 하강시간과 히터 바닥온도의 상승에 따른 세라믹의 표면온도 변화를 각각 측정하였다.

시간의 경과에 따른 세라믹의 표면온도 상승 및 하강변화는 실리콘러버 히터의 표면온도를 60°C로 설정하고 그 위에 세라믹을 올려놓은 다음 3분 간격으로 30분 동안 세라믹의 표면온도 상승을 측정한 후, 히터의 전원을 끄고 세라믹표면 및 히터의 표면온도를 3분 간격으로 30분 동안 온도하강 변화를 측정하여 세라믹의 열 유지정도를 조사하였다. 또한 히터의 표면온도 상승에 따른 세라믹 표면온도상승은 실온에서 세라믹을 실리콘러버 히터 위에 올려놓고 히터의 표면온도를 25°C에서 70°C까지 상승시키면서 세라믹의 표면온도변화를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 시간의 경과에 따른 세라믹의 표면 온도 변화

시간의 경과에 따른 세라믹의 표면온도 상승 및 하강을 Figs. 1~2에 나타내었다. 수지함침율에 따른 표면온도는 시간이 경과함에 따라 경과시간 10분까지 빠르게 상승하다가 이후에는 완만히 상승하는 경향을 나타내어 세라믹은 초기에 열전달속도가 큼을 알 수 있었다. 경과시간 30분 후의 표면온도는 수지함침율 40%, 50%, 60%, 70%일 때 각각 41.2°C, 45.0°C, 45.8°C, 45.8°C로 함침율 40%로 제조된 세라믹의 표면온도가 가장 낮게 나타났고, 다른 3종의

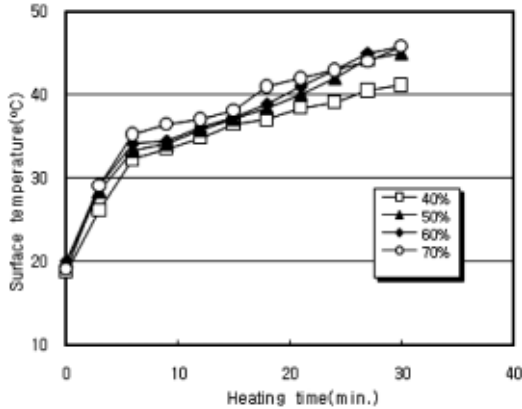


Fig. 1. Relationship between heating time and surface temperature of ceramics according to resin impregnation rate.

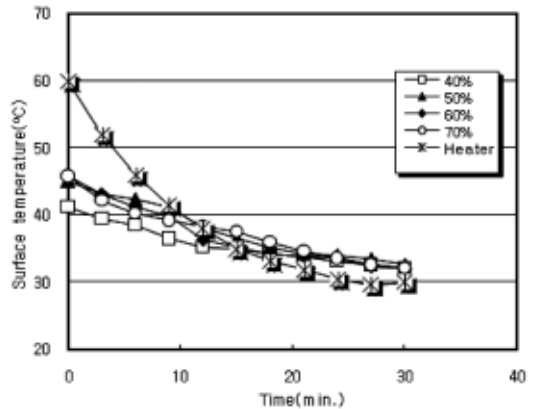


Fig. 3. Relationship between time and descent of surface temperature of ceramics according to resin impregnation rate.

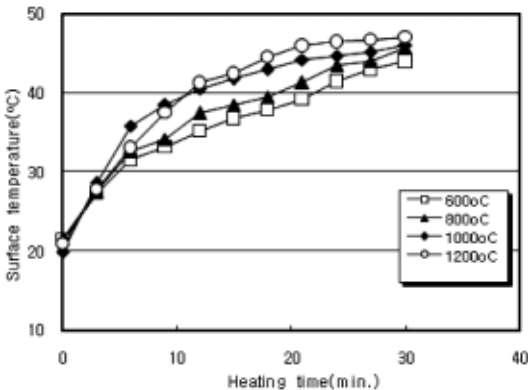


Fig. 2. Relationship between heating time and surface temperature of ceramics according to carbonization temperature.

