

## 간벌재로 제조된 우드세라믹의 성질(I)\*<sup>1</sup> - 수지 함침율 및 소성온도의 영향 -

오승원\*<sup>2†</sup> · 박금희\*<sup>2</sup>

### Properties of Woodceramics Made from Thinned Logs(I)\*<sup>1</sup> - Effect of Resin Impregnation Rate and Burning Temperature -

Seung-Won Oh\*<sup>2†</sup> · Jin-Ji Piao\*<sup>2</sup>

#### 요 약

간벌재로 제조된 톱밥보드를 페놀수지에 함침율 40~80%로 함침시킨 후 소성온도 600~1500℃에서 소성하여 우드세라믹을 제조한 다음 수지함침율과 소성온도에 따른 우드세라믹의 밀도변화, 중량 및 치수감소율과 열전도성을 조사하였다.

수지 함침율과 소성온도가 증가함에 따라 밀도는 커졌으나 소성온도 1200℃ 이후에는 밀도가 낮아졌다. 소성 후 치수 및 중량감소율은 수지함침율이 증가할수록 낮아졌으나 소성온도가 높을수록 커졌다. 열전도성은 수지함침율이 높을수록 우수하였으며, 소성온도와는 뚜렷한 경향을 발견할 수 없었다.

#### ABSTRACT

Research investigated the variation of density, weight loss and dimensional decreasing rate, heat conduction rate by the resin impregnation rate and burning temperature of woodceramics, which were formed by impregnation rate of 40~80% and burning temperature of 600~1500℃ with sawdust board impregnated with phenolic resin made from thinned logs of *pinus densiflora*, *Larix kaemferi* and *pinus koraiensis*.

As the resin impregnation rate and the burning temperature increased, the density increased, however, as the burning temperature increased to at 1200℃ or more, the density decreased. The more the resin

\*<sup>1</sup> 접수 2003년 6월 20일, 채택 2003년 8월 30일

본 연구는 농림기술개발사업의 지원에 의하여 수행되었음

\*<sup>2</sup> 전북대학교 농업생명과학대학, 생물산업 연구소, College of Agriculture and Life Science, Research Institute of Bioindustry, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea

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

impregnation rate increased, the more the decreasing rate of weight and size decreased; the more the burning temperature increased, the more the decreasing rate of weight and size increased. When the resin impregnation rate was high, the heat conduction (mm/sec) was superior.

**Keywords:** Woodceramics, thinned logs, rate of heating, heat conduction

## 1. 서 론

산림의 무육과정에서 발생하는 간벌재 및 임지폐재의 활용방안에 대한 많은 관심과 연구가 진행되어 왔다. 특히 간벌재는 건축산업용으로 건축가설재, 건축 내장재, 갭목 등에 쓰여졌고, 농림수산용으로는 해태목, 인삼지주목, 레크레이션용으로는 공원 놀이시설, 야외용 의자 등으로 주로 사용되어 왔으나 간벌재의 다양한 원목형질 때문에 고도의 이용방법에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

이러한 간벌재의 고부가가치 활용방법의 하나로 톱밥보드를 만든 후 우드세라믹을 제조하는 연구가 진행되고 있다(Oh *et al.*, 2000a, 2000b; 오 2001). 우드세라믹은 목재나 목질재료에 열경화성 수지를 주입한 후 진공상태의 고온에서 소성하여 만든 새로운 다공질 탄소재료로서 1995년 Okabe 와 Saito가 개발하여 명명한 이래 이에 대한 기초적인 연구가 진행되어 왔다(Kano *et al.*, 1996; Kasai *et al.*, 1996; Okabe & Saito, 1995a, 1995b; Okabe *et al.*, 1995a, 1995b; Shibata *et al.*, 1996). 우드세라믹은 가볍고 단단하며 내부식성, 원적외선 방사, 열전도성 및 전자파차폐 효과 등 장점을 지니고 있어 이를 공업적으로 다양하게 이용할 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 본 연구에서는 국내 주요 간벌재 수종을 대상으로 톱밥보드를 만든 후 수지함침율 및 소성온도에 따라 우드세라믹을 제조하고 물성을 조사하여 우드세라믹의 용도개발에 대한 기초자료를 제공하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 공시목

공시목으로는 소나무(*Pinus densiflora* S.et Z.),

낙엽송(*Larix kaemferi* C.) 및 잣나무(*Pinus koraiensis* S.et Z.)간벌재를 사용하였다.

