Journal of KIAEBS Vol.14, No.6, December pp. 719-730

RESEARCH ARTICLE

진공단열재 외피재 종류에 따른 유효열전도율에 관한 연구

정해용[1] · 배민정[2] · 최경석[3] · 김영탁[4*]

[1]에임트 주식회사 제조그룹 그룹장, [2]한국건설기술연구원 국민생활연구본부 전임연구원,
[3]한국건설기술연구원 국민생활연구본부 연구위원, [4]에임트 주식회사 사업운영그룹 이사

Study on Effective Thermal Conductivity of Vacuum Insulation Panels Manufactured by Different Envelope Materials

Jung, Hae-Yong[1] · Bae, Min-Jung[2] · Choi, Gyeong-Seok[3] · Kim, Young-Tag[4*]

[1]Group Leader, Manufacturing Group, AIMT co. Ltd., Daegu, Korea
[2]Research Specialist, Department of Living and Built Environment Research, KICT, Goyang, Korea
[3]Research Fellow, Department of Living and Built Environment Research, KICT, Goyang, Korea
[4]Executive Director, Business Operation Group, AIMT co. Ltd., Daegu, Korea

***Corresponding author:** Kim, Young-Tag, Tel: +82-53-341-8687, E-mail: kimyoungtag@hotmail.com

ABSTRACT

Government goals of the Republic of Korea is to reduce greenhouse gas emissions by 37% compared to BAU, it was discussed by COP 21 in December 2015. In this change in the surrounding environment, the construction sector need to develop and supply new insulation materials to satisfy thermal performance for zero energy building while minimizing insulation thickness such as Vacuum Insulation Pannels (VIP). And, it is necessary to establish the Korean Standards of VIP in order to secure the stable quality and performance of VIP in the building and housing market. Under this background, the purpose of this study was to analyze effective thermal conductivity by envelope material types of VIP. In VIP's manufacturing process, envelope material was folded at 4-side edge of VIP, for that reason, it occurs in the edges that phenomenon called thermal bridge. This phenomenon was different by envelope material types of VIP and reduced thermal performance of VIP. Therefore, it is very important to plan building insulation design with not central thermal conductivity but effective thermal conductivity of VIP. Otherwise, the heating and cooling energy consumption of building will increase more than expected.

주요어 : 진공단열재, 외피재, 유효열전도율, 단열성능, 제로에너지건축물

Keywords: Vacuum Insulation Panel (VIP), Envelope Material, Effective Thermal Conductivity, Thermal Performance, Zero Energy Building & House

OPEN ACCESS

Journal of KIAEBS 2020 December, 14(6): 719-730
https://doi.org/10.22696/jkiaebs.20200061

pISSN : 1976-6483
eISSN : 2586-0666

Received: November 5, 2020
Revised: November 11, 2020
Accepted: November 13, 2020

Ⓒ 2020 Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서 론

2015년 12월 파리에서 개최된 제21차 유엔기후변화협약 당사국총회(COP 21)에서 협의한 한국의 온실가스 감축 목표는 BAU 대비 37% 절감하는 것이며, 정부는 목표 달성을 이행하기 위해, 2018년 9월부터 건축물의 에너지절약설계기준(MOLIT, 2018)을 강화하여 법적

단열 두께를 증가시켰고(Figure 1), 2025년부터 설계되는 건물은 단계별로 제로에너지건축물로 의무화하는 정책을 발표하였다.

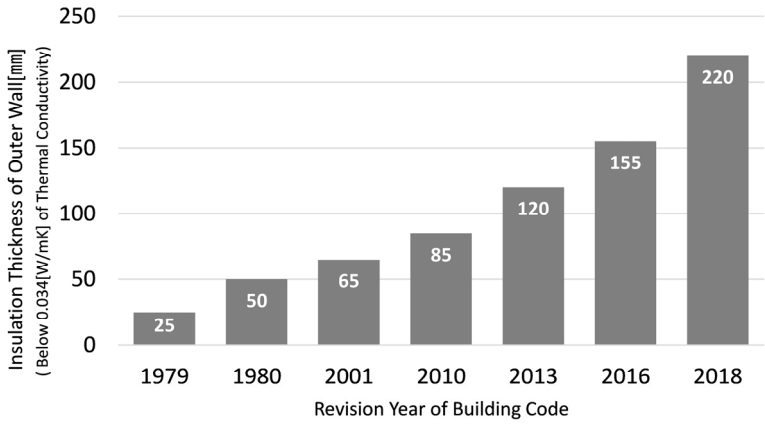


Figure 1. Legal Insulation Thickness Change of New Apartment House in Korea

이러한 환경 변화 속에, 건축 분야에서는 ZEB (Zero Energy Building) 구현에 필요한 외피 단열성능을 확보하면서 단열 두께를 최소화할 수 있는 진공단열재가 근래 재조명을 받고 있으나, 제품의 품질 및 성능에 관한 관련 규격의 부재로 시장 보급에 많은 어려움이 있어서, 이에 대한 대응이 시급하다.

