

탄화온도가 탄화보드의 열전도율 및 전기적 성질에 미치는 영향*1

오 승 원*2 · 박 상 범*3† · 김 중 인*3 · 황 정 우*2

Effect of Carbonization Temperature on the Thermal Conductivity and Electric Properties of Carbonized Boards*1

Seung-Won Oh*2 · Sang-Bum Park*3† · Jong-In Kim*3 · Jung-Woo Hwang*2

요 약

탄화보드의 실용화를 위한 기초연구로 중밀도섬유판, 파티클보드, 합판 및 물푸레나무 목재를 400~1,100°C로 탄화하여 탄화온도에 따른 열전도율 및 전기적 성질을 측정하였다. 열전도율은 탄화 파티클보드의 탄화온도가 900°C일 때 0.1326 m/k로 가장 우수하였으며, 전반적으로 탄화보드의 밀도가 클수록 열전도율이 빨랐다. 비저항값은 탄화온도가 높을수록 감소하여 탄화온도 1,000°C 이후에는 거의 도체에 가까운 값을 나타냈다. 높은 전압으로 탄화보드에 전기를 통했을 때 전류와 전력은 증가하였으며 표면온도가 높았다.

ABSTRACT

This study is a basic research for practical applications of carbonized boards, which measured thermal conductivity and electrical properties of carbonized boards manufactured at different carbonization temperature (400~1,100°C) using a medium density fiberboard, particleboard, plywood and wood (*Fraxinus rhynchophylla*). The highest value of thermal conductivity was 0.1326 m/k at carbonization temperature of 900°C in the carbonized particleboard. Overall, the higher density of carbonized board, thermal conductivity was faster. As the electrical resistivity decreased with increased carbonization temperature, it was almost close to conductor after carbonization temperature of 1,000°C. When electricity has worked on the carbonized board by

*1 접수 2012년 12월 4일, 채택 2013년 1월 22일

*2 전북대학교 목재응용과학과 Dept. of Wood Science and Technology, Chonbuk National University, 561-756, Chonju, Korea

*3 국립산림과학원 임산공학부, Dept. of Forest Products, Korea Forest Research Institute, Seoul, 130-712, Korea

† 교신저자(corresponding author) : 박상범(e-mail: parksb@forest.go.kr)

high voltage, the current and the electric power increased and surface temperature of carbonized board was high.

Keywords: wood, wood-based panel, carbonized board, thermal conductivity, electric properties

1. 서 론

탄화보드는 유해화학물질에 대한 흡착력이 우수하고, 접착제를 사용하는 가구용 부재나 주방용품에서 발생하는 포름알데히드 방출, 암모니아 독성방출이 염려되는 콘크리트 벽재 등의 부재로 충분히 활용 가능성이 있다. 또한 TV 컴퓨터, 냉장고 등 전자제품 사용이 많은 현대 생활환경에서 새로운 기능성 내장 재료의 이용이 확대되어 실용적 가치가 매우 높을 것으로 생각된다.

이러한 탄화보드의 실용화를 위한 기초연구로는 박(2007)과 박 등(2008)이 시판의 목질재료를 이용하여 갈라지지 않게 목탄화하는 무할렐 탄화보드의 제조기술을 확립하였고, 박과 이 등(2009)은 중밀도 섬유판, 파티클보드 및 합판으로 탄화보드를 제조하여 탄화온도에 따른 수축률, 중량감소율, 밀도 변화 및 표면구조 변화를 조사하였다.

특히 전기적 성질에 관한 연구는 탄화보드의 새로

운 용도 개발을 위한 매우 기초적이고 중요한 연구라고 공감하여 최근에 연구가 진행 중이다. 오(2007)는 소나무로 제조된 톱밥보드를 수지함침율을 달리하여 함침한 후 650°C로 탄화하여 우드세라믹을 제조하고 통전하여 이들의 전기적 성질 및 표면온도를 측정하였다. Suda 등(1999)은 MDF를 650°C와 750°C로 탄화한 우드세라믹의 표면온도와 습도가 전기적 저항에 미치는 영향에 대하여 보고하였다. Shibata 등(1997)은 MDF를 600, 700, 800, 2,000, 3,000°C로 탄화하여 탄화온도에 따른 전기저항을 측정할 결과 탄화온도가 높을수록 저항이 작아 거의 도체에 가까운 특성이 있음을 밝혔다.

