

# 황토-마그네시아 복합체 활용 Living Concrete의 품질특성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on Quality Properties of Living Concrete Using Loess-Magnesia Composites

최연왕<sup>1</sup> · 나영우<sup>1\*</sup> · 권용우<sup>2</sup>

Yun-Wang Choi<sup>1</sup> · Young-Woo Na<sup>1\*</sup> · Yong-Woo Kwon<sup>2</sup>

(Received November 14, 2022 / Revised December 20, 2022 / Accepted December 21, 2022)

In this study, as a result of evaluating the quality properties of Living Concrete, the flow of the table showed a tendency to decrease as the mixing ratio of ocher increased. Compressive strength was found to decrease with increasing loess mixing ratio. Density properties were evaluated for weight reduction, As a result of comparison with the panel using cement as a comparison group, the density was measured to be about 20 % lower than that of the cement panel, and it is judged that it is less affected by the load and can be installed in the structure. As a result of evaluating the panel temperature reduction, there was a difference in the temperature reduction with time. It is judged that the panel planted with moss has a lower temperature than the panel without moss, so it is judged that it can be used in a vertical greening system.

**키워드** : Living concrete, 이끼, 황토, 마그네시아

**Keywords** : Living concrete, Moss, Ocher, Magnesia

### 1. 서론

도시화는 현대 경제 및 사회의 발전과 진보에서 대체할 수 없는 중요한 사안으로 세계 도시인구가 농촌인구를 추월하는 시점에서 세계 도시인구는 2018년 기준 42억 2천만명, 도시화의 비율은 55.3%에 육박한다. 이러한 도시화의 증가는 도시 열섬효과를 발생시키며, 공기질악화, 대기오염 및 미세먼지에 따른 오염으로 도시환경 및 인간의 건강을 악화시키는 것으로 나타났다(Santamouris et al, 2011; Wang et al, 2021; Yao et al, 2022).

또한, 인간의 활동은 이산화탄소를 중심으로 많은 온실가스를 배출하며, 이로 인한 지구기후 변화는 생태계에 심각한 영향을 미친다(Adesina 2020; Chicco and Stephenson 2012).

이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 최근 수직형 녹화 시스템(Vertical Greenery System)이 대두되었으며(Ahsan et al, 2022; Perini et al, 2011), 수직형 녹화 시스템(VGS)은 대기오염

감소 및 부정적 기후변화 완화 등 도시환경의 개선이 가능한 시스템으로 수직으로 성장하는 생물학적 구성요소와 생물학적 시스템을 포함한다(Cheng et al, 2010; Jiang et al, 2018). 생물학적 구성요소 중 하나인 생물학적 패널 제작을 통해 품질특성을 평가하고자 하였다(Wang et al, 2021). 패널은 생물의 생육을 위하여 부착이 용이 하도록 하였으며, 수직형 녹화 시스템을 건물 외관에 설치하여 건물의 표면온도, 평균복사온도 및 대기온도를 저감을 통하여 냉방에 소모되는 에너지 수요를 저감시키며, 도시의 공기질 개선 및 건축물의 녹색 시각화를 통한 공공예술의 형태로 작용한다(Huang et al, 2019; Perini et al, 2011; Shahab et al, 2020; Prebble et al, 2021).

Living Concrete 패널(Living Concrete Panel, 이하 LCP로 약함)이란 생물의 생육을 위한 패널을 뜻하며, 패널 표면에 생물을 부착하여 생물의 생존을 가능하게 한다. 이러한 LCP는 다양한 생물종의 생육이 가능하나 선대류에 속하는 이끼를 활용하였다.

\* Corresponding author E-mail: survey21@semyung.ac.kr

<sup>1</sup>세명대학교 토목공학과 교수 (Department of Civil Engineering, Semyung University, Jecheon, 27136, Korea)

<sup>2</sup>세명대학교 건설공학과 석사과정 (Department of Civil Engineering, Semyung University, Jecheon, 27136, Korea)

이끼는 완전건조 상태에서도 사멸하지 않으며, 수분 공급을 통하여 다시 광합성이 가능하다. 또한, 생장을 지속하기 때문에 유지 관리가 용이하다. 이끼의 구조는 줄기, 잎, 뿌리의 구별이 뚜렷하지 않으며, 그 자체로 미세먼지와 이산화탄소를 흡수한다(Hwang et al. 2009; 2008; Lee et al. 2010). 또한, 체내 수분 저장능력이 일반적 관엽식물보다 뛰어나며, 혹서 및 혹한에 대한 적응력이 높아 사계절 녹화가 가능하므로 토양이 없어도 생육이 가능하여 관리에 용이하다. 이끼의 호흡작용은 일반적인 관엽식물과 달리 광합성을 통하여 산소를 발생시키며, 휴식기에는 탄산가스 동화작용에 의하여 이산화탄소를 체내에 고정한다. 독일의 이끼를 활용한 시티트리(높이 약 4 m, 가로길이 3 m 및 두께 2.2 m)는 1기당 1년에 240t의 이산화탄소를 정화할 수 있는 양으로 실제 나무 약 275그루의 나무와 동일한 공기정화 성능을 가지므로 미세먼지의 오염을 최대 82 %까지 감소시키며, 주변온도를 최대 4 °C 저감이 가능한 것으로 보고되었다.

