

# 대나무 활성탄 함유 시멘트계 재료의 친환경 건축마감재로서의 개발을 위한 기초적 연구

## Development of Eco Cementitious Building Finishing Materials Modified with Bamboo Charcoal

박 동 천<sup>1</sup>      권 성 현<sup>2\*</sup>

Park, Dong-Cheon<sup>1</sup>,      Kwon, Sung-Hyun<sup>2\*</sup>

*Department of Architecture and Ocean Space, Korea Maritime University, Yeongdo-Gu, Busan 606-791 Korea <sup>1</sup>*  
*Department of Marine Environmental Engineering, Gyeongsang National University (Marine Industrial Institute), Tongyeong-Si, Kyongsangnam-Do, 650-160 Korea <sup>2</sup>*

### Abstract

Bamboo is representing environmentally friendly building finishing materials as proven in the former researches. The purpose of this study is to evaluate the application properties of cementitious materials modified with bamboo charcoal as building finish materials. Flow test in fresh condition was conducted to assess the workability. Compressive and bending strength were measured after harding. As the thermal properties, thermal conductivity and density were measured. The properties were surpassing over them in case of using the pine charcoal in every tests. The thermal conductivity of them increased with the modified ratio. After the modified ratio 50%, the thermal conductivity decreased. Insolation and absorption performance is due to the lower density by modification of bamboo charcoal.

Keywords : bamboo charcoal, cement mortar, strength, thermal conductivity, density

### 1. 서 론

최근 에너지 효율향상을 위한 기밀성이 높은 건축물의 등장과 대기활용의 효율성 측면에서 용적율을 증가시킨 건축물로 인해 실내공기오염이라는 커다란 문제를 초래하게 되었다. 이러한 실내오염의 원인은 경화한 시멘트에서 발생하는 암모니아, 벽지나 마감재 페인트 등의 주원료인 염화비닐수지(PVC), 접착제 등에서 뿜어져 나오는 포름알데히드 등이 주요원인이라 추정된다. 이러한 유해물질은 적절한 환기가 이루어지지 않는다면 인체에 대한 유해정도는 더욱

가중되며 이미 국내는 물론 미국, 유럽이나 일본등지에서는 실내에서 장기간 근무하는 사람에게 발생하는 알레르기, 두통, 불면증, 호흡기 질환 등 빌딩증후군(SBS : Sick Building Syndrome)이 최근 큰 사회적 문제[1,2]로 부각되고 있다. 이러한 문제에 대하여 최근 거주자의 생활환경과 건강에 대한 관심이 높아지게 되면서, 국내에서는 유해한 화학물질을 함유하고 있는 마감재 대신에 황토, 옥, 숯 등의 천연재료를 함유한 건축 재료가 개발되어 시판되고 있다. 하지만 이러한 천연재료의 오염물질 감소의 측면은 일정부분 규명되었지만 마감재가 가져야하는 단열이나 흡음 성능의 규명은 미흡한 실정이다[3].

또한 최근 세계적으로 에너지 절약의 중요성이 높아지면서, 국내 건설 산업에서도 건축물 라이프 사이클 전 과정에서 발생하는 에너지 소비량을 최소화할 수 있는 에너지 절약설계가 요구되고 있다. 이에 정부는 2009년 10월 국토해

Received : April 26, 2011

Revision received : September 6, 2011

Accepted : September 7, 2011

\* Corresponding author : Kwon, Sung-Hyun

[Tel: 82-55-644-7317, E-mail: shkwon@gnu.ac.kr]

©2011 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

양부 『친환경주택의 설계 및 성능평가 지침』을 통해 에너지 절약형 친환경 주택의 성능 및 건설기준으로 고단열·고기능 외피구조를 제시하여 건축물의 에너지소비절감을 위한 단열성능 강화를 요구하고 있다. 이에 따라 단열성능 및 흡음성능 등의 고성능을 가진 친환경 마감재 또한 친환경 재료와 함께 필요성이 대두되고 있는 실정이다[4,5].

