

## 섬유판을 이용한 무할렬 탄화보드 제조\*<sup>1</sup>

박 상 범\*<sup>2†</sup> · 이 상 민\*<sup>2</sup> · 박 종 영\*<sup>2</sup> · 이 선 화\*<sup>2</sup>

## Manufacture of Crack-free Carbonized Board from Fiberboard\*<sup>1</sup>

Sang-Bum Park\*<sup>2†</sup> · Sang-Min Lee\*<sup>2</sup> · Jong-Young Park\*<sup>2</sup> · Seon-Hwa Lee\*<sup>2</sup>

### 요 약

섬유판을 이용한 탄화보드의 제조에 있어 무할렬 탄화법 및 탄화온도에 따른 수축률, 중량감소를 및 밀도변화에 대해 검토하였다. 섬유판을 두께별(3, 4.5, 6, 18 mm)로 준비한 후, 실험실용 탄화로를 사용하여 400°C~1,000°C의 온도조건에서 탄화보드를 제조하였다. 무할렬 탄화법은 시험편에 상하 눌림판을 설치하여 압제 탄화하는 방법을 적용하였다. 압제 탄화법에 의해 섬유판의 갈라짐과 뒤틀림 현상이 발생하지 않는 무할렬 탄화보드의 제조가 가능하였다. 탄화보드의 수축률은 길이방향 10~25%, 폭방향 12~25%, 두께방향 28~48%로 두께방향의 수축이 가장 크고 탄화온도가 상승함에 따라 커지는 경향이 나타났다. 탄화보드의 중량감소율은 섬유판의 두께에 따른 큰 차이는 나타나지 않았고 탄화온도가 상승함에 따라 커지는 경향이 나타났다. 탄화보드의 밀도는 두께 3 mm의 경질 섬유판에서 가장 컸고 탄화온도가 상승함에 따라 커지는 경향이 나타났다.

### ABSTRACT

In manufacturing the crack-free carbonized boards using fiberboards, shrinking ratio, weight loss and density variation of carbonized boards at each carbonization temperature were investigated. Fiberboards with thickness of 3, 4.5, 6, and 18 mm were carbonized while pressed with pressure plates at different temperature from 400°C to 1,000°C using a ordinary laboratory furnace. Either of crack or twist was not observed in fiberboards by adapting the pressing carbonization method. The ratios of shrinkage of length, width, and thickness were 10~25%, 12~25%, and 28~48%, respectively, and shrinkage ratio of thickness was higher than those of length and width with increasing the carbonization temperature. Weight loss tended to increase with increasing the carbonization temperature, but low correlation between weight loss in thickness of fiberboards and carbonization temperature was observed. Density of 3 mm carbonized hardboard had the highest value and it tended to increase with increasing the carbonization temperature.

\*<sup>1</sup> 접수 2009년 2월 23일, 채택 2009년 3월 23일

\*<sup>2</sup> 국립산림과학원 임산공학부, Dept. of Forest Products, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea.

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

**Keywords:** fiberboard, crack-free carbonization method, carbonized board, shrinkage, weight loss, laboratory furnace

## 1. 서 론

목질판상제품은 특유의 균질성과 가공성으로 인하여 가구 및 내장용재로 사용이 가능하기 때문에 1990년대 초부터 생산량은 증가하고 있고(FAO, 1993; 박 등, 2008) 산업 전반에 걸쳐 폭넓게 이용되고 있다. 또한 실내공기질관리법의 강화, 새집증후군, 웰빙(Well-being) 수요 증가 등으로 정유, 세라믹, 광촉매제 등 친환경 건축자재가 큰 인기를 끌고 있다(박, 2006; 박 등, 2007). 그러나 싱크대나 가구, 붙박이장에 널리 이용되는 중밀도섬유판(MDF), 파티클보드(PB) 등 각종 목질판상제품의 제조에는 포름알데히드계 접착제가 사용된다(강과 이, 2004). 따라서 목질판상제품은 사용하는 과정에서 잔류된 미반응 포름알데히드 또는 자체적인 가수분해에 의해 실내에 포름알데히드를 방출하여 새집증후군을 일으키는 원인이 된다(Baumann *et al.*, 2005; 박 등, 2006; 이 등, 2007; 장과 김, 2008). 세계보건기구(WHO)가 포름알데히드에 발암성분이 들어있다고 인정한 보고서를 발표하여 사람의 건강에 미치는 문제점이 가시화되면서 목질보드로부터 방출되는 포름알데히드를 줄이기 위한 규제를 한층 강화하였다(환경부, 2004; 2006; 이 등, 2007).

