



열교저감방식에 따른 진공단열패널이 적용된 벽체의 열교특성분석

The Thermal Bridge Characteristic of Wall with Vacuum Insulation Panels According to the Thermal Bridge Reduction Method

민다혜* · 김상명** · 김진희*** · 김준태****

Da-Hye Min* · Sang-Myung Kim** · Jin-Hee Kim*** · Jun-Tae Kim****

* Main author: Dept. of Energy System Engineering, Kongju National University, South Korea (dhwxj@smail.kongju.ac.kr)

** Coauthor: Dept. of Energy System Engineering, Kongju National University, South Korea (mtanzania@smail.kongju.ac.kr)

*** Coauthor: Green Energy Technology Research Center, Kongju National University, South Korea (jiny@kongju.ac.kr)

**** Corresponding author: Dept. of Architectural Engineering, Kongju National University, South Korea (jtkim@kongju.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: The insulation requirements for buildings are being strengthened to make zero energy mandatory. Vacuum insulation panel (VIP) has about 8~10 times better insulation performance than existing insulation and also maintains high insulation performance with a slimmer thickness. However, when VIP is installed on a building wall, thermal bridge occurs. Thermal bridges of VIP itself, thermal bridges due to air gaps between adjacent vacuum insulation panels, and thermal bridges with other building materials that make up the walls. Thermal bridges deteriorate the insulation performance of the building envelope. The purpose of this study is to compare and analyze the insulation performance by designing a wall with vacuum insulation panels and applying a method to improve the insulation performance degradation due to heat bridges. **Method:** In this paper, thermal bridge phenomenon of the wall was analyzed using Physibel TRISCO simulation program. The walls were designed for VIP encapsulated EPS insulation application walls. The parameters of thermal bridges reduction were set to air gap seals between VIPs, application of thermal bridge fastener and both. A total of 4 cases were designed. **Result:** Based on the simulation results thermal bridge effect for wall with encapsulated VIP reduced by 5.2% for Case 1, 7.2% for Case 2, and 13.6% for Case 3. As a result, it was confirmed that the airtight seal between VIPs and the type of connection material affect the thermal bridge of the wall. From the findings in this paper, it is recommended that necessary techniques are adopted to prevent deterioration of insulation performance primarily due to thermal bridges.

KEYWORD

진공단열패널
열교저감
벽체 단열공법
열 시뮬레이션Vacuum Insulation Panels
Thermal Bridge Decrease
Wall Insulation Method
Thermal Simulation

ACCEPTANCE INFO

Received Mar 6, 2019
Final revision received Mar 25, 2019
Accepted Mar 29, 2019

© 2019 KIEAE Journal

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

대형건물의 증가와 냉난방에너지 소비가 증가하면서 건물의 에너지 소비 절감의 중요성은 점점 커지고 있다. 건물에서 냉난방부하를 줄이기 위해서는 에너지 손실이 가장 큰 건물 외피의 단열성능이 우선시 고려되어야 하며, 이에 따라 국내에서는 건축물의 에너지절약설계기준을 만들고 건물의 외피단열규정을 단계적으로 강화하고 있다. 또한 2020년부터는 공공신축건축물, 2025년부터는 일반건축물로 제로 에너지 하우스 의무화를 목표로 하고 있어 건물 외피의 단열성능의 중요성은 점점 커지고 있다[1].

제로에너지 하우스 의무화를 위해 고효율 단열기술에 관한 연구 개발과 제품화가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 시대적 흐름에 따라 냉동기, 냉장고 등과 같은 전자제품에 주로 사용되던 진공단열패

널(Vacuum insulation panel: VIP)이 새로운 고효율, 고성능 단열 제품으로 건축시장에서 소개되었다[2]. 진공단열패널은 기존 단열재보다 약 8배 가량 낮은 열전도율을 가지고 있으며 얇은 두께만으로 높은 단열성능을 유지할 수 있어 단열 두께를 줄일 수 있다는 장점을 가지고 있다[3]. 이미 유럽을 중심으로 건물외피에 대한 다양한 설치 방법 및 열교를 최소화하여 적용하기 위한 사례연구가 이루어지고 있으며, 국내에서도 고효율 건물을 위한 설치사례가 늘어나고 있다[4]. 그러나 진공단열패널을 건물에 시공할 경우 패널의 손상으로 인한 진공파괴로 단열성능이 저하될 수 있으므로 설치 시 주의가 필요하다. 또한 건물 시공방식 및 단열재의 불연속, 내외가 관통되는 열적 취약부위 노출 등의 문제로 건축 구조체의 단열성능을 저하시킬 수도 있다. 따라서 건물 외벽에서 발생하게 되는 열교 부위에 대한 정확한 인식 및 방지대책과 열교 영향을 포함한 외벽의 단열성능을 확보하는 것이 필요하다.