본 연구는 이러한 정책 및 시장환경에서 진공단열재의 제도권 진입을 목적으로 외피재의 특성에 따른 단열성능 차이를 규명하고, 실제 설계상에 반영해야 할 기준으로 유효열전도율의 적정성을 제시하고자 한다.

진공단열재

진공단열재의 구성 요소

진공단열재는 크게 심재, 외피재, 게터로 구성되어 있고, 심재 부위를 대기압보다 낮은 압력으로 유지하기 위한 각각의 소재 및 역할은 Table 1과 같으며, 본 논문의 분석대상은 심재가 글라스울 계열의 진공단열재로 제한한다.

Table 1. Components of Vacuum Insulation Panels (VIP)

Components	Material	Major Role
Core Material	Glass Wool, Fumed Silica	To keep Shape of VIP
Envelope Material (Film Pouch)	Laminated Film	To keep Vacuum Condition (To block penetration of gas and vapor in the air)
Getter	CaO, Metallic Oxides	To absorb gas and vapor in the inside of VIP

진공단열재의 제조 과정

글라스울 계열의 진공단열재는 봉지 형태의 외피재에 심재와 게터를 넣고, 진공펌프로 내부 공기를 흡입하여 일정 진공도(10^{-2}~10^{-3}torr)에서 개구부를 밀봉한 후, 4면 가장자리(Edge) 부위를 수작업으로 접어서(Folding해서) 제조하는데, 상세한 과정은 Figure 2와 같다(Kim, 2020).

먼저, 보관된 원재료(①)로부터, 3면이 실링된 봉지 모양의 외피재를 제작하고(②), 심재는 가공(③) 및 건조(④)한다. 건조된 심재 사이에 게터를 삽입하여(⑤), ②에서 제작한 외피재에 삽입하고(⑥), 진공챔버에서 진공화 과정을 거친 후, 나머지 1면을 밀봉하고(⑦), 진공챔버에서 꺼내어 이중으로 실링한다(⑧). 진공화 과정이 완료되면 외피재 가장자리 4면을 폴딩하고(⑨), 진공도 초기 불량을 선별하기 위해 7일 이상 숙성 과정을 거친 후(⑩), 전수 검사하여(⑪) 출하한다(⑫).

Figure 2. Manufacturing Process Of Glass Wool Core VIP (Source : OEM manufacturer of AIMT)

진공단열재의 요구 성능

건축 시장에서 진공단열재의 안정적인 품질과 성능을 인정받기 위해서는 관련 국가규격(KS)의 제정이 필요하다.

진공단열재 관련 규격은 ISO에서 논의 중에 있는데, 국내의 일반적인 단열재 관련 KS내용과 진공단열재 고유의 내용을 병합하여 정리하면 Table 2와 같은 내용이 포함되어야 한다.

이 중, 진공단열재 특성상 필수적으로 포함되어야 하는 항목은 장기열전도율과 유효열전도율이라 사료되는데, 전자는 진공단열재의 내구성에 관한 문제(몇년간 어느정도의 단열성능을 보장해야 하는가의 문제)이고, 후자는 xyz방향으로 열류방향이 일정하지 않는 진공단열재의 설계값에 관한 문제로, 진공단열재 중심부만의 열전도율로 설계하면 가장자리의 열교에 의한 열손실(선형열관류율)이 발생하여 실제 단열성능이 설계값을 만족하지 못하는 문제를 뜻한다.

이에, 본 논문에서는 후자의 문제인 진공단열재의 외피재 특성에 따른 단열성능(유효열전도율)의 차이를 규명하여 그 필요성에 대하여 검증하고자 한다.

Table 2. Major Regulation required for Building Code in Glass Wool Core VIP

Classification	Unit	Criteria	Test Method
Density	kg/m3	300 ± 50	KS B 5209/ KS B 5246
Tolerance of Length & width	㎜	± 5	KS M ISO 29465
Tolerance of Thickness	㎜	± 1/2/3/4 (≤10/10~20/20~30/30<)	KS M ISO 29466
Compression strength	N/㎠	3 or more	ISO 29472/ ISO 29764 ISO 29469/ ISO/DIS 16478
Incombustible Material	-	Grade 1 or 2	KS F ISO 1182/ 5660-1 KS F 2271
Initial Thermal Conductivity	W/m·K	Below 0.005	KS L 9016
Long-term Thermal Conductivity	W/m·K	Below 0.010	ISO/DIS 16478
Effective Thermal Conductivity	W/m·K	Below 0.010	ISO/DIS 16478

진공단열재 유효열전도율

외피재의 종류

외피재는 진공단열재 내부를 진공상태로 유지하는 역할을 하는데, 이를 위해서는 외부 공기의 조성 분자(질소, 산소, 아르곤, 수증기 등)이 진공단열재 내부로 유입되는 것을 장기간 방지할 수 있어야 한다.