이러한 목질판상제품의 문제점을 해결하고자 유해성분을 흡착, 분해하는 숯과 숯성형체에 대한 관심이 증가하고 있다. 숯을 이용한 건축자재 시장을 살펴보면, 숯은 판상으로 만들기 곤란하여 본래 형상대로 건축재료로 사용하는 일은 거의 없고, 대부분 숯과 송진, 황토, 맥반석 등 다른 기능성 물질을 혼합하고 유기 혹은 무기계 바인더로 성형한 제품, 다시 말해 숯가루에 접착제를 혼합하여 높은 압력을 가한 상태에서 고열 또는 상온에서 성형시켜 만든 제품이 대부분을 차지한다. 이와 같이 높은 압축에 의해 성형된 숯성형체는 대부분 비중이 높아 무겁고 접착제의 사용에 의해 숯 고유의 흡착력을 충분히 발휘하기 곤란하며, 또한 장기적인 수분 흡수에 의해 갈라지는 현

상이 관찰되기도 한다.

박(2007)은 이방성이 적은 섬유판을 이용하여 유해 휘발성유기화합물(VOC)과 포름알데히드 방출이 전혀 없고 전자파차폐, 원적외선방출 등 백탄과 같은 성능을 가진 판상의 기능성 탄화보드의 개발을 위한 일련의 연구를 수행하고 있다. 그러나, 기존의 탄화과정에서는 섬유판이 그 형태를 유지하기 곤란하여 대부분 휘고 터지고 갈라지는 현상이 발생하게 된다.

목재의 탄화물인 목탄은 수은 흡착 및 토질개선 등 유해성분 제거 및 내화재, 흡음재, 전자파차단에 있어서 탁월한 성능을 가진 환경 친화적 소재라 알려져 있다(Novicio *et al.*, 2001; 2001). 이러한 목탄에 관한 연구는 상당히 많이 수행되어 왔고, 그 필요성과 효과에 관한 연구 역시 다양한 측면에서 조사되어 왔다(권과 김, 2006; 2007; Kim and Hanna, 2006; Saito and Arima, 2007). 또한 숯 분말을 이용하여 복합보드의 제조(박 등, 2007; 박 등, 2008) 등 최근 탄화소재의 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며 그 필요성이 점차 부각되고 있는 실정이다.

그러나 목질섬유를 사용하여 제조된 섬유판을 탄화한 탄화보드의 관한 연구는 소수에 불과하다. Kercher와 Nagle (2002; 2003)은 탄화 MDF는 연료전지의 격리판, 전기집전장치와 같이 산업용으로 사용할 수 있는 저가의 경질탄소를 생산할 수 있고 특유의 가공성으로 다른 소재에 비해 형태의 전환이 가능하다고 보고하였다. 또한 오와 변(2002; 2003)은 MDF로 제조된 우드세라믹에 대하여 탄화 온도에 따른 특성을 조사하여 탄화된 MDF 우드세라믹은 내부식성, 전자파차폐효과 및 원적외선 방사 등 다양한 특성을 지닌 다공질 탄소재료라고 보고하였다.

저자들은 기존 숯 분말의 압축에 의해 성형된 숯보드가 아닌 섬유판 등 목질재료의 직접 탄화에 의해 무할렐 탄화보드를 제조하고, 탄화보드를 새로운 다기능성 건축자재로 이용하고자 일련의 연구를 수행하여 왔다. 본 연구에서는 이를 위한 기초 연구로써 섬유판을 이용한 무할렐 탄화기술을 검토하는 한편,