본 연구의 목적은 진공단열패널 건물적용 시 발생하는 열교에 의한 단열성능 저하를 줄이기 위하여 열교의 발생 원인을 분석하고 열교를 줄이기 위한 건물적용 방안을 비교 분석하였다.

1.2. 연구의 방법

본 연구에서는 일반적인 기존 공동주택 외벽을 레퍼런스 모델로 하여 진공단열패널이 적용된 벽체를 설계하였다. 열교에 따른 진공단열패널 벽체의 단열 성능을 분석하기 위하여 열교 영향이 가장 크게 발생하는 진공단열패널 간의 공기층과 벽체 결합 시 사용되는 철재 앵커를 실험 변수로 설계하였다. 진공단열패널 벽체의 실험 조건에 따른 모델을 도출하였으며, 3차원 전열 해석 프로그램인 Trisco 13.0w을 이용하여 모델링 및 분석하였다. 시뮬레이션 프로그램을 통해 모델링된 진공단열패널 벽체의 온도특성 및 유효 열관류율 등을 통해 벽체의 단열성능을 비교 분석하였다[5].

2. 진공단열패널

2.1. 진공단열패널의 특성

진공단열패널은 단일재료로 이루어진 기존의 단열재와는 다르게 다양한 열전도율을 가진 재료들로 구성된 복합 단열재이다. Fig. 1.은 진공단열패널의 구성을 간략히 보여주고 있으며, Fig. 1.과 같이 진공단열패널은 심재, 외피재, 흡착재/건조재로 구성되어 있다. 진공단열패널의 심재는 주로 흙드실리카와 글라스 화이버 같은 다공성의 심재가 사용되며, 내부 진공을 유지하기 위한 외피재는 금속 또는 알루미늄 필름이 주로 사용되고 있다. 흡착재 또는 건조재는 내부의 습기를 제거하기 위해 사용된다[6].

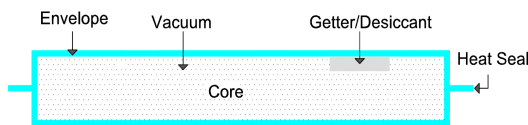


Fig. 1. Components of vacuum insulation panel

진공단열패널은 기존 단열재들에 비해 매우 얇고 높은 단열성능을 가지고 있으며, 일반 건물용 단열재보다 단열성능이 약 8~10배 정도 우수하다. Fig. 2.는 다양한 단열재들의 두께에 따른 열전도율을 나타낸 그래프이며, 동일한 열관류율을 만족하기 위한 단열재들의 두께를 비교하여 나타낸 그래프이다[7]. 그래프를 보면 열관류율 0.2W/m²K를 만족하기 위해 글라스 화이버의 경우 약 225mm의 두께가 요구되지만 진공단열패널은 25mm의 두께만으로도 열관류율 0.2W/m²K를 만족하는 것을 확인할 수 있다. 이와 같이 동일한

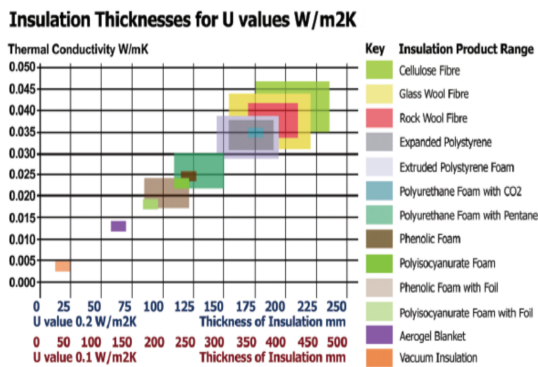


Fig. 2. Comparison of insulation material thickness for the same U values

단열성능을 만족하기 위하여 글라스 화이버의 경우 진공단열패널 보다 약 10배의 단열 두께가 필요하며, 이 외에 다른 단열재 또한 상당한 두께의 단열재가 요구되고 있다. 진공단열패널은 약 0.005W/mK의 낮은 열전도율을 가지고 있어 강화되고 있는 건물 외벽의 단열규정을 얇은 단열 두께만으로도 단열성능을 만족할 수 있으며, 이는 건물 벽체의 단열 두께를 줄이고 실내 점유공간을 확보할 수 있다는 장점을 갖고 있다.

