

# 바이오차를 혼입한 콘크리트의 물성 특성과 단열성능에 미치는 영향

## Effect of Concrete Containing the Biochar on Properties and Thermal Insulation Performance

김경철<sup>1</sup> · 임광모<sup>2\*</sup> · 손민수<sup>3</sup> · 류금성<sup>4</sup> · 고경택<sup>5</sup>

Kyoung-Chul Kim<sup>1</sup> · Kyung-Taek Koh<sup>2\*</sup> · Min-Su Son<sup>3</sup> · Gum-Sung Ryu<sup>4</sup> · Jae-Yoon Kang<sup>5</sup>

(Received November 7, 2022 / Revised November 29, 2022 / Accepted November 30, 2022)

This study intends to develop an eco-friendly concrete panel mixed with biochars. Experiments about mechanical and thermal properties were conducted on porous biochar concrete, which has insulation and carbon-capture performance. The concrete has a mixing ratio of 0, 5, 10, and 15 % for biochar and a water-binder ratio of 0.35. The unit weight, porosity, and permeability were measured to evaluate the mechanical characteristics. From the results, as the biochar mixing rate increased, the porosity and the permeability increased, but the unit weight decreased. Even though a decreased trend was observed in the compressive strength results, they satisfied the design standard. Since the thermal conductivity was decreased during the increase of contents, biochar could be considered an excellent material for insulation performance. In addition, regression analyses were conducted regarding the relationship of unit weight with porosity, compressive strength with thermal conductivity, and porous with thermal conductivity. From the regression, significant variables for expanding the scope of the application of biochar were presented.

**키워드 :** 바이오차, 단열성능, 다공성 콘크리트, 콘크리트 패널

**Keywords :** Biochar, Thermal insulation performance, Porous concrete, Concrete panel

## 1. 서 론

현재 전 세계는 기후변화의 위기를 인식하고 있으며, 문제 해결을 위해 CO<sub>2</sub> 발생이 없는 친환경 에너지 사용을 권장하고 있다. 수십여 년간 에너지의 주원료인 화석연료는 사용과정에서 지구온난화의 원인인 대기 가스 CO<sub>2</sub>와 NO<sub>x</sub>를 방출하고 있으며, 빠른 속도로 화석연료가 고갈되고 있다. 현재 유럽에서도 러시아와 우크라이나의 전쟁 여파로 인해 화석 에너지의 공급이 원활하지 않아 곧 다가올 겨울 한파에 대비하기 위한 에너지 공급 대책을 마련해야만 한다.

국내에서는 연간 200만 톤의 미사용 산림 바이오매스가 존재하

고, 폐기물 포함 7,000만 톤의 바이오매스 자원이 발생하여 이를 활용한 처리 기술 개발이 필요하다. 목재 등과 같은 폐기물을 열분해하여 바이오 숯을 생산하게 되면 매립된 폐기물의 상당 부분을 건설 제품으로 활용할 수 있다. Woolf et al.(2010)은 건설 산업에서 목재 폐기물의 열분해를 통한 바이오 숯은 건축물과 사회 기반 시설물에서 안정적으로 탄소를 격리할 수 있어 전 세계 탄소 배출량의 상당한 감소로 이어질 수 있다고 분석하였다.

최근 몇 년 동안 콘크리트의 역학적 특성과 내구성을 향상시키기 위해 바이오차를 채움제 또는 골재 대체재로 사용한 연구가 진행되고 있다(Choi et al. 2004; Kim et al. 2006; Cosentino et al. 2019). 시멘트 복합재료에 바이오차를 첨가하여 물리적 특성을

\* Corresponding author E-mail: kim6069@kict.re.kr

<sup>1</sup>한국건설기술연구원 남북한인프라특별위원회 북방인프라특화팀 수석연구원 (Korea Institute of Construction Technology, Kyonggi-do, 10223, Korea)

<sup>2</sup>한국건설기술연구원 남북한인프라특별위원회 박사후연구원 (Korea Institute of Construction Technology, Kyonggi-do, 10223, Korea)

<sup>3</sup>한국건설기술연구원 남북한인프라특별위원회 한반도인프라협력팀 수석연구원 (Korea Institute of Construction Technology, Kyonggi-do, 10223, Korea)

<sup>4</sup>한국건설기술연구원 구조연구본부 연구위원 (Korea Institute of Construction Technology, Kyonggi-do, 10223, Korea)

<sup>5</sup>한국건설기술연구원 남북한인프라특별위원회 위원장 선임연구위원 (Korea Institute of Construction Technology, Kyonggi-do, 10223, Korea)

