



에너지성능 및 내진성능을 동시에 개선하는 외벽보강시스템의 적용 가능성 분석 - 에너지성능 분석을 중심으로 -

Applicability Analysis of a Textile and Capillary Tube Composite Panel through a Real-scale Experiment - Focused on Energy Performance Analysis -

남유진* · 배상무** · 권영식*** · 백은림**** · 김주엽*****

Yujin Nam* · Sangmu Bae** · Youngsik Kwon*** · Eun-Rim Baek**** · Ju-Yeop Kim*****

* Corresponding author, Dept. of Architectural Engineering, Pusan National Univ., South Korea (namyujin@pusan.ac.kr)

** Coauthor, Ph.D student, Dept. of Architectural Engineering, Pusan National Univ., South Korea (sangmu_bae@pusan.ac.kr)

*** Coauthor, Graduate, Dept. of Architectural Engineering, Pusan National Univ., South Korea (gys961226@naver.com)

**** Coauthor, Senior Researcher, Seismic Research and Test Center, Pusan National Univ., South Korea (ufo35@pusan.ac.kr)

***** Coauthor, Undergraduate, Dept. of Architectural Engineering, Pusan National Univ., South Korea (jk4136@naver.comr)

ABSTRACT

Purpose: Energy and seismic performance improvement projects for aging buildings are being conducted individually. These individual projects complicate communication between clients, designers and enigneers and increase the investment cost. In order to solve the complication process, many projects and researches that can improve energy and seismic performance at the same time are being carried out. However, most researches were analyzed the overall performance of the improvement method through an analytical approach and a dynamic simulation. In order to accurately verify the energy and seismic performance of the improvement method, a real-scale experiment is required. **Method:** In this study, the real-scale experiment site combined with a photovoltaic-thermal(PVT) module was constructed by referring to the textile and capillary tube composite panel (TCP) developed in the previous study. The heating performance verification and field applicability of the TCP system were evaluated through the real-scale experiment. **Result:** During the experimental period, the indoor-side wall surface temperature was maintained at a level of about 19°C. In addition, the average indoor temperature was measured to be 19.9°C. Through the results, the TCP system could role as heating system.

KEYWORD

외벽보강 시스템
태양광열 모듈
에너지 성능
실증실험

Textile and Capillary Tube Composite Panel
Photovoltaic-Thermal Module
Energy Performance
Real-Scale Experiment

ACCEPTANCE INFO

Received Aug. 18, 2021

Final revision received Oct. 21, 2021

Accepted Oct. 25, 2021

© 2021. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경

지속 가능한 사회 구현과 더불어 기후변화와 환경위기에 전략적으로 대응하기 위해 정부는 2021년 7월 한국판 그린뉴딜 계획을 발표하였다[1]. 특히, 녹색 친화적인 도시·공간·생활 인프라 환경 조성을 위해 기존 노후 건축물의 에너지 성능개선과 재실자의 쾌적한 거주환경 제공을 위해 그린 리모델링 사업이 추진되고 있다. 그린 리모델링 사업은 지속적으로 확대되고 있으며, 2022년에 공공건축물 1천 35동, 공공임대주택 8만 2,000가구를 대상으로 에너지 성능개선을 추진할 예정이다[2].

한편, 2016년 경상북도 경주에서 규모 5.8, 2017년 경상북도 포항에서 규모 5.4의 지진이 발생하였다. 1978년 지진 관측 이래 두 차례의 대규모 지진이 발생하였다. 행정안전부에서 발간한 2017 포항지진 백서[3]에 의하면 경주지진의 6배 수준인 850억 원의 피해가 집계되었다. 또한, 135명의 인명 피해와 3만여 개소의 시설물 손상과 1,797명의 이재민이 발생하였다. 특히, 1988년 이전에 준공된 건축

물은 내진설계가 반영되지 않았기 때문에 지진 재해에 더 큰 피해를 받았다. 또한, 국내에서 1990년대 초반까지 비보강 조적조 건축물이 신축되었으며, 현재에도 저층 주거용 건축물에 다수 적용되고 있다. 조적조는 지진과 같은 횡력에는 저항능력이 없어 지진에는 큰 피해를 입을 수 있다. 1999년 대만에서 발생한 규모 7.6의 치치지진에 의해 손상된 건축물 중 철근콘크리트조 건물은 전체 건물의 약 9%, 조적조 건물은 약 23%의 피해를 입었다[4]. 따라서, 노후화되거나 조적조를 적용한 건축물은 지진에 취약하여 내진성능 개선이 시급하다.

정부에서는 노후화된 건축물의 에너지 및 내진성능 개선을 위해 그린 리모델링 사업과 내진보강사업에 대해 적극적으로 지원하고 있다. 그러나, 대부분의 성능개선 사업과 지원은 개별적으로 수행되고 있어 발주자, 설계자, 엔지니어 등의 서로 간 소통의 혼잡성이 발생된다. 또한, 공정 프로세스의 중첩, 공사의 복잡화 및 예산비용의 증대를 야기한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 정부에서는 노후 건축물의 에너지 및 내진성능을 동시에 개선할 수 있는 사업 프로세스 구축을 수행하고 있다[5]. 또한, 에너지 및 내진성능을 동시에 개선할 수 있는 기술과 동시 개선에 따른 이점에 대해 국내·외로 활발히 연구되고 있다.