2.2. 진공단열패널의 열교

진공단열패널을 건물에 적용할 경우 열교가 발생하게 되는데 이는 단열성능 저하로 이어지게 된다. 진공단열패널이 적용된 벽체에서 발생하는 열교는 크게 3가지로 나타낼 수 있다[8]. 진공단열패널은 다양한 열전도율을 가진 재료로 구성되어 있어 (1) 심재와 외피의 높은 열전도율 차이에서 발생하는 진공단열패널 자체의 열교, (2) 균일하지 않은 진공단열패널 가장자리에 발생하는 공기 틈에 의한 열교, 그리고 (3) 건물에 적용할 경우 벽체를 구성하고 있는 다른 건축자재와의 열전도율 차이에 의한 열교 등이 있다. 이러한 진공단열패널 건물 적용 시 발생하는 열교는 건물 외벽의 단열성능을 저하시킨다는 문제점을 가지고 있으며, 이 중 특히 다른 건축자재와의 열전도율 차이에서 발생하는 열교 및 이에 의한 벽체의 단열 성능은 크게 발생된다. 이를 방지하기 위해 진공단열패널 건물 적용 시 열교에 의한 성능저하를 최소화하기 위해 이에 대한 고려가 요구되고 있다.

3. 시뮬레이션을 통한 진공단열패널 적용 벽체의 열교특성 분석

3.1. 시뮬레이션 모델 설계

본 논문에서는 진공단열패널이 적용된 벽체에서 발생하는 3가지 열교 종류 중 '건물에 적용할 경우 벽체를 구성하고 있는 다른 건축자재와의 열전도율 차이에 의한 열교'에 초점을 두어 설계를 계획하였다. 시뮬레이션 분석을 위해 모델링된 벽체는 중평군에 위치한 지상 2층 규모의 건물을 레퍼런스로 설계되었다. 레퍼런스로 사용된 건물 외벽의 열관류율을 기준으로 진공단열패널이 적용된 벽체를 설계하였으며, 해석모델의 개념도는 Fig. 3.과 같다. 벽체의 총 두께

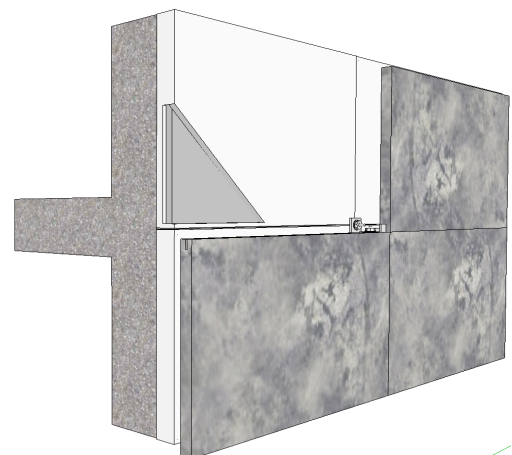


Fig. 3. Base model design

는 313mm, 외벽 열관류율 0.197W/m²K로 설계되었으며, 총 4개의 캡슐화된 진공단열패널이 사용되었다. 시뮬레이션 설계모델에 적용된 진공단열패널은 외부의 충격으로 인해 내부 진공이 파괴되어 단열성능이 저하될 수 있는 점을 고려하여 Fig. 4.와 같이 EPS (Expanded polystyrene) 단열재로 캡슐화된 형태로 설계되었다.