Copyright © 2022 by Korean Recycled Construction Resources Institute

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

개선하기 위해 헤이즐넛 껍질과 땅콩 껍질에서 추출한 바이오 숯을 첨가할 경우, 시멘트 페이스트의 강도가 78 % 향상되고, 콘크리트의 인성과 파괴 에너지가 크게 향상되는 것으로 분석되었다 (Khushnood et al, 2016; Restuccia and Ferro 2016; Restuccia et al, 2017). 활엽수에서 추출한 바이오 차를 시멘트 중량 대비 5 %로 치환하면 모르타르의 압축강도가 향상되는데 이는 시멘트 모르타르의 수분 함량과 바이오 차의 내부 경화 작용에 기인하는 것으로 분석되었다(Choi et al, 2012). 또한, 목재와 폴리프로필렌 복합재료를 활용하여 목재 기반의 바이오차를 혼입하여 휨 강도와 내화성능이 향상되는 것으로 나타났다. Akhtar and Sarmah(2018a; 2018b)에서는 왕겨를 연소한 숯을 첨가하여 콘크리트 시편을 제작하였고, 콘크리트의 휨 강도와 압축강도를 개선시키는 것으로 나타났다. Gupta et al.(2020)에서는 바이오차를 시멘트 중량 대비 0~2 %를 채움제로 대체하여 고온에 노출시킨 콘크리트의 투수성 및 역학적 성능을 분석하였다. 그 결과, 바이오차는 고온에 노출된 콘크리트 구조물의 압축강도와 내구성을 향상시키고, 실리카폼 대체제로 사용이 가능한 것으로 분석되었다. 또한 전세계의 음식물 쓰레기를 슬러지 형태로 건조한 후 바이오차로 제작하여 환경과 건설 분야를 포함한 다양한 분야에 적용하기 위한 실용화 연구가 진행되고 있다.

따라서 본 연구에서는 비 구조체인 콘크리트 단열 벽체를 개발하기 위해 다공성 물질인 목재 기반의 바이오차를 적용하였다. 실험에 사용된 바이오차는 강도 증진 목적이 아닌 순수 바이오차만의 영향을 파악하기 위해 골재로 대체하였으며, 기본물성, 역학적 성능 및 단열성능 평가를 통해 사용 가능성을 평가하고자 하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 사용재료

본 연구에서 사용된 바이오차는 1,000 °C 이상에서 탄화한 것으로 작은 공극이 많아 흡착성이 뛰어난 백탄으로 강원도 K 공장

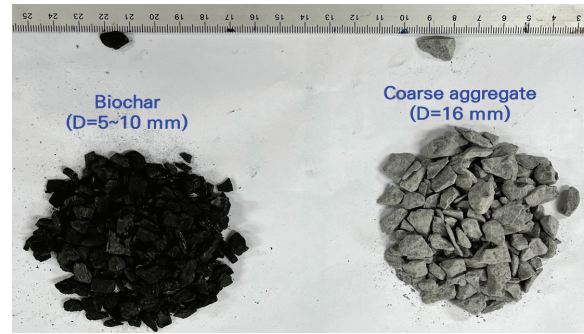


Fig. 1. Comparison of biochar and aggregate

제품을 사용하였다(Fig. 1). 바이오차의 물리적 성질은 5~10 mm 크기의 단일골재, 밀도 0.78 g/cm<sup>3</sup>, 조립율(F.M) 3.09와 흡수율 9.91 %이다. 바인더는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 직경 16 mm의 굵은 골재를 사용하였다. 작은 밀도와 물을 흡착시키는 바이오차의 특성상 용적 치환을 할 경우, 극소량이 사용되어 순수 바이오차만의 특성을 파악하기 힘든 것으로 파악되었다. 따라서 본 배합은 골재 중량 기준으로 바이오차를 중량비로 치환하였으며, 골재와 골재 사이의 부착력 감소를 방지하기 위해 배합수의 중량 대비 35 %의 증점제를 사용하였다.