본 연구에서는 중밀도섬유판, 파티클보드, 합판 및 물푸레나무판재를 이용하여 탄화온도별로 탄화보드를 제조하고 탄화온도별로 각 탄화보드의 열전도율 및 전기저항에 따른 전기적 성질을 측정함으로써, 탄화보드의 새로운 용도개발에 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

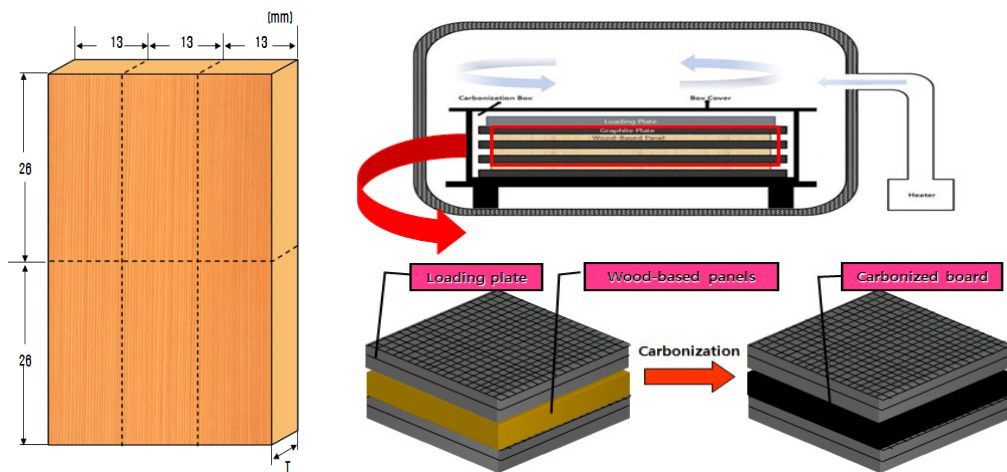


Fig. 1. Schematic diagram for preparation of samples and carbonized boards.

Table 1. Characteristics of samples used in this study

Test samples	Abbreviation	Density (g/cm ³)	Size (W × L × T)
Medium Density Fiberboard	MDF	0.58	13 mm × 26 mm × 12 mm
Particleboard	PB	0.72	13 mm × 26 mm × 12 mm
Plywood	PW	0.54	13 mm × 26 mm × 12 mm
Ash wood	WOOD	0.64	13 mm × 26 mm × 12 mm

Table 2. Density of carbonized boards after carbonization

CT (°C) \ Board	C-MDF	C-PB	C-PW	C-WOOD
BC	0.58	0.72	0.54	0.64
400	0.39	0.45	0.28	0.25
500	0.40	0.46	0.30	0.25
600	0.41	0.48	0.31	0.29
700	0.42	0.49	0.30	0.33
800	0.42	0.50	0.34	0.31
900	0.44	0.54	0.32	0.40
1000	0.44	0.54	0.34	0.41
1100	0.45	0.54	0.34	0.41

CT : Carbonization temperature
 C-MDF : Carbonized medium density fiberboard
 CPw : Carbonized plywood

BC : Before carbonization
 C-PB : Carbonized particleboard
 C-WOOD : Carbonized ash wood

2. 재료 및 방법

2.1. 탄화보드의 제조

탄화보드를 제조하기 위하여 중밀도섬유판(MDF), 파티클보드(PB), 합판(PW) 및 물푸레나무판재(WOOD)를 Fig. 1과 같이 폭 13 cm × 길이 26 cm 크기의 시험편으로 재단한 후, 실험용 탄화로를 사용하여 탄화온도 400~1,100°C로 100°C 간격으로 탄화하였다. 시험편은 알루미늄호일로 감싸 산소의 접촉을 차단하고, 상하부에 1 cm 두께의 그라파이트판을 적재하여 뒤틀림을 방지하였다. 시험편은 내열성 사각용기에 넣고 덮개를 한 다음 프로그램 설정이 가능한 전기식 탄화로에 투입하였다(Fig. 1). 이때 승온속도는 50°C/min이며, 목표 탄화온도에서 2시간 유지하였다. 탄화가 완료되면 자연 냉각하고 80°C 이하에서 끄집어내어 물성을 조사하였다. 시험편의 종류와 약자, 밀도 및 탄화사이즈를 Table 1에 정리하였다. 탄화보드의 표

면온도 측정을 위하여 습도 65 ± 5%, 온도 20 ± 1°C에서 일주일간 조습처리 하였다.