이를 위해 외피재는 상하부 필름 2장을 3면 씰링하여 파우치(Pouch)형태로 제작하는데, 하부 필름은 가스 투과저항이 큰 알루미늄 호일(Al-Foil)을 사용하고, 상부 필름은 크게 3가지로 대별되어 사용되고 있다(Figure 3).

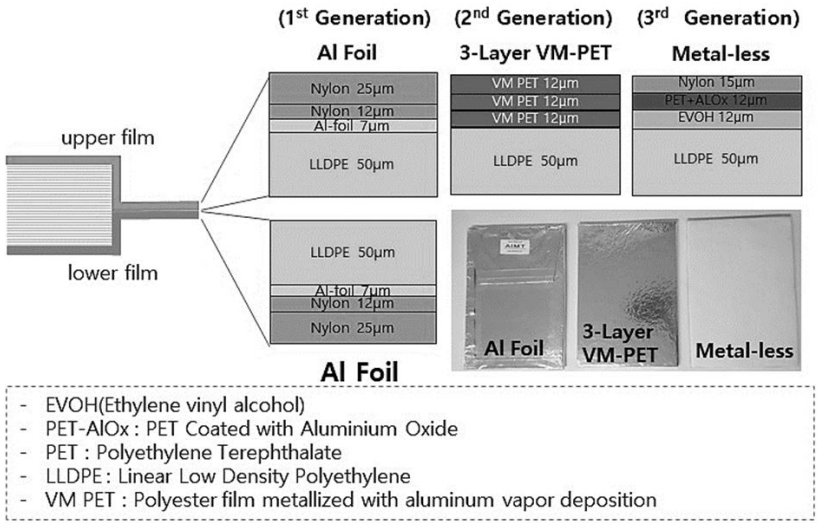


Figure 3. Envelope Material Composition of VIP

초창기 외피재의 상부 필름은 하부 필름과 동일하게 가스 투과저항이 큰 알루미늄 호일(Al-Foil) 필름을 사용하였으나, 외피재 가장자리(Edge) 부위를 접으면서 발생하는 금속 알루미늄 필름의 열교 현상으로 열손실이 심하게 발생하였다(Figure 4의 Folding Part). 이 열교현상을 개선하기 위해서 2세대 필름으로 3-Layer VM-PET 필름이 현재 일반적으로 사용되고 있으며, 최근에는 폴딩 부위의 열교 현상을 극단적으로 저감 시킨 3세대 필름인 비금속(Metal-less) 외피재가 개발되었다.

외피재는 전술한 바와 같이, 나노입자의 알루미늄 금속막을 도포함으로서 필름의 조성을 치밀하게 제작하여 외부 공기 분자의 유입을 장기간 차단할 수 있지만, 이로 인한 열손실은 간과할 수 없다.

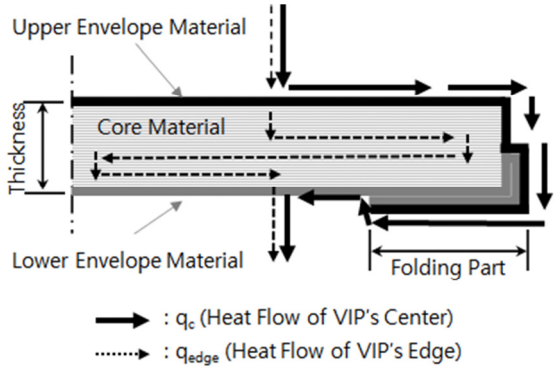


Figure 4. Thermal bridge phenomenon occurred in the Center and Edge of VIP

2차원 전열해석을 통한 진공단열재 유효열전도율 예측식 개발

진공단열재 폴딩부위(Edge부위)의 열교현상을 반영한 유효열전도율을 예측하기 위해서, Figure 5와 같이 2차원 전열해석을 상용 프로그램(Fluent)으로 수행하여 예측식을 개발하고자 한다.

