



RESEARCH ARTICLE

# 공동주택 결로 방지 보조 단열재의 난방 에너지 저감 성능 분석

신미수<sup>1</sup> · 이규남<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>부경대학교 건축공학과 강사, <sup>2</sup>부경대학교 건축공학과 부교수

## Investigation of Heating Energy Reduction Performance by Supplementary Insulation for Condensation Prevention in Apartment Buildings

Shin, Mi-Su<sup>1</sup> · Rhee, Kyu-Nam<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Lecturer, Department of Architectural Engineering, Pukyong National University, Busan, Korea

<sup>2</sup>Associate Professor, Department of Architectural Engineering, Pukyong National University, Busan, Korea

\*Corresponding author: Rhee, Kyu-Nam, Tel: +82-51-629-6090, E-mail: knrhee@pknu.ac.kr

### ABSTRACT

In apartment buildings, supplementary insulation is usually applied to the indoor side of wall-wall or wall-slab junctions to prevent condensation at thermal bridges. Although it is well known that the supplementary insulation is effective for the condensation prevention, few studies were conducted to investigate the impact of the supplementary insulation on the heating energy. In the present study, THERM and TRNSYS simulations were performed to analyze the impact of the width of supplementary insulation and the thickness of exterior wall insulation on heating energy as well as condensation prevention. Simulation results showed that the supplementary insulation of 300 mm-width is enough for the condensation prevention. It was found that the supplementary insulation can reduce the heating energy demand by 4.1%, 4.3%, and 5.5% for Central 1, Central 2, and Southern region, respectively. The width of supplementary insulation needs to be determined to achieve the sufficient energy saving while avoiding excessive addition of the supplementary insulation.

**주요어 :** 보조 단열재, 결로 방지, 온도차이비율, 선형 열관류율, 난방 에너지

**Keywords:** Supplementary insulation, Condensation prevention, Temperature difference ratio, Linear thermal transmittance, Heating energy

### 서론

공동주택의 외벽 접합부에서 열교 현상으로 인해 발생하는 열손실 및 결로를 최소화하기 위해서는, 외단열을 적용하여 열교 발생을 사전에 차단하는 것이 가장 이상적이라고 할 수 있다. 그러나 외단열 시공의 까다로움과 유지관리의 어려움, 화재확산 우려 등으로 인해, 공동주택에는 내단열이 적용되는 경우가 대부분이며, 내단열에서 필연적으로 발생하는 열교 부위를 최소화하기 위해 천장 슬래브와 경계벽에 결로 방지를 위한 보조 단열재(결로 방지재)를

### OPEN ACCESS

Journal of KIAEBS 2021 February, 15(1): 52-62  
<https://doi.org/10.22696/jkiaebs.20210005>

pISSN : 1976-6483  
eISSN : 2586-0666

**Received:** January 11, 2021  
**Revised:** February 17, 2021  
**Accepted:** February 17, 2021

© 2021 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.

시공하는 절충안이 널리 적용되고 있다(Rhee and Yu, 2020).

공동주택에서 결로 방지 보조 단열재가 주로 설치되는 부위는 외벽-실내벽 접합부, 외벽-슬래브 접합부에 해당한다. 공동주택 결로 방지를 위한 상세도 가이드라인(MOLIT, 2014)에서는 기준층의 경우 두께 10 mm, 폭 300 mm 이상의 보조 단열재를 설치하면 기준을 만족하는 것으로 되어 있고, 지역 I, II의 경우 폭 450 mm 이상이 권장되고 있어 대부분의 공동주택에서는 이 규정에 의해 단열시공이 이루어지고 있다. 또한 LH의 결로 방지재 설계기준에서는 외벽-실내벽 접합부는 13 mm, 외벽-슬래브 접합부는 15 mm 두께로 설치하되 그 폭은 전면 발코니의 경우 300 mm, 그 외의 부위는 450 mm로 설계하는 것을 권장하고 있다(LH, 2013).

