



벽면 구조 시험체의 단열 앵커 적용 유무에 따른 점형 열관류율 분석

Analysis of Point Thermal Transmittance Depending on the Application of Thermal Breaking Anchors to Insulated Wall Specimen

김현수* · 진혜선** · 정진우*** · 구보경****

Hyeonsoo Kim* · Hye-Sun Jin** · Jin-Woo Jeong*** · Bo-Kyoung Koo****

* Post-Doc Researcher, Dept. of Building Energy, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, South Korea (hyeonsoo@kict.re.kr)

** Coauthor, Post-Doc Researcher, Dept. of Building Energy, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, South Korea (hsjin@kict.re.kr)

*** Coauthor, Senior Researcher, Dept. of Building Energy, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, South Korea (jeongjinwoo@kict.re.kr)

**** Corresponding author, Senior Researcher, Dept. of Building Energy, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, South Korea (koo.bok@kict.re.kr)

ABSTRACT

Purpose: This study used physical testing methods to evaluate the performance of point-type thermal bridges when installing anchors on wall structures. The aim of this study is to present highly reliable performance results of an insulation systems installed with thermal breakers in preparation for the implementation of net-zero energy buildings in the future. **Method:** Specifically, this paper focused on investigating the effect of thermal breakage on improving the insulation performance of wall structures by comparing the point-type thermal transmittance of test specimens with and without thermal breaking anchors installed. Based on the physical test results, the point-type thermal transmittance of the two cases was calculated using the thermal analysis calculation formula. **Result:** As a result of the physical experiment, the average thermal transmittance of the test specimen with thermal breaking anchors installed was found to be improved by approximately 13% compared to that of the test specimen installed with typical steel anchor.

KEYWORD

점형 열교
점형 열관류율
단열 앵커
물리적 시험법

Point Thermal Bridge
Point-type Thermal Transmittance
Thermal Breaking Anchor
Physical Test Method

ACCEPTANCE INFO

Received Nov. 26, 2024

Final revision received Dec. 10, 2024

Accepted Dec. 16, 2024

© 2024. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경

전 세계적으로 건물 부문에서 사용하는 1차 에너지 사용량이 약 40%에 달하며, 선진국들을 중심으로 살펴 보았을 때 이 비율은 더욱 높아진다[1]. 건물에너지 수요를 절감하기 위한 다양한 요소기술들이 존재하지만, 그 중에서도 건물 외피의 열적 성능을 개선하는 것이 에너지절약형 건축물 및 제로에너지건축물 달성을 위해 필수적이다[2]. 열교(Thermal bridge)란 건물의 외벽, 바닥 및 지붕 등의 구조체에서 어느 한 부분의 단열이 약화되거나 연속되지 않을 경우 열이 집중적으로 흐르는 현상을 일컫는데, 서로 다른 구조체끼리 접하는 경계선에서 발생하는 선형 열교와 벽체 마감재를 부착하기 위해 구조체에 설치하는 앵커로 인하여 발생하는 점형 열교로 분류된다[3].

점형 열교에서, 앵커는 인장력과 전단력과 같은 하중에 대응하는데, 주로 외장재를 콘크리트 구조체와 결합하는데 사용된다[4]. 앵커는 콘크리트 구조체에 연결되어야 하므로, 외단열공법과 같이 단열재를 관통시키는 시공 방식은 점형 열교의 발생이 불가피하여[5], 앵커를 통한 열전달을 방지하기 위한 단열 앵커들이 지속적으로 개발되어 왔다.

한편, 지난 수 년 동안 국내 주거용 건축물의 외피 성능은 지속적

으로 향상되어 왔고, 유럽 및 미국과 같은 선진국에서 선점하고 있는 점형·선형 열교차단재 제품들을 국내의 기업에서도 개발 중에 있다. 지금까지 국내에서 진행된 단열시스템의 열교차단성능 관련 연구들은 대부분 시뮬레이션을 통한 평가로 이루어지고 있으며, 이러한 해석적 방법은 모델링 및 경계조건 입력값의 한계로 인해 실물 구조체의 물리적 시험법과 비교하여 실제 성능과의 오차가 크게 나타날 수 있다.

본 연구에서는 향후 제로에너지 건축물에 열교차단 성능이 있는 단열시스템 요소기술의 신뢰도 높은 성능 평가 결과를 제시하기 위해 「KS F 2277: 건축용 구성재의 단열성능 측정방법 - 교정 열상자법 및 보호 열상자법」에 의거한 물리적 시험법을 활용하여 벽면 구조체에 앵커 설치 시 점형 열교 부위의 성능 평가를 수행하고, 열교차단 시 성능 향상정도를 보기 위해 일반 스틸 앵커와 단열 앵커 설치 시의 점형 열관류율을 비교, 분석하였다.