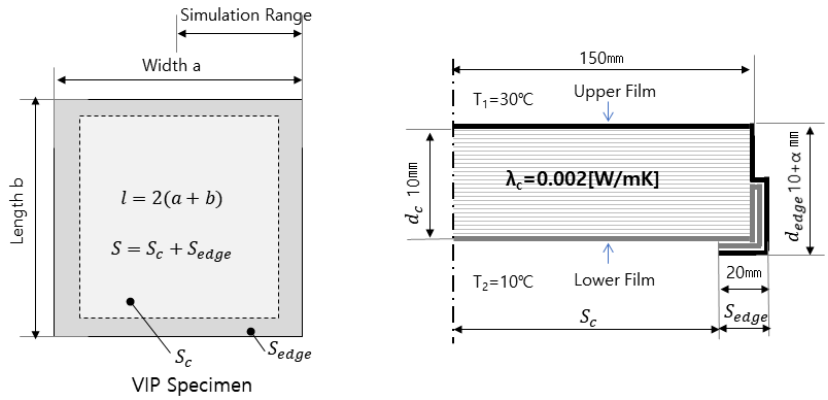


Figure 5. VIP Analysis Model for 2-Dimension Thermal Transfer Simulation

즉, Figure 5의 2차원 해설모델에서 전체 열류량은 중심부와 가장자리 부위의 열류량의 합과 같으므로 식 (1)과 식 (2)와 같이 표현할 수 있다. 이 때, 단면의 두께가 같다고 가정하면 전체 면적의 유효열전도율(λ_{eff})은 중심부 열전도율(λ_c)과 가장자리의 선형열관류율(ψ)에 관한 함수로 식 (3)과 같이 근사시킬 수 있으며, 선형열교계수(ψ)은 2차원 전열해석으로 산출 가능하다.

$$q_{all} = q_c + q_{edge} \tag{1}$$

$$\lambda_{eff}\frac{\triangle T}{d_{ave}}S = \lambda_c\frac{\triangle T}{d_c}S_c + \lambda_{edge}\frac{\triangle T}{d_{edge}}S_{edge} \tag{2}$$

$$\lambda_{eff} = \lambda_c\frac{S_c}{S} + \lambda_{edge}\frac{S_{edge}}{S} \simeq \lambda_c + f(\psi, S, l) \simeq \lambda_c + \psi\frac{l}{S} \tag{3}$$

(Symbol)	Explanation	Unit
q :	Heat Flux	[W]
λ :	Thermal Conductivity	[W/mK]
S :	Area of VIP Specimen	[m2]
$\triangle T$:	Temperature difference between Upper and Lower side of VIP	[K]
d :	Thickness of VIP Specimen	[m]
l :	Perimeter length of VIP	[m]
ψ :	Heat Bridge Coefficient occurred at perimeter part of VIP (coefficient by experiment or simulation)	[W/K]
(Subscript)	Explanation	Unit
$_c$:	Center part of VIP	
$_{edge}$:	Edge part of VIP	
$_{eff}$:	Effective thermal conductivity	
$_{ave}$:	Average Thickness	

한편, 2차원 전열해석에서, 외피재 필름은 복합재료로 구성되어 있고, 두께도 매우 얇기 때문에, 외피재가 열류방향과 평행하는 부위는 Table 3과 같이 병렬결합에 의한 유효열전도율을 산출해서 반영하였고, 직교할 때는 통상의 직렬병합으로 반영하였다.

Table 3. Effective Thermal Conductivity of Envelope Material

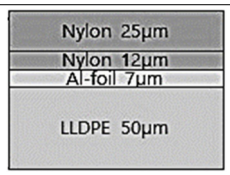
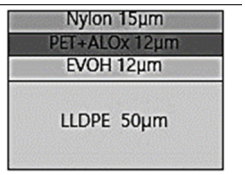
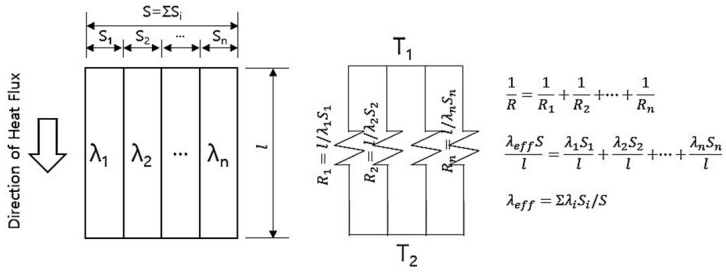
	Al-Foil	3-Layer VM-PET	Metal-less
Composition			
Property of Material	- Thermal Conductivity of Material [W/mK] Nylon (0.23), LLDPE (0.20), Al (200), VM-PET (0.20), AlOx (1.10) , EVOH (0.20) - Aluminum vapor deposition thickness : 0.1[μm]		
Thickness	97.0[μm]	86.3[μm]	89.1[μm]
Parallel Combined Mixture Model			
	S : Area[m2] l : length[m] λ_{eff} : Effective Thermal Conductivity[W/mK] R : Thermal Resistance[m2K/W] λ: Thermal Conductivity[W/mK]		
Effective Thermal Conductivity	14.631[W/mK]	0.895[W/mK]	0.206[W/mK]

Table 3의 외피재 유효열전도율을 반영한 2차원 전열량(q_{2d})를 이용하여 가장자리 열교계수(ψ)은 식 (4)~식 (7)을 통해서 산출 할 수 있고, 그 결과는 Table 4와 같다.

