

# 탄소저감을 위한 단열콘크리트 재료 조합에 따른 단열성능 분석\*

## Analysis of Thermal Insulation Performance Based on Material Combinations for Carbon Reduction Insulating Concrete

이희만\*\* · 이재경\*\*\*

Himan Lee\*\* · Jaekyung Lee\*\*\*

### Abstract

This study analyzes the thermal performance of insulating concrete based on material combinations aimed at carbon reduction. The study compares the thermal and structural properties of insulating concrete enhanced with perlite and EPS (Expanded Polystyrene) beads to conventional concrete, with a focus on the impact of insulation properties on thermal conductivity. The results indicate that the content of EPS beads is critical to the insulating performance, and increased moisture absorption significantly reduces the energy efficiency of the insulating concrete. These findings provide valuable insights for the design and application of insulating concrete to enhance energy efficiency and reduce carbon emissions. This study offers guidance for further developing insulating concrete as a carbon-reducing building material.

**Keywords:** Carbon Reduction, Insulating Concrete, Sustainable Building Materials

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

2015년 파리 기후변화 협약(Paris Climate Change Accord) 체결 이후, 우리나라도 2030년까지 국가의 온실가스 배출량을 2018년 대비 당초 26.3% 감축 목표에서 대폭 상향된 40%까지 감축 목표를 발표했다(정지원 외, 2022). 그럼에도 지구 온난화로 인한 건물의 냉난방을 위한 에너지 사용량이 늘어나고 있으며, 이는 화석연료 사용의 증가로 이어지고 있어 에너지 저감 건축 자재의 신속한 도입 필요성이 강조되고 있다. 우리나라는 2009년 녹색뉴딜사업을

시작으로 건물단위의 에너지 효율을 높이고 온실가스 저감을 위한 다양한 정책 및 제도를 시행하고 있다(유정현 외, 2012).

이에 콘크리트의 단열성을 높이거나 단열 재료를 활용하여 탄소 배출을 줄이기 위한 다수의 연구가 진행되어 왔다.

문지훈 외(2022)은 내단열 콘크리트와 외벽체의 실내외 온도 차이에 따른 열저항과 수렴성을 분석하였으며, 박영신(2014)은 다양한 재료와 방법을 사용하여 열전도의 특성을 연구하였고, 구조도와 경량 골재 활용으로 인한 단열 성능 개선에 주안점을 두었다.

\*이 논문은 2023학년도 홍익대학교 학술연구진흥비의 지원을 받아 수행된 연구임.

\*\*(\*주)삼정산업 대표이사(주저자: hmlee@samjungltd.com)

\*\*\*홍익대학교 도시공학과 조교수(교신저자: jklee1@hongik.ac.kr)

김혜연(2022)은 단열재 연구를 통한 벽체의 결로 방지에 대한 연구를 하였고, 정승태 외(2021)은 바텀애시를 활용한 다공성 콘크리트로 열전도율을 측정하였다. 김경철 외(2022)은 바이오차를 혼합한 콘크리트 연구에서 기존 콘크리트보다 단열 성능이 향상된 결과를 얻었다.

박범용 외(2023)은 공동주택 내단열을 위해 수직형 열교 차단 구조체가 기존 단열보다 열효율이 좋다는 것을 입증하였으며, 양인환 외(2022)은 바텀애시가 포함된 다공성 콘크리트가 통기성과 배수성이 높아지는 연구 결과를 얻었다. 또한, 최원기 외(2021)는 단열성을 높이기 위한 커튼월 설계기법을 제안하기도 하였다.

Bhoite et al.(2022)은 EPS를 난연화하기 위한 석고 기반의 난연 코팅을 연구하였으며, Strzałkowski et al.(2021)은 경량 콘크리트와 발포 콘크리트가 비슷한 열전도율을 가지고 있음을 밝혔고, El-Hawary (2021)은 펄라이트 기반 경량 콘크리트가 경량과 단열, 그리고 적정 강도를 유지함을 알아냈다.

Allouzi et al.(2023) 연구에 따르면 요르단 주택용 경량폼 개발은 건축물의 에너지 비용을 줄일 수 있음을 보여주었고, Pan et al.(2023)은 고체 폐기물을 활용한 단열 재료로 지속 가능한 건축 재료 가능성을 제시하였다.