이러한 결로 방지 보조 단열재에 대한 기존 연구는 대부분 보조 단열재 적용에 따른 결로 방지 관점에서 수행되어 왔다. Kim et al. (2000)은 옥상부 외피 접합부의 열교 방지 대안으로 보조 단열재 적용을 제안하고, 보조 단열재 두께에 따른 우각부 최저온도를 분석하여 결로 방지 성능을 평가하였다. Park et al. (2015)은 공동주택 외벽-슬래브 접합부의 결로 방지 성능을 분석하면서, 내단열 적용 시 슬래브 하부 보조 단열재 부착에 따른 온도차이비율(Temperature difference ratio: TDR) 분석을 통해 결로 방지 성능을 평가하였다. Lee and Chung (2019)은 실제 건축된 공동주택의 설계도서 분석 및 Physibel 시뮬레이션을 통해 보조 단열재가 누락되거나 과설계된 부위에 대한 단열 설계 계획안을 제안하였다.

결로 방지 보조 단열재는 접합부의 실내측 표면온도를 상승시킴으로써 결로 방지 효과를 거둘 수 있을 뿐 아니라, 접합부에서의 열류를 억제하여 열손실 및 난방 에너지의 저감 효과도 얻을 수 있을 것으로 예상된다. 그러나 결로 방지 보조 단열재의 열교 저감 효과가 어느 정도의 난방 에너지 저감으로 이어지는지에 대한 분석은 상대적으로 부족한 것으로 판단된다. Song et al. (2008)의 연구에서는 외벽-슬래브 접합부의 단열성능 평가 시 슬래브 하부에 보조 단열재를 적용한 경우의 열손실량이 분석되었으나, 보조 단열재 유무나 규격에 따른 열손실량 분석은 이루어지지 않았다. Koo et al. (2011)의 연구에서는 외벽-슬래브 접합부에서 슬래브 하부에 보조 단열재를 설치한 경우 접합부 선형열관류율을 회귀식으로 제안하였으나, 보조 단열재의 폭과 두께가 각각 450 mm, 10 mm로 고정되었고, 난방 에너지의 분석까지는 이루어지지 않았다. 이에 본 연구에서는 결로 방지 보조 단열재 적용 시의 열교 저감 정도를 선형열관류율로 분석하고, 이를 에너지 시뮬레이션에 반영하여 난방 에너지 저감 효과를 분석하였다. 본 연구의 분석 결과는 결로 방지와 에너지 성능 측면을 모두 고려한 결로 방지 보조 단열재의 설계 대안 도출에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 결로방지 성능 및 에너지 평가 방법

### 해석대상 부위

본 연구에서는 Figure 1과 같이 공동주택에서 결로 방지 보조 단열재가 주로 설치되는 외벽-실내벽의 접합부, 외벽-슬래브 접합부를 THERM 7.4를 이용하여 모델링하였다. 또한 지역에 따른 보조 단열재의 효과를 검토하기 위해 중부1, 중부2, 남부 지역의 공동주택을 분석 대상으로 설정하였다. 이를 위해 외벽 열관류율은 중부1 지역  $0.147 \text{ W/m}^2\text{K}$ , 중부2 지역

0.167 W/m<sup>2</sup>K, 남부 지역 0.214 W/m<sup>2</sup>K (MOLIT, 2018)이 되도록 구성하였으며, 층간 슬래브는 바닥난방 적용을 감안하여 세 지역 모두 열관류율 0.794 W/m<sup>2</sup>K을 만족하도록 하였다. 또한 열교 부위의 열류는 외벽의 두께, 즉 외벽 단열재의 두께에도 영향을 받게 되므로(Rhee, 2020), 보조 단열재의 효과 또한 외벽 단열재의 두께에 따라 변화할 수 있다. 이를 감안하여 에너지절약설계 기준의 단열재 등급(가, 나, 다 등급)을 적용할 때 지역별 열관류율 기준을 충족시킬 수 있는 단열재 두께 및 열전도율을 Table 1과 같이 설정하였다.