### 2.2 콘크리트 배합 및 제작

바이오차를 혼입한 콘크리트의 배합조건을 Table 10에 나타내었다. 전체 배합의 물-시멘트(w/c) 비는 다양한 시험 배합을 통해 작업성이 가능한 수준으로 0.35를 적용하였다. 총 4개의 배합에 바이오차 혼입율을 0, 5, 10 및 15 %를 각각 적용하였다. 시편의 제작방법은 비 구조체인 콘크리트 패널의 특성을 고려하여 건식방법을 사용하였다. 건식방법을 적용할 경우, 패널의 작업 공정을 단순화시켜 대량 생산이 가능함에 따라 경제성을 충분히 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

콘크리트 믹싱을 완료한 후, 콘크리트 시편별로 상면에 가압판을 배치하여 1 MPa의 일정한 압력을 가해 압축 및 부착에 대한

Table 1. Mix proportions

Mixture	W/C	Water (kg)	Cement (kg)	Coarse aggregate (kg)	Biochar			Cohesive agent (kg)	Compaction (MPa)
					Size (mm)	Contents (%)	Weight (kg)		
1	0.35	4.39	12.53	45.84	-	0	0	1.54	1
2	0.35	4.39	12.53	43.55	5~10	5	1.3	1.54	1
3	0.35	4.39	12.53	41.25	5~10	10	2.6	1.54	1
4	0.35	4.39	12.53	38.96	5~10	15	4.0	1.54	1

성형성을 높여 제작하였다. 제작된 시편은 24시간 동안 기건양생을 실시하였고, 거푸집에서 탈형한 후  $20 \pm 5^\circ\text{C}$  조건으로 수증양생을 진행하였다.

### 3. 다공성 콘크리트의 실험 및 분석

#### 3.1 기본물성

바이오차를 혼입한 콘크리트의 공극률 측정은 KS F 2385에 근거하여 실시하였다. 원주형 시편을 이용하여 수중 중량( $W_1$ , g), 기건상태의 시편 중량( $W_2$ , g)과 시편의 부피( $V$ ,  $\text{cm}^3$ )를 각각 측정하였다. 물의 단위중량( $\rho_w$ ,  $\text{g}/\text{cm}^3$ )과 측정된 결과를 식 (1)에 각각 대입하여 바이오차 콘크리트의 공극률을 도출하였다.

$$\text{총공극률} = \left[ 1 - \frac{(W_2 - W_1)}{\rho_w V} \right] \times 100 \quad (1)$$

바이오차 혼입율 0, 5, 10 및 15 %에 해당하는 공극률은 5.2, 5.8, 8.7 및 10.1 %로 증가하는 경향을 나타낸다. 이는 동일한 압력 (1 MPa)의 성형조건에서 바이오차 혼입율이 높을수록 내부 공극이 커지므로 바이오차 0 % 혼입된 기준 시편 대비 바이오차 15 %가 혼입된 시편의 총공극률이 약 2배 이상 커지는 것으로 판단된다.

또한 다공성 콘크리트의 단위중량은 원주형 공시체 시편의 중량과 길이 측정을 통해 식 (2)을 활용하여 산정하였다.

$$\text{단위중량} (\gamma) = \frac{W}{V} = \frac{W}{\frac{\pi \times d^2}{4} \times h} \quad (2)$$

여기서,  $W$ 는 시편의 중량(g),  $V$ 는 시편의 부피( $\text{mm}^3$ ),  $d$ 는 시편의 지름(mm),  $h$ 는 시편의 높이(mm)이다.

바이오차 혼입율 0, 5, 10 및 15 %에 해당하는 단위중량은 2,306, 2,184, 2,044 및 1,942  $\text{kg}/\text{m}^3$ 의 값을 나타낸다. 국내 경량 콘크리트 기준인 2,000  $\text{kg}/\text{m}^3$ 에 근접한 값으로 적용 범위를 만족하는 것으로 판단된다.

바이오차를 혼입한 다공성 콘크리트의 투수계수 측정을 위하여 월류구와 배수구의 수위차를 150 mm를 두고 투수 원통안에 시편을 설치하였다. 원통 상단으로부터 서서히 물을 채워 배수구와 월류량이 일정하게 되었을 때 실험을 진행하였다. 투수계수 실험은 0.5분 동안 배수구에서 배출되는 물의 양을 3회 측정하여 식 (3)에 대입하여 투수계수를 산정하였다.

$$\text{투수계수} = \frac{L}{h} \times \frac{Q}{A(t_2 - t_1)} \quad (3)$$

여기서,  $L$ 은 시편의 두께(mm),  $A$ 는 시편의 단면적( $\text{mm}^2$ ),  $h$ 는 수위차(mm),  $t_1$ 은 측정 시작 시간(초),  $t_2$ 는 측정 종료시간(초),  $Q$ 는  $t_1-t_2$ 에 배수된 수량( $\text{mm}^3$ )이다.