Deng et al.(2023)은 재활용 짚을 사용하여 지속 가능한 건축 재료의 잠재력을 제시하였으며, 아울러 Dlimi et al.(2023)은 대마 콘크리트로 단열 효과를 확인하였다.

Jedidi et al.(2015)은 펄라이트를 경량 골재로 활용하여 경량화를 입증하였으며, Yaman and Lucier (2023)은 CFRP 그리드와 EPS 단열재 간의 구조적인 연결성과 성능을 개선하는 방법을 제시하였다.

Liu et al.(2021)은 실리카 에어로젤 폼으로 만든 콘크리트가 단열 성능이 우수하다는 것을 입증하였고, Adhikary et al.(2021)은 에어로젤이 건축 외부

에 결합될 때 단열 성능이 향상됨을 밝혔다.

대부분의 국내에서 진행된 선행 연구들의 경우, 기존 단열 콘크리트의 단열 성능 진단 기술 개발 등이 대부분이다. 해외 연구에서도 단열 재료를 통한 열전도율을 연구한 것이 대부분으로, 물 흡수로 인한 단열의 효과가 없음을 연구한 사례는 찾아볼 수 없었다. 이에 본 연구에서는 단열 재료를 바탕으로 탄소 저감 정책에 보다 직접적으로 기여할 수 있도록 가볍고 단열성이 뛰어난 펄라이트와 폴리스틸렌(EPS Beads)을 활용하여 기존의 일반 콘크리트 벽체보다 단열성이 50% 이상 높은 단열 콘크리트 벽체를 개발하는 것을 목표로 한다. 이러한 단열 콘크리트 벽체는 건축물의 냉난방비를 절감하면서 화석연료 사용을 저감시킬 수 있을 것으로 기대된다.

이를 위해 일반 콘크리트에 비해 양생 기간을 17일 줄여 양생 기간이 11일 이내인 단열 소재가 포함된 콘크리트를 개발하고, 단열 성능 분석을 통해 더 효과적인 단열 소재와 구조를 개발하였다. 이 연구를 통해 도시의 탄소 중립 목표 달성에도 기여하고, 건축물의 에너지 효율을 현저하게 개선함으로써 환경 친화적인 도시 구조로의 전환을 가일층 촉진할 것으로 기대한다.

## 1.2 연구의 가설

EPS Beads와 펄라이트를 넣은 단열 콘크리트를 각각 별도로 실험하여 열전도율을 측정한다.

### 1.2.1 EPS Beads의 함유 비율에 따른 가설

귀무가설(Null Hypothesis, H0): EPS Beads의 함유량이 1.4%, 2.8%, 4.2%로 증가해도 단열 콘크리트의 열전도율은 일반 콘크리트와 유의미한 차이가 없을 것이다.

대립가설(Alternative Hypothesis, H1): EPS Beads의 함유량이 증가하면 단열 콘크리트의 열전도율은

유의미하게 감소할 것이다.

### 1.2.2 Perlite에 대한 가설

귀무가설(Null Hypothesis, H0): 펄라이트의 함유량이 10%, 20%, 30% 늘어나도 열전도율은 일반 콘크리트와 유의미한 차이가 없을 것이다.

대립가설(Alternative Hypothesis, H1): 펄라이트의 함유량이 증가하면 단열 콘크리트의 열전도율은 유의미하게 감소할 것이다.

## 1.3 연구의 범위와 방법

본 연구는 단열 콘크리트의 열전도율을 실험적으로 분석하는 데 중점을 두고 있다. 연구 범위는 두 가지 주요 단열 소재인 펄라이트와 폴리스티렌(EPS Beads)의 다양한 비율을 사용하여 단열 콘크리트의 열전도율을 측정하는 것으로 한정한다. 펄라이트의 경우, 전체 콘크리트 대비 10%, 20%, 30%의 비율로 실험하며, 폴리스티렌(EPS Beads)은 1.4%, 2.8%, 4.2%의 비율로 실험한다.

펄라이트와 폴리스티렌을 사용한 경량 단열재 선행 연구에서 사용량 기준을 대부분 모래 부피를 기준으로 하였으며(Jedidi et al., 2015), 펄라이트의 비율을 0%, 15%, 30%, 45%로 증가하며 실험을 진행하였다. 강승문 외(2001)에 따르면 펄라이트 비율이 20%일 때 단열 성능이 최적화되며, 40% 이상일 경우 오히려 단열 성능이 감소함을 확인하였다.