보조 단열재는 두께 10 mm의 압출법 보온판(열전도율 0.030 W/mK)을 적용하였고, 폭을 300 mm ~ 600 mm 범위에서 변화시켜가며 결로 방지 성능 및 난방 에너지를 분석하였다. 해석을 위한 경계조건으로서 실내온도는 25°C, 외기온은 중부1 지역 -20°C, 중부2 지역 -15°C, 남부지역 -10°C를 적용하였다.

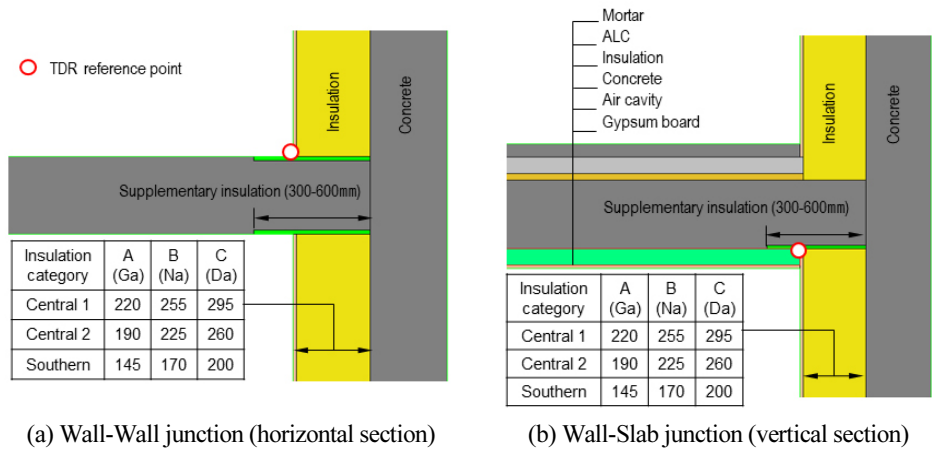


Figure 1. Layer composition of the evaluated junctions

Table 1. Materials and properties of wall and slab

Layer	Central 1 region		Central 2 region		Southern region		
	Thickness [m]	Thermal conductivity [W/mK]	Thickness [m]	Thermal conductivity [W/mK]	Thickness [m]	Thermal conductivity [W/mK]	
Concrete	0.2	1.8	0.2	1.8	0.2	1.8	
Exterior wall	Insulation <sup>(1)</sup> A	0.220	0.034	0.190	0.034	0.145	0.033
	B	0.255	0.039	0.225	0.040	0.170	0.039
	C	0.295	0.046	0.260	0.046	0.200	0.046
Gypsum board	0.01	0.17	0.01	0.17	0.01	0.17	
Interior wall	Concrete	0.2	1.8	0.2	1.8	0.2	1.8
	Suppl. insulation	0.01	0.030	0.01	0.030	0.01	0.030
	Mortar	0.04	1.8	0.04	1.8	0.04	1.8
Slab	ALC	0.05	0.16	0.05	0.16	0.05	0.16
	Insulation	0.02	0.030	0.02	0.034	0.02	0.034
	Concrete	0.21	1.8	0.21	1.8	0.21	1.8
Suppl. insulation	0.01	0.030	0.01	0.030	0.01	0.030	

<sup>(1)</sup> Category A, B and C correspond to the insulation material category “Ga”, “Na”, and “Da” of Energy Conservation Design Standard (MOLIT, 2018).

### 결로방지 성능 및 에너지 평가 방법

보조 단열재 적용에 따른 결로 방지 성능은 공동주택 결로 방지를 위한 설계기준(MOLIT, 2016)에서 제시된 온도차이비율(TDR, 식 (1))을 이용하여 평가하였다. TDR 산출에 필요한 실내표면 온도의 기준점은 Figure 1에 나타난 바와 같이 외벽-실내벽 접합부의 경우 외벽 실내 마감재와 보조 단열재의 교차 지점으로, 외벽-슬래브 접합부의 경우 외벽 실내 마감재와 보조단열재의 교차 지점으로 설정하였다.

$$TDR = \frac{T_i - T_s}{T_i - T_o} \quad (-) \quad (1)$$

여기서, TDR은 온도차이비율(-),  $T_i$ ,  $T_o$ ,  $T_s$ 는 각각 실내온도(°C), 외기온(°C), 평가대상 실내 표면온도(°C)이다.