바이오차 혼입율 0, 5, 10 및 15 % 시편에서 투수계수는 각각 0.18, 1.12, 1.35 및 1.56으로 측정되었다. 바이오차 혼입율이 증가할수록 투수계수는 증가하는 경향을 나타낸다. 이는 총공극률과 유사한 경향으로 콘크리트 내부에서 골재와 골재 사이에 발생하는 공극의 형태에 의해 투수계수 값에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

#### 3.2 역학적 성능

바이오차를 혼입한 콘크리트의 역학적 특성을 분석하기 위하여 KS F 2405 콘크리트의 압축강도 시험방법과 KS F 2408 콘크리트의 휨 강도 시험방법에 따라 재령 28일 강도를 측정하였다. 각 배치별 시편 3개의 강도를 측정하였으며, 2,000 kN 용량의 만능형재료시험기(Universal Testing Machine, UTM)를 사용하였다.

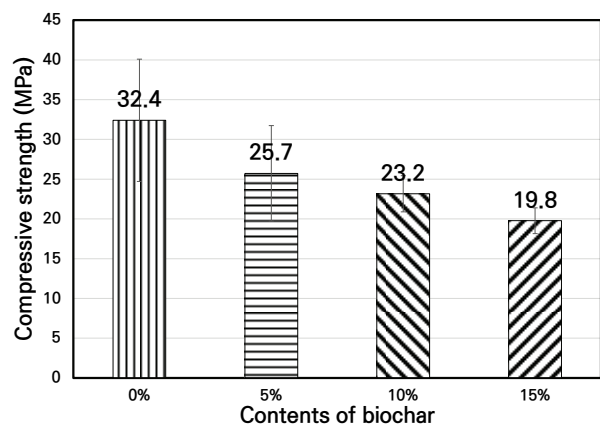


Fig. 2. Compressive strength

콘크리트의 압축강도는 바이오차 혼입율 0, 5, 10 및 15 %에서 29.4, 25.7, 23.2 및 19.8 MPa로 감소하는 경향을 나타낸다(Fig. 2). 이는 다공성으로 구성된 바이오차 혼입율이 증가함에 따라 다양한 크기의 공극과 단위 시멘트량이 적은 배합 특성으로 인해 수화반응 시 강도 저하에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Fig. 3과 같이 콘크리트의 휨 강도는 바이오차 혼입율 0, 5, 10 및 15 %에서 각각 0.78, 0.78, 0.64 및 0.42 MPa로 측정되었다. 시험체의 파괴형상은 일반 콘크리트와 유사한 거동을 나타내었다.

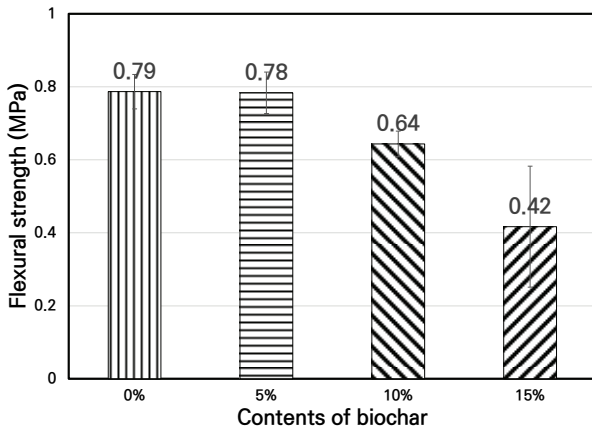


Fig. 3. Flexural strength

바이오차 특성 상 시멘트계 매트릭스와 반응하지 않기 때문에 혼입율이 증가할수록 다량의 공극이 형성되고, 균일하지 못한 입도 크기로 인해 낮은 휨인장강도를 나타내는 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서 사용된 바이오차의 입자크기는 비교적 큰 5~10 mm를 적용하였으나, Gupta et al.(2020)은 바이오차 나노/마이크로 입자를 적용하여 양생 또는 필러재로 사용하여 강도가 향상되는 것으로 분석되었다. 따라서, 바이오차 입자크기 및 적용 방법에 대한 상세 연구가 필요하다.