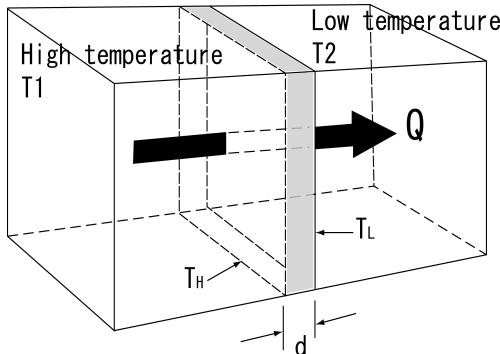


Figure 1. Measurement concept of thermal conductivity

이러한 배경 하에 본 연구는 다공성으로서 경량성과 단열성능, 오염물질 흡착성능이 탁월하다고 평가되고 있는[6,7] 활성탄을 건축마감재로 활용하기 위하여 마감재로서 확보해야 하는 기초물성 평가를 실시하였다. 측정항목은 시공성 평가를 위하여 굳기 전 물성 평가와 경화 후 물성 평가로 분류하여 측정하였으며, 참나무 숯 함유 마감재와의 비교를 통하여 대나무 활성탄의 우수성에 대해서도 동시에 검증하였다.

## 2. 연구개요

### 2.1 숯의 특징 및 활용

목재에 공기주입을 극도로 제한하여 가열, 연소한 후 남은 고체를 목탄이라고 하며, 주로 참나무 또는 대나무 같은 단단한 목재가 사용된다. 그러한 재료의 비표면적은 참나무 숯의 경우에는 약 360m<sup>2</sup>/g, 대나무 활성탄의 경우에는 1325m<sup>2</sup>/g 으로 대나무 활성탄이 약 4배가량 더 높은 것으로 기존연구에서 밝혀졌으며, 높은 비표면적이 오염물질 부착을 향상시킨다고 하여 공기청정용, 세척정수용, 공업용, 식용 등으로 활용되고 있다[8].

### 2.2 실험방법

#### 1) 역학적 특성

굳기 전 물성값인 플로우는 KS L 5111에, 경화 후 물성인 압축강도는 KS L 5201, 휨강도는 ASTM C 348에 준하여 측정하였다.

#### 2) 열전도율 측정

Table 1. Classification of thermal conductivity measurement methods

General class	Class	Notes
Steady method	Absolute measurement method	Such as JIS A 1412-2[9], ASTM C177[10]
	Comparative measurement method	
Non-steady method	Flash method	
	Hot wire method	

Table 1은 열전도율 측정방법을 정상상태와 비정상상태로 분류한 것으로 본 연구에 사용된 방법은 비정상법의 Hot wire method에 해당한다. 측정원리는 Figure 1에 나타난 바와 같이 두께  $d(m)$ 의 균질한 재료에 양단의 온도가 각각  $T_1, T_2 (K)$ 의 고온과 저온  $T_L$ 이라고 하면, 고온의 표면의 온도  $T_H$ 와 저온측의 온도의 상태를 만드는 재료의 열전도율  $\lambda_p$ 는 식(1)로서 산출할 수 있다[11].

$$\lambda_p = \frac{Q \cdot d}{T_H - T_L} \quad (W/m \cdot K) \quad \text{-----(1)}$$

여기서,  $Q$ 는 재료를 통과해서 흐르는 열류 ( $W/m^2$ )

열전도율의 측정방법은 크게 나누어 Table 1에 나타난 바와 같이 정상법과 비정상법의 두 종류가 있다[12].

이들 중에서 정상법에 속하는 것은 위에서 설명한 열전도율의 정의에 충실한 방법이다. 하지만, 시료를 정상 열류상태로 만들기까지 상당히 시간이 걸리며, 시료 측면으로 빠져나가는 열류의 차단이 곤란하고, 표면 온도와 열류 또는 통과 열량의 측정에 고도의 기술을 필요로 하는 등 많은 결점을 가지고 있기 때문에 실제 사용에는 곤란한 점이 많다.