따라서 LCP를 활용하여 이끼의 착근 및 생육이 가능한 환경을 조성하고자 하였으며, 일반적인 시멘트 사용시 패널의 pH가 높아 이끼가 장기간 생존 및 유지에 적합하지 않다. 또한, 표면이 매끄러워 이끼의 착근이 어려운 단점이 있다. 본 연구에서는 이러한 단점을 해결하고자 이끼의 착근 및 생육이 가능한 LCP의 모재로써 pH가 낮은 마그네시아 시멘트를 활용하였으며, 재료의 생산에서의 이산화탄소 저감을 위한 친환경 재료인 황토를 활용하였다. 또한, 이끼의 착근성 향상을 위한 표면의 거칠기를 확보하기 위하여 기포제를 활용하였으며, 수분공급 및 유지를 위하여 수분 흡수량이 높은 고흡수성수지를 첨가재료 활용하였다. 본 연구에서는 LCP로 활용하기 위한 황토-마그네시아 복합체의 기초 물성을 평가하였으며, 이끼를 착근한 LCP의 환경영향 특성을 평가하였다.

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

#### 2.1.1 결합재

실험에 사용된 결합재는 국내 D사의 사소마그네시아(MgO)와 이와 반응하기 위한 경화제로 국내 D사의 제1인산칼륨(KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)을 사용하였다. Table 1과 Table 2는 실험에 사용된 결합재의 화학성분 및 물리적 특성을 나타낸 것이다.

Table 1. Chemical composition and physical properties of magnesia

Type	Purity (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )
MgO	98.68	0.1	1.1	3.6

Table 2. Chemical composition and physical properties of potassium phosphate, monobasic

Type	Purity (%)	Cl (%)	pH	Density (g/cm <sup>3</sup> )
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	99	0.005	4.3	2.34

#### 2.1.2 황토

실험에 사용된 황토는 국내 G사의 황토(Ocher)를 사용하였다. 황토를 사용한 근거는 시멘트 대신 결합재로 사용하여 이산화탄소 발생량을 줄여 탄소저감의 효과를 가져오며, 토양의 일반적인 특성과 유사하여 이끼의 생육에 긍정적인 효과를 가져올 수 있는 재료를 선정하였다. Table 3은 실험에 사용된 황토의 화학성분 및 물리적 특성을 나타낸 것이다.

Table 3. Chemical composition and physical properties of ocher used in the experiment

Type	Purity (%)	Mesh	pH	Density (g/cm <sup>3</sup> )
Ocher	99	325	9	2.57

#### 2.1.3 혼합재

실험에 사용된 혼합재로 마그네시아 복합체는 속경성 재료로써 지연재로 붕사(Borax, 이하 R로 약함)를 사용하여 작업성을 확보하였으며, 기포제는 국내 D사의 탄산수소나트륨(Sodium hydrogen carbonate, 이하 SHC로 약함)을 사용하였다. 배합 후 기포가 발생하는 후기포 방식을 적용하였다. Table 4 및 Table 5는 실험에 사용된 붕사 및 탄산수소나트륨의 화학성분 및 물리적 특성을 나타낸 것이다.

또한, 패널의 수분 흡수량을 향상시켜 생물의 생육환경을 향상시키고자 국내 T사의 고흡수성수지(Superabsorbent polymer, 이하 SAP로 약함)를 첨가하였다. Table 6은 SAP의 화학성분 및 물리적 특성을 나타낸 것이다.

Table 4. Chemical composition and physical properties of borax

Type	Purity (%)	Melting point (%)	Boiling point (%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )
R	99	75	320	1.73

Table 5. Chemical composition and physical properties of sodium hydrogen carbonate

Type	Purity (%)	Cl (%)	Fe (%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )
SHC	99	0.005	0.003	2.15

Table 6. Chemical composition and physical properties of SAP

Type	Content (%)	pH (%)	Retention Capacity(g)	Density (g/cm <sup>3</sup> )
SAP	1.45	6.11	26.50	0.63

2.1.4 이끼

실험에 사용된 이끼는 다른 일반적인 수종과 달리 생존력이 높으며, pH, 온도 및 수분공급에 영향이 적고 국내환경에서 분포하여 서식하는 선태류 식물 중 하나인 서리이끼를 사용하였다.

2.2 실험계획

2.2.1 LCP의 배합설계

실험에 사용된 배합표는 W/B 35 %, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>:MgO=1:0.5, R 3 %로 Table 7과 같이 고정하였으며, LCP를 제조하기 위한 실험계획 및 변수는 Table 8과 같이 황토, 기포제 및 SAP 혼합률에 따라 배합설계를 진행하였다. 고정 근거는 선행연구(Choi et al, 2017)를 통하여 목표 플로우 200~250 mm, 목표 압축강도 10 MPa 이상을 만족하는 배합을 결정하였다.