### 3.3 열적 특성

바이오차를 혼입한 콘크리트의 열전도율은 TPS(transient plane system)-1500 열전달 측정 장비를 활용하여 실험을 진행하였다. 원주형 시편을 절단시킨 후 상온과 동일한 온도 조건에서 24시간 존치 시킨다. 이후 온도의 동일 시점에서 시편을 서로 맞닿게 배치하고 시편과 시편 사이에 측정 센서가 맞물리도록 고정하여 열전도율을 측정하였다. Fig. 4와 같이 바이오차 혼입율이 0, 5, 10 및 15 %로 증가함에 따라 열전도율은 1,782, 1,444, 1,467 및 1,263으로 감소하는 경향을 나타낸다. 이는 바이오차 특성에 기인한다. 바이오차 혼입을 증가는 단위부피당 공극량이 증가하며, 공극량 증가는 열전도율 감소에 영향을 준다. 일반적으로 열전도율은 분자와 분자 사이의 거리가 짧을수록 커지며, 기체보다는 고체에서 상대적으로 크다. 따라서, 바이오차 혼입을 증가는 공극의 증가, 즉, 단위부피당 기체의 양이 증가하며, 열전도도 성능을 약화시키는 요소로 작용된다.

바이오차 혼입율 0 % 시편 기준으로 5, 10 및 15 %로 증가함에 따라 열전도율은 약 19, 17 및 29 % 감소함에 따라 단열성능이 우수한 것으로 나타난다. 바이오차 혼입율은 단열성능을 확보하기 위한 핵심 인자로 판단된다.

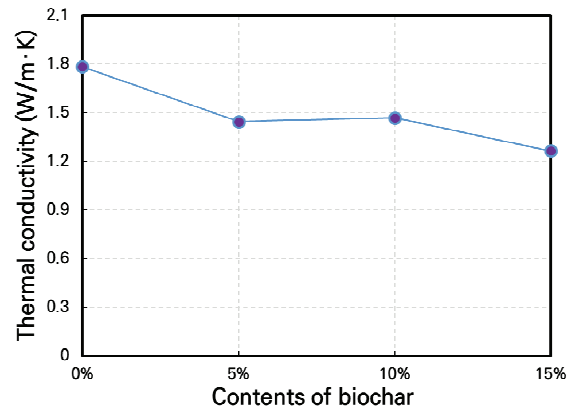


Fig. 4. Thermal conductivity

### 3.4 단열 특성

본 연구에서는 단열성능을 검증하기 위해 Fig. 5와 같이 소형 거푸집을 제작하였다. 거푸집 내부 전체 공간에 열이 방출되지 않도록 단열재를 설치하였다. 공간 A와 공간 B의 중앙에 콘크리트 패널을 삽입하여 계측 위치별 온도 차이로 단열성능을 검증하고자 하였다. 공간 A와 공간 B에 온도를 측정할 수 있는 온도측정용 계측장치와 공간 A에 온도를 가열할 수 있는 별도의 온도 가열장치를 설치하여 내부 온도를 설정하였다. 공간 A에 300 °C 조건으로 가열시켜 직접 전도되는 시스템 대신 난방 시스템과 유사한 대류 조건으로 온도를 가열하였다. 온도 가열 조건은 20분 동안 300 °C 조건으로 가열 후 60분 동안 유지하는 조건으로 실험을 수행하였다.

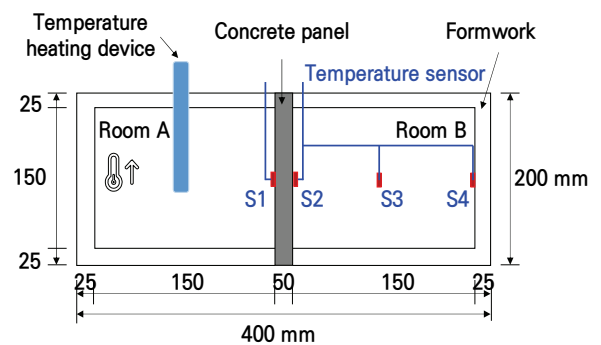


Fig. 5. Concept of insulation performance experiment

실험체의 단열성능을 평가하기 위해 온도측정 센서를 공간 A 콘크리트 패널 외측 중앙면에 S1을 설치하였다. 공간 B의 경우 S1과 직접적인 비교를 위하여 콘크리트 패널 외측 중앙면에 S2를



Fig. 6. Setup for insulation performance experiment

설치하였다. 또한 공간 B의 중앙부에 S3와 최외측 벽체 중앙에 S4를 설치하여 온도측정 데이터를 분석하였다. Fig. 6과 같이 소규모 단열성능 평가 실험을 수행하였다.

