

## 대나무숯 성형보드의 연소특성\*1

박상범\*2† · 박주생\*2

### Combustion Characteristics of Bamboo Charcoal Boards\*1

Sang-Bum Park\*2† · Joo-Saeng Park\*2

#### 요 약

본 연구에서는 대나무숯의 인테리어용 건축자재로의 이용을 위하여 대나무숯 성형보드를 개발코자 하였다. 대나무숯 성형보드의 난연성능 확보를 위해 대나무숯과 발포질석 및 무기계 바인더를 혼합, 성형하여 제조하였다. 초기 열류량  $50 \text{ kW/m}^2$ 의 조건에서 콘칼로리미터에 의한 대나무숯 성형보드의 연소시험이 수행되었다. 중량 감소율, 총열방출량, 최대열방출률의 연소가동을 관찰하기 위하여 3종의 건축재료(합판, 일본산 죽탄보드, 석고보드)를 사용하였으며, 표면시험 및 가스유해성을 조사하였다. 대나무숯 성형보드의 중량감소율은 연소 10분 후 12.0%로 불연성 석고보드의 중량감소율(15.6%)보다 작았다. 연소 개시 5분 시점에서 대나무숯 성형보드의 총열방출률은  $3 \text{ MJ/m}^2$ , (KS 기준  $8 \text{ MJ/m}^2$  이하)이며, 최대열방출률은  $20 \text{ kW/m}^2$  (KS 기준  $200 \text{ kW/m}^2$  이하)를 나타내어 난연3급의 건축재료에 해당되었다. 연소에 따른 외관상 변형과 방출가스에 의한 마우스 유해성은 나타나지 않았다.

#### ABSTRACT

The fire retardant bamboo charcoal (BC) boards were manufactured for interior building materials in this study, The BC boards were manufactured by mixing and pressing of the bamboo charcoal, expanded vermiculite, and inorganic binder. The combustion behaviors of the BC boards were investigated using a cone calorimeter at an incident heat flux of  $50 \text{ kW/m}^2$ . Three building materials (plywood, BC board of Japan, and gypsum board) were used to observe the burning behaviors of weight loss, total heat release rate, and maximum heat release rate. Surface test and toxicity evaluation of the BC board were also conducted. The weight loss of the BC board (12.0%) was lower than the nonflammable gypsum board (15.6%) after burning of 10 min. Total heat

\*1 접수 2011년 11월 9일, 채택 2011년 12월 23일

\*2 국립산림과학원 임산공학부. Dept. of Forest Products, Korea Forest Research Institute, Seoul, Korea

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

release of the BC was 3 MJ/m<sup>2</sup> (KS standard 8 MJ/m<sup>2</sup>) and total heat release rate of the BC was 20 kW/m<sup>2</sup> (KS standard 200 kW/m<sup>2</sup>). Therefore, the BC boards were adjustable for the third-grade flame retardant building materials. External appearance change and mouse toxicity were not found in the BC boards after the combustion test.

**Keywords:** bamboo charcoal board, cone calorimeter test, flame retardancy, building material

## 1. 서 론

환경부는 신축 공동주택에 대해서는 포름알데히드와 톨루엔 등 6종의 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOCs)에 대해 실내 공기질 측정을 의무화하는 한편, 도서관, 휴게실과 같이 일정 규모 이상을 지니며 일반 대중이 이용하는 다중이용시설의 실내공기 관리를 한층 강화하였다. 또한 오염물질을 방출하는 각종 건축자재에 대해서는 품질을 등급별로 평가하여 소비자에게 공표하는 제도를 도입하였다. 이에 따라 국내 건축자재 시장은 친환경 제품의 생산체제로 빠르게 전환되고 있으며, 동시에 각종 재료에서 방출되는 유해 VOC를 흡착, 분해하는 광촉매, 피톤치드 등과 같은 친환경 건축자재 시장이 점차 확대되어 가고 있다.