Table 7. Mix table used in the experiment

Types	W	Binder		R (MgO×%)
		KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (Vol.)	MgO (Vol.)	
Plain	0.35	1	0.5	3
LCP				

Table 8. Experimental plan and parameters for panel manufacturing

Type	Experimental parameters
Fixed condition	W/B 35 %, KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> :MgO=1:0.5, R 3 %
Ocher (B×%)	10, 20, 30, 40, 50
SHC (B×%)	0.25, 0.50, 0.75, 1.00
SAP (B×%)	0.25, 0.50, 0.75, 1.00

2.3 평가방법

2.3.1 플로우

LCP의 플로우는 “KS L 5111”에 준하여 측정하였으며 목표 플로우는 작업성을 고려하여 200~250 mm를 기준으로 하였다.

2.3.2 압축강도

LCP의 압축강도는 “KS L 5105”에 준하여 50 × 50 × 50 mm의 큐브형 시편을 성형하여 수중 양생을 실시하였으며, 재령일에 압축강도를 평가하였다. 재령 7일과 28일의 압축강도의 차이가 동등 수준을 나타내어 28일을 제외한 1일, 3일 및 7일에 대한 강도를 측정하였다. 목표 압축강도는 조경설계기준에 의하여 녹화용 식생 블럭 강도기준인 7.84 MPa보다 높은 10 MPa를 목표 압축강도로 설정하였다.

2.3.3 경량 특성

LCP의 경량 특성은 기포제 혼합을 통해 밀도를 감소시켜 패널의 경량화를 통해 하중 문제를 해결하고자 하였으며, 경량특성은 “KS F 4736”에 준하여 패널 소재의 밀도 측정 후 300 × 300 × 30 mm 크기의 보통 포틀랜드시멘트로 제작된 패널과 황토-마그네시아 복합재료를 활용한 패널의 밀도를 측정하여 비교 분석하였다.

2.3.4 패널온도 저감성

이끼를 착근한 LCP의 패널온도 저감성능은 일조량이 좋은 지역에 보통 포틀랜드시멘트로 만든 패널과 이끼를 착근한 LCP를 설치하고 열화상 카메라를 이용하여 기온이 높은 하절기에 11:00, 14:00 및 17:00 시간대의 패널온도 저감성능을 측정하였다. Fig. 1은 패널온도 저감성능 시험을 나타낸 것이다.



Fig. 1. Evaluation of temperature reduction performance

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 품질특성 평가

##### 3.1.1 황토 치환율에 따른 플로우

Fig. 2는 황토 치환율(0 %, 10 %, 20 %, 30 %, 40 % 및 50 %)에 따른 플로의 관계를 나타낸 것이다. Fig. 2의 결과 황토 치환율이 증가할수록 플로우가 감소하는 경향이 나타났다. 황토 치환율 10 %의 경우 플로우 210 mm로 0%의 플로우와 동등 수준으로 나타났으며, 황토 치환율 20 %, 30 %에서는 플로우 190 mm로 치환율의 증가에 따른 플로우 감소가 나타났다. 또한 황토 치환율 40 %는 플로우 150 mm, 황토 치환율 50 %는 플로우 120 mm로 치환율의 증가에 따라 최소 10 %에서 최대 40 % 감소하는 경향이 나타났다.

이러한 결과는 W/B의 경우 황토가 기존 결합재와 비교하여 배합수를 흡수하는 표면적이 높아 치환율이 증가할수록 플로우의 감소현상이 증가하는 것으로 판단하였다. 이러한 결과를 통하여 LCP로 활용하기 위한 황토의 치환율은 작업성을 확보할 수 있는 목표 플로우(180 mm 이상)를 고려하여 최적의 황토 치환율을 선정해야 할 것으로 판단하였다.

##### 3.1.2 기포제 혼합률에 따른 플로우

Fig. 3은 황토 치환율 10 % 배합기준으로 SHC의 혼합율(0 %, 0.25 %, 0.50 %, 0.75 % 및 1 %)에 따른 플로우의 관계를 나타낸 것이다. Fig. 3의 결과 SHC 혼합율이 증가할수록 플로우가 증가하는 경향이 나타났다.

SHC 혼합율 0 %의 플로우 값은 230 mm로 나타났으며, SHC 혼합율 0.25 %는 플로우 값이 240 mm, 0.50 %는 플로우 값이 250 mm로 점차 증가하였으며 SHC 혼합율 0.75 %는 플로우 값이 250 mm로 SHC 혼합율 0.50 %와 동일한 플로우 값을 나타냈으며, SHC 혼합율 50 %는 플로우 테이블의 최대값인 250 mm를 초과하여 그 이상의 측정값을 확인하기 어려웠다.