대표적으로 바이오차 15 %가 혼입된 시편의 시간별 온도 관계 곡선을 살펴보면 다음 Fig. 7과 같다. 초기 20분까지 공간 A에서 온도측정 센서 S1은 약 45 °C까지 상승한 후, 60분 동안 온도가 서서히 증가하여 대략 58 °C까지 증가하는 경향을 나타내었다. 공간 B에 설치된 온도측정 센서 S2, S3 및 S4의 온도값은 초기 20분간 25 °C로 측정되었다. 이후, 40분에 측정된 온도는 평균 26.5 °C로 나타내었고, 온도측정이 종료된 시점인 80분에서 평균 30.9 °C로 측정되었다. 온도측정 센서 S1과 S2의 온도 차이는 26.7 °C로 나타내었다.

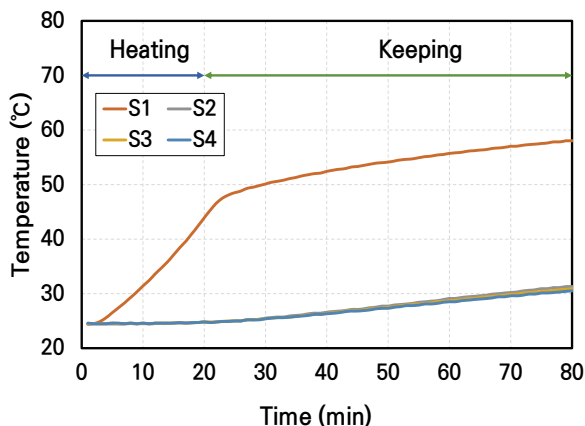


Fig. 7. Temperature according to the measuring point

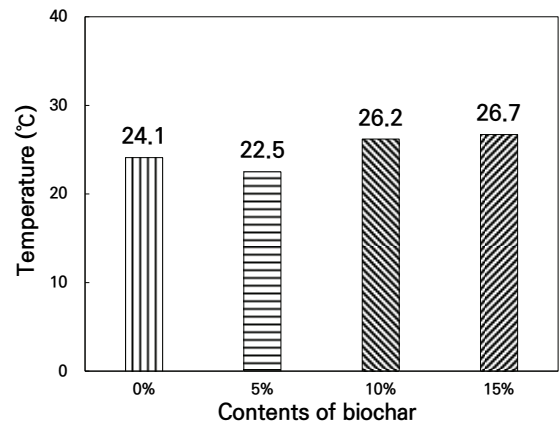


Fig. 8. Comparison of insulation temperature results

바이오차 혼입율 0, 5, 10 및 15 %가 혼입된 콘크리트 패널 실험체의 온도측정 센서 S1과 S2의 차이는 24.1, 22.5, 26.2 및 26.7 °C의 차이를 나타내었다(Fig. 8). 바이오차 혼입율 0 %인 기준 시편 대비 바이오차 혼입율 10 %와 15 % 조건에서 온도 차이가 약 8 %와 10 % 큰 것으로 보아 단열성능은 향상되는 것으로 나타났다.

## 4. 단열성능과 역학적 특성 분석

### 4.1 단위중량과 공극률 관계

바이오차 혼입량 0, 5, 10 및 15 %에서 측정된 평균 단위중량은 2,306, 2,184, 2,044, 1,942 kg/m<sup>3</sup>으로서 감소하는 경향을 나타낸다. 반면에 공극률은 5.2, 5.8, 8.7 및 10.1 %로 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 Fig. 9에 나타난 바와 같이 공극률이 증가할수록 단위부피당 공극의 양은 증가하게 된다. 이는 공극이 콘크리트 구성재료를 대체하게 되는 효과를 주며, 결과적으로 단위중량의 감소를 유발한다. 또한, 콘크리트의 단위중량과 공극률의 회귀분석을 실시한 결과, 상관계수는 0.86으로 단위중량과 공극률은 반비례하며, 연관성이 큰 것으로 판단된다.

### 4.2 열전도율과 강도 특성 관계

Fig. 10에서는 콘크리트의 열전도율과 압축강도의 회귀분석을 수행하였다. 압축강도가 증가할수록 열전도율은 비례하여 증가하는 경향을 나타내었다. 압축강도가 증가하는 것은 콘크리트를 형성하는 미세구조가 더욱 조밀해지는 것과 상응한다. 즉, 공극의 양이 줄어들어 치밀한 구조를 갖게 되며, 이는 분자와 분자 사이의