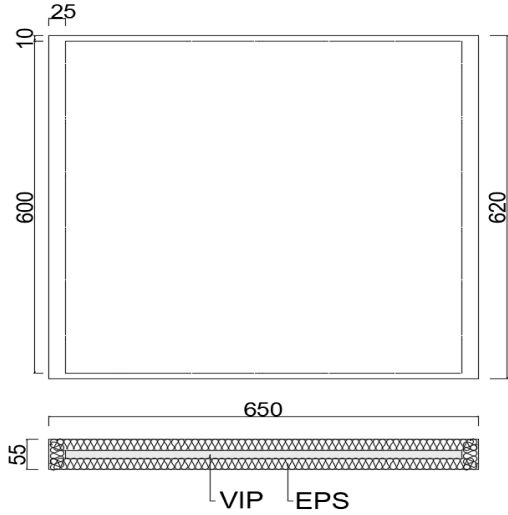


Fig. 4. VIP Encapsulated EPS design

Fig. 5.와 Fig. 6.은 설계된 진공단열패널 적용 벽체의 단면 상새이다. Fig. 5.는 연결 화스너 위치를 나타낸 단면이며 연결 화스너는 캡슐화 된 진공단열패널 사이에 위치하였다. Fig. 6.은 진공단열패널과 공기층의 위치를 나타낸 그림이며, 공기층의 두께는 1mm로 설정하였다. 설계된 벽체의 구성은 콘크리트(150T), 접착제(3T), 진공단열패널(15T), EPS(40T), 공기층(75T), 석재(30T)이다.

Table 1. Modelling conditions for each case

EPS Encapsulated VIP Based case model	
Base model	Air gap, Metal material Fastener
Case1	No Air gap, Metal material Fastener
Case2	Air gap, Thermal Breaker Fastener
Case3	No Air gap, Thermal Breaker Fastener

설계된 진공단열패널이 적용된 벽체의 열교특성 분석을 위하여 열교가 발생하는 요소를 캡슐화 된 진공단열패널 사이에 공기층과 벽체에 결합하기 위해 사용되는 화스너의 종류로 설정하였다.

전열해석 프로그램을 통해 분석된 해석모델의 해석 조건은 Table 1.과 같이 Base model을 포함하여 총 4가지 타입의 모델을 설계 및 설정하였다.

첫 번째 열교 조건인 공기층의 유무는 캡슐화 된 진공단열패널 적용 시 단열재 사이의 접합부의 접촉면이 고르지 못하여 발생하는 접합부위 틈새(공기층)의 유무에 따른 열교특성을 분석하기 위하여 설계되었다. 공기층은 캡슐화 된 진공단열패널 사이의 공기층을 1mm로 설정하였으며, 공기층이 있는 경우(Base model)과 공기층이 없는 경우(Case 1)를 비교하였다. 두 번째 열교 현상을 분석하기 위해서 진공단열패널을 벽체에 결합하기 위해 사용되는 연결 화스너의 종류에 따른 특성을 분석하였다. 일반적으로 사용되는 연결 화스너

는 금속 소재의 건축 재료로써 높은 열전도율을 가지고 있어 화스너를 통한 열 손실이 많이 발생하게 된다. 금속소재의 연결 화스너를 통해 발생하는 열교 및 열손실을 줄이기 위해서 Fig. 7.과 같이 금속보다 열전도율이 낮은 PVC 재질의 열교 차단형 화스너를 설계하였다. 이에 따라 일반적인 금속소재 화스너를 사용하였을 경우(Base model)와 열교 차단 화스너(Case 2)를 사용하였을 경우의 열교 현상을 분석하였다.

최종적으로 공기층과 열교차단 화스너가 모두 적용된 Case 3 실험 모델을 분석하여 공기층과 열교차단 화스너가 진공단열패널 벽체에 미치는 영향을 비교 분석하였다.