이러한 결과는 SHC 혼합율이 증가함에 따라 내부 공기량이 증가하여 플로우의 증가 현상이 나타났다. 일반적인 기포제를 사용한 결과와 동등한 양상을 나타내나 SHC는 일반적인 기포 발생 매커니즘과 달리 결합재의 산성이온과 반응하여 기포를 강렬하게 발생시키며, 열린기포를 형성함으로써 결합재를 밀어내어 플로우 값이 증가하는 현상이 나타나는 것으로 판단된다.

이러한 결과를 통하여 LCP의 이끼를 생육하기 위한 측면에서 열린기포는 이끼의 수분을 공급하는데 유리한 성능을 보여 이끼의 생존성을 향상 시킬 것으로 판단된다. 최적의 SHC 혼합율의 경우

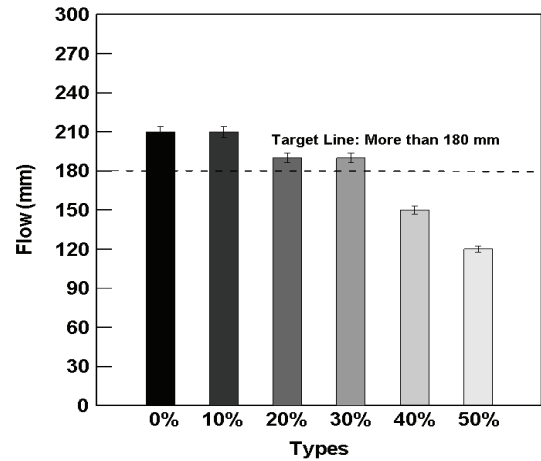


Fig. 2. Correlation between ocher ratio types and flow

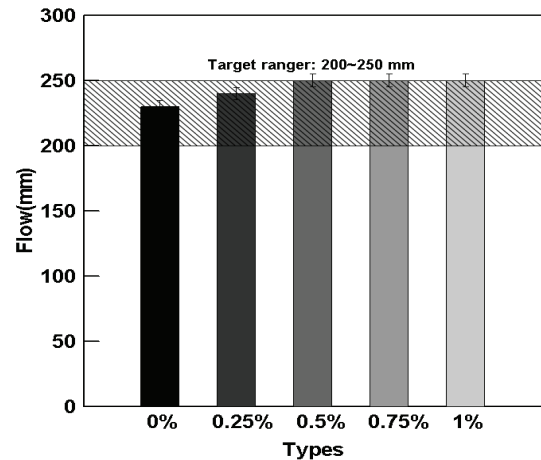


Fig. 3. Relationship between of flow according to foaming agent composition ratio

는 이끼 생육성능, 플로우 및 압축강도를 고려하여 SHC 혼합율을 선정하여야 할 것으로 판단된다.

##### 3.1.3 고흡수성수지 혼합률에 따른 플로우

Fig. 4는 SHC 혼합율 0.75 % 배합을 기준으로 SAP의 혼합율(0 %, 0.25 %, 0.50 %, 0.75 % 및 1 %)에 따른 플로우의 관계를 나타낸 것이다. Fig. 4의 결과 SAP 혼합율이 증가할수록 플로우가 감소하는 경향이 나타났다. SAP 혼합율 0 %의 플로우값은 250 mm로 나타났으며, SAP 혼합율 0.25 %, 0.50 %는 플로우값이 0 %와 동일하게 250 mm로 나타났다. SAP 혼합율 0.75 %, 1 %에서는 230 mm로 플로우가 감소하였으며, 1 %초과 시 목표 플로우를 만족하지 못하였다.

이러한 결과는 SAP가 물을 흡수하는 특성을 가지고 있어 SAP

혼합율이 증가할수록 배합수를 흡수하여 플로우가 감소하는 현상이 나타나는 것으로 판단된다.

이러한 결과를 통하여 SAP가 물을 흡수하는 특성을 가지고 있으나 시간에 걸쳐 물을 흡수하기 때문에 소량의 SAP 혼합율로는 플로우의 영향을 크게 받지 않아 적정량의 SAP 혼합은 LCP에 수분 함유량을 높여 이끼의 생육의 긍정적인 영향일 미칠 것으로 판단되며, 압축강도를 고려하여 최적의 SAP 혼합율을 선정해야 할 것으로 판단된다.

### 3.1.4 황토 치환율에 따른 압축강도

Fig. 5는 황토 치환율(10 %, 20 %, 30 %, 40 % 및 50 %) 및 재령(1일, 3일 및 7일)에 따른 압축강도의 관계를 나타낸 것이다. Fig. 5의 결과 황토 치환율이 증가할수록 압축강도가 감소하는 경향이 나타났다. 재령 7일 압축강도를 기준으로 황토 치환율 0%의 압축강도는 26 MPa로 나타났으며, 황토 치환율 10%는 23 MPa, 20%는 22 MPa, 30%는 17 MPa, 40%는 10 MPa 및 50%는 6 MPa로 나타났다. 황토 치환율 0%와 비교하였을 때 황토 치환율 10% 및 20%에서 강도 저하가 크지 않았으나 황토 치환율 30%부터 약 35%의 강도 저하가 나타났으며, 황토 치환율 40%에서는 강도가 약 50% 이상 저하되었다.