최근 들어 국내외적으로 숯으로 성형한 유해 VOC 흡착성 건축자재의 개발에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 小幡 등(2001)은 대나무숯을 이용한 경량의 죽탄보드(bamboo charcoal board)를 제조하여 포름알데히드와 같은 VOC를 흡착 제거하는데 매우 효과적임을 보고하였다. 일본산 죽탄보드는 대나무숯, 발포 화산석, 고지 및 피혁계 접착제를 원료로 성형 제조되는데, 가볍고 VOC 흡착성은 우수하나 불에 쉽게 타는 단점이 있는 것으로 알려져 있다. 井出 등(1991)은 그라파이트·폐놀·포름알데히드수지 열경화성 탄소분립체(GPS)를 양면 적층한 파티클보드가 1시간 내화가 가능한 판상재료로서의 성능을 나타낸다고 하였으며, 또한, 井出 등(1994)은 대나무숯과 폐놀·포름알데히드수지(PF)로 열경화성 탄소과립체(CPS)를 조제한 다음, 이 CPS로 복합보드를 제조하고 보드의 난연, 내화성능 및 전자파차폐성을 측정하여 고기능성 탄소복합재료의 가능성을

보고하였다. 이 경우, 600°C 이하에서 제조한 대나무숯과 폐놀수지로 만든 성형보드는 화염이 보드에 분사하는 즉시 표면에 착화하고 백색화하면서 1~2분 후 화염이 관통한다고 하여 대나무숯의 제조 온도가 매우 중요하다고 하였다.

국내에서는 이화형(2003)이 점토-목재세라믹과 목탄-목재섬유복합재료를 제조하여 에틸렌 가스 흡착과 과일·야채의 보관성이 우수함을 보고하였다. 최정민(2011)은 콘칼로리미터를 이용하여 난연 처리된 소나무와 잣나무의 연소특성에 대해 보고하였으며, Park 등(2008)과 Harada(2006)는 콘칼로리미터를 이용하여 목질재료의 연소특성을 보고하였다. 박상범(1997)은 대나무숯을 제조하는 기계식 전용탄화로를 개발하고, 대나무숯의 이화학적, 전기적 특성을 구명하여 대나무숯을 새로운 용도로 개발하는데 산업적 및 과학적 기술을 제공하였다. 또한, 박 등(2006)은 대나무숯과 편백정유수를 혼합한 액상페인트를 제조하여 유해 VOC에 대한 흡착특성이 매우 우수함을 보고하였다(2006). 현재 국내에서 대나무숯은 소주용 여과제와 담배용 흡착제로 대량 사용되고 있다.

본 연구에서는 대나무숯의 인테리어용 건축자재로의 이용을 위하여 대나무숯 성형보드를 개발코자 하였다. 대나무숯 성형보드를 인테리어용 건축재료로 이용하기 위해서는 난연성능의 확보가 필요하다. 인테리어용 건축재료는 화재 발생 시 높은 온도의 열기와 다량의 연기 및 독성 가스를 방출함으로써 인명 및 재산 피해를 가중시킨다. 대나무숯 성형보드의 제조하여 그 연소특성에 대해 아직 보고된 바 없다.

대나무숯 성형보드의 난연성능을 조사하기 위해 열류량 50 kW/m<sup>2</sup>의 콘칼로리미터에 의한 연소시험이 수행되었다. 합판, 죽탄보드, 석고보드와의 상호

Table 1. Descriptions of samples used in this study

Kind of sample	Material	Size (mm) (W × L × T)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Weight (g)	Moisture content (%)	Abbreviation
Bamboo charcoal-vermiculite board	BC+ Vermiculite	100 × 100 × 10	1.17	109.94	7.93	BCV board
Plywood	Wood veneer	100 × 100 × 12	0.65	75.34	7.52	Plywood
Gypsum board	Gypsum	100 × 100 × 10	0.60	59.08	8.25	Gypsum board
Bamboo charcoal board(Japan)	BC+ Waste paper	100 × 100 × 6	0.44	27.61	8.54	BC board