1.2. 연구의 목적 및 범위

본 연구에서는 「KS F 2277: 건축용 구성재의 단열성능 측정방법 - 교정 열상자법 및 보호 열상자법」 기준을 참고하여 단열 앵커의 설치 유무에 따른 벽면 구조 시험체의 점형 열관류율을 비교하는 실험을 수행하였으며, 물리적 시험에 앞서 벽면 구조 시험체의 앵커 설치 개소를 결정하기 위한 전열해석 시뮬레이션을 수행하였다.

연구 수행 방법은 Fig. 1.과 같다. 벽면 시험 구조체에 a) 일반 스틸

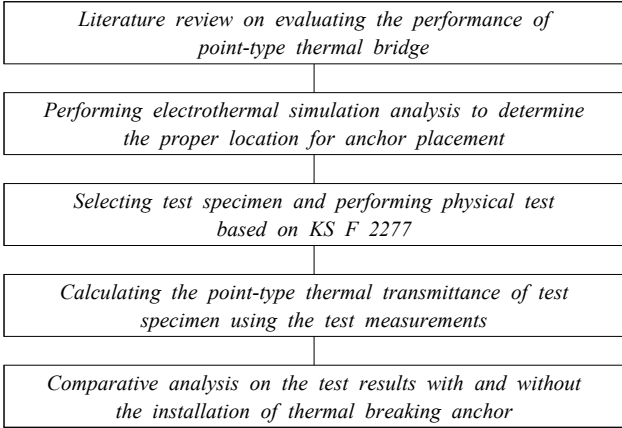


Fig. 1. Procedure of the research flow

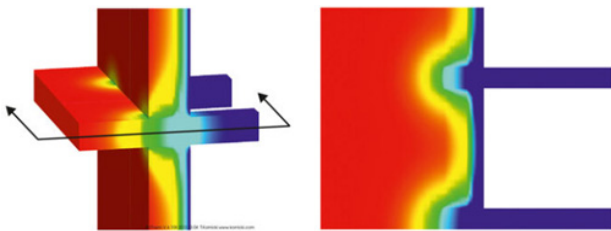


Fig. 2. Examples of point thermal bridge
(<https://www.schoeck.com/en-gb/structural-thermal-bridges>)

앵커 및 b) 단열 앵커를 개별적으로 설치하여 구조체를 통한 각각의 전열량을 측정하고, 수식 계산을 기반으로 앵커볼트를 통한 점형 열관류율을 산출하고자 한다. 본 과정에서 열교차단 기능이 있는 앵커볼트를 적용한 경우의 구조체를 통한 점형 열교차단 효과를 기존의 다수 시뮬레이션 연구들보다 실제적으로 제시할 수 있을 것이다.

2. 선행이론 및 평가 방법 고찰

2.1. 점형 열교로 인한 문제점 고찰 및 단열 앵커 개발 현황

점형 열교는 주로 건물 외벽 마감재를 설치하는 과정에서 열교차단 효과가 충분하지 못한 앵커 등이 구조체를 관통할 때 점의 형태로 하나의 지점에서 발생하는 열교 현상을 말한다[6]. 벽체에 열류가 흐르면 특히 점형 열교 부위와 같이 열적 성능이 저하된 지점으로 열류량이 크게 증가하며, 해당 부위로 열의 출입이 많아지면서 여름철 냉방 시 의도치 않은 열 획득이나 겨울철 난방 시 과도한 열 손실이 발생하게 된다[7].

일반적으로 앵커의 재료는 스틸을 사용하며, 단열재가 구조체의 외부에 부착되는 외단열 공법의 경우, 단열재를 통과하여 앵커가 설치되므로 열교 현상이 필연적으로 발생할 수 있다. 이러한 경우, 단열 앵커 설치 시 열교를 줄일 수 있으며, 최근에는 일반 스틸보다 열전도율이 낮은 스테인리스 스틸을 활용하거나, 또는 플라스틱 소재를 앵커 주변에 둘러 단열 성능을 향상시킨 자재들이 개발 및 적용되고 있다.