2.2. 열전도율 측정

탄화된 4종류의 보드에 대한 열전도율을 측정하기 위하여 시험편의 크기는 10 cm × 10 cm로 제작하여 실험하였다. 열전도율 측정은 C-Therm사에서 개발한 Tci를 이용하여 MTPS (Modified Transient Plane Source) 방법을 이용하였다. 정확한 열전도율 측정을 위하여 시험편 4곳 가장자리와 중앙 1군데 등 총 5곳을 각각 5회씩 측정하고 평균한 다음, 전체 5군데를 총 평균하여 열전도율 값을 구하였다.

2.3. 비저항 및 전기적 성질 측정

탄화온도별로 탄화된 보드를 폭 8 cm × 길이 8 cm 크기로 재단한 후 양쪽 가장자리(폭과 두께부분) 옆에

Table 3. Thermal conductivity of carbonized boards (w/mk)

CT (°C)	Board	C-MDF	C-PB	C-PW	C-WOOD
400		0.0729 ± 0.0081	0.1089 ± 0.0092	0.0910 ± 0.0162	0.0882 ± 0.0120
500		0.0822 ± 0.0091	0.1079 ± 0.0039	0.0916 ± 0.0126	0.0851 ± 0.0116
600		0.0846 ± 0.0026	0.1063 ± 0.0102	0.0965 ± 0.0098	0.0822 ± 0.0096
700		0.0900 ± 0.0019	0.1150 ± 0.0112	0.0984 ± 0.0124	0.0842 ± 0.0021
800		0.0929 ± 0.0065	0.1322 ± 0.0176	0.1012 ± 0.0118	0.0802 ± 0.0116
900		0.0980 ± 0.0115	0.1326 ± 0.0086	0.0911 ± 0.0167	0.0949 ± 0.0803
1,000		0.0958 ± 0.0036	0.1302 ± 0.0126	0.1041 ± 0.0086	0.1072 ± 0.0356
1,100		0.1057 ± 0.0145	0.1298 ± 0.0098	0.0996 ± 0.0054	0.1045 ± 0.0087

Legends : See table 2

폴리마형 동 도전 paste (三井金屬塗料化學, S-5000) 를 코팅한 다음 납땀 방식으로 전선을 연결하고 Digital multimeter (Sejin, Sj-2000)를 이용하여 저항을 측정하였다. 측정된 저항값은 시험편의 면적과 길이에 따라 다르므로 다음 식을 이용하여 비저항값을 계산하였다.

$$\Omega = \rho \times l/s$$

Ω : 저항 (Ω) ρ : 비저항 ($\Omega \cdot \text{cm}$)

s : 단면적 (cm^2) l : 길이 (cm)

전기적 성질을 측정하기 위하여 Digital power meter (Yokogawa, WT210)에 전압조절장치 및 탄화보드에 부착된 전선을 연결하여 전압, 전류 및 소비전력을 측정하고 시간의 경과에 따라 탄화보드의 표면온도를 Thermo recorder (T and D, TR-71S)를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. Tci에 의한 열전도율

열전도율은 Tci를 이용하여 탄화보드 종류별로 5 곳을 5반복 측정하여 평균한 값을 Table 3에 나타내었다. 탄화온도별 탄화보드의 열전도율 값은 높은 온도에서 탄화된 보드일수록 높은 열전도율을 나타내, 탄화 후 보드의 밀도와 밀접한 관계가 있는 것으로

판단되며(Table 2), 상대적으로 탄화 파티클보드의 열전도율이 우수한 것으로 나타났다.

탄화보드의 밀도와 열전도율 관계에서 탄화 MDF는 탄화온도 1,100°C일 때 밀도가 0.45 g/cm³로 최고이며 이때 열전도율은 0.1057 w/mk, 탄화 파티클보드는 탄화온도 900°C일 때 밀도 0.54 g/cm³로 최고이며 열전도율은 0.1326 w/mk, 탄화 합판은 탄화온도 1,000°C일 때 밀도 0.34 g/cm³로 최고이며 이때 열전도율은 0.1041 w/mk, 또한 탄화 목재는 탄화온도 1,000°C일 때 밀도 0.41 g/cm³로 최고이며 열전도율은 0.1072 w/mk로 나타나 일반적으로 목재의 밀도가 증가할수록 열전도율이 커진다는 경향과 같았다(강등, 2008). 또한 Nanoka 등(1999)은 활엽수 MDF로 제조된 우드세라믹의 밀도에 따른 열전도율을 측정 한 결과, 탄화온도 650°C 시편은 밀도가 0.32 g/cm³에서 0.82 g/cm³로 증가함에 따라 열전도율은 0.085 W/mk에서 0.259 W/mk로, 탄화온도 800°C 시편은 밀도가 0.40 g/cm³에서 0.84 g/cm³로 증가함에 따라 열전도율은 0.113 W/mk에서 0.386 W/mk 로 증가하였다고 보고한 바 있어, 열전도율은 밀도와 깊은 관계가 있음을 밝힌 바 있다.