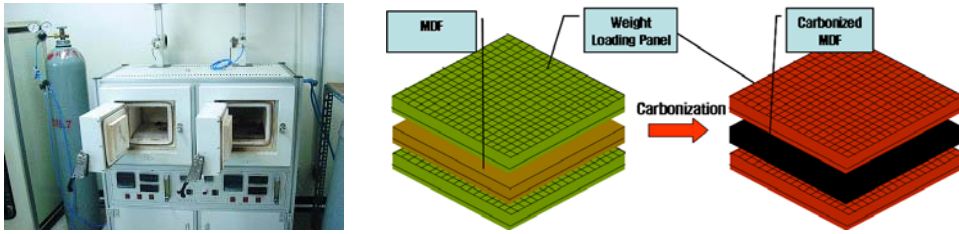


Fig. 1. Laboratory furnace (Left) and new carbonization method (Right).

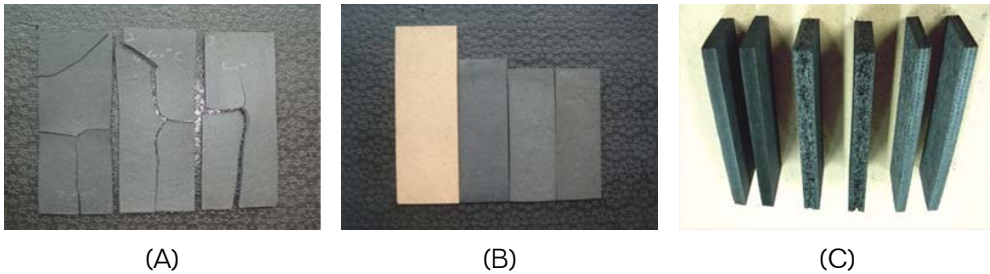


Fig. 2. Carbonized boards by traditional carbonization method (A) and pressed carbonization method (B and C).

새로운 압제 탄화기술을 적용하여 섬유판의 두께 및 탄화온도에 따른 수축률, 중량감소율 및 밀도변화에 대해 조사 및 검토하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 탄화보드의 제조

시중에 유통되고 있는 섬유판을 두께 및 밀도별(3 mm  $0.84 \text{ g/cm}^3$ , 4.5 mm  $0.87 \text{ g/cm}^3$ , 6 mm  $0.82 \text{ g/cm}^3$ , 18 mm  $0.74 \text{ g/cm}^3$ )로 준비한 후  $5 \times 15 \text{ cm}$  크기의 시험편으로 재단한 후 실험실용 탄화로를 사용하여  $400^\circ\text{C} \sim 1,000^\circ\text{C}$ 의 온도 조건에서 탄화보드를 제조하였다. 승온 속도는 시간당  $100^\circ\text{C}$ 로 하였으며, 설정온도 도달 후 2시간 유지시킨 다음 자연 냉각하였다. 무처리 탄화법은 시험편을 소형 사각 내열 용기 속에 그대로 넣어 탄화하였고, 처리 탄화법은 Fig. 1에서와 같이 시험편을 늘림판으로 압제하에서 탄화하였다. 늘림판은 스테인레스 재질의 상판과 중판의 2종이 사용되었고, 최상판은 약 3 kg, 중판은 약

0.5 kg의 중량을 가진다.

### 2.2. 탄화보드의 수축률, 중량감소율 및 밀도변화

4종의 두께별 섬유판의 탄화온도에 따른 방향별 수축율과 중량감소율 및 밀도변화를 조사하였다. 탄화온도별 섬유판을 각 2개씩 탄화하여, 탄화 전후의 섬유판 시험편의 중량 및 치수변화는 전자저울 및 버니어캘리퍼스 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 탄화보드의 제조특성

미처리 탄화법과 처리 탄화법(압제 탄화법)에 의해 제조한 탄화보드를 Fig. 2에 나타내었다. 일반적으로 고온 탄화 과정에서는 필연적으로 갈라짐이나 뒤틀림이 발생하지만(Fig. 2(A)), 본 기술을 적용하면 갈라짐과 틀어짐을 방지할 수 있다(Fig. 2(B)).