전현규 외(2003)은 펄라이트를 첨가한 콘크리트가 일정 비율까지는 단열과 구조적인 안정성을 가져 오지만, 과도할 경우 물리적 안정성을 저해함을 연구 결과로 얻었다. 이와 같은 선행 논문을 참고하여, 대부분의 기준이 골재 부피 기준에 반하여 본 연구는 시멘트 무게 100%를 기준으로 하였으며, 펄라이트와 폴리스티렌의 비중이 매우 낮은 것을 감안하여 펄라이트와 폴리스티렌의 실험 비율을 설정하였다. 이에 따라 펄라이트의 최대 함유량을 30%로 설정하

였으며, 폴리스티렌(EPS Beads)의 경우 비중이 0.01~0.03에 불과하고, 펄라이트의 비중이 0.05~0.15로 펄라이트의 20%에 불과하여 상한선을 4.2%로 설정하여 실험하였다.

연구 방법은 다음과 같이 구체화된다.

첫째, 단열 콘크리트 시편 제작을 위한 진동 성형 실험 기계 제작

둘째, 각 실험 시편의 열전도율을 측정하기 위한 실험 장치 제작

셋째, 펄라이트 배합 비율이 10%, 20%, 30%인 단열 콘크리트 시편 제작

넷째, 폴리스티렌(EPS Beads) 배합 비율이 1.4%, 2.8%, 4.2%인 단열 콘크리트 시편 제작

다섯째, 펄라이트 배합 비율에 따른 각 시편의 열전도율 측정

여섯째, 폴리스티렌(EPS Beads) 배합 비율에 따른 각 시편의 열전도율 측정

이와 같은 실험 설정을 통해 단열 콘크리트의 단열 성능을 향상시키기 위한 최적의 재료 배합 비율을 도출하고, 향후 효과적인 건축물 에너지 효율 개선 및 탄소 배출 감소에 기여하는 데 본 연구의 의의가 있다.

## 2. 선행연구 검토

기존 연구는 Table 1과 Table 2에서 보는 바와 같이 새로운 단열재를 개발하고 효율성에 초점을 맞춘 연구가 주를 이루었다.

본 연구는 단열층과 외부의 층이 모두 콘크리트 구성되어 있고, 양층이 접착제로 결합된 방식보다 더 강력한 단열 콘크리트 층으로 결합되어 있으며, 생산 시 시간과 제조원가에서 상당한 이점이 있다. 또한, 단열층과 외부 층 사이의 공극으로 인한 에너지 효율 저하가 종래의 방법에서는 문제로 지적되었으나, 본 연구에서는 연결 부위에 공극이 없어 에너

**Table 1.** Insulating Concrete: Precedent Theories in Korea

Author	Publication Year	Content
Park et al. (in Korean)	2023	The evaluation of structural stability and performance of a vertical heat bridge insulation system for multi-residential buildings
Moon et al. (in Korean)	2022	Analysis of thermal resistance and convergence in accordance with the indoor and outdoor temperature difference of internally insulated concrete walls, and suggestions for efficient insulation design
Yang et al. (in Korean)	2022	Analysis of the relationship between strength and compaction of porous concrete when using bottom ash aggregate, and suggestions for improving structural characteristics
Koo and Jeong (in Korean)	2022	Evaluation of heat transfer rate with respect to the thickness of insulation material at the point thermal bridge of walls and provision of insulation design guidelines
Kim et al. (in Korean)	2022	Analysis of insulating performance of biochar-integrated concrete and presentation of its potential as an eco-friendly insulation material

**Table 2.** Insulating Concrete: Precedent Theories Abroad

Author	Publication Year	Content
Yaman and Lucier	2023	Determination of shear transfer efficiency and mechanism between CFRP grid and EPS foam insulation material used for concrete sandwich panels
Al-Tarbi et al.	2023	Research on enhancing energy efficiency through the development of hollow concrete utilizing perlite
Dlimi et al.	2023	High energy efficiency results of double hollow bricks filled with hemp concrete
Luebke et al.	2023	Understanding of bending properties when thick insulation is inserted into insulating concrete sandwich walls
Deng et al.	2023	Evaluation of insulating concrete performance using recycled rice husks and design of optimal mixing ratio
Pan et al.	2023	Achievement of low thermal conductivity with insulation materials based on solid waste

지 효율 또한 높게 나타날 수 있다.