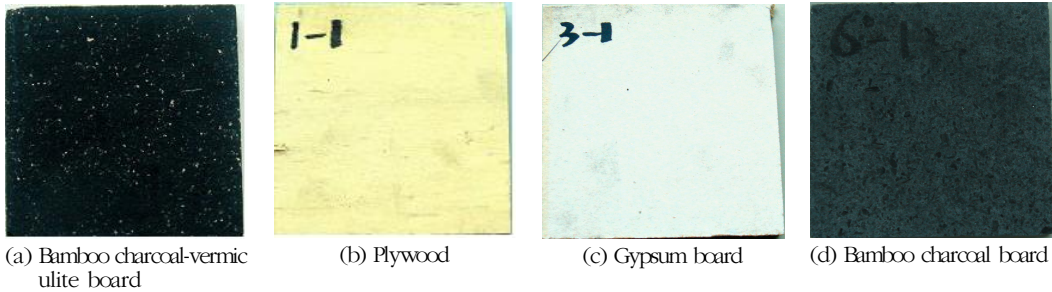


Fig. 1. Kinds of sample boards used in this study.

비교를 통해 대나무숯 성형보드의 난연성능을 평가하였다. 연소에 따른 중량감소율, 최대 열방출률, 전체 열방출량, 가스발생량 및 가스유해성을 조사하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 공시재료

대나무숯과 발포질석을 5 : 5(중량비)로 혼합하여 대나무숯 성형보드를 제조하였다. 대나무숯의 원료는 1,000°C 부근에서 제조된 국산 죽순대이며, 성형보드의 난연성능의 향상을 위해 1,200°C에서 발포된 경량의 발포질석이 사용되었다. 발포질석은 매우 가볍고 불에 타지 않으며 내구성이 반영구적이어서 경량패널, 흡음판, 내화단열용 건축패널 등 다양한 제품에 널리 응용되고 있다. 난연성능의 비교를 위해, 대나무숯 성형보드와 함께 합판(7ply, 시판), 벽체용 석고보드(KCC, 시판), 죽탄보드(일본수입, 시판)의 4종의 공시재료를 준비하였다. 공시재료의 기본 성

상과 외형을 각각 Table 1과 Fig. 1에 나타내었다.

### 2.2. 대나무숯 성형보드의 제조

1,200°C에서 발포한 경량 질석분말(40 mesh)에 실리콘에터계 바인더를 소량 첨가하여 1차 혼합한 다음 대나무숯 분말(60 mesh)을 투여하여 특수 제작한 롤러형 믹서에서 2차 혼합하였다. 입도를 균일화하기 위해 가는 체로 친 다음, 공기를 차단한 상태에서 하룻밤 숙성하여 분말상 조성물을 제조하였다. 손으로 쥐면 움켜질 정도의 물기를 지닌 조성물 약 2 kg을 45 × 45 cm 크기의 성형틀에 붓고 상온에서 유압 프레스로 냉압(150 kgf/cm<sup>2</sup>)을 실시하고 약 1~2분 압력을 가한 다음 성형품을 준비한 판 위에 조심해서 옮겼다. 급격한 가열건조는 대나무숯 성형보드의 표면에 크랙을 발생시키므로 상온에서 자연 건조시킨 다음 소성로(약 200°C)에서 2시간 정도 소성시켜 수분을 날리고 대나무숯과 질석 간의 결합력을 높였다. 대나무숯 성형보드를 상온에서 냉각시킨 다음 필요에 따라 무늬목, 벽지, 천연페인트, 스펀페인트 등을 붙

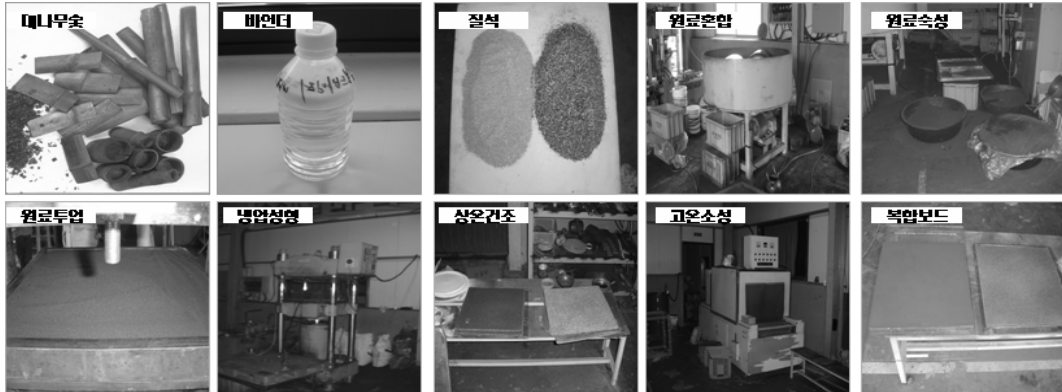


Fig. 2. Manufacturing process of bamboo charcoal board.