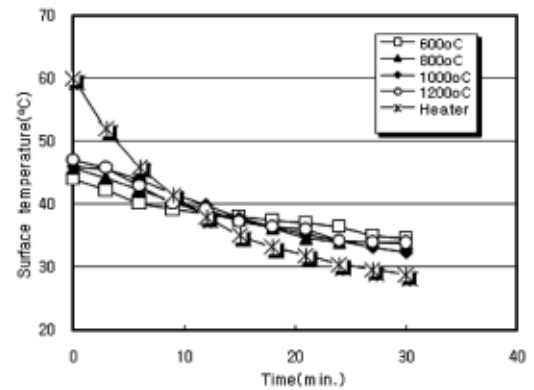


Fig. 4. Relationship between time and descent of surface temperature of ceramics according to carbonization temperature.

시편은 유사한 값을 나타내었다. 이러한 차이로부터 함침율 60% 이상인 시편은 탄화 후 열전도도가 큰 차이가 없다는 것을 알 수 있다.

또한 탄화온도별 세라믹의 표면온도 변화도 유사한 경향을 나타내어 시간이 경과함에 따라 경과시간 10분까지는 급격히 상승하다가 이후에는 완만히 상승하는 경향을 보였다. 경과시간 30분 후의 세라믹의 표면온도를 보면, 탄화온도 600°C, 800°C, 1200°C 시편은 각각 44.0°C, 45.8°C, 47.1°C로 전반적으로 600°C 시편의 표면온도가 최소치를 나타내고 1200°C

시편의 표면온도가 최대치를 나타내었다. Figs. 3~4는 히터의 전원을 끈 상태에서 히터 위 세라믹 표면의 하강온도를 나타낸 것이다. 수지함침율에 따른 세라믹의 표면하강온도는 직선적으로 감소하며 30분 동안 10°C 정도 하강하는 것을 알 수 있었다. 수지함침율 70%인 경우 30분 승온 후 초기온도와 30분 경과 후 표면 하강온도 차이가 11.4°C로 온도변화가 가장 컸으며, 함침율 40%인 경우 9.1°C로 상대적으로 낮아, 함침율이 높은 시편의 온도변화가 빠른 것으로 나타났다. 전체적으로 히터의 표면온도보다 세

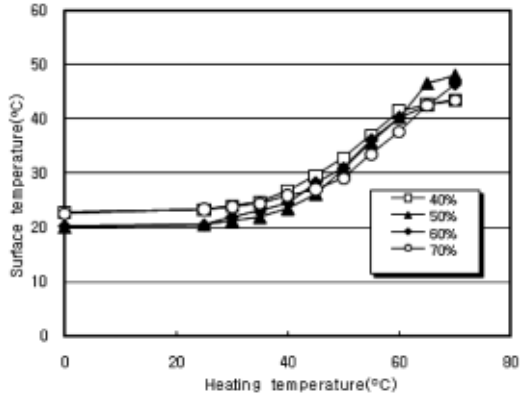


Fig. 5. Relationship between heating temperature and surface temperature of ceramics according to resin impregnation rate.

라믹의 표면온도 하강속도가 느려 세라믹자체가 열 보존력이 높다는 것을 알 수 있었다.