또한 황토 치환율 50%에서는 약 75%의 강도가 저하되었다. 이러한 결과는 황토 치환율 30% 이상 증가되었을 때 결합재와 미반응성 물질인 황토 치환율이 증가함으로써 강도가 저하된 것으로 판단되며, 황토 치환율 40% 및 50%에서는 플로우 저하에 따라 시험체 형성의 충분한 작업성을 확보하지 못한 결과로 압축강도가 저하 된 것으로 판단하였다.

본 연구에서 목표하는 압축강도는 조경설계기준에 의하여 녹화용 식생블럭(벽면녹화) 강도기준 7.84 MPa로 그 이상인 10 MPa를 목표로 설정하였고, 기포제(SHC) 및 고흡수성수지(SAP)의 첨가에 따른 압축강도 저하가 예상되어 플로우의 영향이 적으면서 압축강도가 높은 황토 치환율 10% 배합을 선정하였다.

### 3.1.5 기포제 혼합률에 따른 압축강도

Fig. 6은 SHC 혼합율(0 %, 0.25 %, 0.50 %, 0.75 % 및 1 %) 및 재령(1일, 3일 및 7일)에 따른 압축강도의 관계를 나타낸 것이다. Fig. 6의 결과 SHC가 증가할수록 압축강도가 감소하는 경향이 나타났다. 재령 7일 압축강도를 기준으로 SHC 혼합율 0%의 압축강도는 26 MPa로 나타났으며, SHC 혼합율 10%는 22 MPa, 30%는 21 MPa, 40%는 19 MPa, 50%는 10 MPa로 나타났다.

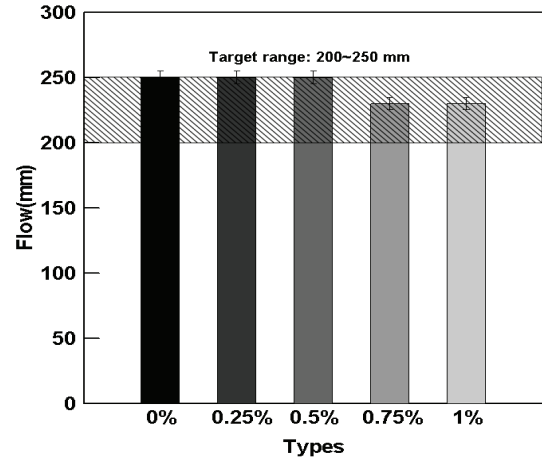


Fig. 4. Relationship between of flow according to composition ratio of SAP

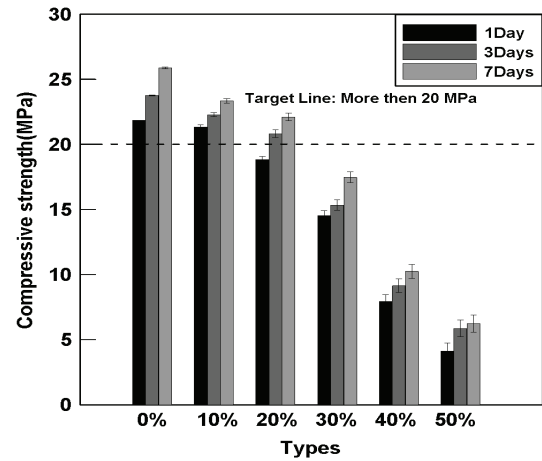


Fig. 5. Correlation between ocher ratio types and compressive strength according to age

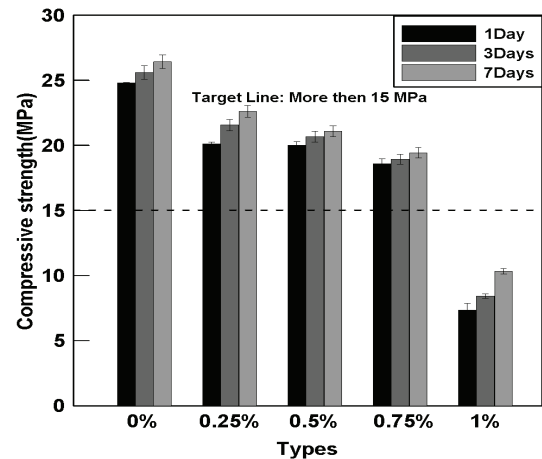


Fig. 6. Relationship between compressive strength and foaming agent composition ratio according to age

SHC 혼합율 0 %와 비교하였을 때 SHC 혼합율이 증가함에 따라 압축강도가 저하되었으며 SHC 0.25 % 혼합율에서 약 15 %의 강도 저하가 나타났으며 SHC 혼합율 0.50 %, 0.75 %에서는 각각 약 20 %, 약 25 %의 강도 저하가 나타났고, SHC 혼합율 1 %에서는 약 60 %의 강도 저하가 나타났다.