Takeuchi et al.[6]은 에너지 및 내진성능 뿐만 아니라 외관 및 환경적 디자인을 개선할 수 있는 통합 파사드(Integrated Façade)의 개념

을 제안하였다. 통합 파사드는 건물의 바닥 슬래브(Floor Slab)에 내진 성능 보강재 역할을 하는 BRB(Buckling Restrained Brace)를 이용하였다. 또한, 외측에는 루버를 설치하여 유리로부터 입사되는 일사량 제어를 통해 냉난방 부하를 저감시킬 수 있다. D.A. Bournas[7]은 모르타르 내 고강도 격자형 보강재(High Strength Lightweight Textile)를 삽입하여 기존 조적조의 벽체의 내진 보강을 도모하였다. 모르타르 외측에는 내화성을 가진 단열재를 덧대어 에너지 성능개선을 보강하였다. 기존 외벽을 물리적 변형없이 그대로 유지하면서 한번의 공사과정으로 에너지와 내진 성능을 모두 개선시킬 수 있었다.

Manganelli et al.[8]은 기존 건축물의 에너지 및 내진 성능을 동시에 개선했을 때의 경제적 이점을 평가하였다. 경제성은 기존 건물과 동일 성능개선을 적용한 건물을 대상으로 지진 피해 복구 비용과 에너지 비용을 비교하고 평가하였다. Pohoryles et al.[9]은 유럽의 4개의 기후대와 5개의 지진대에 대해 에너지 및 내진 보강 대상을 결정하고, 기후 및 지진 시나리오에 따른 에너지 효율성과 지진에 의한 손실비용을 산출하였다. 건물 에너지 성능개선을 적용했을 때, 냉난방 에너지 수요를 최대 70%까지 감소할 수 있었다. 더불어 2030년까지 CO2 배출량을 30% 감축할 수 있음을 확인하였다. 특히, 내진 설계가 반드시 필요한 지역(Seismic Zone 3 이상)에서는 에너지 및 내진 성능을 동시에 개선하는 것이 에너지 비용과 지진에 의한 손실을 크게 줄일 수 있음을 확인하였다. Menna et al.[10]은 철근콘크리트 건축물을 대상으로 에너지 및 내진 성능 개선을 위해 3단계의 개선방안을 제안하였다. 또한, 개선방안에 따른 투자비용은 산출하여 관련 이해 관계자들에게 솔루션을 제안하였다. 1단계는 소형 부품 교체, 창 및 지붕 단열 강화 등 미미한 수준에서 에너지 및 내진 성능을 개선한다. 2단계는 건축물의 지붕, 벽체 등의 외피 일부(50% 미만) 및 저효율 냉난방 공조기 교체하여 에너지 성능을 개선시키고 내진 성능 개선을 위해 충전재 및 철근콘크리트 프레임 강화를 수행한다. 3단계는 내진설계 기준을 완전히 충족시키고 에너지 소비량을 기존 건축물 대비 60% 이상 감축을 목표로 한다. 투자비용 분석 결과, 건물 유형과 개선단계에 따라 투자비용이 약 2.5배의 차이를 나타냈다. Table 1.은 기존 건축물 에너지 및 내진 성능 개선방안에 대한 선행연구를 정리한 내용이다.

Table 1. previous researches

Year	Author	Description
2009	Takeuchi et al.	Suggestion of the integrated façade that can improve energy and seismic performance.
2018	D.A. Bournas	Suggestion of the improvement method for energy and seismic performance of masonry.
2018	Manganelli et al.	Evaluation of the economic benefits of applying energy and seismic retrofitting
2020	Pohoryles et al.	Analysis of energy efficiency and loss cost according to climate and seismic zones.
2021	Park et al.	Proposal of procedure for seismic and energy retrofitting of existing buildings
2021	Menna et al.	Suggestion of the three-level plan to retrofit the performance of reinforced concrete.

1.2. 연구의 방법 및 목적

선행연구[11]에서는 기존 건축물의 에너지 및 내진 성능 개선을 위해 보강재의 설계방안을 제안하고 지역 및 개선방법 등에 따른 에너지와 내진 성능을 분석하였다. 그러나, 대부분의 연구는 시뮬레이션이나 수식을 이용한 해석적 접근을 통해 개선방법의 에너지 및 내진 성능을 분석하였다. 개선방법의 성능에 대해 정확한 검증을 위해서는 현장조건을 반영한 실험실 또는 실제 규모에서의 실증실험이 필요하다.