### 2.2. 톱밥보드 제조

등근 톱을 이용하여 톱밥을 만든 후 입자의 크기를 1 mm 이하로 선별하고 함수율을 6% 이하로 조절하였다. 보드를 제조하기 위하여 분말폐놀수지와 톱밥을 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℃, 가압압력 40 → 20 → 10 kgf/cm<sup>2</sup>(3단 가압), 열압시간 6 → 5 → 4분(3단 열압시간)으로 열압하여 밀도 0.6 g/cm<sup>3</sup>의 보드를 10매씩 제조하였다. 보드제조 시 사용한 분말폐놀수지(코오롱 유화(주), KNB-100PL)로서 융점 80~95℃, 수지 고형분 99%였다. 열압 과정에서 보드의 두께를 일정하게 하기 위하여 thickness bar를 사용하였으며, 열에 의해서 보드의 상·하면과 열판의 부착을 방지하기 위하여 시료의 상부와 하부면에 테프론 판을 깔아 실험하였다.

### 2.3. 함침 및 우드세라믹 제조

톱밥보드를 12×12×1.4 cm 크기로 절단한 다음 액상 폐놀수지(코오롱유화(주), KPD-L777)가 들어 있는 감압 함침장치에 넣고 1기압에서 함침율을 40~80%로 조절하여 함침하였다. 함침에 사용한 폐놀수지의 특성은 고형분 51~53%, 비중 1.06, 점도 45~65 cps, 겔화시간 80~95 sec였다. 함침 후 시료를 건조기에 넣고 60℃에서 10시간 100℃와 135℃에서 각각 8시간씩 건조 및 경화시켰다. 건조한 다음 진공소결로(KOVAC KSF-200V, 고려진공(주))를 이용하여

각 수종 및 함침율 40, 50, 60, 70, 80%별로 800℃에서 소성하였으며, 함침율 70%인 시편은 소성온도 600, 800, 1000, 1200, 1500℃에서 소성하여 우드세라믹을 제조하였다. 이때 승온온도는 4℃/min였으며, 목표온도에서 2시간 유지한 다음 냉각시켰다.

## 2.4. 물성조사

각 조건으로 제조된 우드세라믹의 부피와 무게를 측정하고 소성 전과 비교하여 치수 및 중량변화와 밀도를 계산하였다. 열전도성은 표면온도가 80℃로 설정된 실리콘 러버히터 위에 우드세라믹을 올려놓고 시료표면에 온도계를 접촉시켜 기준온도까지 소요된 시간을 측정하여 열전도성을 나타내는 지표로 사용하였다. 측정시 실내온도는 20±2℃이었고 30℃에서 5℃ 간격으로 50℃까지 소요된 시간을 다음 식에 의하여 측정하고 비교하였다.

열전도성(mm/sec) = D/T (D:시편의 두께, T: 목표온도까지 소요된 시간)

