목재공학 33(3): 38~44, 2005
Mokchae Konghak 33(3): 38~44, 2005

승온속도 및 최고온도 유지시간이 간벌재로 제조된 우드세라믹의 성질에 미치는 영향*1

오 승 원*2 · 변 희 섭*3†

Effect of Heating Rate and Keeping Time at Maximum Temperature on the Properties of Woodceramics Made from Thinned Logs*1

Seung-Won Oh*2 · Hee-Seop Byeon*3†

요 약

소나무, 낙엽송 및 잣나무 간벌재로 톱밥보드를 만든 후 소성시 승온속도와 최고온도에서 유지시간을 달리하여 우드세라믹을 제조하고 그 물성을 조사하였다. 승온속도가 빠를수록 밀도 및 두께감소율은 감소하였고 길이감소율 및 중량 감소율은 증가하였다. 최고온도에서 유지시간이 증가할수록 길이감소율 및 두께감소율은 증가하였다. 열전도성은 승온속도 2°C/min와 최고온도에서 유지시간 2시간일 때의 조건으로 제조된 우드세라믹이 가장 우수하였다.

ABSTRACT

This research investigated the variation of density, the weight loss, dimensional shrinkage and heat conduction by the heating rate and keeping time at maximum temperature of woodceramics, when sawdust boards made from thinned logs of *Pinus densiflora*, *Larix kaemferi* and *Pinus koraiensis* w impregnated with phenol-formaldehyde resin, and then were formed by heating rate (2°C/min~

* 1 접수 2005년 3월 25일, 채택 2005년 5월 2일
본 연구는 농림기술개발사업의 지원에 의하여 수행되었음
* 2 전북대학교 농업생명과학대학, 생물산업연구소, College of Agriculture and Life Science, Research Institute of Bioindustry, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea.
* 3 경상대학교 농업생명과학대학, 농업생명과학연구원, College of Agriculture and Life Science, Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea.
† 주저자(corresponding author) : 변희섭(e-mail: hsbyeon@gsnu.ac.kr)

6℃/min) and keeping time at maximum temperature (1~5 h). As the heating rate increased, the density and thickness shrinkage decreased, but weight loss and linear shrinkage increased. The more the keeping time at maximum temperature, the greater the linear shrinkage and thickness shrinkage. The heating conduction was superior at the heating rate is 2 ℃/min and the keeping time at maximum temperature of 2 hs.

Keywords: Woodceramics, thinned logs, heating rate, keeping time

1. 서 론

매년 많은 양이 생산되는 간벌재의 효율적인 이용은 우리나라 임업발전 및 임산관련 산업의 활성화로 임업인의 소득 증대에 기여할 것으로 생각된다. 이러한 간벌재의 고부가가치 이용방법의 하나로 간벌 소경재를 이용하여 톱밥보드를 만든 다음 우드세라믹을 제조하여 새로운 용도를 개발하기 위한 연구가 진행되고 있다(Oh *et al.*, 2000a, 2000b; 오 등 2000; 오 2001). 우드세라믹은 목재나 목질재료에 열경화성 수지를 함침하여 고온에서 소성하여 만든 새로운 다공질 탄소재료로서, 가볍고 단단하여 내부식성, 열전도성, 원적외선방사 등 우수한 성질을 지니고 있어 공업적으로 다양하게 이용이 기대되는 물질이다(Kasai *et al.*, 1996; Okabe & Saito, 1995a, 1995b; Okabe *et al.*, 1995a, 1995b). 이러한 우드세라믹은 원재료의 특성 및 제조방법에 따라 성질이 다르기 때문에 용도에 따라 적절한 제조방법을 선택해야 할 것으로 판단된다. 특히 前報(오와 변, 2004)에서 밝힌 바와 같이 보드의 수지함침율 및 소성온도에 따라 소성후 우드세라믹의 밀도, 치수 및 중량의 변화와 표면온도의 변화 등에 차이가 있어 새로운 제조방법에 대한 검토가 필요하리라 생각된다.

따라서 본 연구에서는 국내의 주요 간벌재를 이용하여 톱밥보드를 만든 다음 일정한 함침율로 조절하여 함침하고 소성시 승온속도 및 최고온도에서의 유지시간에 따라 소성하여 우드세라믹을 제조한 후 그 물성을 알아보고자 한다.