본 연구에서는 조적조의 건축물 에너지 및 내진 성능 개선을 위해 선행연구[11]에서 개발된 외벽보강 패널(TCP, Textile and capillary tube composite panel)을 이용하였다. 외벽보강 패널의 내진 성능은 정적반복가력 실험을 통해 선행연구[11]에서 검증하였다. 에너지 성능에 대한 검증을 위해 실제 건축물에 외벽보강 패널을 설치하고 모세관 튜브에 열을 공급할 수 있는 태양광열 모듈(PVT, Photovoltaic-thermal)과 가스 보일러를 결합한 시스템을 구축하였다.

본 논문에서는 실제규모의 실험을 통해 태양광열 모듈과 결합한 외피보강 시스템의 동절기 에너지 성능과 실제 적용 가능성에 대해 분석하였다. 분석결과에 근거하여 기존 건축물의 에너지 및 내진 성능 동시 개선방안에 관한 기초연구로 활용하고자 한다.

2. 외벽보강 패널

Fig. 1.은 외벽보강 패널의 구성요소를 나타낸다. 외벽보강 공법은 내진 성능을 확보하기 위해 기존 건축물의 내진보강에 널리 적용되는 격자형 섬유 시트(Carbon textile)를 이용하고, 온열 또는 냉열을 활용할 수 있는 모세관 튜브(Capillary tube)를 통해 건축물의 냉난방 에너지 요구량을 감축시킨다.

외벽보강 공법에 사용되는 격자형 섬유 시트는 탄소, 유리, 현무암 섬유 등으로 구성된다. 선행연구에서는 격자형 탄소 섬유를 이용

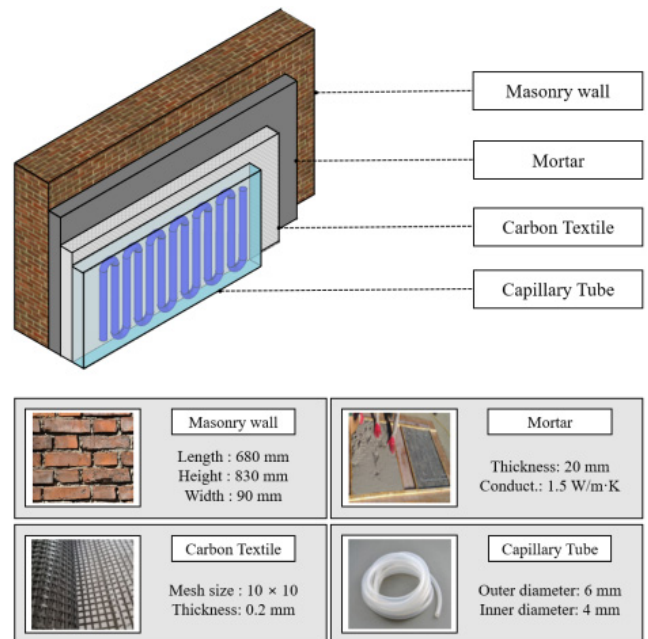


Fig. 1. Conceptual design of the textile and capillary tube composite panel(TCP)

하여 철근콘크리트조 및 조적조 건축물의 내진보강을 수행하고 있다[11]. 또한, 외벽보강 패널에 삽입되어 있는 모세관 튜브는 냉온수가 순환할 수 있기 때문에 난방기간에는 벽체의 온도를 상승시키고, 냉방기간에는 반대로 온도를 저감시킬 수 있다. 벽체의 실내측에 모세관 튜브가 설치될 경우 복사열을 이용한 냉난방 기능을 수행할 수 있다. 반면, 벽체의 실외측에 설치될 경우 냉열과 온열의 유입과 방출을 막는 단열재 역할을 한다.

본 연구에서 제안된 외벽보강 패널은 조적벽체에 설치하는 공법으로 에너지 및 내진성능을 동시에 개선할 수 있는 보강공법이다. 건축물의 외벽면에 패널 형태로 부착하기 때문에 다른 에너지 및 내진보강 공법 대비 제작공정이 간소화되고 일체성이 향상되기 때문에 별도로 시공하는 것에 비해 비용을 절약할 수 있다. 또한, 패널의 시공과정이 작업자의 높은 숙련도를 요구하지 않으므로 간편하게 제작할 수 있다.

3. 외벽보강 패널의 내진성능

선행연구[11]에서는 외벽보강 패널의 내진성능 평가를 위해 정적 반복가력 실험을 수행하였다. 외벽보강 패널의 비교군은 비보강 조적벽체로 설정하고, 외벽보강 패널 및 비교군은 국내 조적벽체의 형태와 동일한 사양으로 제작하여 실험을 수행하였다.

Fig. 2.는 TCP와 기존 비보강 조적벽체의 포락곡선을 나타낸다.