Table 1. Shrinkage ratio of carbonized fiberboards with each temperature (Unit: %)

Sample	Carbonization temperature (°C)							
	400	500	600	700	800	900	1000	
3 mm	L	14.01 ± 0.22	16.82 ± 0.24	20.10 ± 0.17	22.63 ± 0.57	23.10 ± 0.10	24.38 ± 0.03	25.23 ± 0.27
	W	13.07 ± 0.08	16.15 ± 0.52	21.10 ± 0.32	22.82 ± 0.26	24.46 ± 0.10	25.01 ± 0.29	25.41 ± 0.34
	T	28.37 ± 0.63	31.11 ± 1.78	32.88 ± 0.24	34.60 ± 0.41	38.43 ± 0.18	43.91 ± 2.23	46.21 ± 1.10
4.5 mm	L	13.87 ± 0.21	15.66 ± 0.19	19.68 ± 0.20	22.33 ± 0.15	23.52 ± 0.30	24.73 ± 0.00	25.02 ± 0.24
	W	12.15 ± 0.25	14.75 ± 0.22	19.95 ± 0.02	22.18 ± 0.26	23.61 ± 0.15	24.14 ± 0.42	24.90 ± 0.19
	T	33.75 ± 1.61	35.71 ± 2.80	36.89 ± 1.05	39.28 ± 0.19	42.30 ± 0.67	45.30 ± 0.36	47.18 ± 1.09
6 mm	L	13.47 ± 0.76	16.12 ± 0.40	19.46 ± 0.43	22.20 ± 0.24	23.19 ± 0.54	23.68 ± 0.87	24.64 ± 0.63
	W	12.45 ± 0.38	14.94 ± 0.45	19.99 ± 0.07	22.08 ± 0.16	23.61 ± 0.18	23.95 ± 0.19	24.77 ± 0.02
	T	28.15 ± 0.30	29.61 ± 0.14	31.48 ± 0.67	34.34 ± 0.75	38.21 ± 0.09	46.43 ± 0.03	48.19 ± 1.23
18 mm	L	10.08 ± 0.07	16.98 ± 1.05	18.46 ± 0.12	20.94 ± 0.35	23.10 ± 0.08	25.32 ± 0.90	24.92 ± 0.20
	W	9.93 ± 0.02	14.04 ± 0.07	16.77 ± 0.75	18.11 ± 0.20	20.78 ± 0.02	21.31 ± 0.17	21.27 ± 0.67
	T	32.51 ± 0.54	36.68 ± 0.13	37.21 ± 0.01	39.33 ± 0.84	36.52 ± 0.02	40.32 ± 3.51	37.11 ± 1.33

L : length, W : width, T : thickness

처리 탄화법에서는 내열용기와 눌림판을 효과적으로 사용하였다. 이러한 압제 탄화기술은 실험용 전기로 뿐 아니라 전통식 숯가마 또는 대형 전기로에서 50 × 50 cm 크기의 넓은 탄화보드의 제조에도 적용 가능함을 확인하였다. 뒤틀림 방지를 위해서는 시험편의 상·하부에 중량 내열판으로 하중을 가하는 것이 필수적이다. 본 탄화기술의 적용에 의해 Fig. 2(C)에서 보듯이 섬유판, 합판, 파티클보드의 탄화보드 제조에서도 마찬가지로 갈라짐과 뒤틀림을 방지할 수 있었다.

한편, 기존의 숯으로 제조한 성형보드와 목질판상제품으로 만든 탄화보드의 가장 큰 차이점은 숯가루로 성형한 제품은 최종 상품화 단계에서도 접착제가 잔류하지만 목질판상제품으로 탄화한 것은 탄화과정에서 휘발성의 접착제 성분은 모두 타버리고 탄소로 변하므로 유해한 성분은 전혀 남아있지 않다는 것이다.