본 연구의 차별성은 단열층과 외부의 층간에 별도의 접착제 없이 콘크리트로 강력하게 접착된다는 점이다. 이로 인해 생산 비용을 대폭 절약할 수 있고, 접착제로 인한 제조 시 인체 호흡에 악영향을 주는 종래의 방식과는 달리, 콘크리트로 결합되어 휘발성

유해 화학물질이 발생하지 않는다.

또한, 종래의 샌드위치 단열 콘크리트는 외부 층과의 결합 부위에 공극이 생겨 에너지 효율 면에서 미흡했으나, 본 연구의 방법은 단열층과 외부 층 사이에 공극이 최소화되어 더욱 높은 에너지 효율을 기대할 수 있게 되었다.

### 3. 실험 계획 및 방법

#### 3.1 실험 계획

본 연구는 일반 콘크리트와 단열 콘크리트가 각각 절반의 크기로 결합된 콘크리트를 활용하여, 단열 콘크리트 재료 혼합 비율에 따른 열전도율의 차이를 정량화하는 연구이다.

첫째, 일반 콘크리트 층과 펠라이트의 비율이 10%, 20%, 30%의 비율로 성형된 콘크리트에 대한 단열 실험을 진행한다.

둘째, 일반 콘크리트 층과 EPS Beads의 비율이 1.4%, 2.8%, 4.2%의 비율로 성형된 콘크리트를 단열 실험의 대상으로 한다(Fig. 1).

#### 3.2 실험 도구

본 연구를 위해 크게 3가지 대표적인 실험 도구를 활용하여 열전도율을 측정하였다. 1) 단열 콘크리트의 재료를 혼합하는 믹싱기(Fig. 2), 2) 단열 콘크리트 제품을 만들기 위한 진동 성형기(Fig. 3), 3) 열전

도율을 실험하는 열전도 테스터기(Fig. 4)가 대표적인 실험 도구이다.

#### 3.3 실험 방법

본 연구의 실험 방법은 시멘트와 골재, 물, 단열 골재를 혼합하는 장치인 믹서기로 펠라이트와 폴리스틸렌을 실험 계획 비율로 각각 혼합하여 충분히 섞은 후, 진동 기계로 성형하고 2주 이내 양생 후 열전도 실험과 압축 강도 실험을 진행하였다.



Fig. 2. Mixing Equipment Machine



Fig. 3. Vibration Molding (1800 RPM)

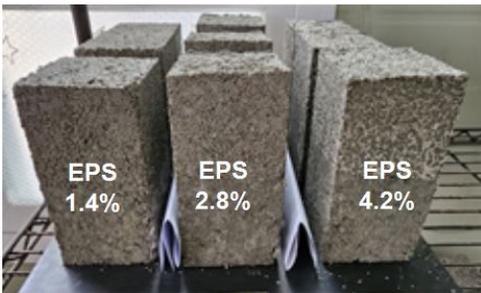


Fig. 1. Research Subject Concrete



Fig. 4. Thermal Conductivity Tester

### 3.3.1 일반 콘크리트 실험기준 설정

양생 기간이 14일 이내 경과한 콘크리트 제품으로, Table 3에서 보는 바와 같이 시멘트 1중량 기준에 모래 2, 부순 자갈 3, 물 0.3의 배합 비율로 만들어진 일반 콘크리트 블록을 열 전달률 기준으로 설정하고, 펄라이트 및 EPS Beads 함유량을 변화시킨 단열 콘크리트와의 열전도율 차이를 분석하였다.

### 3.3.2 단열 콘크리트 실험기준

단열 콘크리트는 양생 기간이 2주 이내이며 아래와 같은 재료비율로 실험했다.

시멘트 1중량 기준에 모래, 부순 자갈, 감수제, 소포제, 물, EPS Beads, 펄라이트를 원료로 하고 EPS Beads를 1.4%, 2.8%, 4.2% 비율로 늘인 단열 콘크리트 실험용 샘플을 만들었다.