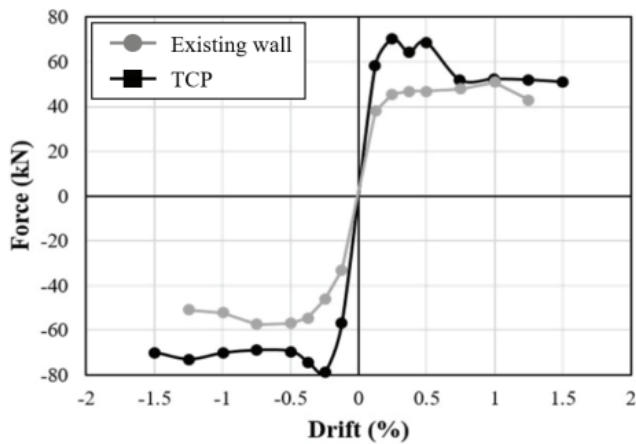


Fig. 2. Envelope curve of existing wall and TCP[11]

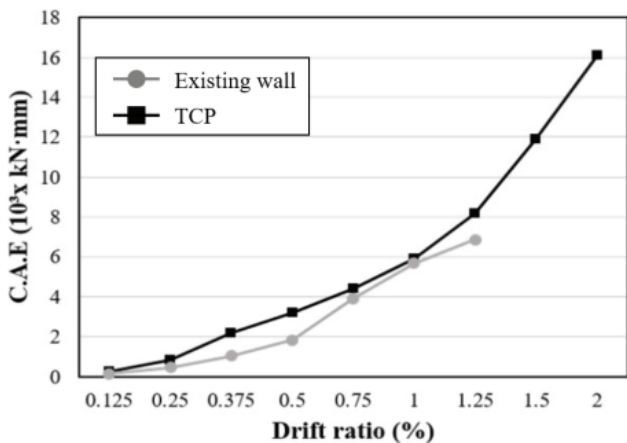


Fig. 3. Cumulative absorptive energy of existing wall and TCP[11]

TCP는 변형각(Drift) 0.25%에서 정방향과 부방향은 각각 70 kN, 79 kN의 최대하중을 나타내었으며, 기존 비보강 조적벽체 보다 초기 강성이 1.6배 증가하였다. 모르타르 내에 삽입된 격자형 섬유 시트의 인장 거동으로 인해 비보강 조적벽체 보다 더 큰 하중을 지지할 수 있었다.

Fig. 3.은 변형각에 따른 누적에너지 흡수량을 나타낸다. TCP의 누적에너지 흡수량은 16×10^3 kN·mm로 비보강 조적벽체 보다 약 2.3배 높았다. 변형각 1.25% 지점 이후에도 TCP는 변형각에 따라 누적에너지 흡수량이 선형적으로 상승하는 추세를 나타내었다. 이를 통해, TCP의 적용이 조적구조 형태의 취성적 형태를 방지하고 내진성능에 효과가 있음을 확인하였다.

4. 외벽보강 시스템 에너지 성능실험

4.1. 외벽보강 시스템 실험개요

본 연구에서는 선행연구[11]에서 개발된 외벽보강 패널에 태양광열 모듈, 축열조(HST, Heat storage tank) 및 가스 보일러를 추가로 설치하였다. 이를 통해, 태양광열 모듈이 결합된 외벽보강 시스템의 에너지 성능과 실제 적용 가능성 검토를 위해 실제 건물에 실제 규모의 실험 플랜트를 구축하여 실험을 수행하였다. Table 2.는 외벽보강 시스템에 이용된 장비들의 사양과 설치조건을 나타낸다.

Fig. 4.는 외벽보강 시스템의 개요를 나타낸다. 외벽보강 패널은 건물의 크기를 고려하여 길이 0.68m, 높이 0.83m 규모로 설치하였다. 외벽보강 패널의 기본구성은 선행연구[11]에서 제시한 바와 같

Table 2. Condition of experiment equipment

Parameter		Name	Value
TCP	Size	Length	0.68m
		Height	0.83m
		Width	0.02m
	Mortar	Thickness	0.02m
	Carbon textile	Thickness	0.0002m
		Silicon capillary	Outer diameter
	Inner diameter		0.004m
PVT module		Number of solar absorber	210EA
		Thermal conduct.of absorber	386W/m·K
		Height	1.012m
		Length	1.972m
Heat storage tank		Volume	0.3m ³
		Height	1.0m
		Heat loss coefficient	0.2W/m ² ·K
Gas boiler		Heating capacity	26kW