$$q_{2d} = q_{c+}q_{edge} \ (q_c = \lambda_c \Delta TS/d) \tag{4}$$

$$q_{edge} = q_{2d} - q_c \tag{5}$$

$$\lambda_{edge} = q_{edge}\, d/\Delta T/S = \psi \frac{l}{S} \tag{6}$$

$$\psi = \lambda_{edge} S/l \tag{7}$$

Table 4. Linear Thermal Bridge Coefficient (ψ) occurred at perimeter part of VIP

	Al-Foil	VM-PET	Metal-less	Unit
Effective Thermal Conductivity		$\lambda_{eff} = \lambda_c + \psi \frac{l}{S}$		[W/mK]
ψ	967.50E-03	91.25E-03	36.61E-03	[W/K]

실험을 통한 진공단열재 유효열전도율 측정

진공단열재 가장자리 부위(Edge부위)의 열교현상을 반영한 유효열전도율를 측정하기 위한 방법의 하나로, 본 논문에서는 시험체를 9등분하여, 해당 위치에 열전도율 측정기(HFM :

Heat Flow Meter)의 열류량 센서를 9개로 분할 배치시켜 면적 가중평균으로 산출하였다(Figure 6). 즉, 폴딩부위에서 열교가 발생하는 진공단열재의 전체 열류량은 9개로 분할하여 측정한 열류량의 합과 같고, 이를 식 (8)~식(10)과 같이 유도하면 진공단열재 가장자리의 열전도율($\lambda_{edge(m)}$)과 전체 유효열전도율($\lambda_{eff(m)}$)를 산출할 수 있다.

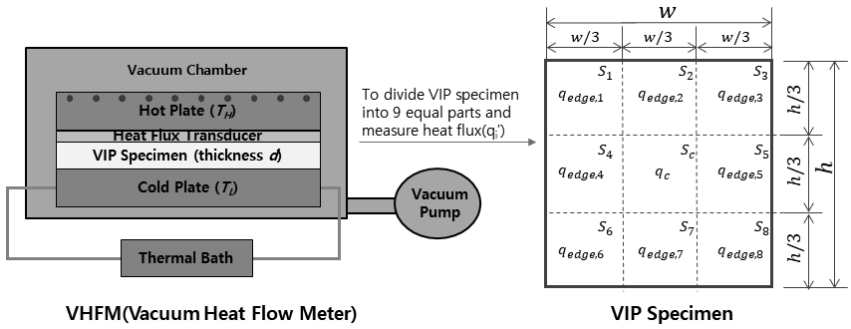


Figure 6. Measurement Method of Effective Thermal Conductivity

$$q_{all} = q_{c(m)} + q_{edge\,(m)} \ (m : \text{measurement}) \tag{8}$$

$$q_{edge\,(m)} = \sum_{i=1}^{8} q_{edge,i} \ (i : \text{number of edge part}) \tag{9}$$

$$\lambda_{edge(m)} = q_{edge(m)} d / \Delta T / S \tag{10}$$

유효열전도율 측정 결과는 Table 5와 같으며, 가장자리 부위의 열손실량은 상부 외피재를 Al Foil로 사용할 경우 중심부의 5.3배, 3층 VM-PET 외피재의 경우에는 0.6배, 비금속 외피재의 경우에는 0.4배 정도로 관측되었으며, 앞에서 개발한 가장자리 열전도율 예측값($\lambda_{edge(p)}$)은 측정값($\lambda_{edge(m)}$)과 유사한 경향을 보이는 것으로 관찰되었다.

Table 5. Effective thermal conductivity tested by dividing the specimen into 9 equal parts

Type of envelop material	Measurement[W/mK]			Prediction[W/mK]	
	$\lambda_{c(m)}$	$\lambda_{edge(m)}$	$\lambda_{eff(m)}$	$\lambda_{edge(p)}$	$\lambda_{eff(p)}$
Al Foil	0.002 21	0.011 72	0.013 93	0.012 90	0.015 11
3-Layer VM-PET	0.001 73	0.001 06	0.002 79	0.001 22	0.002 95
Metal-less	0.001 57	0.000 58	0.002 15	0.000 49	0.002 06