이러한 결과는 SHC의 혼합율 증가에 따라 내부 공극률이 증가하여 강도가 감소하는 경향이 나타나는 것으로 판단되며 일반적인 기포제의 혼합율에 따른 경향과 같은 현상을 나타냈다. 이러한 결과를 통하여 기포제를 통한 내부 열린공극을 발생시켜도 목표강도를 만족하기 때문에 목표강도를 만족하며 플로우가 높은 SHC 혼합율 0.75 % 배합을 선정하였다.

### 3.1.6 고흡수성수지 혼합률에 따른 압축강도

Fig. 7은 SAP 혼합율(0 %, 0.25 %, 0.50 %, 0.75 % 및 1 %) 및 재령(1일, 3일 및 7일)에 따른 압축강도의 관계를 나타낸 것이다. Fig. 7의 결과 SAP가 증가할수록 압축강도가 감소하는 경향이 나타났다.

재령 7일 압축강도를 기준으로 SAP 혼합율 0 %의 압축강도는 약 20 MPa로 나타났으며, SAP 혼합율 0.25 %는 약 19 MPa, 0.50 %는 17 MPa, 0.75 %는 16.7 MPa, 1 %는 약 15 MPa로 나타났다.

SAP 혼합율 0 %와 비교하였을 때 SAP 혼합율 0.25 %에서는 약 5 %의 강도저하가 나타났으며 0.50 %는 약 13 %, 0.75 %는 약 15 %, 1 %는 약 23 %의 압축강도가 저하되었다. 이러한 결과는 SAP의 혼합율에 따라 결합재의 결합에 영향을 미쳐 압축강도가 감소하는 경향이 나타나는 것으로 판단된다.

이러한 결과를 통하여 목표 압축강도인 10 MPa를 만족하는 SAP 혼합율은 1 % 이상 혼합하는 것도 가능하다고 판단되나 혼합율의 증가에 따른 플로우의 감소 및 압축강도의 영향을 보아 1 % 이하의 SAP 혼합율을 사용하는 것이 적합하다고 판단된다.

### 3.1.7 경량특성

이끼 활용 LCP의 밀도는 W/B 35 %, 황토 10 %, SHC 0.75 % 및 SAP 0.5 %에 대하여 평가를 실시하였다. 목표 플로우 및 압축강도를 만족하는 범위는 SAP 1%까지 사용 가능한 것으로 나타났으며, 이에 따른 패널의 경량성을 파악하고자 밀도 특성 평가하였다. 비교 패널은 보통 포틀랜드시멘트 패널(이하 Plain으로 약함)을 사용하여 측정하였다.

Fig. 8은 Plain 및 LCP 패널과 밀도의 관계를 나타낸 것이다. Fig. 8의 결과 Plain의 밀도는 1.79 g/cm<sup>3</sup>로 측정되었으며 LCP의 밀도는 1.44 g/cm<sup>3</sup>로 측정되었다.

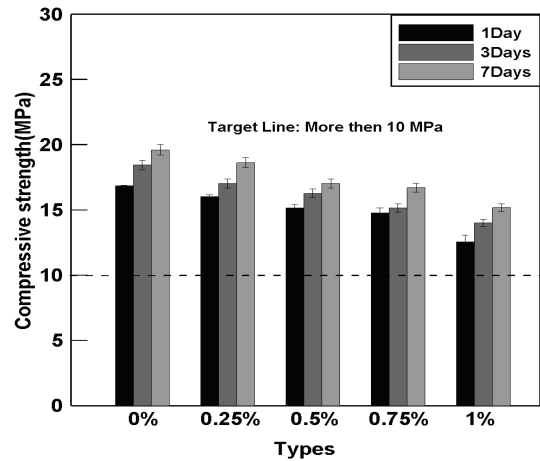


Fig. 7. Relationship between compressive strength and composition ratio of SAP according to age

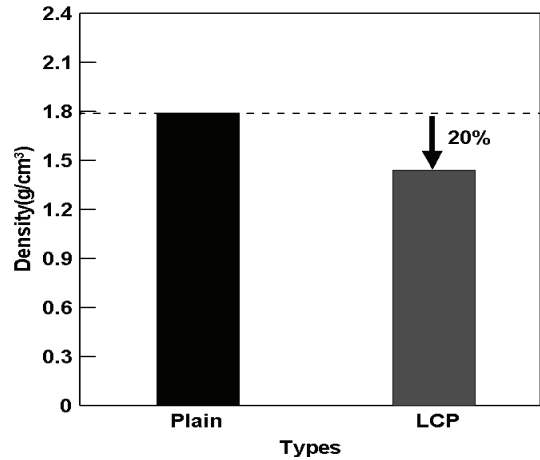


Fig. 8. Correlation between panel types and density

패널의 밀도 측정 결과 LCP 패널의 경우 Plain 패널의 밀도보다 약 20 % 정도 낮은 밀도가 측정되었다. 이 결과 패널의 무게에서 LCP가 더 낮게 측정되어 기존 건축물에 부착시 하중의 영향을 적게 받을 수 있을 것으로 판단된다.