이러한 결과는 최근 차 등(2011)이 측정한 목질 마루 바닥재의 열전도율 측정값 중 원목마루 0.1281 w/mk, 합판마루 0.0799 w/mk와는 비슷하나 강화마루 0.2200 w/mk보다는 낮아 재료의 밀도차이에 의한 결과로 생각된다.

Table 4. Electrical properties and stability of surface temperature

Sample	ER ($\Omega \cdot \text{cm}$)	Voltage (V)	EC (A)	EP (W)	Time (min)	T ($^{\circ}\text{C}$)
C-MDF	204	21	0.6	13	4	30.6
		3.5	1.0	3.6	20	36.2
		4.1	1.3	6.5	26	47.5
C-PB	288	2.2	4.6	10.7	30	50.0
		3.1	7.2	23.4	37	77.7
		3.9	10.7	44.5	15	93.3
C-PW	253	2.4	1.6	3.9	12	32.7
		3.3	2.3	13.9	16	40.1
		4.1	3.4	24.2	16	51.1
C-WOOD	328	2.2	3.1	6.9	20	46.6
		3.3	4.3	13.9	26	53.2
		3.8	6.4	24.2	15	71.6

C-MDF, C-PB, C-PW, C-WOOD : See table 2

ER : Electric resistance, EC : Electric current, EP : Electric power, T : Temperature

3.2. 전기적 성질

4종류 탄화보드의 비저항값 및 전압에 따른 전기적 성질 및 표면온도 안정화 시간을 측정한 결과를 Table 4에 나타냈다. 탄화온도 600 $^{\circ}\text{C}$ 이하로 탄화된 시편은 일정한 범위 내에서 비저항값이 너무 커서 거의 절연체에 가까웠기 때문에 비저항값이 2~4 $\Omega \cdot \text{cm}$ 인 시편을 선택하였다. 이때 선택된 시편은 탄화 MDF, 탄화 파티클보드 및 탄화 목재는 900 $^{\circ}\text{C}$, 탄화 합판은 1,000 $^{\circ}\text{C}$ 에서 탄화된 시편이다.

탄화 MDF는 비저항값 2.04 $\Omega \cdot \text{cm}$ 일 때 2.1 V의 전압을 가할 경우 4분 후에 30.6 $^{\circ}\text{C}$ 로, 4.1 V의 전압일 때 26분 후에 47.5 $^{\circ}\text{C}$ 로 시간이 더 경과하여도 표면온도의 변화는 없었다. 탄화 파티클보드는 비저항값이 2.88 $\Omega \cdot \text{cm}$ 일 때 2.2 V의 전압으로 통전할 경우 30분 후의 표면온도가 50.0 $^{\circ}\text{C}$ 로, 3.9 V의 전압일 경우 15분 후에 93.3 $^{\circ}\text{C}$ 로 안정화되어 더 이상 시간이 경과하여도 온도는 일정하였다. 탄화 합판은 비저항값 2.53 $\Omega \cdot \text{cm}$ 일 때 2.4 V의 전압을 가할 경우 12분 후에 32.7 $^{\circ}\text{C}$ 로, 4.1 V의 전압일 때 16분 후에 51.1 $^{\circ}\text{C}$ 로 시간이 더 경과하여도 표면온도의 변화는 없었다. 탄화 목재는 비저항값 3.28 $\Omega \cdot \text{cm}$ 일 때 2.2 V의 전압을 가할 경우 20분 후에 표면온도가 46.6 $^{\circ}\text{C}$

로, 3.8 V의 전압일 때 15분 후 71.6 $^{\circ}\text{C}$ 로 표면온도가 안정화되었다. 이와 같이 전압을 높게 하여 통전하였을 때 각 탄화보드의 전류, 전력 및 표면온도는 높게 나타남을 알 수 있었다.