### 3.2. 탄화보드의 수축률, 중량감소율 및 밀도변화

Table 1은 두께 3 mm, 4.5 mm, 6 mm, 18 mm 섬유판의 탄화온도(400~1,000°C)에 따른 각 방향별 수축률을 조사한 결과이다. 길이방향의 수축률은 3 mm

14.0~25.2%, 4.5 mm 13.9~25.0%, 6 mm 13.4~24.6%, 18 mm 10.1~24.9%로 나타났고, 폭방향의 수축률은 3 mm 13.1~25.4%, 4.5 mm 12.2~24.9%, 6 mm 12.5~24.8%, 18 mm 9.9~21.3%로 나타났다. 또한 두께방향 수축률은 3 mm 28.4~46.2%, 4.5 mm 33.8~47.2%, 6 mm 28.2~48.2%, 18 mm 32.5~37.1%로 나타났다. 길이와 폭 방향의 수축률은 크게 차이가 나지 않았으나 두께방향의 수축률에서 탄화온도에 따른 상당한 차이가 나타났고, 모든 시료에서 탄화온도가 상승함에 따라 각 방향별 수축률이 커지는 것으로 나타났다. 또한 대체적으로 섬유판의 두께가 두꺼울수록 수축률은 작아지는 것을 알 수 있었다.

Fig. 3은 3 mm, 4.5 mm, 6, 18 mm 섬유판의 탄화온도에 따른 길이(A), 폭(B), 두께(C)방향 수축률 변화를 나타낸 것이다. 수축률은 길이방향 10~25%, 폭방향 12~25%, 두께방향 28~48% 내에서 변동하였고, 저온탄화(400°C)에서 가장 낮게 나타나다가 탄화온도가 상승함에 따라 점차 커지는 경향을 보여주었다. 또한 400~700°C까지는 다소 급격하게 증가다가 그 후 일정한 경향이 나타났다. 그리고 대체적으로 수축률은 섬유판의 두께가 얇고 밀도가 높은 박판의 경우가 후판에 비하여 큰 수축률을 보여주었다.

섬유판을 이용한 무할렐 탄화보드 제조

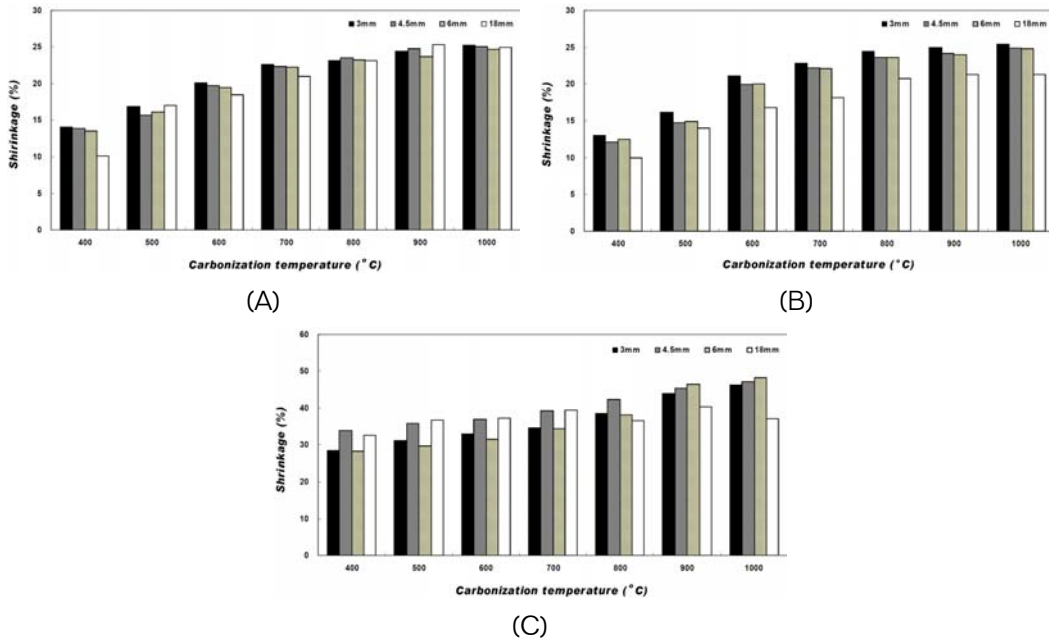


Fig. 3. Variations in shrinkage of carbonized fiberboards with each temperature (Notes: A : Shrinkage of length, B : Shrinkage of width, C : Shrinkage of thickness).