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 밀도, 중량 및 치수변화

각 수종별 간벌재 톱밥보드로 제조된 우드세라믹의 소성 전 수지함침율 및 소성온도에 따른 밀도의 변화를 Figs 1-2에 나타내었다. 수지함침율 40%일 때 소나무로 제조된 우드세라믹의 밀도는 0.76 g/cm<sup>3</sup>, 낙엽송은 0.73 g/cm<sup>3</sup>, 잣나무는 0.75 g/cm<sup>3</sup>이었으며, 수지함침율 80%일 때 소나무로 제조된 우드세라믹의 밀도는 0.83 g/cm<sup>3</sup>, 낙엽송과 잣나무로 제조된 우드세라믹의 밀도는 0.84 g/cm<sup>3</sup>로 소성전의 수지함침율이 높을수록 소성 후 우드세라믹의 밀도는 증가하였다. 수종간의 뚜렷한 밀도차이는 없었으며 수지함침율 60%까지는 소나무보드로 제조된 우드세라믹의 밀도가 약간 높았다. 수지함침율이 높을수록 세포벽에 들어있는 많은 양의 페룰수지가 탄화과정에서 유리질 탄소(Glassy carbon)로 변환하여 세포벽을 강화시켜 소성 후 밀도의 증가요인으로 작용한 것으로 판단된

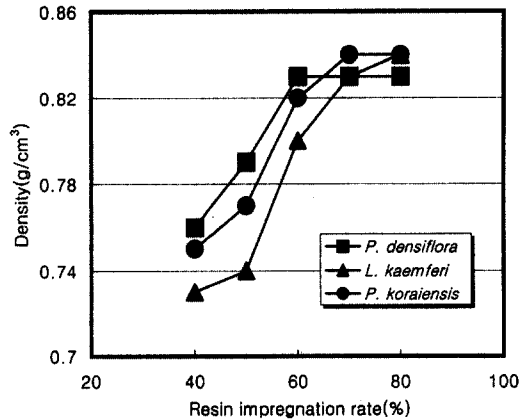


Fig. 1. Relationship between resin impregnation rate and density of woodceramics.

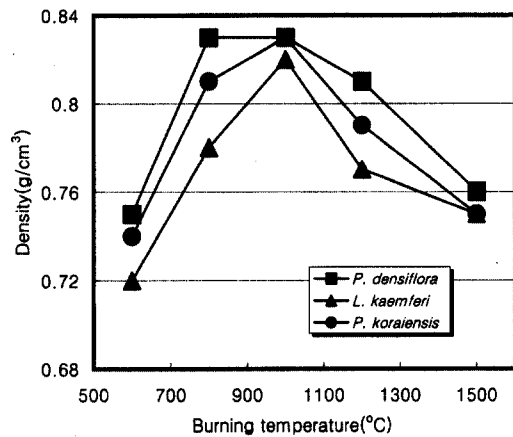


Fig. 2. Relationship between burning temperature and density of woodceramics.

다(Okabe & Saito, 1995a, 1995b).

소성온도별 밀도변화는 소성온도 600℃일 때 소나무로 제조된 우드세라믹의 밀도는 0.75 g/cm<sup>3</sup>, 낙엽송과 잣나무는 각각 0.72 g/cm<sup>3</sup>, 0.74 g/cm<sup>3</sup>였으며, 소성온도 1000℃일 때 소나무와 잣나무로 제조된 우드세라믹의 밀도는 0.83 g/cm<sup>3</sup>, 낙엽송은 0.82 g/cm<sup>3</sup>였으나, 소성온도 1200℃ 이후에는 소성온도가 높을수록 밀도는 감소하였다. 이는 소성온도가 높을수록 길이, 두께 등 치수감소율에 비하여 상대적으로 중량감소율이 컸기 때문으로 생각된다. 또한 수지함침율

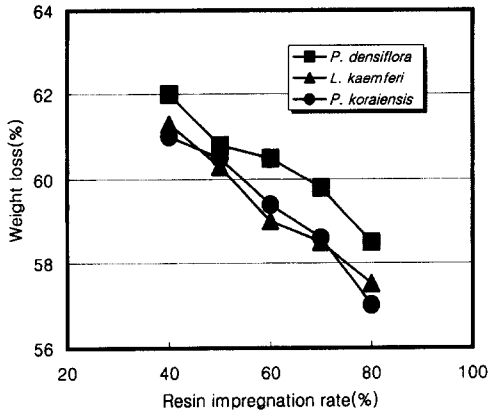


Fig. 3. Relationship between resin impregnation rate and weight loss.