Fig. 3. Examples of thermal breaking anchors

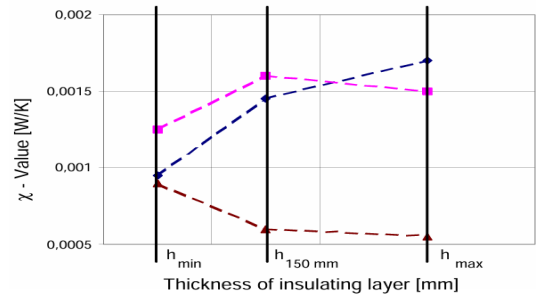


Fig. 4. Point thermal transmittance χ depending on the thickness of the insulating layer (EOTA Technical report)

2.2. 기존 성능 평가 방법 및 기준

건물 외피의 열교차단 성능 평가와 관련한 기존 방법론 및 기준들을 살펴보면, 유럽에서는 EOTA (European Organization for Technical Assessment; 유럽기술평가기구)에서 제시하는 「EOTA Technical Report - Point Thermal Transmittance of Plastic Anchors for External Thermal Insulation Composite System」의 세부 항목인 ISO 6946¹⁾ 및 ISO 10211²⁾의 기준에 따라 점형 열관류율을 계산하는 표준적인 방법과 레퍼런스 구조가 정립되어 있다[8].

EOTA Technical report (TR 025, Point thermal transmittance of plastic anchors for ETICS)에 따르면 앵커의 타입에 따라 단열재 두께가 변경될 경우, 점형 열관류율 값이 선형으로 변화하지 않을 수 있으므로 단열재 150mm를 기준으로 두 가지 점형 열관류율 값(150mm 미만인 경우, 150mm 이상인 경우)을 도출하도록 하고 있다(Fig. 4. 참조)[9].

영국에서는 건축물 외피를 통한 열량 산출 시 열교 부위로 손실되는 열량을 포함하여 계산하도록 명시하고 있으며, Building Regulations, Part L (Conservation of Fuel and Power)에 열교 발생 해결 방안에 대한 세부 지침이 정립되어 있다[10].

앞선 국외의 제도들과 비교하여 국내에는 아직까지 열교차단과 관련한 법체계 및 기준마련이 부족한 상태이다. 더욱이 국내에서는 건물에서의 열교차단이 아직까지 의무가 아닌 선택사항으로 적용되어 있으며, 물리적 시험과 관련한 단열시스템의 열교차단성능을 평가하기 위한 국내 자체적인 기준 또한 명확하게 정립되어 있지 않은 실정이다[11]. 한국건축친환경설비학회의 단열표준(KIAEBS S-13: 2020)에서는 단열 앵커를 설치할 경우, 시뮬레이션을 통한 점형 열교 평가 방안에 대한 기준을 제시하고 있다[12]. 그러나 국내에서도

열교차단 효과를 갖는 제품의 평가와 관련하여 시장의 수요가 지속적으로 증가하고 있는 만큼 시뮬레이션 평가(표준화된 경계조건, 재료의 표준 물성치 부재 등)의 단점을 극복할 수 있는 점형 열교의 표준화된 성능 시험 방법론이 개발될 필요가 있다.

3. 전열해석 시뮬레이션을 통한 앵커 설치 개소 선정

3.1. 전열해석 시뮬레이션 평가 개요

본 연구에서는 앵커의 설치 개소별 전열해석 시뮬레이션을 수행하여, 물리적 시험을 위한 시험체의 앵커 설치 개소를 결정하였다. 전열해석 시뮬레이션 툴은 Physibel Trisco 13.0w를 사용하였다. Physibel Trisco 13.0w는 열평형 방정식을 유한차분법에 의해 이산화하여 풀어주는 3차원 정상상태 전열 해석 툴이다. 앞서 언급하였듯이, 본 논문에서는 기본적으로 표준화된 경계조건 및 재료의 표준 물성치가 부재한 시뮬레이션의 한계점을 극복하고자 물리적 시험 방법에 의거한 점형 열관류율 측정을 실시하였다. 그러나 앵커의 설치 개소를 결정하는 것과 같이 다양한 실험 세팅 및 측정이 요구되는 경우에는 일반적으로 상당한 시간 및 비용적인 한계가 따른다[13]. 따라서 본 연구에서는 점형 열관류율의 측정에 앞서 최적의 앵커 설치 개소를 결정하는 데에 있어서 시간 및 비용을 절약하면서, 실험의 불확실성을 줄이기 위한 목적으로 시뮬레이션 툴을 일부 활용하였다.

앵커 설치 대안은 벽체 구조 시험체(1,000mm(높이)×1,000mm(너비))에 앵커를 가로 세로 균등한 간격으로 1개소, 4개소, 9개소 설치할 때를 설정하여 전열량과 앵커 설치 개소의 간격의 적절성을 평가해보았다(Fig. 5. 참조).