이거나 칠하여 표면을 마감할 수 있다. 상기 공정을 정리하여 Fig. 2에 나타내었다.

### 2.3. 난연성능 평가

KS F ISO 5660-1의 규정에 따라 콘칼로리미터 (Dual Cone Calorimeter)를 이용하여 시험을 실시하였다. 시험조건은 콘의 복사열량을  $50 \text{ kW/m}^2$ , 가열 방법은 보편적인 방법인 수평가열방식을 사용하였다. 열방출율은 재료의 연소에 필요한 산소의 양에 비례한다는 점에 기초를 두고 있다. 즉, 연소시 산소 1 kg이 소비되면 약 13.1 MJ의 열이 방출된다는 관계가 성립된다. 시험체를  $50 \text{ kW/m}^2$ 의 복사열에서 난연 1급(불연)은 20분, 난연 2급(준불연)은 10분, 난연 3급(난연)은 5분간 노출시킨 후 최대열방출율 (PHRR)과 총열방출량(THR) 값에 의하여 난연성능을 평가하고 있다. 시험체를 가로 100 mm × 세로 100 mm 크기로 준비하여 온도  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ , 상대습도  $50 \pm 5\%$  향량이 될 때까지 양생하였다. 난연성능 평가를 위한 실험재료의 시료의 크기, 밀도, 중량, 함유율은 Table 1과 같다.

### 2.4. 가스 유해성 시험

난연시험의 부가시험으로 KS F 2271:2006(건축물 내장재료 및 구조의 난연성 시험방법)에 의거하여

가스 유해성 시험을 실시하였다. 가스유해성 시험은 8마리 쥐들의 평균 행동정지시간을 계산하여 9분을 초과하면 합격으로 판정한다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 연소에 따른 표면성상의 변화

콘칼로리미터에 의한 난연시험 후 각종 시료의 모습을 Fig. 3에 나타내었다. 합판은 연소과정에서 많은 연기와 화염을 발하였으며 20분 경과 후에는 거북 등처럼 갈라지면서 주변에 재를 남기며 검게 탄화하였다. 석고판은 난연시험 후에도 형상을 유지하였으나 크랙현상이 발생하였다. 일본에서 수입된 죽탄보드는 연소하는 과정에서 시료 표면 위에 약간의 불꽃을 발하였으며 연소된 후에는 완전히 재로 변하였다. 내화성 질석이 혼합된 대나무숯-질석보드는 연소과정에서 연기나 불꽃을 전혀 발생하지 않았으며 방화상 유해한 관통, 균열, 구멍 등이 발생하지 않았다. 이러한 결과는 대나무숯과 폐놀수지로 성형한 보드에서 10~23분의 화염분사에 견디며 할렬이나 박리 현상이 나타나지 않았다고 보고한 井出 등(1994)의 연구와 일치한다. 일본산 죽탄보드는 나무로 만든 합판처럼 난연성을 전혀 구비하지 못하였으나 대나무숯-질석보드는 석고보드와 같이 불에 매우 강하여 유해 VOC 흡착성뿐만 아니라 난연성 건축자재로서

