

# MDF로 제조된 우드세라믹의 성질\*1

오 승 원\*2† · 변 희 섭\*3

## Properties of Woodceramics Made from MDF\*1

Seung-Won Oh\*2 · Hee-Seop Byeon\*3

### 요 약

MDF를 페놀수지에 함침한 후 500, 650, 800, 1,000℃에서 소성하여 우드세라믹을 제조한 후 함침재 및 우드세라믹의 치수 변화와 휨강도를 측정하였다. 수지 함침율이 증가할수록 함침재의 치수 증가율 및 휨강도는 증가하였다. 소성온도에 따른 중량, 길이 및 두께감소율은 각각 소성온도 500℃일 때 59.9%, 19.4%, 26.3%이었으며, 소성온도 1,000℃일 때 65.3%, 22.5%, 31.6%로 소성온도가 증가함에 따라 증가하였으며, 휨강도 또한 함침율 40%일 때 소성온도 500℃에서 50.3 kgf/cm<sup>2</sup>, 1,000℃에서 142.0 kgf/cm<sup>2</sup>로 증가하였다. 소성 후의 밀도는 함침율 40%일 때 소성온도 500℃에서 0.70 g/cm<sup>3</sup>, 800℃에서 0.79 g/cm<sup>3</sup>로 증가하였으나, 1,000℃에서는 0.75 g/cm<sup>3</sup>로 약간 감소하였다. 이상의 결과로 함침재 및 우드세라믹의 성질은 수지 함침율 및 소성온도의 영향을 받을 수 있었다.

### ABSTRACT

Woodceramics are new porous carbon materials obtained by burning wood or woody materials impregnated with thermosetting resin in a vacuum furnace. In this paper, the change of dimensions and bending strength of woodceramics which were made from medium density fiberboard have been investigated to examination the possibility of utilization as a woodceramics materials.

- 1) An increasing rate of dimension in impregnated board increased with increasing resin impregnation rate. And increasing rate of thickness was higher than that of length.
- 2) When the resin impregnation rate increased, the bending strength of impregnated board had a tendency to increase.
- 3) The rates of weight loss, length and thickness reduction of woodceramics showed a slight increase

\*1 접수 2001년 12월 7일, 채택 2002년 2월 21일

\*2 전북대학교 농과대학 산림과학부, Division of Forest Science, College of Agriculture, Chonbuk National University

\*3 경상대학교 농과대학 산림과학부, Division of Forest Science, College of Agriculture, Gyeongsang National University

† 주저자(corresponding author) : Seung-Won Oh (e-mail: ohsw@moak.chonbuk.ac.kr)

with increased burning temperature.

4) The density of woodceramics showed a increase from at 500°C till at 800°C with increasing burning temperature but decrease at 1,000°C

5) When the burning temperature increased, the bending strength of woodceramics had a tendency to increase.

**Keywords:** woodceramics, MDF, impregnated board, bending strength

## 1. 서 론

우드세라믹은 목재나 목질재료에 열경화성 수지를 함침시켜 고온에서 소성하여 만든 새로운 다공질 탄소재료로서 가볍고 단단하며, 내부식성, 내구성, 열전도성이 우수하고 전자파 차폐효과 및 원적외선 방사 등의 특성이 있어 앞으로 공업적으로 다양하게 이용될 것으로 기대된다(Okabe *et al.*, 1996a, 1996b). 이에 대한 연구로는 Okabe와 Saito(1995a)가 제조기술을 개발한 이래 제조방법, 소성제품의 구조변화, 전기적 성질 등 기초 성질에 대한 연구가 진행되고 있으며(Hokkirigawa *et al.*, 1995, 1996a, 1996b; Kano *et al.*, 1996; Kasai *et al.*, 1996; Okabe & Saito, 1995b; Okabe *et al.*, 1995a, 1995b, 1996; Shibata *et al.*, 1997), 특히 폐잔재, 고지, 간벌재, 대나무펄프 등 제조 재료에 대한 관심이 높아지고 있다.