탄화온도별 세라믹 표면온도의 하강은 30분 동안 히터의 표면온도가 60°C에서 28.8°C로 감소할 때, 탄화온도 600°C와 1200°C 시편은 각각 44.0°C와 47.1°C에서 34.5°C와 33.9°C로 시간이 경과함에 따라 세라믹의 표면온도도 완만히 하강하였다. 한편, 탄화온도 600°C 시편의 초기온도와 30분 후의 온도차이가 9.5°C로 가장 작았으며, 1200°C 시편의 온도차이는 13.2°C로 나타나 탄화온도가 높은 시편의 표면온도가 하강속도도 큼을 알 수 있었다. 또한 전체적으로 수지함침율별 하강온도변화 실험에서와 마찬가지로 히터의 표면온도보다 세라믹 표면온도의 하강속도가 작아 세라믹이 오랜 시간 열을 유지하고 있음을 알 수 있었다. 이러한 표면온도 상승 및 하강은 오 등(2003)이 톱밥만으로 제조한 우드세라믹의 표면온도를 측정할 결과보다 낮게 나타났는데, 이는 수지함침율에서 톱밥보다 왕겨의 함침량이 작아 전체적으로 탄화 후 열전달이 낮게 영향을 미친 것으로 사료된다.

3.2. 히터의 표면온도 상승에 따른 세라믹의 표면온도 변화

Figs. 5~6은 히터의 표면온도 상승에 따른 세라믹

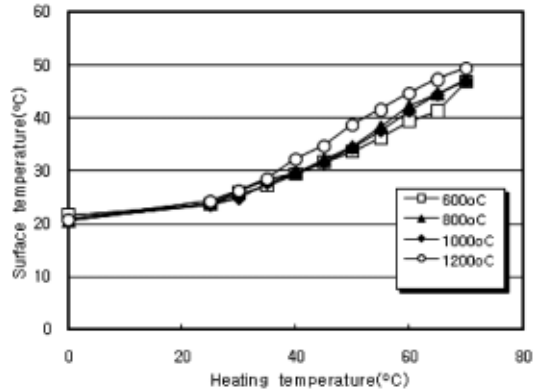


Fig. 6. Relationship between heating temperature and surface temperature of ceramics according to carbonization temperature.

의 표면온도 상승을 나타낸 것이다. 수지함침율에 따른 세라믹의 표면온도변화는 실리콘리버 히터의 표면온도가 상승함에 따라 함침율 40% 시편의 경우 히터의 표면온도가 25°C, 70°C일 때 세라믹의 표면온도가 각각 22.8°C와 43.0°C이며, 함침율 70% 시편은 히터의 표면온도 25°C, 70°C일 때 세라믹의 표면온도가 각각 22.7°C와 43.5°C를 나타내었다. 또한 히터의 표면온도가 40°C 부근에서부터 세라믹의 표면온도가 직선적으로 증가하는 것을 알 수 있었다. 히터의 표면온도가 70°C일 때 함침율 60% 시편의 표면온도가 46.4°C로 가장 높았고, 40% 시편이 43.4°C로 가장 낮았다.

탄화온도별 세라믹의 표면온도변화는 실리콘리버 히터의 온도가 상승함에 따라 소성온도 600°C와 1200°C 시편의 경우 히터의 표면온도가 25°C일 때 각각 21.6°C와 20.7°C에서, 히터의 표면온도 70°C일 때 46.8°C와 49.3°C로 히터의 표면온도가 상승함에 따라 세라믹의 표면온도도 상승하였다. 탄화온도별 표면온도 변화는 시간의 경과에 따른 표면온도 변화와 같이 전반적으로 탄화온도 600°C 시편이 작았으며 1200°C 시편의 표면온도가 높은 것으로 나타났다. 그러나 탄화 후 세라믹의 밀도를 측정할 결과, 수지함침율 60%일 때 탄화온도별 밀도는 탄화온도 800°C 시편이 0.83 g/cm³로 가장 컸으며 1200°C 시편이 0.81

g/cm³로 상대적으로 작았음에도 불구하고 표면온도의 상승은 빠른 것으로 나타나 열전달 기작은 단지 밀도에 의해서만이 아니고 시편의 균일한 조직특성 차이에 기인된 것으로 판단되어 톱밥·왕겨 혼합세라믹의 표면구조나 열적특성 등을 정확히 규명해야 할 것으로 생각된다.