또한, 탄화 합판이 비슷한 비저항값인 탄화 파티클보드보다 빠른 시간 내에 낮은 온도에서 표면온도가 안정화된 것은 탄화 후 합판의 밀도가 0.34 g/cm^3 로 탄화 파티클보드의 밀도인 0.54 g/cm^3 보다 상대적으로 작았기 때문으로 생각되어 보드의 밀도도 도전성에 어느 정도 영향을 미치는 것으로 생각된다.

4. 결 론

목질계 탄화보드의 실용화를 위한 기초연구로 중 밀도섬유판, 파티클보드, 합판 및 물푸레나무 목재를 400~1,100 $^{\circ}\text{C}$ 로 탄화하여 탄화온도에 따른 열전도율 및 전기적 성질을 조사한 결과는 다음과 같다.

1) 열전도율을 조사한 결과, 탄화 MDF는 1,100 $^{\circ}\text{C}$ 일 때 0.1057 w/mk, 탄화 파티클보드는 900 $^{\circ}\text{C}$ 일 때 0.1326 w/mk, 탄화 합판은 1,000 $^{\circ}\text{C}$ 일 때 0.1041 w/mk, 그리고 탄화 목재는 1,000 $^{\circ}\text{C}$ 일 때 0.1072 w/mk로 우수하였다.

2) 탄화보드의 밀도가 클수록 열전도율은 빨랐으

며, 비저항값은 탄화온도가 높을수록 감소하여 탄화 온도 1,000°C 이후에는 거의 도체에 가까운 값을 나타냈다.

3) 높은 전압으로 탄화보드에 전기를 통했을 때 전류와 전력은 증가하였으며 표면온도가 높았다.

결론적으로 본 연구를 통하여 목질계 탄화보드의 열전도율 및 전기적 특성이 밝혀졌고, 탄화보드의 물성을 구명함에 있어 기초자료로 이용될 수 있을 것이라 사료된다. 그리고 금후 탄화보드를 이용한 온열 침대판의 개발에 유용하게 활용될 것이라 생각된다.

참 고 문 헌

1. 강춘원 등. 2008. 목재물리 및 역학. p. 118.
2. 박상범. 2007. 목질패널류를 이용한 유해 VOC 흡착 패널 및 그 제조방법. 특허 제 10-0776545.
3. 박상범. 2008. 전자과차폐용 목질계 탄화보드 개발. 숲과 목초역 28: 16~26.
4. 박상범 등. 2008. 목질제품의 VOC 평가 및 개선. 국립산림과학원 연구보고 08-20-264-396.
5. 박상범, 이상민, 박종영, 이선화. 2009. 섬유판을 이용한 무할랄 탄화보드 제조. 목재공학 37(4): 293-299.
6. 오승원. 2004. 간벌재를 이용한 기능성 woodceramics 발열판 제조기술개발. 농림부 최종연구보고서: 109~110.
7. 오승원. 2007. 통전한 우드세라믹의 전기적 성질. 목재공학 35(4): 9~13.
8. 오승원, Okabe, T. and T. Hirose. 2000. 삼나무 간벌재로 제조된 우드세라믹의 전기적 성질. 한국가구학회지 11(1): 31~36.
9. 이선화, 박상범, 권성민, 박종영, 김남훈. 2009. 주사전자현미경 및 X선 회절법에 의한 탄화 MDF의 특성. 목재공학 37(3): 208~215.
10. 차정훈, 서정기, 김수민. 2011. 목질마루바닥재와 벽체용 재료를 이용한 평판열류계법과 MTPS (Modified Transient Plane Source)법의 열전도율 상관관계분석. 한국가구학회지 22(2): 118~125.
11. Nonaka, K., M. Fushitani, T. Hirose, and T. Okabe. 1999. Thermal conductivity of woodceramics. Proceeding of 11th MRS-J annual meeting Session 1. New Plant Materials. pp. 98~101.
12. Shibata, k., T. Okabe, K. Satio, T. kayama, M. Shimada, A. yamamura, and R. yamamoto. 1997. Electromagnetic shielding properties of woodceramics made from wastepaper. Journal of Porous Materials 4: 269~275.
13. Suda, T., N. Kondo, T. Okabe, and K. Saito. 1999. Electrical properties of woodceramics. Journal of Porous Materials 6: 255~258.