**Table 3.** Thermal Conductivity Temperature Measurement Results

Time (Min)	Exp	General	EPS_1.4%	EPS_2.8%	EPS_4.2%	Perlite_10%	Perlite_20%	Perlite_30%
0	1	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2
	2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2
	3	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2
5	1	5.7	10.1	9	10.1	6.7	39.7	18.8
	2	8.4	10.1	9.3	9.4	10.6	10.6	11.2
	3	10.2	10.4	7.7	9.4	18.7	9.9	7.4
10	1	12.3	20.5	13.4	16.5	8.5	52.7	30.4
	2	14	18.1	16.5	15.6	15.6	16.8	23.8
	3	16.6	20.7	16	15.4	45.3	18.6	14.7
15	1	21	33.4	19.7	26.4	11.6	69.5	36.5
	2	21.1	26.4	26.3	21.1	23.2	22.8	37.8
	3	23.9	32.6	27.4	21.7	50.8	28.1	26.7
20	1	43.4	42.7	25.6	34.8	17.5	87.7	43.9
	2	29.7	34.4	36.9	29.6	26.2	27.9	51.5
	3	31.4	44.2	37.7	27.5	54.1	36.3	35.9
25	1	56.1	52.5	32.2	45.6	21.8	99.6	52.1
	2	38.6	41.9	48.5	37.2	32.9	33.2	57.1
	3	41.1	55.2	50	32.9	55.4	44.6	48.4
30	1	59.3	60.9	40.2	51	28.8	110.6	55.4
	2	44.8	47.6	55.4	39.9	37.5	38.4	65.5
	3	50.1	64	60.3	37.3	60.2	52.8	59.7
35	1	74.3	69	46.4	59.2	37	117.5	64.1
	2	52.5	53.3	63.3	46	42.3	44	73.1
	3	58.1	71.7	69.1	41.2	62.5	59.5	73
40	1	80.1	74.9	52.6	64.7	43.2	124.2	76.9
	2	58.5	57.6	70	51.1	52.1	49.5	79.4
	3	64.5	77.2	76.4	45.1	71.6	64.5	81.3

The data below are the results of thermal conductivity tests for concrete with the aforementioned additives

그리고 펄라이트를 10%, 20%, 30%의 배합 비율을 늘린 단열 콘크리트 실험용 샘플을 만들었다.

### 3.4 자료 분석

실험은 각 시편의 샘플을 3개 만들어 5분 단위로 증가하는 온도를 측정하였다. 측정된 결과 값을 그

래프로 종합하면 아래의 Table 3과 Fig. 5와 같다.

### 3.5 분석 결과

양생 기간이 2주 이내를 조건으로 단열재료의 배합비율을 높여 가며 실험한 결과를 다중회귀 분석한 그래프는 아래 Fig. 6과 같다.

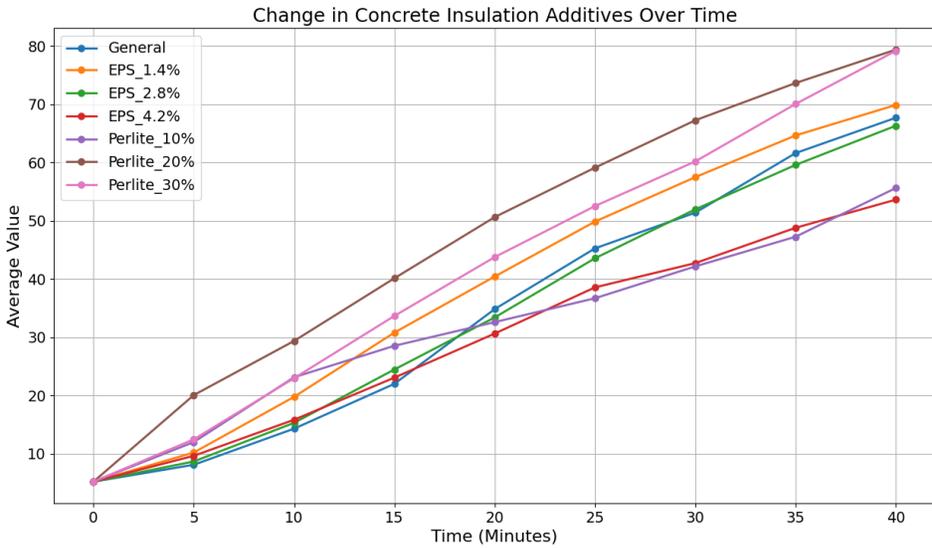


Fig. 5. Graph of Thermal Conductivity Measurement Results for Insulating Concrete