이상의 결과, 톱밥·왕겨 혼합보드로 제조된 세라믹을 열적성질과 관련된 재료로 이용하기 위해서는 표면의 열전달 속도 및 하강속도를 고려할 때 수지함침율 70%, 탄화온도 1000~1200°C 정도의 조건으로 제조된 세라믹을 사용하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서 제조된 톱밥·왕겨 혼합세라믹은 열을 오랜 시간 동안 유지하고 있기 때문에 발열판의 재료로 사용이 가능할 것으로 생각된다. 그러나 톱밥·왕겨 세라믹의 표면온도 변화는 시편의 밀도와 가장 밀접한 관련이 있을 것으로 판단되어, 앞으로 수지함침율, 탄화온도, 승온온도 등 세라믹 제조방법과 재료의 물성에 대한 연구와 전기적특성 등을 정확히 규명할 필요가 있을 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구에서는 제재과정에서 발생하는 톱밥과 농업부산물인 왕겨를 이용하여 혼합보드를 제조한 후 수지함침율 및 탄화온도별로 세라믹화하여 표면온도 변화를 조사하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 수지함침율에 따른 세라믹의 표면온도 변화는 경과시간 10분까지 급속히 상승하여 열전달 초기시간에 속도가 빠름을 알 수 있었고, 함침율 60~70%로 제조된 세라믹의 표면온도가 가장 높았다.

2) 탄화온도에 따른 세라믹의 표면온도 변화는 탄화온도 1000°C와 1200°C의 조건으로 제조된 세라믹의 밀도가 높아 열전달이 빠름을 알 수 있었다. 또한 히터의 표면온도보다 세라믹의 표면온도 하강속도가 느려 세라믹이 오랜 시간 동안 열을 유지하였다.

참 고 문 헌

- Hirose, T., T. Fujino, T. Fan, H. Endo, T. Okabe, and M. Yoshimura. 2002. Effect of carbonization temperature on the structural changes of woodceramics impregnated with liquefied wood. *Carbon* 40: 761~765.
- Kano, M., M. Momota, T. Okabe, K. Saito, and R. Ymamoto. 1996. Thermogravimetric and differential thermal analysis of woodceramics. *Transactions of the Materials Research Society of Japan* 20: 40~43.
- Okabe, J. and K. Saito. 1995. Development of woodceramics. *Transactions of the Material Research Society of Japan* 18: 681~684.
- Okabe, T. and K. Saito. 1995a. 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. 1995. Electromagnetic shielding characteristic of porous carbon material "woodceramics". *International Ecomaterial Conference, Xian, China* pp. 9~12.
- Okabe, T., K. Saito, H. Togawa, and Y. Kumagai. 1995a. Development of porous carbon material "woodceramics" -Electromagnetic shielding characteristics-. *Journal of the Society of Materials Science Japan* 44(498): 288~291.
- Suda, T., N. Kondo, T. Okabe, and K. Saito. 1999. Electrical properties of woodceramics. *Journal of Porous Materials* 6: 255~258.
- 오승원. 2001. 삼나무 간벌재로 제조된 우드세라믹의 성질-증기분사 및 그 시간의 영향. *목재공학* 29(2): 69~75.
- 오승원. 2002. 간벌재로 제조된 톱밥보드의 물성-가압압력 및 열압시간의 영향- 임산에너지 21(2): 10~16.
- 오승원, 박금희, 변희섭. 2003. 톱밥보드로 제조된 우드세라믹의 표면온도변화-수지함침율과 소성온도의 영향-. *임산에너지* 22(1): 24~29.
- 오승원, Okabe, T., and T. Hirose. 2000. 삼나무 간벌재로 제조된 우드세라믹의 전기적성질. *한국가구학회지* 11(1): 31~36.
- 이화형 외. 1999. 왕겨를 이용한 환경친화형 목질신소재개발. *농림부 최종연구보고서*.
- 임업연구원. 2000. 폐목재수집체계 개선 및 재활용추진 방향. *연구자료* 159호.