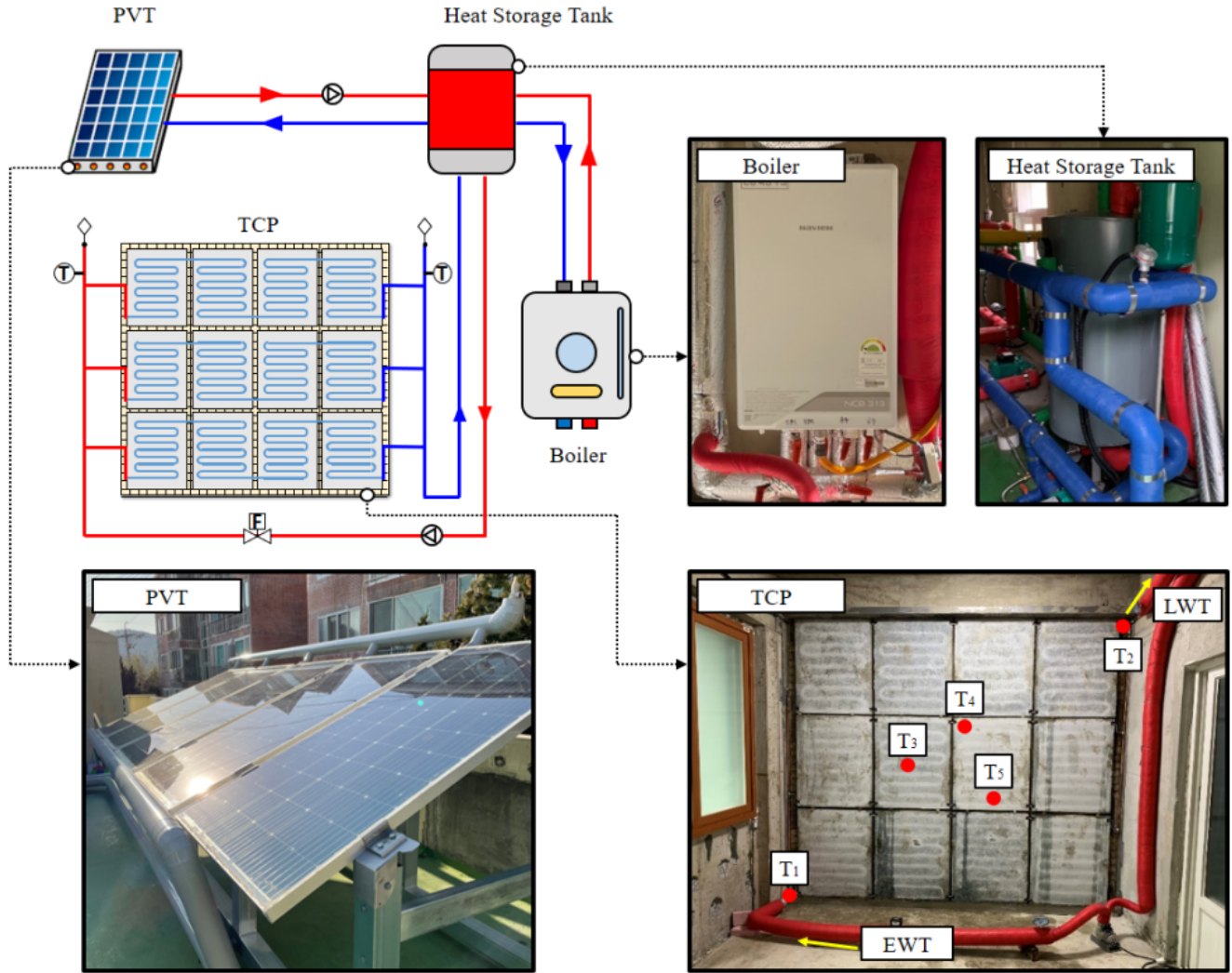


Fig. 4. Schematic diagram of TCP system

이 조적벽체, 모르타르, 탄소 섬유 시트, 실리콘 재질의 모세관 튜브로 구성하였다.

태양광열 모듈은 1.012 m × 1.972m 크기의 모듈이 10개가 건물의 옥상에 설치되었다. 모듈의 후면에는 구리 재질의 태양열 흡수기 (Solar absorber)를 설치하여 흡수한 열을 부하측에 공급할 수 있도록 하였다. 태양광열 모듈과 외벽보강 패널 사이에 0.3m³의 용량을 가진 축열조를 설치하여 태양광열 모듈이 주간 생성한 열을 축열조를 통해 저장하고, 야간에 외벽보강 패널에 열 공급할 수 있도록 설정하였다.

한편, 태양광열 모듈의 열 생산량은 외기온도와 일사량과 같은 외기조건에 의해 크게 영향을 받기 때문에 흐리거나 매우 추운 날씨에서는 외벽보강 패널에 충분한 열을 공급하기 어려운 경우가 발생한다. 따라서, 보조 열원으로 등유 보일러를 설치하여 태양광열 모듈로만 충분한 열을 공급하기 어려울 때는 보일러를 통해 외벽보강 패널이 열을 공급하고자 하였다.

4.2. 외벽보강 시스템 실험조건

Fig. 5는 외벽보강 패널의 실험개요를 나타낸다. 외벽보강 패널

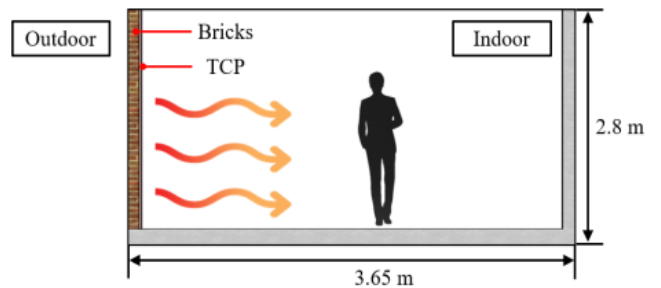


Fig. 5. Overview of the TCP experiment

은 실내측에 설치되어 난방효과에 대한 가능성을 검토하였다. 난방 기간의 실내설정온도(Indoor setpoint temperature)를 고려하여 태양광열 모듈에 의해 축열조에 저장되는 온도를 실내설정온도 보다 높게 설정하였다. 태양광열 모듈에 의해 저장된 열은 축열조를 통해 외벽보강 패널의 모세관 튜브로 전달된다. 외벽보강 패널은 복사열을 이용하여 실내난방을 수행하고, 난방 에너지 저감을 도모한다.