한편 본 연구에서 공시재료로 사용한 MDF는 최근 많은 생산에도 불구하고 그 이용면에서 MDF의 다양한 특성을 충분히 활용하지 못하고 있는 실정이다.

이러한 점을 고려하여 본 연구에서는 MDF를 페놀수지에 함침하여 건조시킨 후 함침재의 특성을 조사하고, 높은 온도에서 소성하여 우드세라믹을 제조한 후 치수변화, 휨강도 등 물성을 측정하여 우드세라믹의 재료로 MDF의 이용 가능성을 검토하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 공시재료

본 연구에서 우드세라믹을 제조하기 위하여 사용한

공시재료는 라디에타소나무로 제조된 MDF(Medium Density Fiberboard, density 0.60 g/cm<sup>3</sup>, moisture content 8.5%)를 사용하였다.

### 2.2. 함침 및 우드세라믹 제조

준비된 MDF를 13×13×1.2 cm의 크기로 절단한 다음 우드세라믹을 제조하기 위하여 감압 함침장치를 이용하여 액상 페놀수지(KPD - L777, 코오롱 유화(주))에 넣고 1기압에서 함침량을 조절하여 함침시켰다. 함침에 사용한 페놀수지의 특성은 고형분 51~53%, 비중 1.06, 점도 45~65 cps, 경화시간 80~95 sec이다. 함침 후 MDF를 꺼내어 건조기에 넣고 60°C에서 10시간, 80°C에서 6시간, 130°C에서 12시간 건조한 다음 우드세라믹 제조를 위하여 진공소결로(KOVAC KSF-100 고려진공(주))를 이용하여 함침을 별로 500°C, 650°C, 800°C, 1,000°C에서 소성하였다. 이때 소성장치의 온도는 5°C/min 속도로 승온하였으며, 목표온도에서 2시간 유지한 다음 5°C/min 속도로 냉각시켰다.

### 2.3. 중량 및 치수변화 측정

함침 후 건조시킨 보드와 각 온도 및 함침량 별로 소성하여 만든 우드세라믹의 물성을 측정하기 위하여 조건별로 20개씩을 선택하여 중량 및 치수를 측정하여 변화를 및 밀도를 계산하였다. 두께 및 길이는 버니어 캘리퍼스(Mitutoyo Co., Ltd.)로, 무게는 전자식 저울(ER-120, A&D Co., Ltd.)를 이용하여 측정하였다.

## 2.4. 휨강도 측정

합침 후 건조시킨 합침 보드와 온도 및 합침량 별로 소성하여 만든 우드세라믹을 진공데시게이터 속에 2주간 방치한 다음, 만능강도시험기(Autograph, AGS-10KNG, Shimadzu)를 이용하여 휨강도를 측정하였다. 이때 시험편의 특성상 합침재의 나비와 두께는 13 mm, 길이는 13 cm, span 10 cm, 우드세라믹은 나비와 두께 10 mm, 길이 10 cm, span 10 cm의 크기로 각조건 별 5개씩을, 하중속도 10 mm/min의 조건으로 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 합침재의 물성변화

MDF를 페놀수지에 합침한 후 수지 함침율에 따른 합침재의 치수 증가율과 밀도 변화를 Fig. 1과 2에 나타내었다. Fig. 1은 합침율의 증가에 따른 합침재의 길이와 두께 증가율을 나타낸 것으로 길이 증가율은 수지 함침율이 50%일 때 0.75%, 80%일 때 0.99%로 수지 함침율이 증가함에 따라 완만히 증가하는 경향을 보였으나, 합침율에 따라 뚜렷한 차이는 없었다. 두께 증가율은 합침율이 50%일 때 10%, 70%일 때 13.8%, 80%일 때 14.3%로 수지 함침율이 증가함에 따라 뚜렷이 증가하는 경향을 보였으며, 두께 증가율이 길이증가율보다 크게 나타났다.