앵커는 일반 스틸 앵커를 사용하였으며, 그 형상은 Fig. 6.와 같다. 벽체 구조체는 철근 콘크리트 150mm에 가등급 단열재 150mm를 부착하는 것으로 하였으며, 이는 EOTA TR025의 단열재 두께를 고

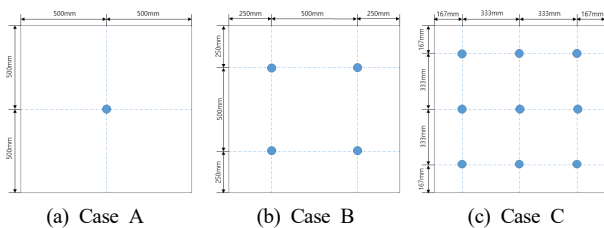


Fig. 5. Conceptual diagram on installing point-type anchors with 1, 4 and 9 spots (● : anchor installation spot)

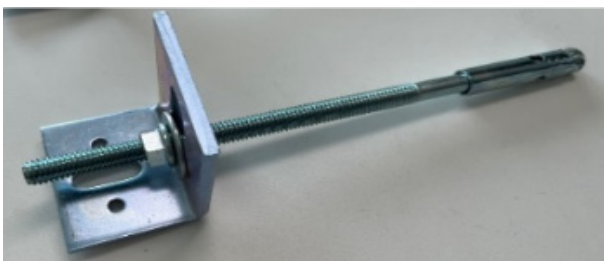


Fig. 6. Typical steel anchor applied to the wall specimen

려하여 설정하였다.

모델링에 사용된 재료의 물성치는 Table 1.과 같으며, 경계조건은 Table 2.에 제시된 바와 같다. 재료 물성치 및 표면 열전달율은 국토교통부 고시인 건축물의 에너지절약설계기준의 해설서를 참고하였다.

3.2. 시뮬레이션 수행 결과 및 시험체 선정

시뮬레이션을 통해 앵커가 설치된 단면의 온도 분포를 통해 앵커 설치 간격에 따른 간섭 여부를 확인하였으며, 산출된 전열량을 이용하여 점형 열관류율을 계산하였다. 점형 열관류율 계산식은 Eq. 1과 같다.

$$X = \frac{\Phi}{\Delta t} - U_i \times A_i \tag{Eq. 1}$$

여기에서, X : 점형 열관류율(W/K)

Φ : 전열량(W)

Δt : 실내외 온도 차(K)

U_i : 벽체 열관류율(W/m²·K)

A_i : 벽체 면적(단위면적, 1m²)

점형 열관류율은 모든 대안에서 약 0.019W/K로 유사한 값으로 도출되었다(Table 3. 참조). 각 대안의 온도분포는 Fig. 7.과 같으며, 앵커를 9개소에 설치한 경우, 앵커와 앵커 사이에서 열전달에 따른 간섭이 발생하는 것을 볼 수 있다. 이와 같이 간섭이 발생하는 경우, 앵커 설치로 인해 발생하는 열류량이 서로 중첩되어, 단일 앵커로 인한 추가 열류량의 과소평가 될 수 있을 것으로 판단된다. 반면, 앵커를 1개소 설치하여 물리적 시험을 수행할 경우, 전열량 값이 미미하여 일반 스틸 앵커와 단열 앵커 사이의 전열량 차이가 오차 범위에 해당할 수 있다는 우려가 나타난다. 따라서 본 연구에서는 점형 열교 부위 사이에서 열전달에 따른 간섭이 발생하지 않으면서 구조체의 안정적인 전열량 값을 확보하기 위한 목적으로 시험체의 앵커 설치

Table 1. Material properties

Materials		Thermal conductivity (W/mk)
Structure	Reinforced concrete	1.600
	Insulation-“가” class	0.034
Anchor	Steel	50.000

Table 2. Boundary conditions

	Temperature (°C)	Surface heat transfer coefficient (W/m ² K)
Inside	20	9.09
Outside	0	23.26

Table 3. Heat flows and point thermal transmittance of each case

	Case A	Case B	Case C
Heat flows (W)	4.66	5.84	7.69
U-value of wall (W/m ² ·K)	0.215	0.215	0.215
Point thermal transmittance (W/K)	0.018	0.019	0.019

를 4개소로 결정하였다. 각 점형 열교 부위는 근접한 열교 부위의 열 전달에 영향을 미치지 않으며, 동일한 실험 경계 조건으로 물리적 시험 측정이 이루어지므로 4개의 점형 열교 부위에서는 모두 동일한 점형 열관류율 값을 가지는 것으로 볼 수 있다.