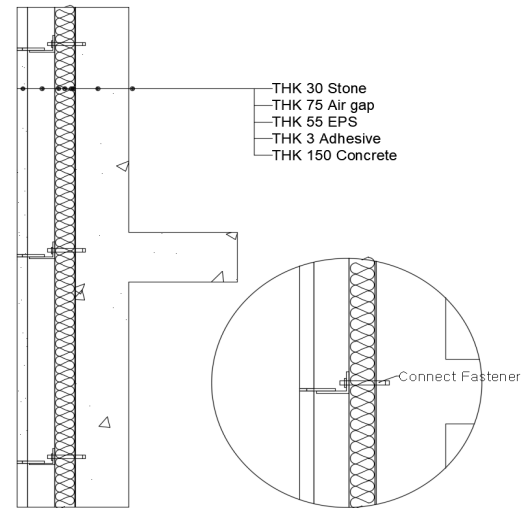


Fig. 5. Sectional view of wall with fastener

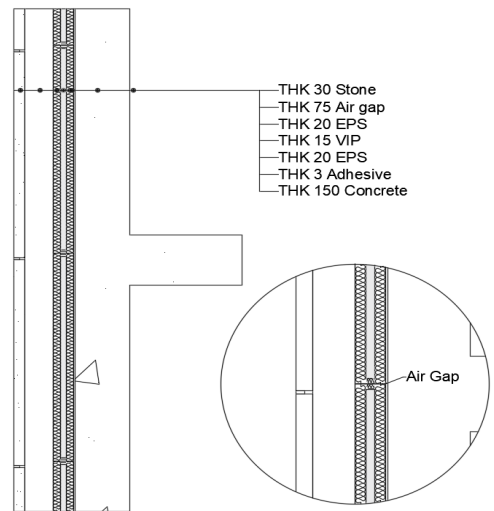


Fig. 6. Sectional view of wall with air gap

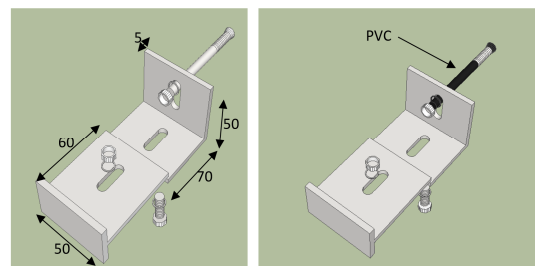


Fig. 7. Connect fastener design

3.2. 시뮬레이션 조건

3차원 정상상태 전열해석 프로그램으로 Physibel Trisco v.13.0.w를 사용하였다. Trisco는 2, 3차원 정상상태 전열해석이 가능하며, 열평형 방정식을 유한차분법에 의해 이산화하여 풀어줌으로써 복잡한 건물 부위에서 정밀도 높은 계산이 가능한 프로그램이다. 전열해석에 적용된 재료 물성치는 Table 2.와 같고 실내의 경계 조건과 표면 열전달 저항은 건축물의 에너지 절약설계기준, [별표5] [9], [별표7], 그리고 [별표8]에 근거하여 Table 3.과 같이 나타내었다[10]. 실내의 경계조건은 공동 주택의 난방 설정온도 20℃, 서울의 난방 설계 외기온도 -11.3℃로 하였고, 표면 열전달 저항은 실내 0.11m²K/W, 실외 0.043m²K/W 값을 적용하였다.

Table 2. Properties of materials

Material	Thermal Conductivity (W/mK)
Concrete	1.600
Cement Mortar	1.400
Gypsum Board	0.180
Expanded Polystyrene	0.034
Steel	45.000
Adhesive	0.353
PVC	0.170
Silicon	0.350
stone	2.8
Vacuum Insulation Panel	0.00424

중공층의 열관류율 계산 시 중공층의 두께가 1cm를 초과하는 경우 중공층의 열전달저항 값은 0.086 m²K/W를 사용하도록 규정하고 있다[11]. 본 논문의 시뮬레이션 분석을 위해 사용된 해석 모델의 공기층 두께는 0.075m로 열 전달저항 값이 0.086 m²K/W를 만족해

Table 6. Temperature distributions of wall structures

Temperature range	Base model	Case 1	Case 2	Case 3
Qtot (W)	31.670	30.087	29.409	27.387
Reduction ratio (%)	-	5.2	7.2	13.6

야하므로 '공기층의 두께/0.086 [m²K/W]' 식을 사용하여 0.872 W/mK값을 등가 열전도율로 적용하였다.

Table 3. Convective Heat Transfer Coefficient Inside and Outside wall

	Set Temperature (°C)	Surface Heat Transfer Resistance (m ² K/W)
Indoor side	20.0	0.11
Outdoor side	-11.3	0.043

시뮬레이션 모델의 전열해석 조건은 Table 4.와 같다. 시뮬레이션에서 반복 주기를 최대 5번, 반복 주기 간(이전 반복 단계와 현재 반복 단계)의 최대 온도 차이는 0.001℃로, 총 물체에 대한 허용되는 상대 에너지 균형 오차는 최대 0.001%로 설정하였다.