Fig. 2는 수지 함침율에 따른 합침재의 밀도 변화를 나타낸 것으로 합침 전 MDF밀도  $0.6 \text{ g/cm}^3$ 에서 합침율이 50%일 때  $0.81 \text{ g/cm}^3$ , 70%일 때  $0.87 \text{ g/cm}^3$ , 80%일 때  $0.92 \text{ g/cm}^3$ 로 변하여 수지 함침율이 증가함에 따라 밀도도 증가하는 경향을 나타내었다. 이것은 세포의 공극 속으로 페놀수지가 침투하여 건조 후 경화되어 중량이 증가하였기 때문으로 판단된다.

岡部(1996)는 Buna 변재로 수지 함침율과 밀도와 의 관계 조사에서 밀도가 증가함에 따라 수지 함침율은 감소한다고 하였으며, Oh 등(2000a)도 Aomori Hiba 간벌재로 보드를 제조한 후 밀도에 따른 수지 함침율을 조사한 결과 같은 경향임을 밝힌 바 있어,

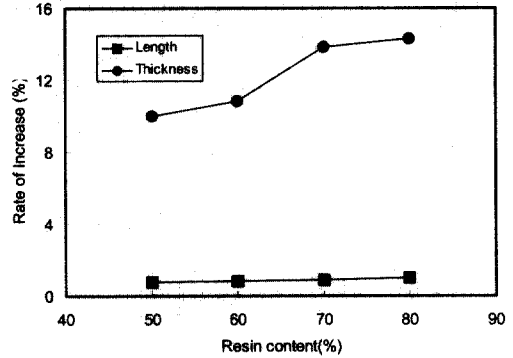


Fig. 1. Relationship between resin content and increase rate of impregnated board.

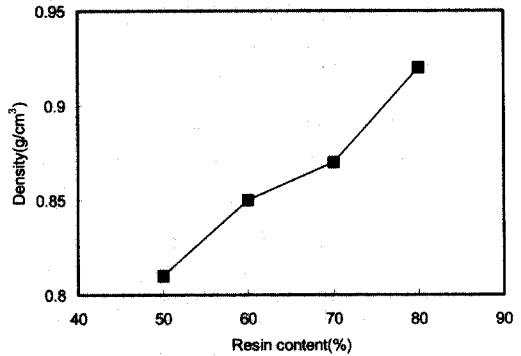


Fig. 2. Relationship between resin content and density of impregnated board.

수지함침은 목재의 공극을 통해 침투하기 때문에 함침율이 높을수록 합침재의 밀도가 증가한다는 본 연구 결과와 일치하였다.

### 3.2. 합침재의 휨강도

Fig. 3은 수지 함침율에 따른 합침재의 휨강도를 나타낸 것으로 수지 함침율이 50%일 때  $680.0 \text{ kgf/cm}^2$ , 70%일 때  $839.8 \text{ kgf/cm}^2$ , 80%일 때  $925.8 \text{ kgf/cm}^2$ 로서 수지 함침율이 증가함에 따라 휨강도도 증가하는 경향을 보였다. 합침 전 MDF의 휨강도( $281.3 \text{ kgf/cm}^2$ )와 비교하여 수지 함침율 70%일 때의 휨강도가 약 3배 정도 큰 것으로 나타났다. Oh 등(2000a)은 Aomori Hiba로 보드를 제조한 후 페놀수지(BRP -

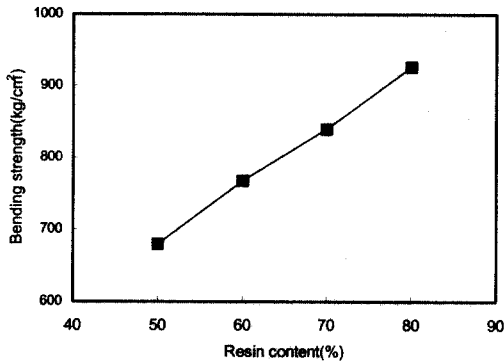


Fig. 3. Relationship between resin content and bending strength of impregnated board.

5993, Showa Highpolymer co., Ltd.)에 함침시켜 밀도에 따른 휨강도 조사에서 밀도가 증가함에 따라 휨강도도 직선적으로 증가한다고 보고한 바 있어, 수지 함침율이 증가할수록 보드의 밀도가 증가하여 휨강도가 증가한 것으로 판단된다.