대나무숯 성형보드의 연소특성

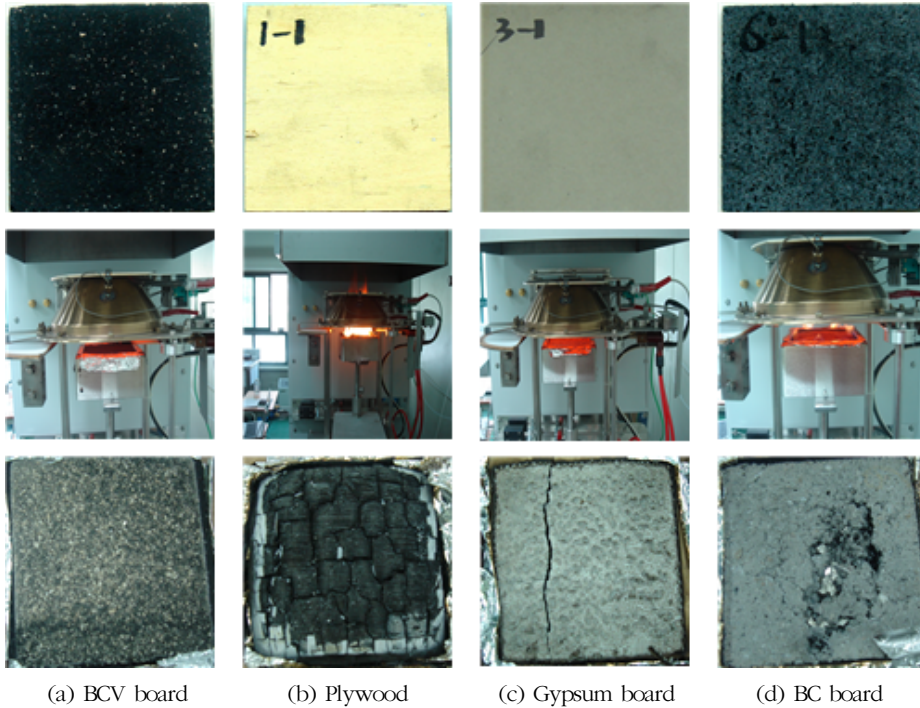


Fig. 3. Photographs before and after fire retardant test of samples by cone calorimeter.

Table 2. Weight loss of samples during cone calorimeter test

Kind of sample	BCV board	Plywood	Gypsum	BC board
Initial weight (g)	109.94	75.34	59.08	27.61
Density (g/cm <sup>3</sup> )	1.17	0.64	0.60	0.44
Weight loss by time change (%)	After 5 min	7.48	14.65	27.05
	After 10 min	12.04	49.48	37.63
	After 15 min	14.67	71.42	45.59

의 용도도 기대된다.

### 3.2. 중량감소율

Table 2에 콘칼로리미터에 의한 연소시험 과정에서 각 시료의 시간에 따른 중량감소율을 나타내었다. 합판의 중량감소율은 연소 개시 5분 경과 후 15%, 10분 후 50%, 15분 후 71%로 연소에 따른 중량감소가 매우 큰 가연성 재료였다. 석고보드의 중량감소율은 연소 개시 5분 경과 후 9%, 10분 후 16%, 15분 후

19%로 연소에 따른 중량감소가 매우 적은 불연성 재료였다. 일본산 죽탄보드의 중량감소율은 연소 개시 5분 경과 후 27%, 10분 후 38%, 15분 후 46%로 연소에 따른 중량감소가 매우 큰 가연성 재료였다. 죽탄보드에 함유된 종이에 의해 쉽게 연소된 것으로 판단된다. 대나무숯 성형보드의 중량감소율은 연소 개시 5분 경과 후 7%, 10분 후 12%, 15분 후 15%로 연소에 따른 중량감소가 매우 적은 난연성 재료임을 알 수 있다. 석고보드보다 중량감소율이 다소 낮은 것은 불연성 발포질석에 의한 효과와 함께 밀도가 약 1.2

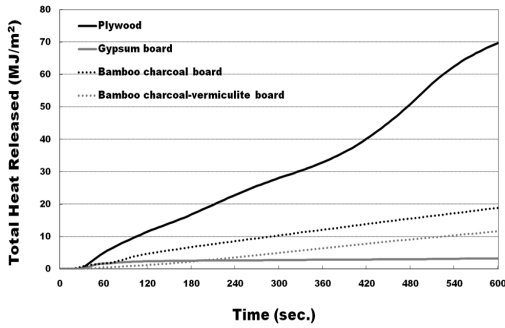


Fig. 4. Total heat released of samples during cone calorimeter test.