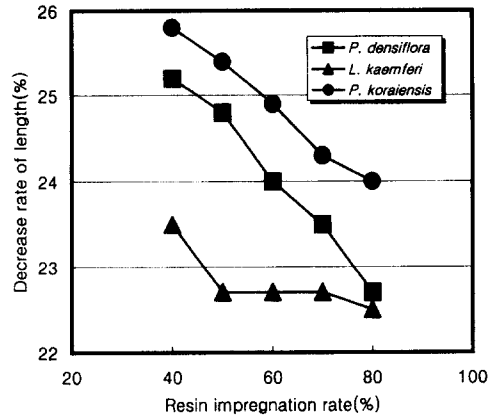


Fig. 5. Relationship between resin impregnation rate and decrease rate of length.

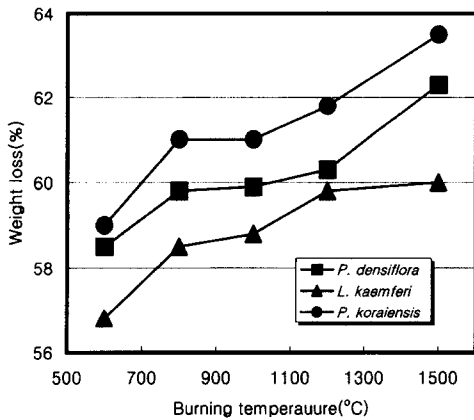


Fig. 4. Relationship between burning temperature and weight loss.

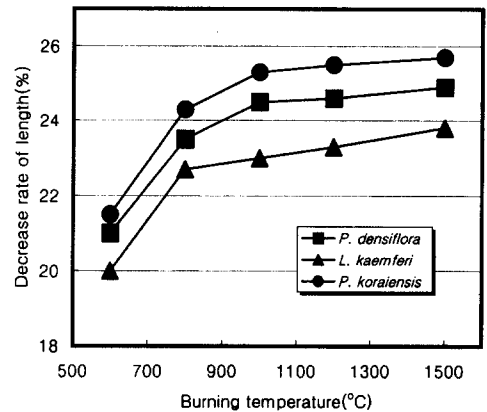


Fig. 6. Relationship between burning temperature and decrease rate of length.

과 소성온도에 따른 치수 및 중량감소율의 변화를 Figs 3~8에 나타내었다. 중량감소율은 수지함침율 40% 경우 수중별로 61~62%에서 수지함침율 80%일 때 57~58.5%로 수지함침율이 증가함에 따라 낮아졌으나, 소성온도 600°C의 경우 중량감소율은 수중별로 56.8~59%, 소성온도 1500°C일 때 60~63.5%로 소성온도가 증가함에 따라 완만히 커졌다. 길이 감소율은 수지함침율 40%일 때 수중별로 23.5~25.8%, 함침율 80%일 때 22.5~24.0%로 수지함침율이 높을수록 낮아졌으며, 소성온도 1500°C일 때 23.8~25.7%로 소성온도가 높을수록 완만히 커졌다.

두께감소율은 수지함침율 40%의 경우 수중별로 29.9~31.2%, 함침율 80%일 때 27.8~28.4%로 수지함침율이 높을수록 낮아졌으며, 소성온도 600°C의 경우 두께감소율은 수중별로 24.0~27.5%, 소성온도 1500°C일 때 28.9~30.8%로 소성온도가 높을수록 완만히 커졌다. 이전의 연구자들(Oh *et al.*, 2000a, 2000b)에서와 같이 치수 및 중량 감소율은 수지함침율이 증가할수록 낮아졌으나 소성온도가 높을수록 완만히 커졌으며 두께 감소율이 길이 감소율보다 크게 나타났다. 소성온도에 따른 치수 및 중량 변화는 목재나 수지의 탄소화 반응에 의한 구조변화에 기인되며

Table 1. Heat conduction of woodceramics from kinds of wood and resin impregnation rate