4. 물리적 성능평가를 통한 점형 열교 구조체의 성능 분석

4.1. 물리적 시험 개요

전열해석 시뮬레이션을 통해 선정된 시험체 구성안을 대상으로 「KS F 2277: 건축용 구성재의 단열성능 측정방법 - 교정 열상자법 및 보호 열상자법」 기준을 참고하여 일반 스틸 앵커를 설치하였을 때와 단열 앵커를 설치했을 때를 대상으로 벽면 구조 시험체의 점형 열관류율을 비교하는 실험을 실시하였다.

물리적 시험을 위해 제작한 두 종류의 벽면 구조 시험체는 모두 철근콘크리트 구조체(1,000mm (높이)×1,000mm (너비)×150mm (두께))에 비드법 2종 단열재(1,000mm (높이)×1,000mm (너비)×150mm (두께))를 부착한 바탕 면에 앵커를 4개소 균등 분할하여 설치하였다(Fig. 8. 참조). 일반 스틸 앵커는 전열해석 시뮬레이션 수행 시 적용한 것과 동일한 앵커(Fig. 6. 참조)이며, 단열 앵커는 스테인리스 스틸에 FRP (Fiber Reinforced Polymer)를 도포하여 열

적 성능을 향상시킨 제품을 사용하였다(Fig. 9. 참조). 본 물리적 시험에 사용된 단열 앵커는 길이 190(mm) 및 직경 19.0 ± 0.5(mm)를 갖는 제품이며, 이는 국내 건설 현장에서 일반적으로 사용되는 표준화 규격이다.

「KS F 2277」 기준에 따라 복합 구조체의 성능평가를 수행하기 위한 항온항습 챔버의 개요는 Fig. 10.과 같다.

물리적 시험 수행을 위하여 시험체를 부착 틀에 설치한 후, 시험체 부착 틀과 시험체 사이의 틈새에 폼을 삽입하여 실리콘으로 마감하였으며, 시험체 설치과정은 Fig. 11.과 같다. 항온항습실의 경우, 실내 온도 20℃ 및 실내 상대습도 50%를 유지하도록 설정하였으며, 이와 유사하게 저온실의 물리적 조건은 실내 온도 0℃ 및 기류속도 2.0m/s의 환경을 일정하게 유지한다.