### 3.3. 우드세라믹의 물성변화

함침재를 진공 소결로에서 소성하여 우드세라믹을 제조한 후 치수 감소율과 밀도 변화를 Fig. 4와 5에 나타내었다. Fig. 4는 수지 함침율 40%인 함침재료 제조된 우드세라믹의 소성온도에 따른 길이, 두께, 무게 감소율을 나타내었다. 길이 감소율은 소성온도 500℃일 때 19.4%, 800℃일 때 21.6%, 1,000℃일 때 22.5%이었으며, 두께 감소율은 소성온도 500℃일 때 26.3%, 800℃일 때 29.3%, 1000℃일 때 31.6%로 소성온도가 높을수록 감소율은 완만히 증가하는 경향을 보였다. 또한 무게 감소율도 소성온도 500℃일 때 59.9%, 800℃일 때 63.2%, 1,000℃일 때 65.3%로 두께 및 길이의 감소율과 같은 경향이였다.

이러한 결과는 Okabe 등(1996)이 MDF를 재료로 우드세라믹을 제조한 후 길이 및 두께 감소율을 측정 한 결과 소성온도 500℃에서 길이 14%, 두께 24%, 무게 48%, 소성온도 800℃에서 길이 21%, 두께 26%, 무게 56%가 감소하였다고 보고한 바 있으며, Oh 등(2000b)은 Aomori Hiba로 만든 우드세라믹의 중량 및 치수변화에서 밀도가 0.4 g/cm³에서 0.8

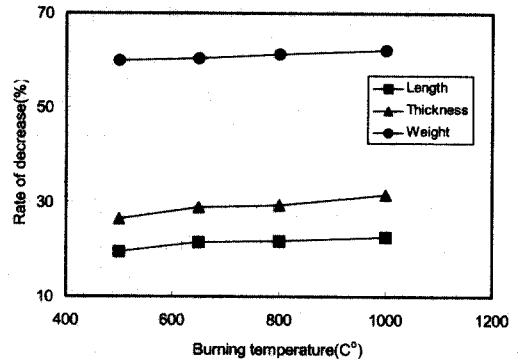


Fig. 4. Relationship between burning temperature and decrease rate after making woodceramics.

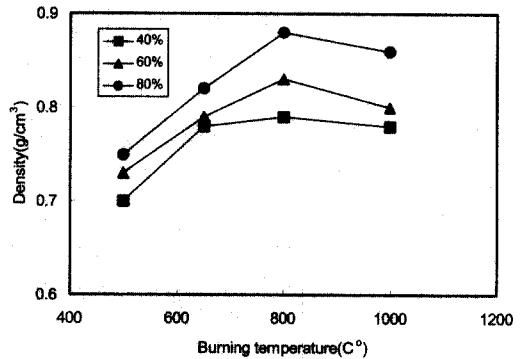


Fig. 5. Relationship between burning temperature and density after making woodceramics.

g/cm³로 증가함에 따라 중량은 54.1~58.1%, 길이는 16.0~21.5%, 두께는 20.6~25.5%로 감소하였다고 보고한 바 있다. 그러나 본 연구에서는 이들 값보다 감소율이 약간 크게 나타났는데, 이것은 함침재의 수지 함침율, 소성 시 승온조건, 밀도경사 등 제조 조건 및 재료의 물성 차이에 기인된 것으로 판단된다. 또한 Okabe 등(1996a)은 소성온도에 따른 치수 및 중량변화는 목재나 수지의 탄소화 반응에 의한 구조 변화에 기인되며, 1,000℃ 이상에서는 감소율이 완만해지는 데, 이는 페놀수지의 방향족 다환구조의 형성과 탄소화에 의한 것이라고 보고한 바 있다.