Species	Resin impregnation rate (%)	Thickness (mm)	Time	23°C to 30°C	23°C to 35°C	23°C to 40°C	23°C to 45°C	23°C to 50°C
				mm/sec	mm/sec	mm/sec	mm/sec	mm/sec
<i>Pinus densiflora</i>	40	10.7		0.0542	0.0312	0.0201	0.0124	0.0091
	50	10.9		0.0673	0.0407	0.0271	0.0178	0.0125
	60	10.8		0.0800	0.0489	0.0339	0.0234	0.0158
	70	11.7		0.0863	0.0597	0.0453	0.0358	0.0282
	80	12.8		0.0638	0.0434	0.0401	0.0220	0.0142
<i>Larix kaemferi</i>	40	11.0		0.0624	0.0512	0.0325	0.0214	0.0101
	50	11.2		0.0848	0.0546	0.0370	0.0247	0.0150
	60	11.5		0.0865	0.0556	0.0401	0.0324	0.0182
	70	12.6		0.0945	0.0632	0.0464	0.0348	0.0265
	80	11.6		0.1207	0.0941	0.0617	0.0457	0.0355
<i>Pinus koraiensis</i>	40	10.9		0.0537	0.0315	0.0267	0.0127	0.0082
	50	10.8		0.0624	0.0457	0.0315	0.0217	0.0129
	60	10.9		0.0826	0.0519	0.0363	0.0260	0.0160
	70	11.7		0.0775	0.0520	0.0381	0.0279	0.0196
	80	12.4		0.1155	0.0842	0.0598	0.0435	0.0319

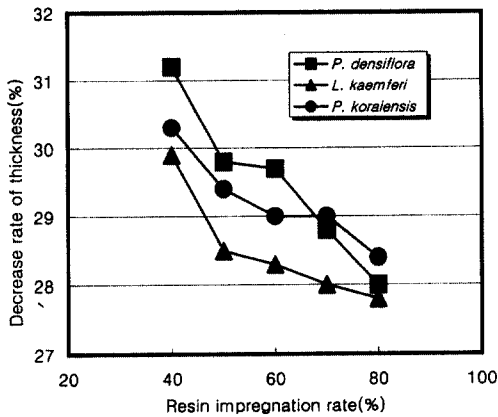


Fig. 7. Relationship between resin impregnation rate and decrease rate of thickness.

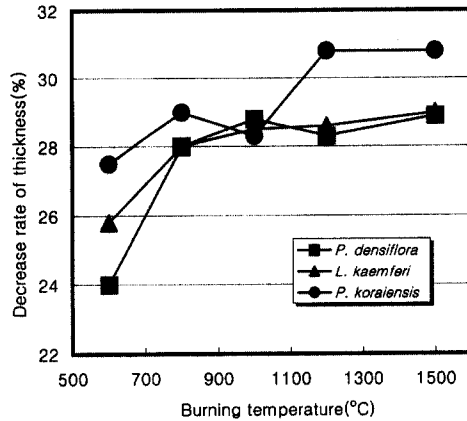


Fig. 8. Relationship between burning temperature and decrease rate of thickness.

1000°C 이상에서는 감소율이 완만해지는데 이는 폐놀수지의 방향족 다환구조의 탄소화에 의한 것이라고 판단된다(Okabe *et al.*, 1996).

### 3.2. 열전도성

소성 전 수지함침율과 소성온도별로 제조된 우드세라믹의 열전도성을 비교하여 Table 1, 2에 나타내었

Table 2. Heat conduction of woodceramics from kinds of wood and burning temperature