한편, 비정상법은 신속히 측정이 가능하다는 이점이 있어 최근에 활발히 연구되고 있고 상품화 되는 경우도 많다. 그러나 열선법 이외의 측정법은 측정값이 열확산율이고, 열전도율로 환산하기 위해서는 시료 표면에 흡수되어지는 열류값을 정확히 파악할 필요가 있지만 열선법의 경우에는 열전도율이 직접 측정되고 신속 정확하다는 장점이 있다. 본 연구에서 이용된 신속 열전도율계는 열선법을 계량한 프로브

법을 기본원리로 한다. 프로브법은 Figure 2[11]와 같이 무한원통으로 간주할 수 있는 형상의 시료의 중심에 히터선을 붙이고 일정 전력(열량)을 지속적으로 가하면, 히터의 온도는 시간의 경과와 함께 지수함수로 증가한다. 시간에 대한 온도 상승의 비교율로 시료의 열전도율을 구할 수 있다. 통상 열선법에서는 히터선을 시료 2개에 끼워 측정하지만, 열전도율을 알고 있는 Material1이 단열성이 풍부할 경우 프로브가 되며, Material2의 열전도율은 식(2)로부터 구할 수 있다[13,14,15].

$$\lambda_p = K \frac{I^2 \ln(t_2/t_1)}{V_2 - V_1} - H \quad (2)$$

여기서,  $K, H$  : 프로브 결정정수,  $V_1, V_2$  : 시간  $t_1$  및  $t_2$  에 있어서 열전대에 발생하는 전력 (mV),  $I$  : 가열선에 흐르는 전류(A) 열선법에 의한 열전도율 측정장치는 Figure 3 에 나타내었다.

Table 2. Test parameters

General class	Parameter
Cement type	Ordinary portland cement
Replacement material	Sand/ Pine charcoal/ Bamboo charcoal
Replacement ratio (%)	0, 10, 30, 50
Degree of fineness (mm)	Fine powder(0.046~0.13), 1, 5
W/C(%)	60

Table 3. Mixing design (g)

	W	C	S	Pine charcoal	Bamboo charcoal
P-10	431.7	228.0	269.6	70.7	0
P-30	387.2	204.6	218.0	190.2	0
P-50	351.5	185.5	175.6	287.4	0
B-10	431.2	227.7	270.0	0	71.1
B-30	385.9	2.3.9	219.3	0	191.0
B-50	349.2	184.5	178.3	0	288.0
N	458.0	732.0	771.0	0	0

Table 4. Density (g/cm<sup>3</sup>)

Cement	Sand	Bamboo charcoal	Pine charcoal
3.15	2.57	0.45	0.48

Table 5. Symbol explanation

First symbol	Second symbol
P: pine charcoal	10: replacement ratio 10%
B: bamboo charcoal	30: replacement ratio 30%
N: non mixing	50: replacement ratio 50%
Ex) P-10 : 10% modified with pine charcoal	

### 2.3 실험개요

본 일련의 실험은 다공성 재료인 활성탄을 건축용 내장 재료로서 활용하기 위한 기초 연구로서 시멘트계 재료에 혼합하여 굳기 전 재료성능 및 역학적 특성, 열전도율, 밀도 등을 측정하였다.

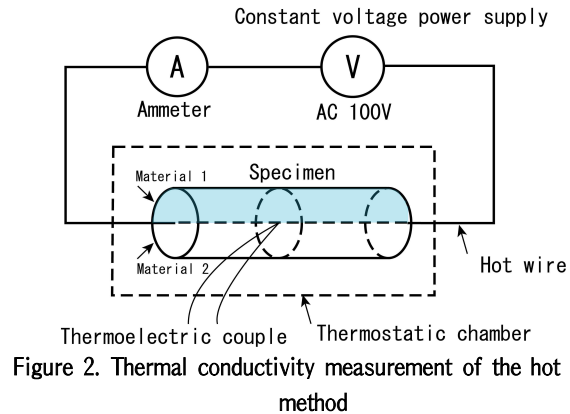


Figure 2. Thermal conductivity measurement of the hot wire method



Figure 3. Thermal conductivity measurement device based on the hot wire method

사용재료는 결합재는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 하동산 육사를 사용하였다. 잔골재의 조립율은 2.94, 비중은 2.57이다. 대나무 활성탄 및 참나무 숯의 분쇄에 의한 최대 직경 및 실험인자는 Table 2와 같이 되도록 배합하였다. 대나무 활성탄 및 참나무 숯은 입자의 최대직경(mm)에 따라 1, 5, fp(0.046~0.13)로 분류하여 사용하였으며, 시멘트와의 수화반응을 없는 것으로 가정하고, 골재로서의 치환에 따른 물성변화를 피하기 위하여 일련의 실험을 실시하였다. Table 3는 본 실험에서 채용된 배합의 상세이며, Table 4는 대나무 활성탄 및 참나무 숯의 물성을 나타낸 정보이다. Table 5는 본연구의 결과분석의 편의를 위하여 사용한 기호의 설명이다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 경화 전 재료의 물성