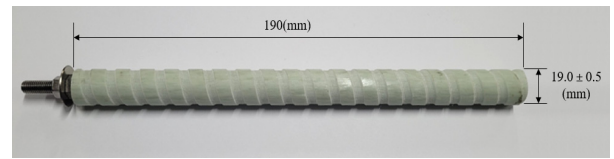


Fig. 9. Thermal breaking anchor

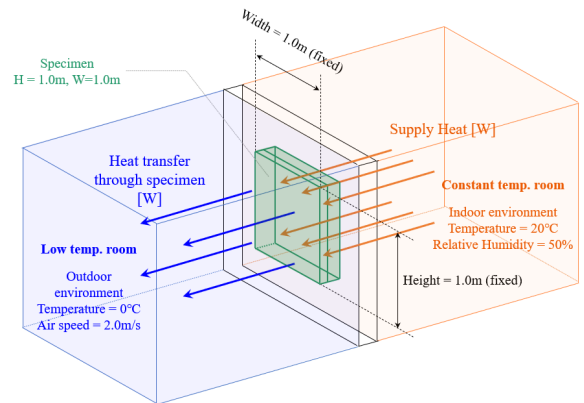


Fig. 10. Conceptual diagram of Experimental setup

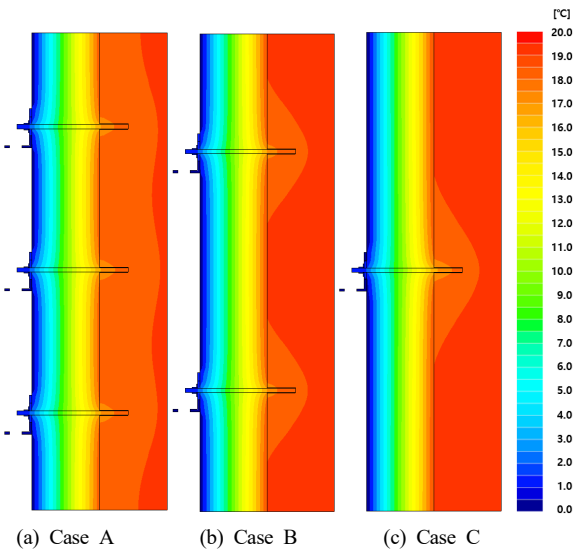


Fig. 7. Temperature contour of each case

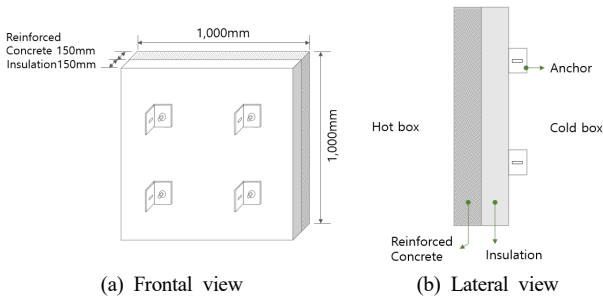
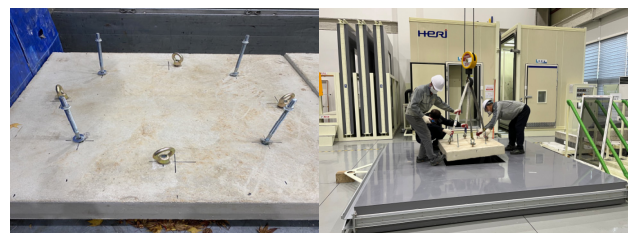
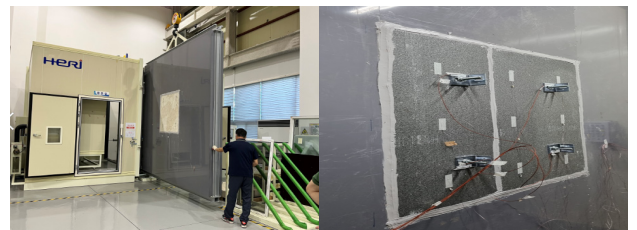


Fig. 8. Schematic diagram of an insulated wall specimen installed with anchors



(a) Configuration of the test specimen (b) Installation of test specimen to the attachment frame



(c) Installation of attachment frame to the chamber (d) Thermal couples attached to the test specimen

Fig. 11. Process of installing the wall-slab structural specimen

4.2. 단열 앵커 적용 유무에 따른 점형 열관류율 분석

「KS F 2277」 기준을 따라 시험체를 통과한 열량을 도출하고, 그 값을 활용하여 앵커 설치로 인한 점형 열관류율을 점형 열관류율 계산식(Eq. 1)을 활용하여 계산하였다.

Table 4. 및 Table 5.는 「KS F 2277」의 성능평가 결과이며,

Table 4. Physical properties measured on wall-type specimen with typical steel anchors installed

		1st	2nd	3rd	Avg.
Air Temp. (°C)	Constant room	18.31	18.24	18.44	18.33
	Heating box	19.92	19.92	19.92	19.92
	Low temp. room	0.05	0.06	0.06	0.06
	Temp. difference	19.87	19.86	19.87	19.87
Quantity of heat (W)	Total supply heat	16.19	16.10	16.20	16.17
	Calibrated heat	10.15	10.15	10.15	10.15
	Heat transfer through specimen	6.04	5.96	6.06	6.02
Heat transfer resistance (m ² ·K/W)	Heat transfer resistance of surface	0.21	0.21	0.21	0.21
		-0.05	-0.05	-0.05	-0.05
	Calibrated value	3.239	3.286	3.232	3.252
R-value (m ² ·K/W)		0.309	0.304	0.309	0.308
U-value (W/m ² ·K)					

Table 5. Physical properties measured on wall-type specimen with thermal breaking anchors installed

		1st	2nd	3rd	Avg.
Air Temp. (°C)	Constant room	20.03	20.04	20.04	20.03
	Heating box	19.90	19.91	19.90	19.90
	Low temp. room	0.02	0.03	0.02	0.02
	Temp. difference	19.88	19.88	19.88	19.88
Quantity of heat (W)	Total supply heat	15.40	15.38	15.44	15.41
	Calibrated heat	10.15	10.15	10.15	10.15
	Heat transfer through specimen	5.25	5.23	5.30	5.26
Heat transfer resistance (m ² ·K/W)	Heat transfer resistance of surface	0.21	0.21	0.21	0.21
	Calibrated value	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05
R-value (m ² ·K/W)		3.738	3.749	3.706	3.731
U-value (W/m ² ·K)		0.268	0.267	0.270	0.268

Table 6. Point thermal transmittance of each specimen

	Specimen with typical steel anchors	Specimen with thermal breaking anchors
Heat flows (W)	6.02	5.26
U-value of wall (W/m ² ·K)	0.187	0.187
Point thermal transmittance (W/K)	0.028	0.019