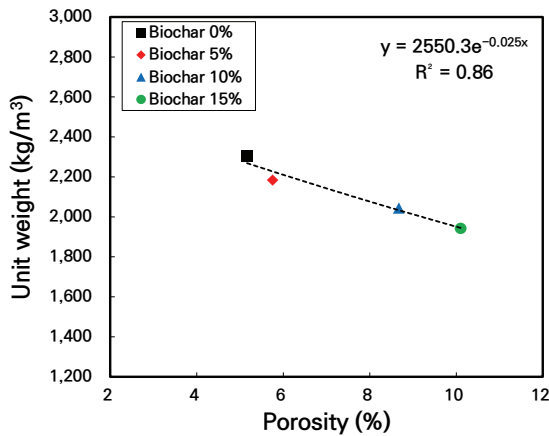


Fig. 9. Relationship of porosity and unit weight

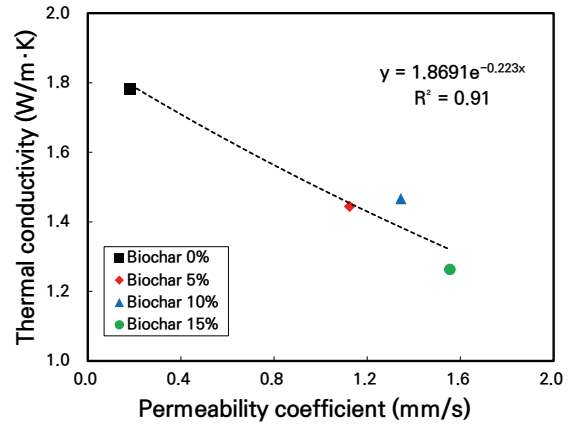


Fig. 11. Relationship of permeability and thermal conductivity

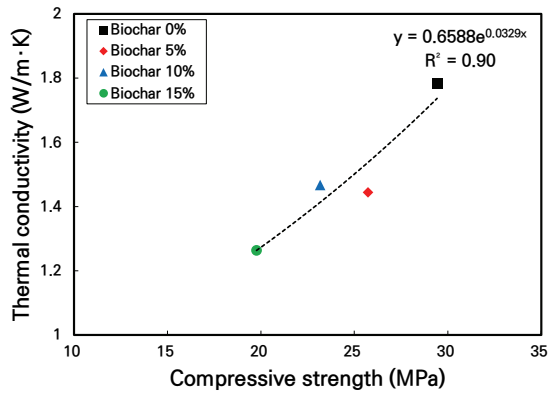


Fig. 10. Relationship of compressive strength and thermal conductivity

거리가 가까운 고체를 상대적으로 다량 내포하는 효과를 준다. 따라서, 열전도율 증가 효과를 나타내게 된다. 회귀분석을 통한 상관관계는 0.90으로 열전도율과 압축강도는 서로 매우 밀접한 영향을 주는 주요 인자임을 나타낸다.

#### 4.3 열전도율과 투수계수 분석

Fig. 11에서 나타난 것처럼 콘크리트의 열전도율과 투수계수의 밀접한 영향을 파악하기 위하여 회귀분석을 실시하였다. 투수계수가 증가할수록 열전도율은 감소하는 경향을 나타내었다. 투수계수의 증가는 다공성 콘크리트의 연결 기공이 많아지는 것뿐만 아니라 공극의 양 증가를 의미한다. 열전도율 특성은 기체보다 고체에서 상대적으로 높으며, 따라서, 투수계수의 증가는 열전도도를 감소시키는 요소로 작용한다. 또한, 상관관계는 0.91로 서로 밀접한 영향을 주는 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 바이오차를 혼입한 친환경 콘크리트 패널을 개발하기 위해 기본물성과 역학적 성능 및 열적 특성 검증 연구를 수행하였으며, 주요 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 기본물성은 바이오차 혼입율이 증가할수록 총공극률은 약 2배 이상 증가하고, 투수계수 역시 약 12 %가 증가하는 경향을 나타낸다. 또한 단위중량은 경량콘크리트 기준인 2,000 kg/m³에 근접하여 적용 범위를 만족하는 것으로 분석되었다.
2. 콘크리트의 압축강도는 바이오차 혼입율이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내지만, 설계기준 압축강도 18 MPa 이상을 확보하였다. 휨 인장강도는 일반 콘크리트와 유사한 파괴 거동을 나타내지만, 강도는 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 다공성 콘크리트의 작업성 증진과 콘크리트 강도 증진을 위한 상세 실험 연구가 필요할 것으로 판단된다.
3. 바이오차 혼입율이 증가할수록 열전도율과 단열성능은 각각 최대 29 % 감소 및 10 % 향상하는 경향을 나타내었으며, 강도의 영향을 받지 않고 단열성능을 요구하는 구조 부재에 적용하기 위한 상세 검토가 필요할 것으로 판단된다.
4. 실험결과를 바탕으로 상관관계 분석을 위해 회귀분석을 실시한 결과, 바이오차의 핵심 인자로는 콘크리트의 단위중량, 공극율, 투수계수, 강도 및 열전도율인 것으로 분석되었다.