Fig. 5는 함침율을 달리한 함침재료 소성 후 소성

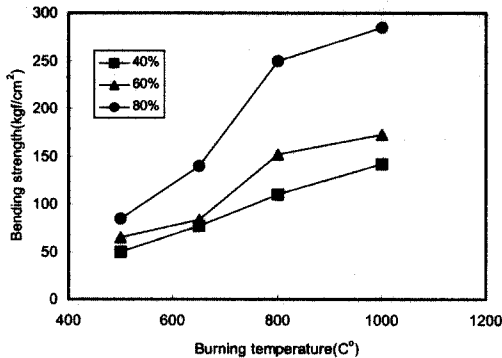


Fig. 6. Relationship between burning temperature and bending strength of wood-ceramics.

온도와 함침율에 따른 우드세라믹의 밀도를 측정 한 것으로, 소성온도 500°C에서 함침율 40%일 때 0.70 g/cm<sup>3</sup>, 60%일 때 0.73 g/cm<sup>3</sup>, 80%일 때 0.75 g/cm<sup>3</sup> 이었으며, 소성온도 800°C에서 함침율 40%일 때 0.79 g/cm<sup>3</sup>, 60%일 때 0.83 g/cm<sup>3</sup>, 80%일 때 0.88 g/cm<sup>3</sup>로 소성온도 800°C까지는 소성온도가 증가함에 따라 밀도도 증가하였으나, 소성온도 1,000°C에서는 약간 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 함침율에 따른 우드세라믹의 밀도는 함침율이 높을수록 밀도도 증가함을 알 수 있었다. 岡部(1996)는 함침율이 68.9%인 MDF 함침재로 소성온도에 따른 우드세라믹의 밀도를 조사한 결과 500°C에서 0.70 g/cm<sup>3</sup>, 800°C에서 0.85 g/cm<sup>3</sup>이었으나, 1,000°C에서는 0.80 g/cm<sup>3</sup>로서, 소성온도 2,000°C까지는 완만히 감소한 후 다시 증가하는 경향을 보였다고 밝힌 바 있어 본 연구 결과도 이와 비슷한 경향을 나타내었다.

### 3.4. 우드세라믹의 휨강도

함침율이 다른 함침재로 소성온도에 따라 우드세라믹을 제조한 후 휨강도를 측정한 결과는 Fig. 6과 같다. 소성온도 500°C에서 함침율 40%일 때 50.3 kgf/cm<sup>2</sup>, 60%일 때 65.2 kgf/cm<sup>2</sup>, 80%일 때 85.4 kgf/cm<sup>2</sup>이었으며, 소성온도 1,000°C에서 함침율 40%일 때 142.0 kgf/cm<sup>2</sup>, 60%일 때 173.5 kgf/cm<sup>2</sup>, 80%일 때 284.9 kgf/cm<sup>2</sup>로 소성온도가 높을수록 휨강도도

증가하는 경향을 보였다. 또한 함침율에 따른 우드세라믹의 휨강도도 함침율이 클수록 높은 값을 나타내었다. 오(2001)는 삼나무 간벌재를 이용하여 증기분사 시간별로 보드를 제조하고 650°C에서 소성하여 우드세라믹의 함침율에 따른 휨강도를 측정 한 결과, 함침율 50%일 때 120.0 kgf/cm<sup>2</sup>, 90%일 때 160 kgf/cm<sup>2</sup>로 함침율이 높을수록 휨강도가 증가한다고 밝힌 바 있다.

또한 Okabe 등(1996)은 밀도 0.66 g/cm<sup>3</sup>의 MDF로 제조된 우드세라믹의 휨강도 측정결과, 소성온도 500°C일 때 86.7 kgf/cm<sup>2</sup>, 600°C일 때 142.7 kgf/cm<sup>2</sup>, 700°C일 때 234.5 kgf/cm<sup>2</sup>로서 소성온도 1,000°C까지는 소성온도가 높을수록 휨강도는 증가하나 2,000°C 이후에는 완만히 감소한다고 보고한 바 있다. 수지 함침율과 우드세라믹의 휨강도와의 관계는 함침율이 높을수록 세포벽에 들어 있는 많은 양의 페놀수지가 탄화과정에서 유리질탄소(glassy carbon)로 변하여 세포벽을 강화시켰기 때문으로 사료되며, 소성온도와 휨강도와의 관계 또한 소성온도가 증가함에 따라 밀도가 증가하여 강도에 영향을 미쳤기 때문으로 판단 된다.