Table 4.는 일반 스틸 앵커가 설치된 벽면 구조 시험체의 결과이고, Table 5.는 단열 앵커가 설치된 벽면 구조 시험체의 결과이다. 시험은 총 3회 이상 실시하였으며, 일반 앵커와 단열 앵커 설치 시 결과의 역전 없이 모든 회차에서 일정한 결과로 나타났다. 시험 최종 결과는 3회의 측정값을 평균하여 도출하였다. 3회에 걸쳐 측정된 일반 앵커 및 단열 앵커가 설치된 점형 열관류율은 최대 오차율이 각각 1.62% 및 1.11%로 나타났으며, 이는 통계적인 유의도 범위(<0.05)를 충족하는 미미한 오차로 볼 수 있다[14].

시험체의 통과 전열량은 a) 가열상자 내부에 위치한 팬 및 히터에 의한 총 공급열량과 b) 가열상자 돌레벽과 시험체 부착물의 교정열량을 통해 계산할 수 있다. 일반 스틸 앵커가 설치된 시험체와 단열 앵커가 설치된 시험체의 시험체 통과 전열량은 각각 6.02W와 5.26W로 산출되었으며, 시험체의 열관류율(U-value)은 각각 0.308W/m²·K 및 0.268W/m²·K로 계산되었다(Table 4., Table 5. 참조).

단열 앵커가 설치된 벽면 구조 시험체에서는 시험체를 통과하는 전열량이 일반 스틸 앵커 대비 약 13% 저감되었으며, 열관류율은 약 13% 향상된 것으로 나타났다.

이 값을 바탕으로 Eq. 1을 활용한 점형 열관류율 계산 결과는 Table 6.와 같다. 점형 열관류율 계산에 적용한 전열량(Eq. 1의 Φ)은 Table 4.와 Table 5.의 시험체 통과열량이며, 벽체 열관류율(Eq. 1의 U_i)은 철근 콘크리트 150mm와 비드법 2종 150mm의 열관류율을 수계산하여 적용하였다. 이때 사용한 철근 콘크리트의 열전도율은 「건축물의 에너지절약설계기준」 상의 값인 1.6W/m·K를 사용하고, 비드법 2종은 「KS M 3808」에서 제시하는 비드법 단열판 2종 1호의 열전도율인 0.031W/m·K를 적용하였다. 단, 열관류율 계산에 필요한 표면 열전달저항 값은 Table 4. 및 Table 5.의 표면 열전달저항을 적용하여 벽체 열관류율을 계산에 활용하였다.

시험체에 4개의 앵커를 설치하였으므로, 1개소당 점형 열관류율을 산출하였으며, 일반 스틸 앵커의 점형 열관류율은 0.028W/K, 단열 앵커의 점형 열관류율은 0.019W/K로 나타났으며, 단열 앵커의 점형 열관류율이 일반 스틸 앵커 대비 약 32.14% 적은 것으로 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 「KS F 2277: 건축용 구성재의 단열성능 측정방법 - 교정 열상자법 및 보호 열상자법」에 의거한 물리적 시험법을 활용하여 벽면 구조체에 앵커 설치 시 점형 열교 부위의 성능 평가를 수행하였다. 물리적 시험에 앞서 시험체에 설치할 앵커의 설치 개소를 결정하기 위하여, 시간 및 비용적인 한계를 극복하면서 동시에 실험의 불확실성을 줄이기 위한 목적으로 전열해석 시뮬레이션을 일부 활용하였다. 본 논문에서는 실험의 효율적 진행을 위하여 두 가지 종류의 연구 방법론을 복합적으로 사용하였으며, 벽면 구조체의 점형 열관류율 값만을 측정하기 위하여 실내외 마감재를 생략하였다는 한계가 있다.

일반 스틸 앵커 및 단열 앵커를 각각 4개소씩 설치한 시험체를 대

상으로 물리적 시험을 수행한 결과, 시험체 통과열량은 일반 스틸 앵커 대비 단열 앵커에서 약 13% 저감되는 것으로 나타났으며, 단열 앵커가 설치된 시험체의 평균 열관류율은 약 13% 향상된 것으로 나타났다.

물리적 시험 결과를 바탕으로 점형 열관류율 계산 수식을 이용하여 일반 스틸 앵커 및 단열 앵커를 설치한 부위의 점형 열관류율을 산출하였으며, 점형 열관류율은 앵커 1개소 당 0.028W/K (일반 스틸 앵커) 및 0.019W/K (단열 앵커)로 나타나, 단열 앵커의 점형 열관류율이 일반 스틸 앵커 대비 약 32.14% 낮은 것으로 나타났다.