##### 3.1.1 플로우값

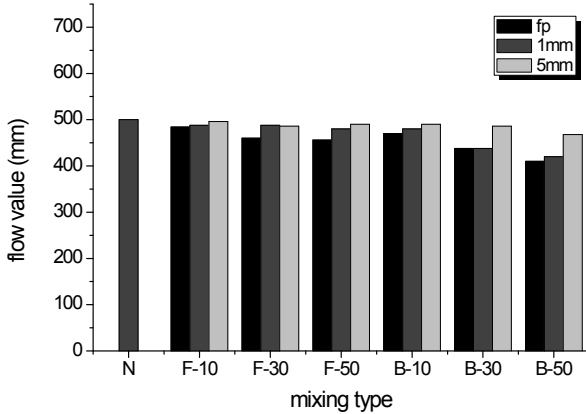


Figure 4. Flow value

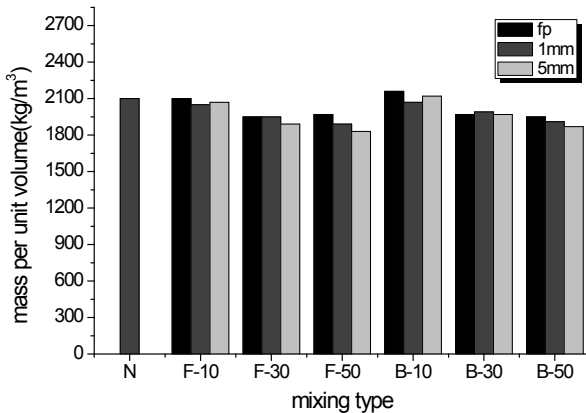


Figure 5. Mass per unit volume

Figure 4는 대나무 활성탄과 참나무 숯의 치환율에 따른 균지 않은 상태의 모르타르의 플로우 값이다. 대나무 활성탄 또는 참숯을 골재대용으로 치환하면 이들 재료가 배합단계에서 다소 수분을 흡수하는 경향이 있어 플로우값이 약간 감소하는 것으로 나타났다. 활성탄이나 참나무 숯의 비중이 다른 재료에 비해 작기 때문에 모르타르 믹싱 및 플로우 시험 시 모르타르 위쪽으로 부유하거나 과도한 분리를 일으키지 않는 범위 내에서는 유동성에 미치는 영향은 그리 크지 않은 것으로 평가 되었다.

##### 3.1.2 단위용적질량

Figure 5는 대나무 활성탄과 참나무 숯의 분말크기와 치환율에 따른 단위용적질량을 나타낸 것이다. 대체적으로 치환율이 증가할수록, 분말도가 클수록 단위용적질량이 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 밀도가 작은 활성탄과 참나무 숯의 함유에 의한 것으로 그 값은 약 2,000(kg/m<sup>3</sup>)정도로서 일반 시멘트 모르타르 및 콘크리트에 비해서는 다소 낮은 값을 나타내었다.