Table 2. Weight loss of carbonized fiberboards with each temperature (Unit : %)

Sample	Carbonization temperature (°C)						
	400	500	600	700	800	900	1000
3 mm	63.30 ± 0.58	66.85 ± 0.29	71.60 ± 0.20	72.79 ± 0.50	73.86±0.07	74.07 ± 0.09	74.23 ± 0.09
4.5 mm	66.63 ± 0.53	69.12 ± 0.21	72.41 ± 0.92	73.97 ± 0.33	74.87 ± 0.05	75.23 ± 0.11	75.52 ± 0.14
6 mm	67.01 ± 0.29	69.08 ± 0.33	72.12 ± 0.13	74.43 ± 1.14	74.77 ± 0.03	75.46 ± 0.35	76.20 ± 1.13
18 mm	65.19 ± 0.08	69.43 ± 0.31	71.66 ± 0.03	72.41 ± 0.03	74.32 ± 0.19	76.27 ± 1.21	76.57 ± 0.05

탄화보드의 수축률에 관한 연구에서 Kercher와 Nagle (2003)은 탄화 MDF의 수축률은 900°C까지 탄화온도가 상승할수록 점차 증가하고, 이후 일정한 경향을 나타낸다고 보고하고 있어 본 연구와 유사하였다.

Table 2는 3 mm, 4.5 mm, 6 mm, 18 mm 섬유판의 탄화온도에 따른 중량감소율을 조사한 결과이다. 중량감소율은 3 mm 63.3~74.2%, 4.5 mm 66.6~75.5%, 6 mm 67.0~76.2%, 18 mm 65.2~76.6%로 나타났고 탄화온도가 점차 상승함에 따라 중량감소율은 커지는 경향이 나타났다. 그리고 탄화온도에 따

른 차이는 나타났으나 섬유판의 두께에 따른 큰 차이는 나타나지 않았다.

Fig. 4는 3 mm, 4.5 mm, 6 mm, 18 mm MDF의 탄화온도에 따른 중량감소율의 변화를 나타낸 것이다. 중량감소율은 65~77% 범위 내에서 변동하였고, 저온탄화(400°C)에서 가장 낮게 나타나다가 탄화온도가 상승함에 따라 점차 커지는 경향을 보여주었다. 또한 섬유판의 두께에 관계없이 일정한 중량감소율을 보여주었다.

탄화보드의 중량감소에 관한 연구에서 Kercher와

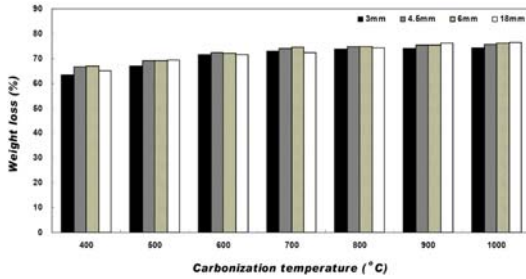


Fig. 4. Variations in weight loss of carbonized fiberboards with each temperature.

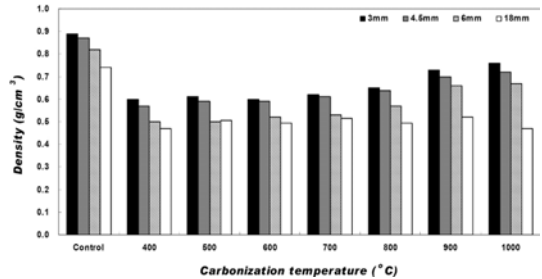


Fig. 5. Variations in density of carbonized fiberboards with each temperature.

Table 3. Density of carbonized fiberboards with each temperature (Unit : g/cm<sup>3</sup>)

Sample	Carbonization temperature (°C)							
	Control	400	500	600	700	800	900	1000
3 mm	0.89 ± 0.01	0.60 ± 0.00	0.61 ± 0.03	0.60 ± 0.00	0.62 ± 0.01	0.65 ± 0.01	0.73 ± 0.03	0.76 ± 0.02
4.5 mm	0.87 ± 0.01	0.57 ± 0.00	0.59 ± 0.02	0.59 ± 0.02	0.61 ± 0.01	0.64 ± 0.01	0.70 ± 0.02	0.72 ± 0.03
6 mm	0.82 ± 0.01	0.50 ± 0.00	0.50 ± 0.01	0.52 ± 0.00	0.53 ± 0.02	0.57 ± 0.00	0.66 ± 0.02	0.67 ± 0.03
18 mm	0.74 ± 0.01	0.47 ± 0.00	0.51 ± 0.01	0.50 ± 0.00	0.52 ± 0.01	0.50 ± 0.02	0.52 ± 0.04	0.47 ± 0.01

Nagle (2003)은 탄화 MDF의 중량은 탄화온도가 상승할수록 점차 감소한다고 보고하고 있어 본 연구와 유사하였다.