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. 보드제조

둥근톱을 이용하여 톱밥을 만든 후 입자의 크기를 1 mm 이하로 선별하고 함수율을 6% 이하로 조절하였다. 보드를 제조하기 위하여 분말페놀수지와 톱밥을 충분히 혼합하여 열압기의 열판 위에 있는 스테인레스 정방형 몰드 속에 넣은 다음 시료 상부의 높이를 일정하게 조절한 후 열압 성형하여 각 수종별로 26 cm×26 cm×1.4 cm의 보드를 제조하였다. 이때 보드 제조 조건은 수지혼합율 10%, 열압온도 190°C, 가압체 압력 및 시간을 40 kgf/cm^2, 6분 → 20 kgf/cm^2, 5분 → 10 kgf/cm^2, 4분(3단 가압체)으로 열압하여 밀도 0.6 g/cm^{3}의 보드를 수종별로 각 20 반복씩 제조하였다. 보드제조시 사용한 접착제는 분말페놀수지(코오롱 유화(주) KNB-100PL)로서 융점 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 상부면과 하부면에 테프론 시트를 깔아 보드의 분리를 쉽게 하였다.

Table 1. Properties of woodceramics from kinds of wood species and heating rate

Species	Heating rate (℃/min)	Density (g/cm^3)	Weight loss (%)	Linear shrinkage (%)	Thickness shrinkage (%)
Pinus densiflora	2	0.83[a] (0.03)[b]	59.3 (4.8)	23.5 (2.7)	28.6 (2.9)
	3	0.83 (0.03)	59.5 (5.3)	23.5 (2.5)	28.5 (2.8)
	4	0.82 (0.02)	59.8 (5.0)	24.0 (2.4)	28.1 (2.9)
	5	0.81 (0.02)	59.3 (5.7)	24.5 (2.3)	28.0 (2.3)
	6	0.79 (0.02)	60.3 (5.9)	24.5 (2.0)	28.0 (2.7)
Larix kaemferi	2	0.81 (0.03)	58.0 (5.4)	23.0 (2.9)	28.3 (2.8)
	3	0.80 (0.03)	58.0 (5.4)	23.2 (2.4)	27.4 (2.3)
	4	0.80 (0.02)	58.5 (5.2)	23.0 (2.4)	27.0 (2.2)
	5	0.79 (0.02)	58.5 (6.0)	23.5 (2.1)	27.2 (2.3)
	6	0.75 (0.03)	58.8 (5.8)	23.7 (2.0)	26.3 (2.5)
Pinus koraiensis	2	0.81 (0.03)	59.5 (5.8)	24.0 (2.5)	29.0 (2.8)
	3	0.80 (0.02)	59.5 (5.3)	24.0 (2.6)	28.6 (2.7)
	4	0.81 (0.02)	60.0 (6.1)	24.5 (2.5)	28.4 (2.7)
	5	0.79 (0.02)	60.0 (6.3)	25.0 (2.7)	28.1 (3.0)
	6	0.76 (0.02)	60.5 (5.9)	25.2 (2.3)	28.0 (2.9)

[a] Each mean value from 6 replications, [b] parenthesis is standard deviation.

2.3. 함침 및 우드세라믹 제조

톱밥보드를 12 cm×12 cm×1.4 cm 크기로 재단한 다음 액상 페놀수지(코오롱유화(주), KPD-L777)가 들어있는 감압 함침장치에 넣고 1기압에서 함침율을 60±2%로 조절하여 함침하였다. 함침에 사용한 페놀수지의 특성은 고형분 51~53%, 비중 1.06, 점도 45~65 cps, 경화시간 80~95초이다. 함침후 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 최고온도에서의 유지시간 1, 2, 3, 4, 5시간 조건으로 소성온도 800°C에서 각 10개씩 소성하였다.

2.4. 물성조사

각 조건으로 제조된 우드세라믹 중 소성과정에서 외형상 변형이 없는 시편을 수종별로 선정하여 부피와 무게를 측정하고 소성전과 비교하여 치수 및 중량 변화와 밀도를 계산하였다. 열전도성은 표면온도가 80°C로 설정된 실리콘러버히터 위에 우드세라믹을 올려놓고 시료표면에 온도계를 접촉시켜 기준온도까지 소요된 시간을 측정하여 열전도성을 나타내는 지표로 사용하였다. 측정시 실내온도는 20±2°C이었고 30°C에서 5°C 간격으로 50°C까지 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 간벌재 수종별 톱밥보드로 제조된 우드세라믹의 승온속도 및 최고온도에서의 유지시간에 따른 밀도, 중량 및 치수 변화를 Tables 1, 2에 나타내었다. 승온

Table 2. Properties of woodceramics from kinds of wood species and keeping time at maximum temperature