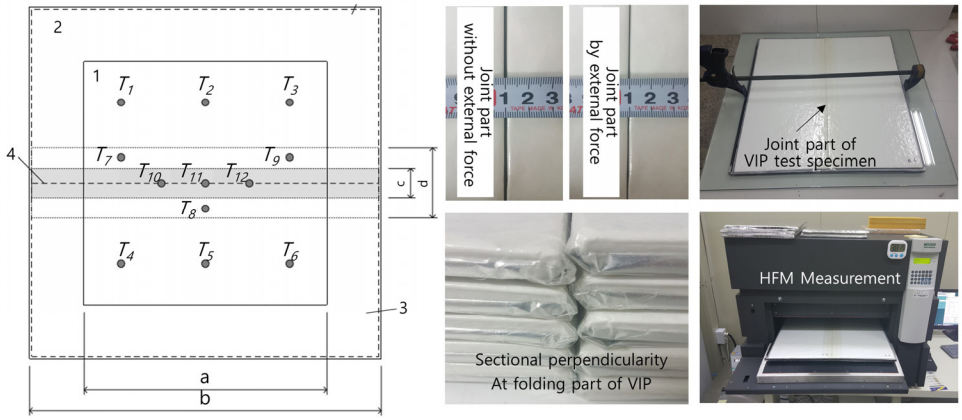
(Note) Size of VIP Specimen : 300[mm]×300[mm]

ISO/DIS 16478 V2 시험방법을 통한 진공단열재 유효열전도율 측정

진공단열재 가장자리의 열교현상을 반영한 유효열전도율을 측정하는 또 하나의 방법은, 식 (11)과 같이 ISO/DIS 16478 V2에서 제시하는 시험방법이다(ISO/DIS 16478, 2018). 본 논문에서는 ISO에서 제시한 방법으로 평판열류계(HFM)를 이용하여 Figure 7과 같이 시험하였고(KS L ISO 8301, 1991), 그 결과는 Table 6과 같다.

$$\psi_m = \frac{A}{dl_\psi}(\lambda_{eq,ja} - \lambda_{COP}) \tag{11}$$

(Symbol)	Explanation	Unit
ψ_m :	The Linear Thermal Transmittance for the Joints	[W/mK]
A :	The Surface Area	[m2]
d :	The Thickness	[m]
l_ψ :	The Length of the Joints within the Metering Area	[m]
$\lambda_{eq,ja}$:	The Equivalent Thermal Conductivity including Edge Effect	[W/mK]
λ_{COP} :	The Thermal Conductivity for Center of Panel	[W/mK]



key 1 : Metering Area /2 : Guarded Area/ 3 : Test Specimen/ 4 : Joint between two panels to be measured/ a : Size of metering area/ b : Size of apparatus/ c : Area Strongly influenced by the thermal bridging effect of the joint/ d : Area Slightly influenced by the thermal bridging effect of the joint/ T : Temperature

Figure 7. Test Method of Effective Thermal Conductivity by ISO/DIS 16478 V2 (Annex A.3)

Table 6. Effective thermal conductivity tested by ISO/DIS 16478 V2

Type of envelop material	Measurement[W/mK]			Prediction[W/mK]	
	λ_c	$\lambda_{edge(M)}$	λ_{eff}	$\lambda_{edge(P)}$	$\lambda_{eff(P)}$
Al Foil	0.001 9	0.018 1	0.012 0	0.006 45	0.006 64
3-Layer VM-PET	0.002 2	0.002 0	0.004 2	0.000 61	0.002 81
Metal-less	0.002 0	0.001 4	0.003 4	0.000 24	0.002 24

(Note) 1. The Size and Number of VIP Specimen in Measurements : 295[mm]×595[mm]×15[mm]@2pcs
2. The Size and Number of VIP Specimen in Prediction : 590[mm]×595[mm]×15[mm]

ISO/DIS에서 제시한 방법에 의한 유효열전도율 측정값(Table 6의 λ_{eff})은 전열해석에 의한 유효열전도율 예측값($\lambda_{eff(P)}$)보다 약 1.5~1.8배 정도의 차이가 발생하였다. 이는 Figure 7에서 보는 바와 같이, 글라스울 계통의 진공단열재는 단면 직각도가 좋지 않아서 발생되는 문제로, 진공단열재 2장을 외력을 가하지 않고 틈새 없이 밀착하여 맞댐 이음을 하는 것은 불가능하기 때문이다. 즉, 외부에서 밀착되게 힘을 주고 투명 OPP 테이프로 고정하여도 맞댐 이음부에는 미세한 틈새가 발생하며, 이것이 측정값과 예측값에 차이가 발생한 것으로 사료된다.

이와 같은 현상을 보면 ISO/DIS가 제시한 시험방법은 실제 시공현장에서 진공단열재를

시공하였을 때(맞대이음부에 일액형 우레탄 등의 보완 작업이 없을 때)의 선형열관류을 측정한 것이라고 할 수 있다.

이는 본 연구에서 언급하는 선형열관류율과는 의미가 다르므로 구분해서 사용할 필요가 있으며, 본 논문에서 언급하는 유효열전도율은 진공단열재 자체의 외피재 가장자리에서 발생하는 정미의 선형열관율만을 포함하는 것으로 범위를 한정한다.