## Conflicts of interest

None.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술정보통신부 한국건설기술연구원 연구운영  
비지원(주요사업)사업으로 수행되었습니다(과제번호 20220140-  
001, 남북한 공동번영을 위한 인프라 통합 · 연계 기반 구축 연구).

## References

- Akhtar, A., Sarmah, K. (2018a). Novel biochar-concrete composites : manufacturing, characterization and evaluation of the mechanical properties, *Science of The Total Environment*, **616-617**, 408-416.
- Akhtar, A., Sarmah, K. (2018b). Strength improvement of recycled aggregate concrete through silicon rich char derived from organic waste, *Journal of Cleaner Production*, **196**, 411-423.
- Choi, W.C., Yun, H.D., Lee, J.Y. (2012). Mechanical properties of mortar containing bio-char from pyrolysis, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, **16(3)**, 67-74 [in Korean].
- Choi, W.G., Park, H.R., Suh, S.J. (2004). A fundamental study for the development of building materials using the charcoal, *Journal of the Architectural Institute Korea*, **20(3)**, 185-192 [in Korean].
- Cosentino, I., Restuccia, L., Ferro, G.A., Tulliani, J.M. (2019). Type of materials, pyrolysis conditions, carbon content and size dimensions: the parameters that influence the mechanical properties of biochar cement-based composites, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, **103**, 102261, 1-10.
- Gupta, S., Wei, K.H., Dai, P.S. (2020). Effect of biochar on mechanical and permeability properties of concrete exposed to elevated temperature, *Construction and Building Materials*, **234**, 117338, 1-16.
- Khushnood, R.A., Ahmad, S., Restuccia, L., Spoto, C., Jagdale, P., Tulliani, J.M., Giuseppe, A.F. (2016). Carbonized nano/microparticles for enhanced mechanical properties and electromagnetic interference shielding of cementitious materials, *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, **10**, 209-213.
- Kim, Y.M., Choi, H.Y., Chung, Y.G., Ryu, H.G. (2006). A study on the properties and friendly environment efficiency charcoal concrete bricks, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, **6(1)**, 123-130 [in Korean].
- Restuccia, L., Ferro, G.A. (2016). Nonoparticles from food waste: a "green" future for traditional building materials, 9<sup>th</sup> International Conference on Fracture Mechanicals of Concrete and Concrete Structures, 1-6.
- Restuccia, L., Reggio, A., Ferro, G.A., Kamranird, R. (2017). Fractal analysis of crack paths into innovative carbon-based cementitious composites, *Theoretical and Applied Frature Mechanics*, **90**, 133-141.
- Wolf, D., Amonette, J.E., Street-Perrott, F.A., Lehmann, J., Joseph, S. (2010). Sustainable biochar to mitigate global climate change, *Nature Communications*, **1**, 1-16.

### 바이오차를 혼입한 콘크리트의 물성 특성과 단열성능에 미치는 영향

본 연구에서는 바이오차를 혼입한 친환경 콘크리트 패널을 개발하고자 한다. 단열성능과 탄소 포집이 가능한 바이오차를 혼입시킨 다공성 콘크리트의 물리적 특성, 역학적 특성 및 열적 특성 실험을 수행하였다. 다공성 콘크리트 배합은 바이오차 혼입율 0, 5, 10 및 15 %와 물-시멘트 비를 0.35로 고정하여 배합조건을 구성하였다. 기본 역학적 특성을 평가하기 위해 단위중량, 총 공극률 및 투수계수를 측정하였다. 바이오차 혼입율이 증가함에 따라 총 공극률과 투수계수는 증가하지만 단위중량은 감소하였다. 콘크리트 압축강도는 바이오차 혼입율이 증가할수록 감소하지만 설계기준 압축강도 이상을 확보하였다. 열전도율은 바이오차 혼입율이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내어 단열성능에 뛰어난 재료임을 증명하였다. 또한 회귀분석을 통해 다공성 콘크리트의 단위중량, 총 공극률, 콘크리트 압축강도 및 열전도율과 상관관계를 제시하였다. 상관관계 분석을 통해 바이오차의 적용 범위를 확대하기 위한 주요 변수를 제시하였다.