Table 3은 외벽보강 시스템의 실험조건을 나타낸다. 본 실험에서는 야간 실내 난방을 수행하는 것으로 가정하여 온풍기로 실내설정온도를 유지되도록 난방을 실시하였다. 실내설정온도는 건축물

Table 3. Experiment condition of the TCP system

Parameter	Name	Value
Setpoint temperature	Indoor	20°C
	HST	25°C
Operation time	PVT module	2p.m. to 6p.m.
	TCP	6p.m. to 6a.m.

의 에너지절약설계기준에서 제공하는 별표 8의 공동주택 기준을 참조하여 20°C로 설정하였다[12]. 축열조의 설정온도는 외벽보강 패널이 난방부하에 적합하게 대응할 수 있도록 실내설정온도 보다 높은 온도인 25°C로 설정하였다.

태양광열 모듈의 축열운전은 동절기의 일사조건을 고려하여 오후 2시부터 오후 6시까지 수행하였다. 또한, 외벽보강 패널의 운전은 ASHRAE 90.2-2004에서 제공하는 주거용 건축물(Residential building)의 재실자 스케줄[13]을 참고하여 오후 6시부터 오전 6시까지로 설정하였다.

외벽보강 시스템의 실험기간은 2월 15일 오전 8시부터 16일 오전 6시까지 수행되었다. 태양광열 모듈은 15일 오전 2시부터 오후 6시까지 축열운전을 하였고, 외벽보강 패널의 운전은 15일 오후 6시부터 16일 오전 6시까지 수행되었다.

4.3. 에너지 성능 분석 결과

Fig. 6.은 2월 15일 오전 0시부터 16일 오전 6까지의 태양광열 모듈의 입출수 온도, 축열조 온도, 외기온도 및 일사량을 나타낸다. 태양광열 모듈의 출수온도는 오후 2시 부터 서서히 가열되어 오후 3시 30분에 28°C까지 도달하였다. 축열운전이 끝난 시점에 축열조 온도는 25°C를 나타내었다. 태양광열 모듈의 입출수 온도는 오전 10시부터 오후 12시까지 급격하게 상승하므로 태양광열 모듈의 충분한 축열시간이 확보될 경우 더 높은 온도를 외벽보강 패널에 공급할 수 있을 것으로 판단된다.

한편, 외벽보강 패널의 운전이 시작되는 오후 6시부터 축열조의 온도는 지속적으로 감소하였다. 외벽보강 패널의 운전이 종료되는 시점의 축열조 온도는 16.4°C로 확인되었다.

Fig. 7.은 외벽보강 벽체의 실내측 및 실외측 표면온도와 모세관 튜브의 입출수 온도를 나타낸다. 외벽보강 벽체의 운전이 시작되는 오후 6시에 축열조로부터 약 24°C 수준의 온도를 공급받았다. 따라서, 오후 7시에 실내측 벽체표면 온도는 19.3°C까지 상승하였다. 그러나, 실내측 벽체표면 온도는 열을 지속적으로 공급받았음에도 불구하고 오후 7시 이후부터는 점차 감소하였다. 이는, 실내측 벽체에 설치된 모세관 튜브가 상대적으로 온도가 낮은 실외측 벽체와 실내에 전도와 복사의 형태로 열을 전달하기 때문에 실내측 벽체표면온도가 감소되는 것으로 사료된다.

한편, 실험기간 동안의 실내온도는 설정온도 범위와 유사하였다. 평균 실내온도는 19.9°C로 측정되었다. 이를 통해, 외벽보강 시스템이 난방부하 저감을 도모할 수 있음을 확인하였다.