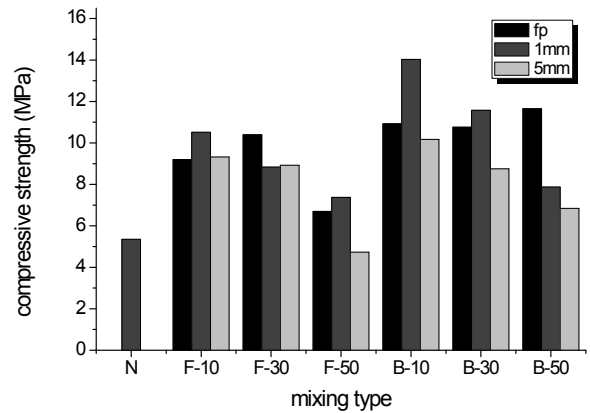


Figure 6. Compressive strength

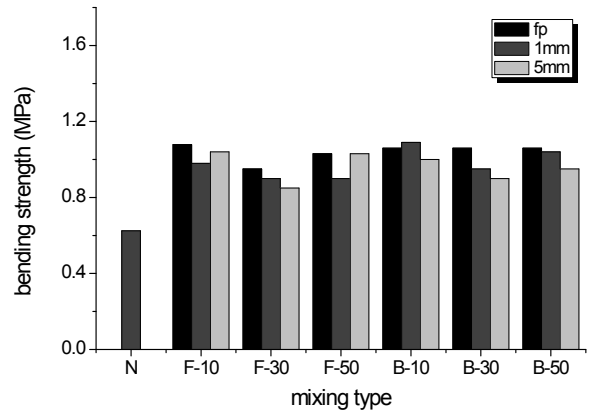


Figure 7. Bending strength

#### 3.2 경화후 재료의 물성

##### 3.2.1 압축강도

Figure 6에 참나무 숯과 대나무 활성탄을 혼입한 시멘트 모르타르의 압축강도 측정결과를 그래프로 나타내었다. 전체적으로 참나무 숯이나 대나무 활성탄을 혼입한 경우가 무혼입의 경우보다 압축강도가 높은 것을 볼 수 있다. 또한 대나무 활성탄을 혼입한 경우가 참나무 숯을 혼입한 경우보다

약간 높은 압축강도를 나타내었다.

참나무 숯과 대나무 활성탄을 혼입한 경우 모든 배합에서 대체적으로 치환율이 50%일 때가 30%나 10%일 때보다 혼입한 분말의 분말도에 상관없이 압축강도가 낮아지는 경향을 나타내었다. 전반적으로 대나무 활성탄 및 참나무 숯의 분말도와의 상관관계는 미비한 것으로 나타났다. 이러한 경향은 배합단계에서 대나무 활성탄 및 참나무 숯이 수분을 흡수하여 물시멘트비에 영향을 미치게 되고, 이러한 현상이 강도 증진의 결과로 나타났다고 생각된다. 50%까지 치환할 경우에는 수분흡수가 과다하여 강도발현이 제대로 이뤄지지 않은 것을 사료된다.

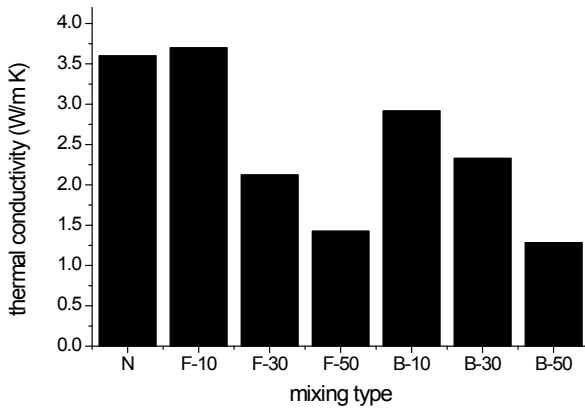


Figure 8. Thermal conductivity

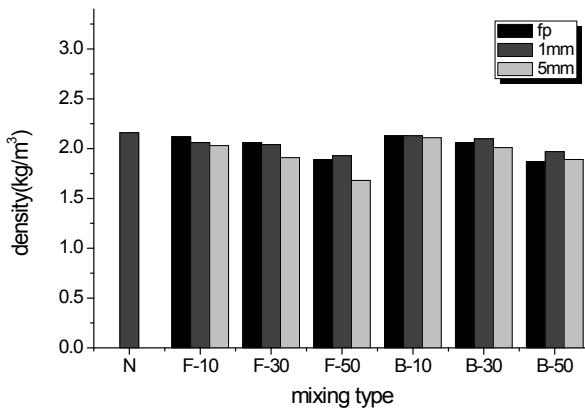


Figure 9. Density

### 3.2.2 휨강도

Figure 7에 참나무 숯 및 대나무 활성탄을 혼입한 시멘트 모르타르의 휨강도를 측정된 결과 그래프를 나타내었다. 참나무 숯이나 대나무 활성탄을 혼입한 경우 모두 무혼입 모르타르에 비해 휨강도가 높은 경향을 나타냈으며, 전반적

으로 대나무 활성탄을 혼입한 모르타르의 휨강도가 참나무 숯 혼입의 경우보다 약간 높게 나타났다. 참나무 숯을 혼입한 모르타르의 경우는 대체적으로 치환율이 30% 일 때 휨강도가 비교적 낮게 나타났고, 치환율에 따른 휨강도 변화는 전체적으로 미비하게 나타났다.