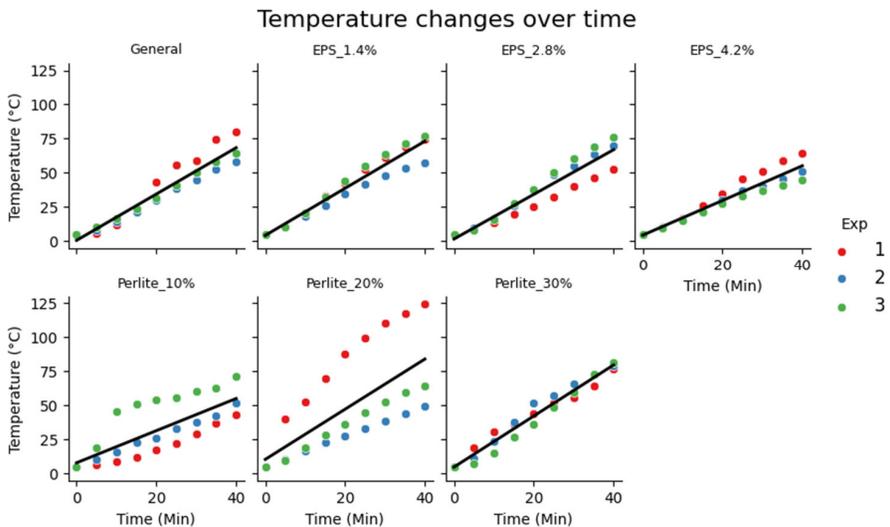


Fig. 6. Graph of Thermal Conductivity Measurement Results Concrete

#### 4. 결론과 향후 과제

본 연구는 2주 이내의 양생 기간을 전제로 한 실험으로, 일반 콘크리트를 기준으로 펠라이트(10%, 20%, 30%) 및 EPS Beads의 함유량(1.4%, 2.8%, 4.2%)이 증가함에 따라 열전도율이 어떻게 변하는지를 실험하였다.

실험 결과, 가설 1의 EPS Beads 비율에 따른 가설에서는 귀무가설이 기각되고 대립가설이 채택되었다. 가설 2의 펠라이트에 대한 가설에서는 귀무가설이 채택되고 대립가설이 기각되었다.

일반 콘크리트와 EPS Beads가 포함된 단열 콘크리트 샘플을 테스트한 결과, 단열재의 양이 증가할수록 열전도율이 감소하였다. 특히, EPS Beads 함유량이 4.2%일 때 열전달률이 가장 낮았다.

연구 결과, 단열재가 많이 들어간 경우에도 단열 콘크리트 내부에 많은 물을 흡수했을 경우 열전도율이 올라가고 에너지 효율은 떨어짐을 알 수 있었다. 이에 단열 콘크리트 재료의 조합뿐만 아니라 건축 과정에서 콘크리트가 물을 흡수하지 않도록 제조하는 것이 단열 성능을 획기적으로 높일 수 있으며, 더 나아가 도시의 탄소 중립을 실현시킬 수 있다는 것을 증명하였다.

향후 과제로는, 본 연구에서는 펠라이트와 EPS Beads 두 종류의 단열재료만 사용되었지만, 다양한 종류의 단열재를 가지고 추가적인 실험을 해야 할 것이다. 또한, 단열성에 주안을 두어 펠라이트의 비중을 높였기에 상용화를 위해 압축강도 등을 고려한 적합한 배합비율을 찾을 수 있는 추가적인 연구도 필요할 것으로 사료된다.

이를 통해 단열 콘크리트의 최적 재료와 배합 비율을 찾아 도시의 탄소 중립을 달성하는 데 보다 큰 역할을 하게 될 것이다.