점형 열관류율 값은 그 수치가 아주 낮은 값임에도 불구하고, 일반 스틸 앵커와 단열 앵커 적용 시 그 차이가 반복 시험에서 일정하게 나타나고 있는 것을 확인하였으며, 본 연구 결과를 통해 추후 단열 앵커의 성능 평가를 위한 물리적 시험 수행 시 결과의 일관성 및 신뢰성을 확보할 수 있는 가능성이 있다고 판단된다.

Acknowledgement

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었습니다(No. 21DPSC-C163230-01, 주택성능 표준실험절차 개발).

References

[1] D. Urge-Vorsatz et al., Energy use in buildings in a long-term perspective, *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(2), 2013.06, pp.141-151.

[2] X. Cao, X. Dai, J. Liu, Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade, *Energy and Buildings*, 128, 2016.09, pp.198-213.

[3] 천지훈, 단열방식에 따른 주거건물 열교 현상 분석 연구, 세명대학교 석사학위논문, 2016. // (J.H. Cheon, A study on the analysis of residential buildings thermal bridges, Master's thesis, Semyung University, 2016.)

[4] J.B. Yan, J.R. Liew, M.H. Zhang, Shear-tension interaction strength of J-hook connectors in steel-concrete-steel sandwich structure, *Advanced Steel Construction*, 11(1), 2015, pp.72-93.

[5] 최보혜, 송승영, 그린리모델링을 위한 중소규모 건물 석재 외장 외단열시스템의 열교 수준별 에너지성능 평가, 한국건축환경설비학회 논문집, 제16권 제4호, 2022.08, pp.308-320. // (B.H. Choi, S.Y. Song, Energy performance evaluation by thermal bridging level of stone-finished exterior insulation system for small and medium-sized buildings for green remodelling, *Journal of KIAEBS*, 16(4), 2022.08, pp.308-320.)

[6] A.B. Larbi, M. Couchaux, A. Bouchair, Thermal and mechanical analysis of thermal break with end-plate for attached steel structures, *Engineering Structures*, 131, 2017.01, pp.362-379.

[7] 오세민, 박선효, 정광섭, 공동주택 결로 하자 사례를 통한 개선방안 도출, 설비공학논문집, 제29권 제2호, 2017.02, pp.82-88. // (S.M. Oh, S.H. Park, K.S. Joung, Study on the improvement plans of condensation defect examples in apartment building, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 29(2), 2017.02, pp.82-88.)

[8] U. Heinemann, Long-term performance of super-insulating materials in building components and systems (Energy in Building and Communities Program), <http://www.zae-bayern.de>, 2020.

[9] European Organisation for Technical Assessment, Point thermal transmittance of plastic anchors for ETICS, <https://www.eota.eu/sites/default/files/uploads/Technical%20reports/eota-tr-025-point-thermal-transmittance-of-plastic-anchors-for-etics-2016.pdf>, 2016.

[10] The Welsh Government, Building regulations guidance: Part L (Conservation of fuel and power), <https://www.gov.wales/building-regulations-guidance-part-l-conservation-fuel-and-power>, 2010.

[11] 구보경, 정진우, 구조체 열교차단재 성능 평가를 위한 벽체 발코니 접합부 전열량 평가, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제41권 제2호, 2021.10, pp.640-640. // (B.K. Koo, J.W. Jeong, Thermal transmission performance analysis of balcony-slab joint with linear thermal break, 2021 Autumn Annual Conference of AIK, 41(2), 2021.10, pp.640-640.)

[12] 한국건축환경설비학회, 건물 열교부위별 열교차단재 열성능 계산방법 (KIAEBS S-13: 2020), https://www.kiaebs.org/board/?_0000_method=view&ncode=a003&num=17&page=1, 2020. // (Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, Calculation method of thermal performance of thermal bridge breaker applied to thermal bridge in building envelope (KIAEBS S-13: 2020), https://www.kiaebs.org/board/?_0000_method=view&ncode=a003&num=17&page=1, 2020.)

[13] A.T. Nguyen, S. Reiter, P. Rigo, A review on simulation-based optimization methods applied to building performance analysis, *Applied Energy*, 113, 2014.01, pp.1043-1058.

[14] G. Di Leo, F. Sardanelli, Statistical significance: *p* value, 0.05 threshold, and applications to radiomics—Reasons for a conservative approach, *European Radiology Experimental*, 4, 2020.03, 18.

- 1) ISO 6946 – Building components and building elements
2) ISO 10211 – Thermal bridges in building construction – Heat flows and surface temperatures