## 3.3 재료의 열적 특성

### 3.3.1 열전도율

Figure 8은 참나무 숯과 대나무 활성탄을 혼입한 모르타르의 열전도율을 나타낸 것이다. 실험결과 참나무 숯과 대나무 활성탄 모두 치환율이 증가할수록 열전도율은 점차 감소하는 것으로 나타났다. 두 재료의 열전도율의 차이는 뚜렷하게 나타나지는 않았지만 참나무 숯과 대나무 활성탄 모두 치환율이 50%에서부터는 열전도율의 감소율이 현저하여 마감재료로서의 단열효과가 뚜렷해질 것으로 기대된다. 이렇게 열전도율이 전반적으로 감소하는 것은 활성탄과 참나무 숯의 치환율이 커질수록 상대적으로 늘어난 수많은 공극이 열전도를 저해하기 때문이라고 사료되어 진다. 향후 대나무 활성탄 및 참나무 숯 뿐만 아니라 이러한 재료를 혼입한 모르타르의 공극량도 정량적으로 평가함으로써 열전도율 감소 관계 분석의 기초자료로 활용해야 할 것으로 사료된다.

### 3.3.2 밀도

열적특성 평가에서 밀도는 열전도율, 비열과 함께 전열속도를 지배하는 중요 항목이 된다. Figure 9는 참나무 숯과 대나무 활성탄을 혼입한 모르타르의 밀도를 나타낸 것이다. 치환율이 증가할수록 밀도가 감소하는 경향을 나타내고 있고 분말도가 커질수록 감소하는 경향을 나타내고 있다. 전체적으로 무치환에 비해 참나무 숯과 대나무 활성탄을 혼입한 모르타르의 밀도가 감소한 것으로 나타나 열 차단능력이 우수한 것을 알 수 있고 입자가 커질수록 열 차단효과에 더 우수함을 나타내었다. 이러한 열적 특성을 열전달 해석의 입력값으로 사용될 수 있어 수치해석을 통한 예측시뮬레이션의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

## 4. 결 론

흡착능력이 뛰어난 것으로 알려진 대나무 활성탄의 건축

내장재로서의 활용을 검토하기 위한 일련의 기초실험을 실시하였다. 기존의 참나무 숯과 성능비교를 위하여 시멘트 모르타르를 혼입하여 압축강도, 휨강도, 플로우실험을 실시하였고 열적특성을 규명하기위해 열전도율, 밀도 등을 측정하였다. 이상의 실험을 실시한 결과, 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 압축강도와 휨시험에서는 무혼입 모르타르보다 참나무 숯과 대나무 활성탄을 혼입한 모르타르가 높은 강도를 나타내었고, 대나무 활성탄을 혼입한 모르타르가 참나무 숯을 혼입한 모르타르 보다 강도가 다소 높게 나타났다으며 혼입율이 증가할수록 강도가 저하하는 경향을 나타내었다. 대나무 활성탄을 혼입한 모르타르의 강도가 다소 높은 경향을 나타내었으나 두 혼화재 사이의 물성값은 비슷하게 나타났다.
- 2) 열전도율을 측정한 결과는 두 혼화재 모두 치환율이 증가할수록 열전도율은 점차 감소하는 것으로 나타났다. 또한 치환율 50%에서부터는 열전도율의 감소율이 현저하여 마감재로서의 단열성능이 우수함을 나타내었다.
- 3) 참나무 숯과 대나무 활성탄을 혼입한 모르타르의 밀도를 측정한 결과 치환율이 증가할수록 밀도가 감소하는 경향을 나타내었고 분말도가 커질수록 밀도가 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 다수의 공극을 포함한 두 혼화재를 치환하여 건축내장재로 사용할 경우, 오염물질 등의 흡착성능은 물론 열 차단성능에서도 우수함을 보여주는 것이다.

본 연구를 통하여 대나무 활성탄 혼입 모르타르가 건축 마감재로서 기존의 친환경성과 더불어 열적특성에서도 우수함이 확인되었으며, 건축물 내 마감재로 사용할 경우에 유해환경의 정화와 새집증후군의 피해를 예방하는 동시에 에너지 효율 또한 높일 수 있을 것이라 생각된다.