#### 참고문헌

1. 강승문·김대희·지석원·전현규·서치호(2001), “팽창 펠라이트를 사용한 건축용 보드의 개발에 관한 실험적 연구”, 「건축대학교 건축공학과 가을 학술논문」, 919~924.
2. 구보경·정진우 (2022), “벽체 점형 열교 발생 부위의 단열재 두께에 따른 전열량 평가”, 「한국생활환경학회」, 29(6): 122~129.  
Koo, B. K. and J. W. Jeong (2022), “Evaluation of Heat Transfer according to the Thickness of the Insulation at the Point-type Thermal Bridge of the Wall”, *The Korean Society of Living Environmental System*, 29(6): 122~129. (in Korean)
3. 김경철·임광모·손민수·류금성·고경택·Jae-Yoon Kang(2022), “바이오차를 혼입한 콘크리트의 물성 특성과 단열성능에 미치는 영향”, 「한국건설순환자원학회논문집」, 10(4): 428~434.  
Kim, K. C., K. M. Im, M. S. Son, G. S. Ryu and J. Y. Kang (2022), “Effect of Concrete Containing the Biochar on Properties and Thermal Insulation Performance”, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, 10(4): 428~434. (in Korean)
4. 김혜연(2022), “표면 강화 시멘트계 결로 방지 단열재의 단열 및 시공성능 분석”, 「대한건축학회논문집」, 38(8): 263~268.
5. 문지훈·고명진·최두성·이예지·김용식(2022), “단열 콘크리트 외벽체의 실내의 온도차에 따른 열저항 및 수렴성 분석”, 「대한건축학회논문집」, 38(11): 261~268.  
Moon, J. H., M. J. Ko, D. S. Choi, Y. J. Lee and Y. S. Kim (2022), “Thermal Resistance and Convergence Regarding the Internal and External Temperature Differences of Inside Insulated Concrete Wall”, *Journal of the Architecture Institute of Korea*, 38(11): 261~268. (in Korean)
6. 박범용·안효서·이가운·유영중·안상희·이기학(2023), “공동주택 내단열을 위한 수직형 열교차단 단열구조체의 성능실험 연구”, 「콘크리트학회논문집」, 35(5): 479~486.  
Park, B. Y., H. S. An, G. Y. Lee, Y. J. Yoo, S. H. An and K. H. Lee (2023), “Structural Performance Test of Vertical Heat Bridge Insulation System for Multi-