Table 4. Heat Transfer Analysis Condition

Parameter	Value
Max number of iteration cycle	5
Max number of iteration within each iteration cycle	10000
Max temperature difference within each iteration cycle	0.0001℃
Max temperature difference between iteration cycle	0.001℃
Max heat flow divergence for total object	0.001%
Max heat flow divergence for any node	1%

3.3. 시뮬레이션 결과 및 분석

설계된 4가지 모델들의 열교분석 시뮬레이션을 수행하였으며, 각 모델들의 열교 부위 단면 온도 분포와 전열해석을 통해 얻어진 총 전열량(Q_{tot})을 Table 6.에 나타냈다. Table 6.을 보면 접합부위에서의 열교 발생을 확인할 수 있으며, 열교 발생에 따른 각 모델들의 온도

분포가 다르게 나타나는 것을 알 수 있다. 공기층이 있다고 가정할 Base model에 비해 공기층이 없다고 가정할 Case 1의 모델의 열교 부위의 전열량 값이 더 작게 나타났다. 이에 따라 단열재 사이의 공기층 부분이 없는 경우 열교현상이 적게 나타난 것을 확인할 수 있다. 열교차단 화스너의 영향을 보기 위하여 설계된 Case 2는 금속소재 화스너가 적용된 Base model보다 전열량이 7.2%정도 낮게 산출된 것을 확인할 수 있다. 이를 통하여 열교 차단 화스너가 열의 흐름에 영향을 주는 것으로 분석되어진다. Case 1과 Case 2의 저감방식을 적용한 Case 3의 열교 저감율은 13.6%로 열교 부위를 통한 열손실을 가장 크게 저감시킬 수 있는 것으로 확인되었다.

각 해석모델들의 열교를 포함한 단열성능을 분석하기 위해 유효 열관류율(Effective thermal conductivity : U_{eff}) 값을 Table 5.와 같이 나타냈다.

Table 5. Comparison of effective U-values for the cases

Case	Effective Thermal Conductivity (W/m ² K)
Base model	0.450
Case1	0.427
Case2	0.418
Case3	0.389

열교를 고려한 유효 열관류율은 Base model이 0.450W/m²K로 산출되었다. 열교저감 방식 중 공기층이 존재하지 않는 모델은 0.427W/m²K, 열교차단 화스너를 사용한 모델은 0.418W/m²K의 값이 산출되었으며, 두가지 열교저감방식을 모두 적용한 Case 3의 모델은 0.389W/m²K로 산출되었다. 산출된 유효열관류율 값을 통하여 열교발생은 공기층과 화스너의 종류에 영향을 받는다는 것을 확인할 수 있고, 공기층의 영향보다는 화스너 종류에 영향을 더 많이 받는 것으로 분석되어진다. 그리고 두 가지 열교저감 방식을 모두 적용한 Case 3의 모델은 가장 큰 저감율을 나타내었다. 따라서 시공 시 공기층의 발생에 주의를 기울이고, 연결화스너의 종류를 열교차단 기능이 있는 화스너를 사용한다면 열교발생이 완화된 것으로 분석되어진다.

또한, 이 연구에서는 외벽 열관류율을 0.197 W/m²K로 동일하게 설계하였으나, 열교를 고려한 유효열관류율은 설계된 1차원 열관류율보다 높게 산출된 것을 확인할 수 있으며, 열교 부위를 통해 손실되는 열의 비중이 큰 것을 알 수 있고 따라서 열교를 고려한 단열설계가 필요하다는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 진공단열패널이 적용된 벽체의 열교부위에 열교저감방식에 따른 열교 특성을 분석하였다. 이를 위해 열교에 영향을 미칠 수 있는 열교부위의 공기층의 유/무와 연결 화스너의 종류에 따른 4가지 타입의 모델링 및 시뮬레이션을 수행하였다.

(1) 분석결과 진공단열패널의 열교저감 방식인 공기층의 유무와

연결 화스너의 종류에 따라 열교발생을 줄일 수 있으며, 단열성능을 더 높일 수 있는 것으로 확인되었다.