Species	Keeping time (h)	Density (g/cm^3)	Weight loss (%)	Linear shrinkage (%)	Thickness shrinkage (%)
Pinus densiflora	1	0.76[a] (0.02)[b]	59.0 (4.8)	23.0 (1.9)	28.0 (3.0)
	2	0.83 (0.03)	59.3 (4.8)	23.5 (2.7)	28.6 (2.9)
	3	0.78 (0.03)	60.0 (6.3)	23.5 (2.3)	28.8 (2.6)
	4	0.79 (0.04)	58.5 (5.9)	23.6 (2.1)	29.0 (2.6)
	5	0.81 (0.02)	59.0 (5.1)	23.8 (2.0)	29.0 (2.8)
Larix kaemferi	1	0.77 (0.03)	57.0 (5.2)	22.1 (1.9)	27.0 (2.5)
	2	0.81 (0.03)	58.0 (5.4)	23.0 (2.9)	28.3 (2.8)
	3	0.76 (0.04)	58.5 (6.0)	23.1 (2.3)	28.5 (2.9)
	4	0.77 (0.02)	57.0 (5.4)	23.1 (2.2)	29.0 (2.4)
	5	0.77 (0.03)	57.5 (5.1)	23.4 (2.4)	29.0 (2.7)
Pinus koraiensis	1	0.77 (0.03)	60.0 (6.3)	23.2 (1.6)	29.0 (2.6)
	2	0.81 (0.03)	59.5 (5.8)	24.0 (2.5)	29.0 (2.8)
	3	0.75 (0.04)	62.5 (5.8)	24.0 (2.0)	29.3 (2.6)
	4	0.75 (0.02)	62.0 (5.7)	24.5 (2.1)	29.6 (2.3)
	5	0.77 (0.02)	61.5 (5.7)	24.5 (2.4)	30.0 (3.2)

[a] Each mean value from 6 replications, [b] parenthesis is standard deviation.

속도 2°C/min일 때 소나무로 제조된 우드세라믹의 밀도는 0.83±0.03 g/cm^3, 낙엽송과 잣나무는 0.81±0.03 g/cm^{3}이었으며, 승온속도 6°C/min일 때 소나무로 제조된 우드세라믹의 밀도는 0.79±0.02 g/cm^3, 낙엽송과 잣나무는 각각 0.75±0.03 g/cm^3, 0.76±0.02 g/cm^{3}로 우드세라믹 제조시 승온속도가 빠를수록 소성후 우드세라믹의 밀도는 약간 감소하였다. 수종간 비교에서는 소나무로 제조된 우드세라믹의 밀도가 약간 높았다. 승온속도가 빠를수록 소성시 탄소화가 진행되는 단계에서 많은 메틸기나 페놀성 산소가 분해가스로 밖으로 빠져나가고 우드세라믹을 구성하기 위한 성분이 감소됨에 따라 밀도가 낮게 나타난 결과로 생각된다(廣瀨, 1997).

또한, 최고온도에서의 유지시간에 따른 밀도 변화는 유지시간 1시간일 때 소나무로 제조된 우드세라믹의 밀도는 0.76±0.02 g/cm^3, 낙엽송과 잣나무 우드세라믹의 밀도는 0.77±0.03 g/cm^{3}이었으며, 유지시간 2시간일 때 소나무로 제조된 우드세라믹의 밀도는 0.83±0.03 g/cm^{3}로 낙엽송과 잣나무로 제조된 우드세라믹의 밀도인 0.81±0.02 g/cm^{3}보다 높았으며 그 후 유지시간 3시간일 때 수종별로 0.75±0.02~ 0.81±0.02 g/cm^{3}로 감소했다가 다시 완만히 증가하는 경향을 나타냈다.

중량감소율은 승온속도 2°C/min일 때 소나무로 제조된 우드세라믹은 59.3±4.8%, 낙엽송과 잣나무는 각각 58.0±5.4%, 59.5±5.8%이었으며, 승온속도 6°C/min일 때 소나무로 제조된 우드세라믹은 60.3±5.9%, 낙엽송과 잣나무는 각각 58.5±5.8%, 60.5±5.9%로 승온속도가 빠를수록 중량감소율은 완만히 증가하는 경향을 나타냈다. 최고온도에서의 유지시간에 따른 중량감소율은 유지시간 3시간일 때 소나무, 낙엽송, 잣나무로 제조된 우드세라믹의 경우 각각 60.0±6.3%, 58.5±5.4%, 62.5±5.8%로 가장 컸으며, 수종별로는 잣나무로 제조된 우드세라믹의 중량감소율이 약간 큰 것으로 나타났다.