- residential Buildings”, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 35(5): 479~486. (in Korean)
7. 박영신·김정호·전현규·서치호(2014), “규조토 미분말과 경량골재를 사용한 콘크리트의 열전도 특성에 관한 연구”, 「대한건축학회논문집」, 30(5): 65~71.
  8. 양인환·정승태·박지훈(2022), “바탕에서 골재를 사용한 다공성 콘크리트의 강도와 컴팩션의 상관관계 연구”, 「한국건설순환자원학회논문집」, 10(4): 359~366.  
Yang, I. H., S. T. Jeong and J. H. Park (2022), “A Study on the Correlation between Strength and Compaction of Porous Concrete Using Bottom Ash Aggregate”, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, 10(4): 359~366. (in Korean)
  9. 유정현·김종엽·황하진(2012), “건물부분의 에너지 효율화를 위한 국가에너지 통합관리시스템의 활용 방안 연구”, 「LHI Journal」, 3(3): 263~270.
  10. 전현규·서치호·김대회(2003), “팽창 펄라이트를 사용한 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구”, 「대한건축학회논문집 구조계」, 19(5): 71~78.
  11. 정승태·김범수·박지훈·양인환(2021), “바탕예시를 활용한 다공성 콘크리트의 열전도 특성에 관한 실험 연구”, 「한국건설순환자원학회논문집」, 9(4): 625~632.
  12. 정지원·정서용·이고은·박소정·전지연(2022), 「국외 감축을 활용한 NDC 이행방안과 주요 정책과제」, 세종: 대외경제정책연구원.
  13. 최원기·이수열·김선형·김성범·김영탁·김진희(2021), “고단열 커튼월 핵심 설계 원리에 관한 연구”, 「LHI Journal」, 43: 139~148.
  14. Adhikary, S. K., D. K. Ashish, and Z. Rudzionis (2021). “Aerogel Based Thermal Insulating Cementitious Composites: A Review”, *Energy and Buildings*, 245, 111058.
  15. Allouzi, R., H. Almasaeid, A. Alkloub, O. Ayadi, R. Allouzi and R. Alajarmeh (2023), “Lightweight Foamed Concrete For Houses in Jordan”, *Case Studies in Construction Materials*, 18: e01924.
  16. Al-Tarbi, S. M., O. S. B. Al-Amoudi, M. A. Al-Osta, W. A. Al-Awsh, M. Shameem and M. S. Zami (2023), “Development of Energy-Efficient Hollow Concrete Blocks Using Perlite, Vermiculite, Volcanic Scoria, and Expanded Polystyrene”, *Construction and Building Materials*, 371: 130723.
  17. Bhoite, S. P., J. Kim, W. Jo, R. H. Bhoite, S. S. Mali, K.-H. Park and C. K. Hong (2022), “Understanding the Influence of Gypsum upon a Hybrid Flame Retardant Coating on Expanded Polystyrene Beads”, *Polymers*, 14(17): 3570.
  18. Deng, J., L. Xiao, X. Li and T. Wei (2023), “Research on the Performance of Recycled-Straw Insulating Concrete and Optimization Design of Matching Ratio”, *Sustainability*, 15(12): 9608.
  19. Dlimi, M., R. Agounoun, I. Kadiri, R. Saadani and M. Rahmoun (2023), “Thermal Performance Assessment of Double Hollow Brick Walls Filled with Hemp Concrete Insulation Material through Computational Fluid Dynamics Analysis and Dynamic Thermal Simulations”, *e-Prime*, (3): 100124.
  20. El-Hawary, M., A. Al-Yaqout and K. Elsayed (2021). “Freezing and Thawing Cycles: Effect on Recycled Aggregate Concrete Including Slag”, *International Journal of Sustainable Engineering*, 14(4), 800~808.
  21. Jedidi, M., O. Benjeddou and C. Soussi (2015), “Effect of Expanded Perlite Aggregate Dosage on Properties of Lightweight Concrete”, *Jordan Journal of Civil Engineering*, 9(3): 278~291.
  22. Liu, P., Y. F. Gong, G. H. Tian and Z. K. Miao (2021), “Preparation and Experimental Study on the Thermal Characteristics of Lightweight Prefabricated Nano- Silica Aerogel Foam Concrete Wallboards”, *Construction and Building Materials*, 272: 121895.
  23. Luebke, J., F. F. Pozo-Lora, S. Al-Rubaye, and M. Maguire (2023), “Out-of-Plane Flexural Behavior of Insulated Wall Panels Constructed with Large Insulation Thicknesses”, *Materials*, 16(11): 4160.
  24. Pan, D., S. Yan, X. Liu, X. Sun, Y. Wu, X. Wang, J. Dan, X. Yang and J. Wang (2023), “Development of Solid Waste-Based Self-Insulating Material with High Strength and Low Thermal Conductivity”, *Ceramics International*, 49(3): 5239~5248.
  25. Strzałkowski, J., P. Sikora, S.-Y. Chung, and M. A. Elrahman (2021), “Thermal Performance of Building Envelopes with Structural Layers of the Same Density: Lightweight Aggregate Concrete Versus Foamed Concrete”, *Building and Environment*, 196:

107799.  
26. Yaman, T. S. and G. Lucier (2023), "Shear Transfer Mechanism between CFRP Grid and EPS Rigid

Foam Insulation of Precast Concrete Sandwich Panels", *Buildings*, 13(4): 928.

---

### 요약

본 연구는 펠라이트와 EPS Beads를 활용한 단열 콘크리트의 열전도율과 구조적 특성을 분석하고, 물 흡수와 단열 성능 간의 상관관계를 규명하였다. 실험 결과, EPS Beads의 함유량이 4.2%일 때 가장 낮은 열전도율을 나타냈으며, 펠라이트의 함유량 증가에도 불구하고 열전도율의 변화가 나타나지 않았음을 확인하였다. 또한, 단열 콘크리트의 물 흡수를 최소화하는 것이 단열 성능 향상에 중요한 요소임을 발견하였으며, 이를 통해 도시의 탄소 중립 실현에 기여할 수 있음을 제시하였다. 이 연구는 지속 가능한 건축 재료 개발과 에너지 효율 향상에 기여할 수 있는 중요한 시사점을 제공한다.

**주제어:** 탄소저감, 단열 콘크리트, 지속가능한 건축재료

---