- (2) 열교저감방식을 적용하여 열교발생을 최소화하면 유효열관류율 값이 상대적으로 낮아진 것을 확인할 수 있다.
- (3) 건물에너지 절감을 위해서는 벽체의 열교부위를 통한 열손실을 고려한 단열 설계의 필요성을 확인할 수 있었다.
- (4) 본 연구는 3차원 정상상태의 전열해석 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 열교 개선 효과를 분석한 것으로, 향후 다양한 외피 설계에 대한 시계작 및 실험을 통해 열교특성에 대한 열성능 평가가 이루어져야 할 것이다.

Acknowledgement

이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 이공학개인기초 후속연구지원사업(No. NRF-2018R1D1A1A09083870)과 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20173010013420).

Reference

- [1] 국토교통부, ZEB 조기 활성화 방안 보고, 2014, // (Korean Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Report on early activation of ZEB, 2014, p.70)
- [2] 김준태, 진공단열패널(VIP)의 건물 적용, 건축환경설비, 제 4권 제 4호, 2010, pp.40-45 // (Jun-Tea Kim, Building application of vacuum insulation panel (VIP), Journal of the Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, Vol.4, No. 4, 2010.10, pp.40-45)
- [3] 심훈 외 3인, 진공단열패널의 설치방식에 의한 열교특성 및 열적 성능 분석, 한국태양에너지학회 2010년도 추계학술발표대회 논문집, 제 30권 제 2호, 2010, pp.234-239 // (Hoon Sim, Jin-Hee Kim, Jun-Gu Kang, Jun-Tea, Kim, A Study on the Thermal Bridge Characteristic and Thermal Properties of VIPs Depending on the Installation Methods, Journal of the Solar Energy Society, Vol.30, No. 2, 2010, pp.234-239)
- [4] 김진희, 김준태, 가속노화 시험을 통한 진공단열패널(VIP)의 장기성능 평가 연구, 한국태양에너지학회 논문집, 제 37권 제4호, 2017, pp.35-47 // (Jin-Hee Kim, Jun-Tea Kim, The study of Long-Term Performance Evaluation of Vacuum Insulation Panel(VIP) with Accelerated Aging Test, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.37, No. 4, 2017, pp.35-47)
- [5] Physibel, Trisco & KOBRU86 : computer program to calculate 3D&2D steady state heat transfer in rectangular objects, 2015
- [6] 송승영 외 4인, 패시브 및 제로에너지 공동주택을 위한 진공단열재 적용 건식 외단열시스템 성능평가, 대한건축학회 논문집-계획계, 제 29권 제9호, 2013, pp.219-228 // (Seung-Yeong Song, Si-Hyun Park, Bo-Kyoung Koo, Jae-Han Lim, Seong-Ryong Ryu, TPerformance Evaluation of EIFS Using Vacuum Insulation Panels for Passive and Zero-Energy Apartment Buildings, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, Vol.29, No.9 2013, pp.219-228)
- [7] Ian Abley, Vacuum insulation as an alternative to 'eco-thickness', Innovation & Research Focus, Issue 78, 2009.08, pp.1-8
- [8] 김상명, 진공단열패널 결합방식에 따른 건물의 에너지 성능에 관한 연구, 공주대학교 석사학위논문, 2017, pp.28-29 // (sang-myeong Kim, A study in the Energy Performance of Building According to Insulation Methods of Vacuum Insulation Panels, Kongju University Master Degree Thesis, 2017, pp.28-29)

- [9] 국토교통부, 2017 에너지절약계획서 해설서, 2017 [별표5], p.26// (Korean Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Energy Saving Plan Explanation Book, 2017, p.26)
- [10] 국토교통부, 2017 에너지절약계획서 해설서, 2017, [별표7], [별표8], pp27-28// (Korean Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Energy Saving Plan Explanation Book, 2017, pp27-28)
- [11] 박민주, 건물외피 단열성능 규정에서의 열교영향 반영 필요성 분석, 이화여자대학교 석사학위논문, 2014, pp.52-53 // (min-ju Park, Needs for Build Envelope Insulation Performance Regulation Reflecting the Influence of Thermal Bridge, Ewha Womans University Master Degree Thesis, 2014, pp52-53)