길이감소율은 승온속도 2°C/min일 때 소나무, 낙엽송 및 잣나무로 제조된 우드세라믹은 각각 23.5±2.7%, 23.0±2.9%, 24.0±2.5%이었으며, 승온속도

Table 3. Heat conduction of woodceramics from kinds of wood species and heating rate

Species	Heating rate (℃/min)	Thickness (mm)	Time	23℃ to 30℃	23℃ to 35℃	23℃ to 40℃	23℃ to 45℃	23℃ to 50℃
				(mm/sec)				
Pinus densiflora	2	11.6		0.1230	0.0782	0.0548	0.0291	0.0176
	3	11.4		0.1146	0.0654	0.0435	0.0260	0.0163
	4	11.7		0.0925	0.0603	0.0401	0.0308	0.0215
	5	11.5		0.0901	0.0541	0.0385	0.0188	0.0096
	6	11.6		0.0875	0.0501	0.0362	0.0179	0.0055
Larix kaemferi	2	12.3		0.1354	0.0825	0.0487	0.0371	0.0193
	3	12.6		0.1218	0.0736	0.0435	0.0269	0.0190
	4	12.2		0.1135	0.07012	0.0430	0.0376	0.0194
	5	11.8		0.1101	0.0690	0.0400	0.0311	0.0172
	6	11.5		0.0986	0.0684	0.0399	0.0300	0.0087
Pinus koraiensis	2	11.6		0.1307	0.0589	0.0492	0.0393	0.0287
	3	11.6		0.1125	0.0563	0.0385	0.0300	0.0163
	4	11.7		0.0865	0.0512	0.0387	0.0299	0.0196
	5	11.9		0.0898	0.0544	0.0363	0.0253	0.0165
	6	12.0		0.0965	0.0486	0.0272	0.0198	0.0085

Table 4. Heat conduction of woodceramics from kinds of wood species and keeping time at maximum temperature

Species	Keeping time (h)	Thickness (mm)	Time	23℃ to 30℃	23℃ to 35℃	23℃ to 40℃	23℃ to 45℃	23℃ to 50℃
				(mm/sec)				
Pinus densiflora	1	11.6		0.0924	0.0531	0.0326	0.0156	0.0082
	2	11.6		0.1230	0.0782	0.0548	0.0219	0.0176
	3	11.3		0.1035	0.0575	0.0412	0.0204	0.0143
	4	11.3		0.1072	0.0657	0.0400	0.0213	0.0145
	5	11.1		0.0985	0.0511	0.0315	0.0151	0.0104
Larix kaemferi	1	12.1		0.1124	0.0726	0.0402	0.0298	0.0154
	2	12.3		0.1354	0.0825	0.0487	0.0371	0.0193
	3	11.4		0.0998	0.0591	0.0411	0.0266	0.0162
	4	12.3		0.0865	0.0565	0.0396	0.0251	0.0145
	5	11.5		0.0875	0.0547	0.0358	0.0246	0.0151
Pinus koraiensis	1	11.6		0.1135	0.0714	0.0411	0.0286	0.0164
	2	11.6		0.1307	0.0589	0.0492	0.0393	0.0287
	3	11.3		0.0934	0.0565	0.0396	0.0262	0.0154
	4	11.3		0.1014	0.0584	0.0385	0.0275	0.0137
	5	10.8		0.0941	0.0615	0.0411	0.0201	0.0130

6℃/min일 때 수종별로 각각 24.5±2.0%, 23.7±2.0%, 25.2±2.3%로 승온속도가 빠를수록 길이감소율은 완만히 증가하였다. 최고온도에서의 유지시간별 길이감소율은 유지시간이 증가함에 따라 완만히 증가하여 유지시간 5시간일 때 잣나무로 제조된 우드세라믹은 24.5±2.4%, 소나무와 낙엽송은 23.8±2.0%와 23.4±2.4%로 가장 컸다. 수종간 비교에서는 잣나무로 제조된 우드세라믹의 길이감소율이 약간 큰 것으로 나타났다. 두께감소율은 승온속도 2℃/min일 때 세수종이 28.3±2.8~29.0±2.8%에서 승온속도 6℃/min일 때 26.3±2.5~28.0±2.9%로 승온속도가 빠를수록 완만히 감소하였다. 최고온도에서의 유지시간에 따른 두께감소율은 유지시간이 증가함에 따라 완만히 증가하여 유지시간 5시간일 때 소나무와 낙엽송으로 제조된 우드세라믹은 29.0±2.7%, 잣나무는 30.0±3.2%로 가장 컸다. 岡部(1996)는 MDF를 이용하여

우드세라믹을 제조할 때 승온속도가 증가하면 휨강도와 경도가 감소하고 할렬이 발생한다고 하였다. 또한 廣瀨(1997)는 승온속도가 증가함에 따라 길이감소율 및 중량 감소율은 증가하였으며, 밀도는 승온속도 10 °C/min 이후에는 약간 증가하였다고 보고한 바 있다. 특히 최근에 Hirose 등(2002)은 환경 친화를 목적으로 액화목재를 주입하여 탄화속도별 우드세라믹을 제조한 후 물성을 조사한 결과, 탄화속도가 빠른 경우 압축강도와 인장강도가 감소된다고 보고한 바 있다.