Fig. 8.은 외벽보강 패널의 입출수 온도를 나타낸다. 외벽보강 시

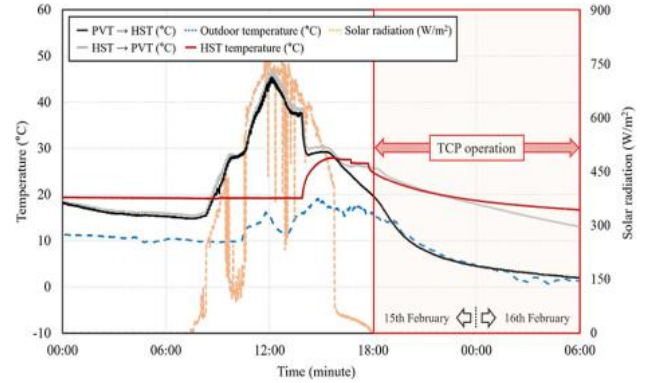


Fig. 6. The temperatures of the PVT module and HST

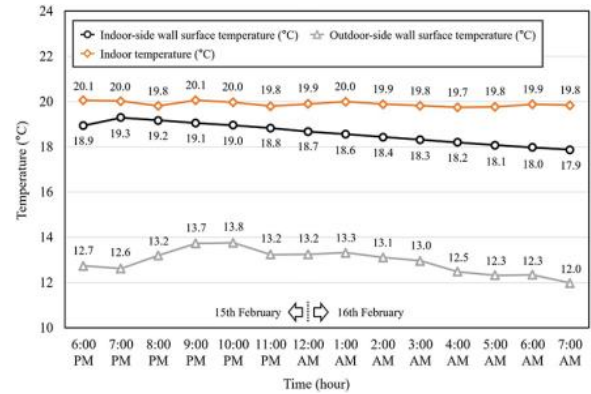


Fig. 7. Indoor and outdoor-side wall surface temperatures

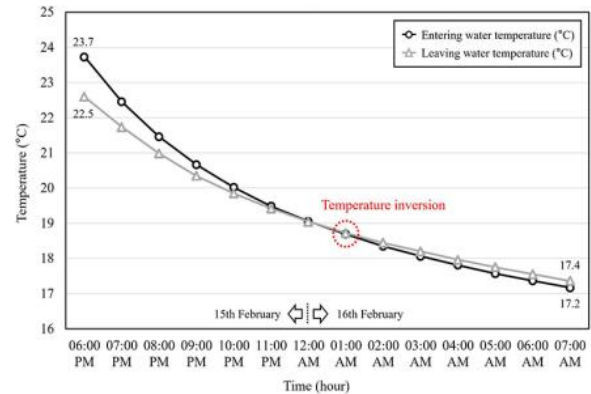


Fig. 8. EWT and LWT of the TCP

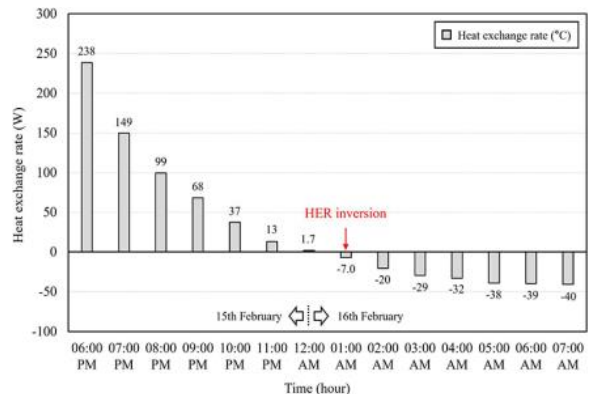


Fig. 9. Heat exchange rate of the TCP

시스템의 운전이 시작되는 15일 오후 6시에 외벽보강 패널에 23.7° C의 온도를 공급하였다. 오후 6시 이후에 외벽보강 패널에 입수되는 온도(EWT, Entering water temperature)는 지속적으로 감소하였다. 16일 오전 1시에는 패널의 입수온도 보다 출수온도(LWT, Leaving water temperature)가 더 높게 측정되었다. 이는, 외벽보강 패널이 충분히 가열되어 정상상태에 도달한 것으로 판단되며, 온수의 공급이 필요하지 않음을 나타낸다.

Fig. 9는 외벽보강 패널 공급한 열량을 나타낸다. 공급 열량(Heat exchange rate)은 아래 (Eq. 1)에 근거하여 산출하였다.

$$\dot{Q}_{TCP} = \dot{m} \times c \times (t_e - t_l) \quad (\text{Eq. 1})$$

여기서, \dot{Q}_{TCP} 는 외벽보강 패널에 공급된 열량(W), \dot{m} 은 순환수의 유량(L/min), c 는 순환수의 비열(kJ/kg·K), t_e 는 외벽보강 패널의 입수온도(°C), t_l 는 외벽보강 패널의 출수온도(°C)이다.

외벽보강 패널이 정상상태에 도달하기 전까지(2월 15일 오후 6시부터 16일 오전 1시까지) 평균 87W를 방열하였다. 정상상태에 도달한 이후에는 패널의 입수온도가 출수온도 보다 높기 때문에 방열량이 음수의 값으로 계산되었다.

5. 결론

본 연구에서는 내진과 에너지 성능을 동시에 개선할 수 있는 외벽보강 시스템의 에너지 성능검증에 대한 기초자료를 확보하기 위해 실증현장을 구축하였다. 실증실험을 통해 외벽보강 시스템의 에너지 성능분석과 현장 적용 가능성을 평가하였다. 본 연구의 결과는 아래와 같이 요약하였다.

(1) 동절기에 태양광열 모듈을 이용하여 최대 25° C의 온도를 부하측에 공급할 수 있었다. 태양광열 모듈의 충분한 축열시간이 확보될 수 있다면, 동절기 야간에도 25° C 이상의 온도를 외벽보강 패널에 충분히 공급할 수 있을 것으로 사료된다.