한편 岡部(1996)는 소성온도 2,000°C 이후에는 소성온도가 증가하여도 밀도는 완만히 감소하였다고 보고한 바 있으며, 또한 다른 연구자들의 소성온도와 휨강도와의 관계에 관한 연구에서 그 결과를 밀도와 관련지어 생각할 수 있으나, 본 연구에서는 소성온도 1,000°C에서 우드세라믹의 밀도는 감소하였으나 휨강도는 반대로 증가하는 결과를 나타내어 이에 대한 우드세라믹의 제조조건, 수지의 종류, 수지의 화학적 반응 등 다각적인 연구가 필요하리라 생각된다.

## 4. 결 론

우드세라믹의 재료로 MDF의 이용가능성을 검토하기 위하여 MDF를 페놀수지에 함침하여 우드세라믹을 제조한 후 함침재와 우드세라믹의 치수변화, 휨강도 등을 측정 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 수지 함침율에 따른 함침재의 치수 증가율은 함침율이 증가함에 따라 증가하였으며, 두께 증가율은

길이증가율보다 크게 나타났다.

2) 함침재의 휨강도는 수지 함침율이 증가함에 따라 증가하였다.

3) 소성온도에 따른 우드세라믹의 중량 및 치수 감소율은 온도가 증가함에 따라 완만히 증가하였다.

4) 소성온도에 따른 우드세라믹의 밀도는 온도 800℃까지는 온도가 증가함에 따라 증가하였으나, 1,000℃에서는 약간 감소하였다.

5) 소성온도에 따른 우드세라믹의 휨강도는 소성온도가 증가함에 따라 증가하였다.

## 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. 1996a. Wear properties of new porous carbon materials woodceramics. Journal of Porous Materials 2: 229~235.
- Hokkirigawa, K., T. Okabe and K. Saito. 1996b. Friction properties of new porous carbon materials: woodceramics. Journal of Porous Materials 2: 237~243.
- Kano, M., M. Momota, T. Okabe, K. Saito and R. Yamamoto. 1996. Thermogravimetric and differential thermal analysis of woodceramics. Transactions of the Materials Research Society of Japan 20: 40~43.
- Kasai, K., K. Shibata, K. Saito and T. Okabe. 1996. Humidity sensor characteristics of woodceramics. Transactions of the Materials Research Society of Japan 20: 92~95.
- Oh, S. W., T. Hirose and T. Okabe. 2000a. Manufacturing characteristics of woodceramics from thinned small logs(I). - Resin impregnation rate and bending strength. Mokchae Konghak 28(4): 51~55.
- Oh, S. W., T. Hirose and T. Okabe. 2000b. Manufacturing characteristics of woodceramics from thinned small logs(II). - Dimensional change, weight change and compressive strength. Mokchae Konghak 28(4): 56~60.
- 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. p. 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. p. 9~12.
- 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.
- Okabe, T., K. Saito and K. Hokkirigawa. 1996a. New porous carbon materials woodceramics: Development and fundamental properties. Journal of Porous Materials 2: 207~213.
- Okabe, T., K. Saito and K. Hokkirigawa. 1996b. The effect of burning temperature on the structural changes of woodceramics. Journal of Porous Materials 2: 215~221.
- Okabe, T., K. Saito, M. Fushitani and M. Otsuka. 1996. Mechanical properties of porous carbon material ; Woodceramics. Journal of Porous Materials 2: 223~228.
- Shibata, K., T. Okabe, K. Saito, T. Okayama, M. Shimada, A. Yamamura and R. Yamamoto. 1997. Electromagnetic shielding properties of woodceramics made from wastepaper. Journal of Porous Materials 4: 269~275.
- 岡部敏弘. 1996. 木質系多孔質炭素材料 ウッドセラミックス. 内田老鶴園. P. 49.
- 오승원. 2001. 삼나무 간벌제로 제조된 우드세라믹의 성질 - 중기분사 및 그 시간의 영향 - 목재공학 29(2): 69~75.