3.2. 열전도성

소성시 승온속도와 최고온도에서의 유지시간에 따른 우드세라믹의 열전도성을 비교하여 Tables 3, 4에 나타내었다. 승온속도별 우드세라믹의 단위시간(sec.)당 열전도 거리를 비교한 결과, 승온속도 2°C/min일 때가 가장 우수하였으며, 승온속도가 증가함에 따라 열전도성은 약간 떨어지는 것으로 나타났다. 이는 승온속도가 빠를수록 밀도가 약간 감소하여 열전도성에 영향을 미친 것으로 사료되며 수종간에는 뚜렷한 차이는 없었다.

소성시 최고온도에서의 유지시간에 따른 우드세라믹의 열전도성은 일정한 경향은 없었으나, 전 수종에서 모두 유지시간 2시간일 때의 열전도성이 가장 우수한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 소성후 우드세라믹의 밀도변화에서 유지시간 2시간일 때의 밀도가 가장 컸기 때문으로 생각되며, 우드세라믹을 열전도성과 관련된 재료로 사용 할 때 우드세라믹 제조시 최고온도에서 유지시간을 3시간 이상 유지하는 것은 의미가 없는 것으로 판단된다.

4. 결 론

소나무, 낙엽송 및 잣나무 간벌재로 톱밥보드를 만든 후 소성 시 승온속도와 최고온도에서의 유지시간을 달리하여 우드세라믹을 제조하고 그 물성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 승온속도가 빠를수록 즉, 탄화속도가 빠를수록 소성 후 밀도는 감소하였으며, 최고온도 유지시간에 따른 밀도변화는 일정한 경향이 없었다.

2) 소성후 중량감소율 및 길이 감소율은 승온속도가 빠를수록 증가하였으나 두께 감소율은 감소하였다. 최고온도 유지시간이 증가할수록 길이 및 두께감소율은 증가하였다.

3) 최고온도 유지시간 2시간과 승온속도 2°C/min일 때 열전도성이 가장 우수하였고, 승온속도가 증가함에 따라 열전도성이 약간 떨어지는 경향이 있었다.

참 고 문 헌

1. Hirose, T., T. Fan, T. Okabe, and M. Yoshimura. 2002. Effect of carbonizing speed on the property change of woodceramics impregnated with liquefied wood. Materials Letters 52 : 229~233.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Okabe, T. and K. Saito. 1995a. Development of woodceramics. Transactions of the Material Research Society of Japan 18 : 681~684.
6. Okabe, T. and K. Saito. 1995b. The examination of the manufacturing method of woodceamics(I) - Structural changes affected by burning temperature - International Ecomaterial Conference. Xian. China. p. 1~4.
7. Okabe, T., K. Satio, H. Togawa, and Y. Kumagai. 1995. Electromagnetic shielding characteristic of porous carbon material "woodceramis". International Eomaterial Conference. Xian. China. pp. 9~12.
8. Okabe, T., K. Satio, H. Togawa, and Y. Kumagai.

1996. Development of porous carbon material "woodceramics" - Electromagnetic shielding characteristic - Journal of the Society of Materials Science Japan 44(498) : 288~291.

9. 廣瀨 孝. 1997. ウッドセラミクスの强度性能向上に關する硏究. 東京農工大學院 修士論文.
10. 岡部敏弘. 1996. 木質多孔質炭素材料ウッドセラミクス. 內田老鶴圃.
11. 오승원, T. Okabe, and T. Hirose. 2000. 삼나무 간벌재로 제조된 우드세라믹의 전기적 성질. 한국가구학회지 11(1): 31~36.
12. 오승원. 2001. 삼나무 간벌재로 제조된 우드세라믹의 성질 - 증기분사 및 그 시간의 영향. 목재공학 29(2): 60~75.
13. 오승원, 박금희. 2004. 간벌재로 제조된 우드세라믹의 성질(I) - 수지함침율 및 소성 온도의 영향. 목재공학 32(1): 73~79.