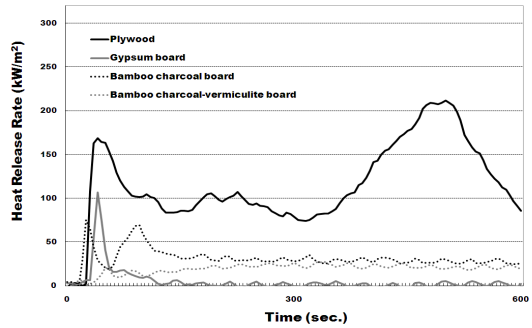


Fig. 5. Heat release rate of samples during cone calorimeter test.

Table 3. Fire retardancy and smoke toxicity test of bamboo charcoal board

Specification		Result
Surface test	Melting through total thickness	None
	Harmful change of external appearance	None
	Crack of back surface (mm)	0
	Flaming remaining time (sec)	0
	Smoking coefficient (CA)	0
	Temperature-time area (°C · mm)	Within 3 min After 3 min
Toxicity evaluation	Mouse incapacitation time	14.20

로 높기 때문인 것으로 판단된다.

### 3.3. 난연성능 평가

난연재료의 KS F ISO 5660-1 기준에 따르면 난연 1급(불연)은 가열조건 50 kW/m<sup>2</sup>, 가열 시간 20분 동안 총열방출률(THRR)이 8 MJ/m<sup>2</sup> 이하이며, 최대열방출률이 10초 이상 연속적으로 200 kW/m<sup>2</sup>를 초과하지 않는 것으로 규정되어 있다. 난연2급(준불연)은 가열조건 50 kW/m<sup>2</sup>, 가열 시간 10분 동안 총열방출률(THRR)이 8 MJ/m<sup>2</sup> 이하이며, 최대열방출률이 10초 이상 연속적으로 200 kW/m<sup>2</sup>를 초과하지 않는 것으로 규정되어 있다. 난연3급(난연)은 가열조건 50 kW/m<sup>2</sup>, 가열 시간 5분 동안 총열방출률(THRR)이 8 MJ/m<sup>2</sup> 이하이며, 최대열방출률이 10초 이상 연속적으로 200 kW/m<sup>2</sup>를 초과하지 않는 것으로 규정

되어 있다.

4종의 공시재료에 대한 총열방출률(THRR)을 조사한 결과(Fig. 4), 합판과 죽탄보드는 연소 5분 경과 시 총열방출률(THRR)이 이미 10 MJ/m<sup>2</sup> 이상으로 어떠한 난연기준도 만족시키지 못하였다. 대나무숯 성형보드는 5분 경과시 3 MJ/m<sup>2</sup>로 난연3급(난연)의 기준을 만족하였으나, 10분 경과시 11 MJ/m<sup>2</sup>로 난연 2급(준불연)의 기준을 만족시키지 못하였다. 최대열방출률의 측정 결과(Fig. 5) 합판은 5분 경과 시점에서는 난연3급의 기준을 만족하였으나 8분 지점에서 200 kW/m<sup>2</sup>를 초과하여 난연2급 기준을 만족하지 못하였다. 죽탄보드, 대나무숯 성형보드 및 석고보드는 10분 경과 후에도 10초 이상 연속적으로 200 kW/m<sup>2</sup>를 초과하지 않았다. 총열방출률과 최대열방출률의 결과를 종합적으로 판단해 볼 때, 대나무숯 성형보드는 난연3급의 난연재료에 해당되는 것으로

판단된다.

### 3.4. 가스 유해성 평가

KS F 2271의 '건축물의 내장재료 및 공법의 난연성 시험방법'에 따라 대나무숯 성형보드의 가스 유해성을 조사하여 Table 3에 나타내었다. 대나무숯 성형보드에 있어서 쥐들의 평균 행동정지시간이 합격 기준인 9분을 초과한 14분 20초를 나타내어 유해가스의 발생에는 문제가 없는 것으로 판단되었다. 동시에 시험한 표면시험 결과에서는 전체 두께에 걸친 용융, 방화상 해로운 변형, 뒷면의 균열이 전혀 없고 잔염이나 발연도 발생하지 않았다. 대조구로 사용한 석면 필라이트판과 동등한 성능을 발휘하였다.