### 3.1.8 패널온도 저감성

Fig. 9는 열화상 카메라를 이용하여 촬영한 시간별 이끼 활용 LCP와 시멘트 패널의 온도 변화를 나타낸 것이다. Table 9의 결과 AM 11:00의 Plain는 평균 30.9 °C, LCP는 평균 29.5 °C로 나타났으며 PM 14:00은 Plain 평균 43.9 °C, LCP 평균 42.7 °C로 나타났고 PM 17:00은 Plain 평균 41.5 °C, LCP 평균 40.0 °C로 나타났다.



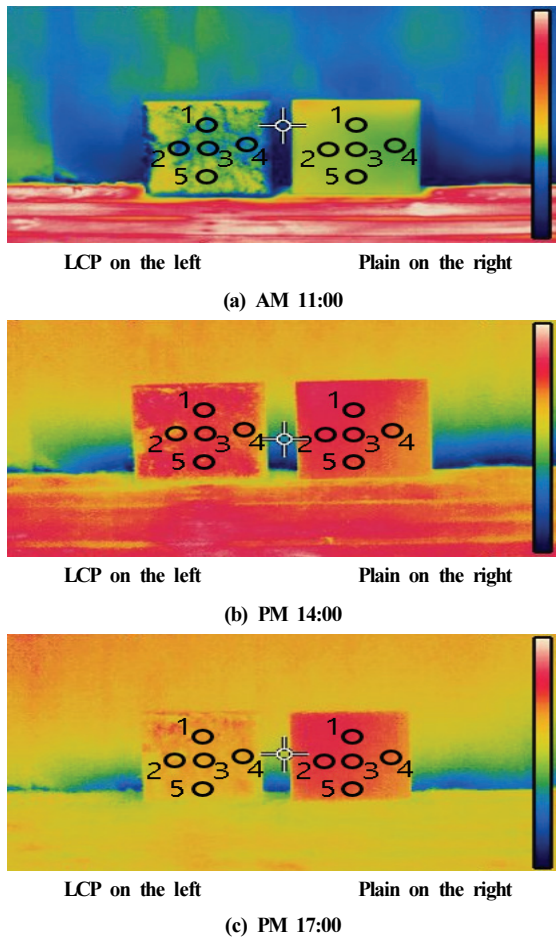


Fig. 9. Correlation between panel types and time according to temperature

이러한 결과 오전의 경우 패널 온도의 차이가 1.4 °C 차이가 났으며 오후시간에는 온도의 차이가 크지 않았으나, 이끼가 착근된 패널이 이끼가 착근되지 않은 패널보다 패널 온도의 저감이 약 1.2~1.5 °C 나타났다.

이러한 결과는 패널의 수직녹화에 의한 온도저감 효과를 가져올 수 있었다. 따라서 수직녹화 시 이끼를 활용한 LCP를 사용하여 녹화를 장려한다면 녹화로 인한 구조물 내 온도저감효과를 증대시킬 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 미세먼지 및 탄소저감을 위한 이끼활용 Living Concrete 패널을 제조하기 위하여 Living Concrete 패널의 품질 특성을 평가하고자 하며, 이끼 활용에 따른 Living Concrete 패널의 특성을 검토하고자 한다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을

Table 9. Correlation between panel types and temperature according to time

Type	No.	Plain (°C)	LCP (°C)
AM 11:00	1	31.0	29.7
	2	31.0	29.2
	3	31.0	29.5
	4	30.8	29.5
	5	30.8	29.4
	avg.	<b>30.9</b>	<b>29.5</b>
PM 14:00	1	44.1	42.5
	2	44.4	42.5
	3	43.8	43.1
	4	43.2	43.4
	5	44.2	42.2
	avg.	<b>43.9</b>	<b>42.7</b>
PM 17:00	1	41.6	39.7
	2	41.7	39.3
	3	41.2	40.6
	4	41.4	40.5
	5	41.5	39.8
	avg.	<b>41.5</b>	<b>40.0</b>

얻을 수 있었다.

1. 이끼 활용 Living Concrete 패널 제조를 위하여 친환경 재료인 황토를 치환하여 사용한 패널의 플로우 및 압축강도 시험을 통하여 최적 배합을 선정하였다. Living Concrete 패널의 품질특성 평가결과 유동성은 황토 혼합율 증가에 따라 테이블 플로우가 감소하는 경향이 나타났으며, 압축강도도 황토 혼합율 증가에 따라 감소하는 것으로 나타났다.
2. 이끼 활용 Living Concrete 패널의 경량화를 위하여 밀도 특성 평가를 실시하였으며, 비교군으로 시멘트를 사용한 패널과 비교한 결과 시멘트 패널의 밀도에 비해 약 20 % 낮은 밀도가 측정되어 하중에 영향을 적게 받아 구조물에 설치가 가능할 것으로 판단된다.
3. 이끼 활용 Living Concrete 패널의 패널온도 저감성을 평가한 결과 시간에 따른 온도 저감의 차이가 나타났으나 이끼가 착근된 패널이 이끼가 착근되지 않은 패널보다 온도의 저감이 나타나 수직형 녹화시스템에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

## Conflicts of interest

None.