(2) 실험기간 동안 외벽보강 패널의 실내측 벽체표면 온도는 18° C에서 19° C 수준을 유지하였다. 또한, 실내온도는 평균 19.9° C로 측정되어 실내 설정온도를 충족시켰다. 이를 통해, 태양광열 모듈을 결합한 외벽보강 시스템이 난방부하 저감을 도모할 수 있을 것으로 판단된다.

(3) 외벽보강 시스템의 입출수 온도는 16일 오전 1시에 온도 역전 현상이 발생하였다. 이는, 외벽보강 패널이 충분히 가열되어 정상상태에 도달했음을 의미하며, 난방을 위한 온수의 공급이 더 이상 필요하지 않음을 나타낸다.

향후, 외벽보강 패널의 단열성능 검증을 위해 실외측 벽체에 모세관 튜브를 설치한 조건으로 실험을 수행할 예정이다. 또한, 본 연구 결과와 비교를 통해 단열역할과 난방역할 중에서 건축물의 난방 에너지 요구량 저감에 효율적인 외벽보강 시스템의 설치 방법을 도출할 예정이다.

Acknowledgement

This work is supported by the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement(KAIA) grant funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport (Grant 21CTAP-C151785-03).

Reference

- [1] 기획재정부, 정부 합동 한국판 뉴딜 2.0 추진계획, <https://www.knewdeal.go.kr/>, 2021.08.13. // (Ministry of Economy and Finance, Government Joint Korean Version of New Deal 2.0 Promotion Plan, <https://www.knewdeal.go.kr/>, 2021.08.13.)
- [2] 국토교통부, 2021년도 국토교통부 예산안 및 기금운용계획안, <https://www.molit.go.kr/>, 2021.08.02. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2021 Ministry of Land, Infrastructure and Transport Budget and Fund Management Plan, <https://www.molit.go.kr/>, 2021.08.02.)
- [3] 행정안전부, 2017 포항 지진 백서, 한국: 행정안전부, 2018, pp.1-13. // (Ministry of the Interior and Safety, 2017 Pohang Earthquake White Paper, Korea: Ministry of the Interior and Safety, 2018, pp.1-13.)
- [4] 장극관, 서대원, 우리나라 저층 조적조건물의 내진설계 현황 및 필요성, 대한건축학회지, 제55권 제5호, 2011.05, pp.45-50. // (K.K. Chang, D.W. Seo, Present State and Necessity of Seismic Design for Low-rise Masonry Buildings in Korea, Review of Architecture and Building Science, 55(5), 2011, pp.45-50.)
- [5] 박해용 외 5인, 기존 공공 건축물의 내진보강/에너지성능개선 통합 사업 절차 마련을 위한 연구, 한국지진공학회 2021년 학술발표대회논문집, 2021.03 // (H.Y. Park et al., A Study on the Integrated Project Procedure for Seismic Retrofit/Energy Improvement of Existing Public Buildings, 2021 Conference paper of Earthquake Engineering Society of Korea, 2021.03)
- [6] T. Takeuchi, K. Yasuda and M. Iwata. Seismic Retrofitting using Energy Dissipation Façades, ATC & SEI 2009 Conference on Improving the Seismic Performance of Existing Buildings and Other Structures, 2009.12, pp.1000-1008.
- [7] D.A. Bourmas, Concurrent seismic and energy retrofitting of RC and masonry building envelopes using inorganic textile-based composites combined with insulation materials: A new concept, Composites Part B: Engineering, 148, 2018.09, pp.116-179.
- [8] B. Manganelli, M. Mastroberti, and M. Vona, Evaluation of Benefits for Integrated Seismic and Energy Retrofitting for the Existing Buildings, International Symposium on New Metropolitan Perspectives, 2018.05, pp.654-662.
- [9] D.A. Pohoryles et al., Energy performance of existing residential buildings in Europe: A novel approach combining energy with seismic retrofitting, Energy and Buildings, 223, 2020.09, p.110024.
- [10] C. Menna et al., Conceptual design of integrated seismic and energy retrofit interventions, Journal of Building Engineering, 38, 2021.06, p.102190.
- [11] 최형욱 외 4인, 기존 비보강 조적조 건축물의 내진 및 에너지 동시보강패널 정적반복가력실험, 한국구조물진단유지관리공학회 논문집, 제24권 제4호, 2020.08, pp.81-90. // H.W. Choi et al., Static Cyclic Loading Test of the Seismic and Energy Simultaneous Retrofit Panel for Existing Unreinforced Masonry Buildings, Journal of Korea Institute for Structure Maintenance and Inspection, 24(4), 2020.08, pp.81-90.)
- [12] 국토교통부, 건축물의 에너지절약설계기준 [별표 8] 냉·난방설비의 용량계산을 위한 실내 온·습도 기준, <http://law.go.kr>, 2018.09.01. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Energy saving design standards for buildings [Appendix 8] Indoor temperature and humidity standards for capacity calculation of cooling and heating facilities, <http://law.go.kr>, 2018.09.01.)
- [13] ASHRAE, ASHRAE Standard 90.2-2004 Energy Efficient Design of Low-Rise Residential Buildings, USA: ASHRAE, 2004, pp.18-20.