## 4. 결 론

대나무숯의 인테리어용 건축자재로의 이용을 위하여 대나무숯 성형보드를 제조하여 난연성능을 조사하였다. 대나무숯 성형보드는 1,000°C에서 제조한 대나무숯과 발포질석 및 무기계 바인더를 혼합, 성형하여 제조하였다. 대나무숯 성형보드의 난연성능을 조사하기 위해 열류량 50 kW/m<sup>2</sup>의 콘칼로리미터에 의한 연소시험이 수행되었다. 연소에 따른 중량감소율, 총열방출량, 최대열방출률 및 가스유해성을 조사하였다. 연소 개시 5분 시점에서 대나무숯 성형보드의 총열방출률은 3 MJ/m<sup>2</sup> (기준 8 MJ/m<sup>2</sup>)이며, 최대열방출률은 20 kW/m<sup>2</sup> (기준 200 MJ/m<sup>2</sup>)를 나타내어 난연3급의 난연재료의 성능을 만족하였다. 연소 과정에서 전체 두께에 걸친 용융, 방화상 해로운 변형, 뒷면의 균열이 전혀 없고 잔염이나 발연도 발생하지 않았으며, 연소가스에 의한 유해성은 나타나지 않았다. 결론적으로, 대나무숯 성형보드는 인테리어용 건축재료로 사용이 가능한 것으로 판단되었다.

## 참 고 문 헌

1. 건교부. 2006. 건축물 내부마감재료의 난연성능기준. 건설교통부 고시 제2006-476호.
2. 박상범 외 5인. 1997. 대나무 신용도 개발(Ⅰ)-대나무숯 제조기술개발 - 산림과학논문집 56: 70~81.
3. 박상범. 2006. 포름알데히드 흡착성 건축자재 개발. 국립산림과학원 2006 열린세미나 자료집(하), 연구자료 278: 68~84.
4. 이장원, 이봉우, 권성필, 이병호, 김희수, 김현중. 2008. 콘 칼로리미터를 이용한 건축 바닥재의 연소거동과 가스유해성 평가. 목재공학 36(1): 45~53.
5. 이화형, 김관의. 2003. 습식공법으로 제조한 목탄-목재 섬유복합재료의 에틸렌가스 흡착력과 과일 신선도 유지효과. 한국가구학회지 14(1): 1~9.
6. 최정민. 2011. 난연처리된 소나무와 잣나무의 연소특성 연구. 목재공학 39(30): 244~251.
7. 한국표준협회. 2006. KS F 2271. 건축물의 내장재료 및 구조의 난연성 시험방법.
8. 한국표준협회. 2008. KS F ISO 5660-1. 연소성능 시험-열방출, 연기발생, 질량감소율-제1부: 열방출률(콘칼로리미터법).
9. Park, J.-S. and J.-J. Lee. 2008. Ignition and heat release rate of wood-based materials in cone calorimeter tests. Mokchae Konghak 36(2): 1~8.
10. Harada, T., S. Uesugi, and H. Masuda. 2006. Fire resistance of thick wood-based boards. J Wood Sci.(52): 544~551.
11. 小幡 透, 松永一彦 笠作欣一, 前村記代, 西 和枝, 神野好孝. 2001. 竹炭の吸着化學反應に關する研究. 鹿兒島縣工業技術センター研究報告 No 15: 35~37.
12. 井出 勇, 石原 茂久, 川井秀一, 吉田弥壽郎, 中路 誠, 高松 敦久. 1991. 耐火性炭素複合材料の製造と開發(第1報)-グラファイト・フェノール・ホルムアルデヒド樹脂熱硬化性オーバーレイしたパーティクルボードの耐火性能と物性. 木材學會誌 37(11): 1026~1033.
13. 井出 勇, 石原 茂久, 樋口 尚登, 西川 昌信. 1994. 竹炭からの機能性炭素複合材料素材の開發. 材料 Vol 43, No. 485: 152~157.