## 감사의 글

본 연구는 2022년 국토교통과학기술진흥원 국토교통기술연구 개발사업(22CTAP-C163835-02) 지원사업으로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

## References

- Adesina, A. (2020). Recent advances in the concrete industry to reduce its carbon dioxide emissions, *Environmental Challenges*, **1**, 100004.
- Ahsan, M.M., Cheng, W., Hussain, A.B., Chen, X., Wajid, B.A. (2022). Knowledge mapping of research progress in vertical greenery systems(VGS) from 2000 to 2021 using CiteSpace based scientometric analysis, *Energy and Buildings*, **256(1)**, 111768.
- Cheng, C.Y., Cheung, K.K., Chu, L.M. (2010). Thermal performance of a vegetatedcladding system on facade walls, *Building and Environment*, **45(8)**, 1779–1787.
- Chicco, G., Stephenson, P.M. (2012). Effectiveness of setting cumulative carbon dioxide emissions reduction targets, *Energy*, **42(1)**, 19–31.
- Huang, Z., Lu, Y., Wong, N.H., Poh, C.H. (2019). The true cost of “greening” a building: life cycle cost analysis of vertical greenery systems(VGS) in tropical climate, *Journal of Cleaner Production*, **228**, 437–454.
- Hwang, H.Z., Moon, J.C., Kang, N.Y. (2009). A study on construction and quality in accordance with the field application of hwangto concrete, *KIEAE Journal*, **9(1)**, 91–97.
- Hwang, H.Z., Roh, T.H., Kim, J.I. (2008). Characteristics of strength and durability of hwangto–concrete according to its mixing condition, *KIEAE Journal*, **8(5)**, 55–60.
- Jiang, Y., Fan, M., Hu, R., Zhao, J., Wu, Y. (2018). Mosses are better than leaves of vascular plants in monitoring atmospheric heavy metal pollution in urban areas, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **15(6)**, 1105.
- Lee, N.K., Hwang, H.Z., Park, H.G. (2010). Flexural performance of activated hwangto concrete beam, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **22(4)**, 567–574.
- Perini, K., Ottel , M., Fraaij, A.L.A., Haas, E.M., Raiteri, R. (2011). Vertical greening system and the effect on air flow and temperature on the building envelope, *Building and Environment*, **46(11)**, 2287–2294.
- Prebble, S., Mclean, J., Houston, D. (2021). Smart urban forests: an overview of more–than–human and more–than–real urban forest management in Australian cities, *Digital Geography and Society*, **2**, 100013.
- Santamouris, M., Synnefa, A., Karlessi, T. (2011). Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions, *Solar Energy*, **85(12)**, 3085–3012.
- Shahab, A., Zhang, H., Ullah, H., Rashid, A., Rad, S., Li, J., Xiao, H. (2020). Pollution characteristics and toxicity of potentially toxic elements in road dust of a tourist city, Guilin, China: ecological and health risk assessment, *Environmental Pollution*, **266(3)**, 115419.
- Wang, W.Z., Liu, L.C., Liao, H., Wei, Y.M. (2021). Impacts of urbanization on carbon emissions: an empirical analysis from OECD countries, *Energy Policy*, **151**, 112171.
- Wang, Y., Yao, L., Xu, Y., Sun, S., Li, T. (2021). Potential heterogeneity in the relationship between urbanization and air pollution, from the perspective of urban agglomeration, *Journal of Cleaner Production*, **298**, 126822.
- Yao, R., Hu, Y., Sun, P., Bian, Y., Liu, R., Zhang, S. (2022). Effects of urbanization on heat waves based on the wet–bulb temperature in the Yangtze River delta urban agglomeration, China, *Urban Climate*, **41**, 101067.

### 황토-마그네시아 복합체 활용 Living Concrete의 품질특성에 관한 실험적 연구

본 연구에서는 Living Concrete의 품질특성 평가결과 유동성은 황토 혼합을 증가에 따라 테이블 플로우가 감소하는 경향이 나타났으며, 압축강도는 황토 혼합을 증가에 따라 감소하는 것으로 나타났다. 경량화를 위하여 밀도 특성 평가를 실시하였으며, 비교군으로 시멘트를 사용한 패널과 비교한 결과 시멘트 패널의 밀도에 비해 약 20 % 낮은 밀도가 측정되어 하중에 영향을 적게 받아 구조물에 설치가 가능할 것으로 판단된다. 패널온도 저감성을 평가한 결과 시간에 따른 온도 저감의 차이가 나타났으며, 이끼가 착근된 패널이 이끼가 착근되지 않은 패널보다 온도의 저감이 나타나 수직형 녹화시스템에 활용이 가능할 것으로 판단된다.