Table 3은 3 mm, 4.5 mm, 6 mm, 18 mm 섬유판의 탄화온도에 따른 밀도변화를 조사한 결과이다. 밀도는 3 mm 0.60~0.76 g/cm<sup>3</sup>, 4.5 mm 0.57~0.72 g/cm<sup>3</sup>, 6 mm 0.50~0.67g/cm<sup>3</sup>, 18 mm 0.47~0.52 g/cm<sup>3</sup>로 나타났고 18 mm MDF를 제외한 모든 시료에서 탄화온도가 상승함에 따라 밀도는 커지는 것으로 나타났다. 또한 대체적으로 섬유판의 두께가 두꺼울수록 밀도는 작게 나타났다.

무처리 섬유판에서 400°C까지는 접착제가 탄화되어 소실되므로 급격한 밀도의 감소현상이 나타나지만 이후 탄화온도가 상승함에 따라 수축률은 커져 체적은 감소하는 반면 중량감소율은 큰 차이가 나타나지 않아 상대적으로 밀도가 커지는 것으로 사료 된다.

Fig. 5는 3 mm, 4.5 mm, 6 mm, 18 mm 섬유판의 탄화온도에 따른 밀도의 변화를 나타낸 것이다. 밀도는 0.47~0.76 g/cm<sup>3</sup> 범위 내에서 변동하였고, 저온 탄화(400°C)에서 가장 낮게 나타나다가 탄화온도가

상승함에 따라 점차 커지는 경향을 보여주었다. 그러나 18 mm MDF에서는 탄화온도에 따른 두드러진 증가는 나타나지 않았다. 섬유판의 두께가 얇은 박판의 경우, 밀도가 가장 컸고 후판의 경우 가장 작은 것으로 보아 섬유판의 두께가 밀도의 다소 영향을 미치는 것으로 사료된다.

탄화보드의 밀도에 관한 연구에서 Kercher와 Nagle (2002; 2003)은 탄화 MDF의 밀도는 900°C까지 0.60 g/cm<sup>3</sup>까지 증가하다가 이후 감소한다고 보고하고 있으나, 본 연구에서는 1,000°C까지 증가하는 것으로 나타나 다소 차이는 존재하나 대체적으로 유사한 결과를 보여주었다. 섬유판의 밀도는 최초 0.74~0.89 g/cm<sup>3</sup>로 나타났으나 탄화보드의 경우, 400°C에서 0.51~0.61g/cm<sup>3</sup>로 32.6~39.0% 감소하였으며, 1000°C에서 0.47~0.76 g/cm<sup>3</sup>로 14.6~36.5% 경량화가 이루어졌다.

## 4. 결 론

섬유판을 이용한 탄화보드의 제조에 있어 무할렐

탄화법 및 탄화온도에 따른 수축률, 중량감소율 및 밀도변화에 대해 검토하였다. 압제 탄화법은 탄화 과정에서 섬유관의 갈라짐과 뒤틀림 현상을 발생시키지 않으며 탄화보드를 제조할 수 있는 매우 효과적인 방법이었다. 탄화보드의 수축률은 두께방향이 가장 크고 중량감소율은 섬유관의 두께에 따른 큰 차이는 없었고, 탄화온도가 상승함에 따라 커지는 경향이 나타났다. 탄화보드의 밀도는 두께 3 mm의 경질 섬유관에서 가장 크게 나타났고 탄화온도가 상승함에 따라 커지는 경향을 보였다.

섬유관을 이용한 무할렐 탄화보드의 제조 기술과 탄화온도에 따른 치수, 중량 및 밀도 변화에 대한 연구는 탄화보드의 기초적 연구로서 가치가 있을 것이라 사료된다. 숲의 기능을 그대로 살린 판상의 탄화보드에 대한 산업적 기대는 매우 높은 편이며, 금속 포름알데히드 등 유해화학물질에 대한 흡착재료, 전자파차폐소재, 내화재료 등 다양한 분야로의 응용이 기대된다.