## 요 약

활성탄을 혼입한 모르타르의 특성을 분석한 결과 유동성 측면에서는 무치환과 참나무 숯 모두 큰 차이를 보이지 않았고, 강도적인 측면에서는 활성탄을 혼입한 모르타르의 강도가 참나무 숯과 무치환 모르타르에 비해 높게 나타났다.

열적 특성은 치환율이 증가할수록 두 혼화재 모두 열전도율이 감소하는 경향을 보여 단열성능이 우수함을 입증하였다. 결과적으로 활성탄을 혼입한 모르타르가 강도와 단열성능이 우수함을 증명하여 기존의 활성탄이 가지고 있는 오염물질 흡착성능과 함께 우수한 건축 마감재로서의 여러 성능이 검증되었다.

**키워드** : 대나무 활성탄, 시멘트 모르타르, 강도, 열전도율, 밀도

## Acknowledgement

This work (Grants No.00038951-4) was supported by Business for Academic-industrial Cooperative establishments funded Korea Small and Medium Business Administration in 2009.

## References

1. Jo WJ, Son JY. An Investigation of Indoor Air Pollution Levels in New Apartments and Assessment of Seasonal Emission Characteristics, Journal of the Architectural Institute of Korea, 2008 Jan.;24(7):231-38.
2. Antonio M, Arino, Barzin M, Effect of Ground Copper Slag on Strength and Toughness of Cementitious Mixes, ACI Materials Journal, 1999 Jan.;96(1):68-73.
3. Oh SG, Lee JH, Ahn JC. An Experimental Study on the Application Method of Activated Carbon for an Environmental-Friendly Cementitious Material, Journal of the architectural institute of korea, 2004 Jan.;20(1):99-106.
4. Kim YM, Choi HY, Jeong YG, Ryu HG. A Study on the Properties and Friendly Environment Efficiency Charcoal Concrete Bricks, Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2006 Feb;6(1):123-30.
5. Woo JG, Hong SH, Jeon GB, Ryu HG. A Study on the Development of Friendly Environment Mortar by Using Activated Carbon as Fine Aggregate, Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2006 June;6(2):105-9.
6. Her JH, Oh SG, Kim JK, Kang BH. An Experimental Study on Practical Method of Activated Carbon As a Building Covering Material, Architectureal Insitute of Korea Fall Conference 2002; 2002 Feb 22(2); Kunsan National University Campus, Kunsan (Korea): Architectural Institute of Korea; 2002. p. 415-18.

- 
7. Choi WG, Park HR, Suh SJ. A Fundamental Study for the Development of Building Materials Using the Charcoal. *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 2004 Mar;20(3):185–92.
  8. Park DC, Kwon SH. An Experimental Study for the Development of Eco-Interior Finish Building Materials Using the Bamboo Activated Carbon. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 2011 Mar;27(3): 99–106.
  9. Japanese Standards Association The Technical Association of Refractories. [JIS A 1412-2 Test method for thermal resistance and related properties of thermal insulations – Part 2: Heat flow meter apparatus]. 3rd ed, Tokyo: Japanese Industrial Standard, Japanese Standards Association; 2006 November. Japanese.
  10. ASTM International. ASTM C177 – 10 Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus. 1st ed, West Conshohocken: ASTM; 2010 August 30.
  11. Kyoutodennkikougyou Kabusikikaisya, [Thermal Conductivity testing device of Kemtherm]. 1st ed, Tokoy: Kyoutodennkikougyou Kabusikikaisya; 1987. p. 1–5. Japanese.
  12. Carslaw HS, Jaeger JC. *Conduction of Heat in solids*, 2nd ed, Great Britain (UK): Clarendon Press; 1959. 230 p.
  13. Hayashi K, Fukui M. Effect of Temperature Drift of Specimen on Measured Values of Thermal Conductivity by Hot Wire Method. *Yogyo-Kyokai-Shi* 1977 Dec;85(12):45–7.
  14. Japanese Standards Association The Technical Association of Refractories. [JIS R 2207 Test method for the rate of linear change of refractory brick on heating]. 1st ed, Tokyo: Japanese Industrial Standard, Japanese Standards Association; 2007 October. Japanese.
  15. Kim KH, Jeon SE, Bang GS, Kim JG. Experimental Study on Thermal Conductivity of Concrete. *Journal of the korean concrete institute*, 2001 Aug;13(4):305–13.