Species	Burning temperature(°C)	Thickness (mm)	Time	23°C to	23°C to	23°C to	23°C to	23°C to
				30°C	35°C	40°C	45°C	50°C
				mm/sec	mm/sec	mm/sec	mm/sec	mm/sec
<i>Pinus densiflora</i>	600	124		0.0611	0.0418	0.0288	0.0189	0.0120
	800	11.7		0.0863	0.0597	0.0453	0.0358	0.0282
	1000	11.2		0.1333	0.0842	0.0577	0.0393	0.0260
	1200	123		0.1397	0.0976	0.0723	0.0535	0.0389
	1500	125		0.1842	0.1423	0.0954	0.0725	0.0442
<i>Larix kaemferi</i>	600	118		0.0670	0.0417	0.0275	0.0186	0.0124
	800	122		0.1080	0.0619	0.0419	0.0414	0.0199
	1000	113		0.0919	0.0589	0.0409	0.0281	0.0192
	1200	125		0.1106	0.0706	0.0481	0.0321	0.0203
	1500	125		0.1754	0.1325	0.0824	0.0632	0.0372
<i>Pinus koraiensis</i>	600	127		0.0747	0.0488	0.0339	0.0236	0.0159
	800	11.7		0.0775	0.0520	0.0381	0.0279	0.0196
	1000	120		0.1132	0.0727	0.0504	0.0354	0.0232
	1200	121		0.0725	0.0498	0.0353	0.0243	0.0178
	1500	124		0.1813	0.1160	0.0878	0.0604	0.0404

다. 수지함침을별 우드세라믹에 대한 단위시간(sec.) 당 열전도거리를 비교해 본 결과 함침율이 증가할수록 밀도가 증가하여 열전도성이 우수함을 알 수 있었으며, 소나무로 제조된 우드세라믹의 경우 함침율 80%일 때 밀도는 높았으나 열전도성이 상대적으로 낮은 이유는 시편의 두께가 두꺼웠기 때문으로 생각된다. 수종별로는 뚜렷한 차이는 없었으나 낙엽송으로 제조된 우드세라믹이 약간 높은 열전도성을 나타냈다.

소성온도별 열전도성은 소성온도에 따라 뚜렷한 경향은 없었으나 대체적으로 소성온도가 증가할수록 열전도성도 높은 것으로 나타났다. 특히 소성온도 1500°C의 경우 밀도는 낮고 시편의 두께도 두꺼웠음에도 불구하고 열전도성이 높게 나타났는데 이에 대한 원인을 확실히 설명할 수 없으나 소성과정에서 우드세라믹의 조직변화, 열적특성 등의 차이에 기인된

것으로 생각되며 열전도율에 대한 구체적인 분석이 필요하다고 생각된다.

#### 4. 결론

소나무, 낙엽송 및 잣나무 간벌재로 톱밥보드를 만든 후 우드세라믹을 제조하고, 소성 전 수지함침율과 소성온도에 따른 우드세라믹의 물성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 수지함침율이 높을수록 밀도는 증가하였으며, 소성온도가 증가함에 따라 소성온도 1000°C까지는 밀도가 증가하였으나 1200°C 이후에는 감소하였다.
2. 소성 후 치수 및 중량 감소율은 수지 함침율이 증가함에 따라 낮아졌으나 소성온도가 높을수록 완만히 커졌다.
3. 열전도성은 수지함침율이 높을수록 우수하였으

며 소성온도 1500℃의 경우가 가장 우수하였다.

## 참 고 문 헌

1. 오승원. 2001. 삼나무 간벌재로 제조된 우드세라믹의 성질 - 증기분사 및 그 시간의 영향. 목재공학 29(2): 60~75.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. Okabe, T. and K. Saito. 1995a. Development of woodceramics. Transactions of the Material Research Society of Japan 18: 681~684.
7. 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.
8. Okabe, T., K. Satio, H. Togawa, and Y. Kumagai. 1995a. Electromagnetic shielding characteristic of porous carbon material "woodceramics". International Ecomaterial Conference. Xian. China. p.9-12.
9. Okabe, T., K. Satio, H. Togawa, and Y. Kumagai. 1996b. Development of porous carbon material "woodceramics" - Electromagnetic shielding characteristic - Journal of the Society of Materials Science Japan 44(498): 288~291.
10. Okabe, T., K. Satio, and K. Hokkirigawa. 1996. New porous carbon materials woodceramics : Development and fundamental properties. Journal of Porous Materials 2: 207~213.
11. Shibata, K., T. Okabe, K. Satio, 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.