## 참 고 문 헌

- 강석구, 이화형. 2004. 분말상 탄닌수지를 이용한 파티클 보드의 제조기술 및 물성개선. 목재공학 32(1): 80~87.
- 강은창, 박병대, 박종영. 2004. 포름알데히드/요소 물비에 따른 요소수지의 경화거동 및 포름알데히드 방출량. 한국임산에너지 춘계학술발표 논문집. pp. 70~73.
- 권성민, 김남훈. 2006. 목재의 탄화기구 해석(I). 목재공학 34(3): 8~14.
- 권성민, 김남훈. 2007. 목재의 탄화기구 해석(II). 목재공학 35(3): 45~52.
- 박용배, 김철상, 정병현. 2008. 국내 MDF생산 장기전망과 국산 침엽수원목 공급방안. 한국임학회지 97(1): 45~52.
- 박상범. 2006. 은행나무 잎을 혼합하여 제조한 파티클 보드의 물리·기계적 성질과 포름알데히드 저감효과. 임산에너지 25(2): 28~33.
- 박상범. 2007. 포름알데히드를 제거하는 탄화보드 개발. 월간산림과학정보 189: 67.
- 박상범, 김수원, 박종영, 문성필, 전진만. 2005. 대나무 숯-플라스틱 복합보드의 물리·기계적 성질과 VOCs 흡착. 한국가구학회지 16(3): 28~35.
- 박상범, 이상민, 박종영, 강은창. 2007. 폐목재 탄화물로 제조한 파티클보드의 물성과 포름알데히드 방출량. 한국가구학회지 18(3): 205~210.
- 오승원, 변희섭. 2002. MDF로 제조된 우드세라믹의 성질. 목재공학 30(2): 115~120.
- 오승원, 변희섭. 2003. MDF로 제조된 우드세라믹의 표면온도 변화(II) -수지 함침율과 소성온도의 영향. 목재공학 31(1): 41~45.
- 이상민, 강은창, 박종영. 2007. 국내생산 MDF용 접착제의 현황과 개선을 위한 연구. 한국가구학회 2007년도 춘계학술발표대회 논문집. pp. 93~96.
- 장정국, 김미란. 2008. 합판 제조용 목재 건조공정에서의 휘발성유기화합물(VOCs) 배출특성. 한국환경학회지 17(12): 1381~1390.
- 환경부. 2004. 실내공기질관리 업무편람. p. 157.
- 환경부. 2006. 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법.
- Baumann, M. G. D, L. F. Lorenz, S. A. Batterman, and G. Z. Zhang. 2000. Aldehyde emissions from particleboard and medium density fiberboard products. Forest Product Journal 50(9): 75~82.
- FAO. 1993. Yearbook of forest products.
- Kercher, A. K. and D. C. Nagle. 2002. Evaluation of carbonized medium-density fiberboard for electric applications. Carbon 40: 1321~1330.
- Kercher, A. K. and D. C. Nagle. 2003. Microstructural evolution during charcoal carbonization by X-ray diffraction analysis. Carbon 41: 15~27.
- Kim, N. H. and R. B. Hanna. 2006. Morphological characteristics of Quercus variabilis charcoal prepared at different temperatures. Wood Science and Technology 40(5): 392-401.
- Novicio, L. P, T. Hata, Y. Kurimoto, S. Doi, S. Ishihara, and Y. Imamura. 2001. Absorption capacities and related characteristics of wood charcoals carbonized using a one-step or two-step process. Journal of Wood Science 47: 48~57.
- Novicio, L. P, Y. Kurimoto, M. Aoyama, K. Seki, S. Doi, T. Hata, S. Ishihara, and Y. Imamura. 2001. Absorption of mercury by sugi wood carbonized at 1,000°C. Journal of Wood Science 47: 159~162.
- Saito, Y. and T. Arima. 2007. Features of vapor-grown cone-shaped graphitic whiskers deposited in the cavities of wood cells. Carbon 45: 248~255.