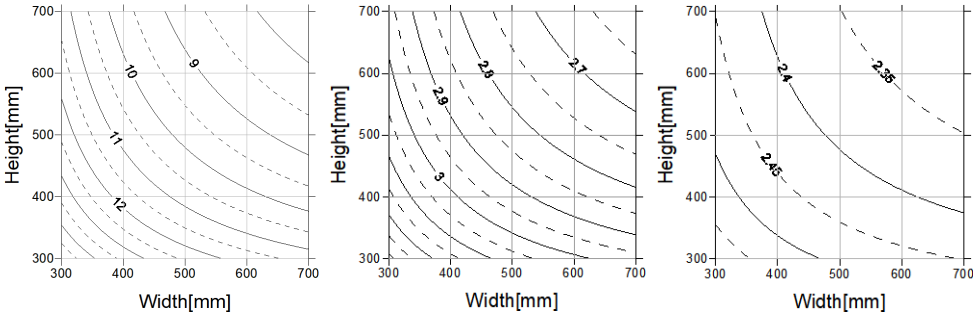
진공단열재 크기에 따른 유효열전도율

진공단열재는 외피재의 종류에 따라 유효열전도율의 차이가 발생하지만, 같은 외피재일지라도 크기에 따라 유효열전도율이 변화된다(Jung, 2013).

즉, 본 논문에서 제시한 예측식(식 (3))에서 보는 바와 같이, 진공단열재 유효열전도율은 중심부의 열전도율이 동일하다고 가정할 경우, 진공단열재 외주부의 길이(l)에 비례하고 면적(S)에 반비례한다.

이 경우, 산술평균은 기하평균보다 항상 크거나 같으므로, 진공단열재의 유효열전도율은 정사각형 형상에 가까울수록, 면적은 넓을수록 작아져서 단열성능이 좋아진다.

Figure 8은 진공단열재의 가로, 세로 길이에 따른 유효열전도율 변화를 나타내는 그래프로, 금속 Al-Foil을 외피재로 사용할 경우는 3-Layer VM-PET나 비금속 외피재(Metal-less)를 사용한 진공단열재에 비하여 유효열전도율이 현격히 증가하고 있는 것을 보여주고 있다. 또한, 사각형 형상의 진공단열재에 있어서 가로 대비 세로 길이의 차이가 크면서 면적이 0.1 ㎡보다 작으면, 가장자리 열교의 영향이 커서 유효열전도율이 상승(단열성능이 저하)되는 현상이 발생한다(Table 7). 따라서 진공단열재 제조는 면적 0.3 ㎡이상이거나 정사각형 형상을 권장하고, 시공현장은 이에 맞추어 분할도를 작성해서 시공할 필요가 있다(Kim, 2018).



<Al-Foil+Al-Foil> <VM-PET+Al-Foil> <Metal-less+Al-Foil>

Figure 8. Effective thermal conductivity[㎽/mK] by VIP's size (λ_c=2.1[㎽/mK])

Table 7. Effective thermal conductivity in VIP of rectangular shape (λ_c= 2.10[㎽/m·K])

VIP's Size	λ_{eff}[㎽/m·K]		λ_{eff} in a square as same area		Performance Degradation	
	VM-PET	Metaless	VM-PET	Metaless	VM-PET	Metaless
600×100	4.23	2.95	3.59	2.70	17.8%	9.5%
600×300	3.01	2.47	2.96	2.45	1.8%	0.9%
600×900	2.61	2.30	2.60	2.30	0.4%	0.2%

Note) Criteria of performance degradation is λ_{eff} in a square as same area

한편, 유효열전도율이 최소가 되는 정사각형 형태의 진공단열재에 있어서 크기 및 외피재 종류에 따른 차이를 별도 비교하면(Figure 9, Table 8), 중심부 열전도율에 비하여 유효열전도율는, AL-Foil은 154~614%, 3-Layer VM- PET는 14~58%, Metal-less는 6~23%정도 단열성능이 저하되고 있다. 이는 3종류의 외피재 중, 양면 AL-Foil의 외피재가 진공단열재 외피재로 적절하지 않다는 것을 의미한다. 즉, 건축자재 시장에서 진공단열재의 중심부 단열성능은 2.0±0.5[㎽/mK]정도로 매우 우수한 단열재로 인식되고 있으므로, 이에 부합하는 진공단열재의 유효열전도율(λ_{eff})은 중심부 열전도율(λ_c)의 1.5배 이하인 제품이어야 하고, 그러한 제품이 시장에 보급되는 것이 바람직하다고 사료된다.

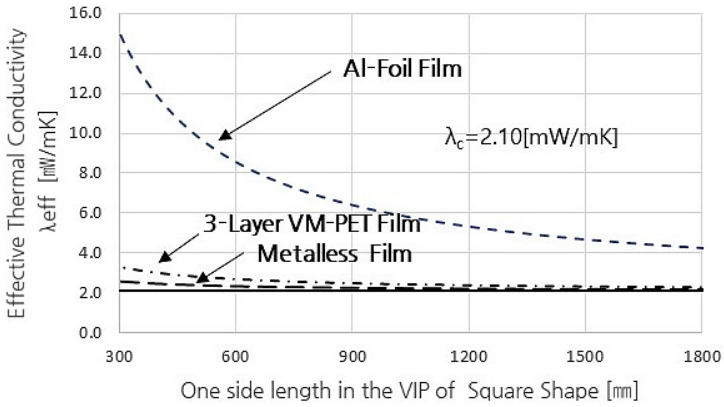


Figure 9. Effective thermal conductivity in VIP of Square Shape

Table 8. Effective thermal conductivity in VIP of square shape (λ_c= 2.10[㎽/m·K])

VIP's Size	λ_{eff}[㎽/m·K]			Performance Degradation		
	Al-Foil	VM-Pet	Metalless	Al-Foil	VM-Pet	Metalless
300×300	15.00	3.32	2.59	614%	58%	23%
600×600	8.55	2.71	2.34	307%	29%	11%
900×900	6.40	2.51	2.26	204%	20%	8%
1200×1200	5.33	2.40	2.22	154%	14%	6%

(Note) Criteria of performance degradation is central thermal conductivity

결 론

진공단열재의 구성요소 중, 외피재는 공기중의 가스가 단열재 내부로 유입되는 것을 차단하는 역할을 하며, 가스투과저항이 큰 알루미늄 금속막을 도포한 필름이 일반적으로 사용되어 왔다. 이에 본 논문에서는 유효열전도율 측정 및 예측을 통하여 상부 외피재로 Al-Foil를 사용하면 가장자리 부위에서 열교현상이 심하게 발생하여 단열성능이 2~7배 저하되는 반면, 3-Layer VM-PET 외피재 또는 비금속(Metal-less) 외피재를 사용하면 열교에 의한 단열성능 저하가 20% 미만임을 파악하였다.

현행 건축 법규상 건축물의 단열설계는 중심부의 열전도율로 설계하는 것이 일반적으로 단열재의 형상 및 크기에 따라 성능 변화가 없는 자재에서는 타당하다. 하지만 진공단열재와 같이 2, 3차원적 선형 열교가 발생하는 복합자재에서는 중심부 열전도율보다는 선형 열교를

고려한 유효열전도율을 설계에 반영해서 시공해야 실제 건물에서도 의도한 만큼의 단열성능을 발휘할 수 있다(Kim, 2017).

정부는 단계별로 2025년부터 설계되는 민간 및 공공건축물에 대하여 제로에너지건축물로 의무화하는 목표를 수립하였다. 하지만 이는 신축에 관한 정책으로, 2010년 이전에 단열두께 85 ㎜이하로 시공된 기존 건축물(Figure 1)에 관한 대책은 미비한 실정이다.

25년 이상된 노후 건물의 리모델링시 안목치수 변경 없이 기존에 시공된 단열재와 동등 이하의 얇은 두께로 최신 단열법규를 만족할 수 있는 진공단열재의 적용은 신축건물과 동등한 냉난방부하의 저감효과를 기대할 수 있고, 정부 정책에도 일조할 수 있는데, 이에 관한 내용은 별도 지면을 통하여 기고하고자 한다.

후 기

이 논문은 2020년도 국토교통부 R&D 주거환경연구사업의 연구비 지원(20RERP-C146906-03)에 의한 결과의 일부이다.

References

1. Kim, Y.T. (2020). Architecture Field Commercialization Plan of Vaccum Insulation Panel manufactured by Glass wool core material. KGBC (Korea Green Building Council) Journal, 21(3), 7-17.
2. Kim, Y.T. (2018). On Study of Effective Thermal Conductivity by Envelope Material Types of Vacuum Insulation Panel, Proceedings of the AIK 2018 Autumn Annual Conference, 288-289.
3. Jung, H.Y. (2013). Study on envelopes for vacuum maintenance of vacuum insulation panels, A doctoral thesis, KAIST, Korea.
4. Kim, Y.T. (2017). Development of Eco-EPS hybrid board including vacuum insulation panel below 0.15 W/㎡·K overall heat transmission coefficient, R&BD Project (N0002271) of Ministry of Trade, Industry and Energy.
5. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2018). Energy Conservation Design Criteria in Building and housing, Notification No. 2017-881.
6. ISO/DIS 16478 v2 (ISO/TC 163/SC 03N 0944). (2018). Thermal Insulation Products fo r buildings - Vacuum Insulation Panels (VIP) - Products Specification, 2018-06-20.
7. KS L ISO 8301~8302. (1991). 1991 Thermal insulation - Determination of steady state thermal resistance and related properties - Heat flow meter apparatus (8301), Guarded hot plate apparatus (8302).