보조 단열재 적용에 따른 난방 에너지 변화를 분석하기 위해, THERM 시뮬레이션으로 산출된 선형열관류율을 TRNSYS 시뮬레이션 외피 모델의 Massless layer로 입력하여 연간 난방 에너지 요구량을 평가하였다. 이를 위해 해석 부위의 총열류량과 1차원 부위의 열관류율을 THERM으로 추출하고, 식 (2)에 입력하여 선형열관류율을 산출하였다. 다만 TRNSYS에서는 선형열관류율이 아닌 열저항의 형태로 열교 정보를 입력하게 되어 있으므로, THERM으로 산출된 선형열관류율의 역수를 열교 부위의 선형열저항으로 입력하였다.

$$\psi = \frac{q}{L\Delta T} - \sum U_i A_i \Delta T \quad (\text{W/mK}) \quad (2)$$

여기서,  $\psi$ 는 선형열관류율(W/mK),  $q$ 는 총열류량(W),  $L$ 은 열교 길이(m),  $\Delta T$ 는 실내외 온도차(°C),  $U_i$ 는 1차원 부위 열관류율(W/m<sup>2</sup>K),  $A_i$ 는 1차원 부위 외피면적(m<sup>2</sup>)이다. TRNSYS 시뮬레이션 모델의 구성 시 전열해석에 적용된 외벽 및 창호와 동일하게 외피를 구성하였고, 각 지역별 에너지 성능을 분석하기 위해 평창(중부1), 인천(중부2), 울산(남부) 지역의 EPW 기상 데이터를 적용하였다. 그 외 설정 조건으로서 실내 설정온도는 20°C, 침기량은 0.5ACH로 가정하였으며, 난방 에너지를 좀 더 보수적으로 산정하기 위해 실내발열 요소는 모델링 범위에서 제외하였다. 또한 본 연구의 목적은 난방 에너지 요구량 산정이므로 바닥 난방 시스템과 열원 시스템은 모델링에서 제외하고, 설정 온도 유지에 필요한 공급 열량만 산출하는 Energy rate control mode (SEL, 2017)로 시뮬레이션을 수행하였다. Figure 2에 분석 대상 공동주택의 평면 및 보조 단열재 부착 부위를 나타냈으며, Table 2에 주요 실의 면적 및 선형 열교 길이(보조 단열재 설치 길이)를 요약하였다.

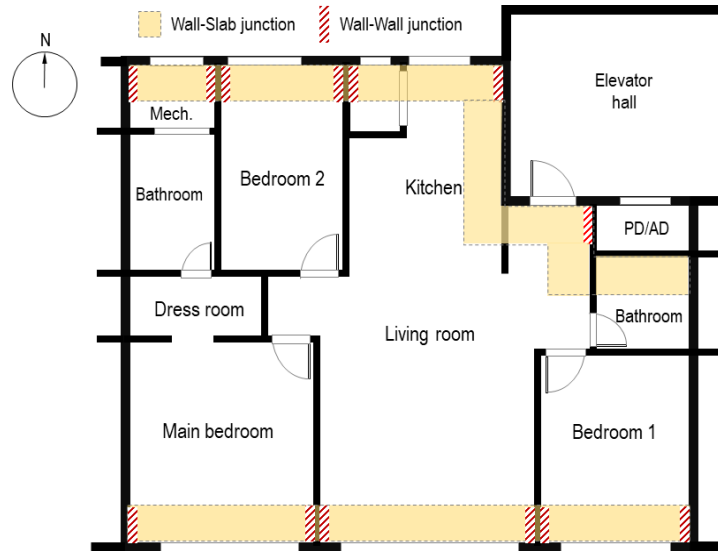


Figure 2. Installation area of supplementary insulation

Table 2. Floor area and the length of supplementary insulation

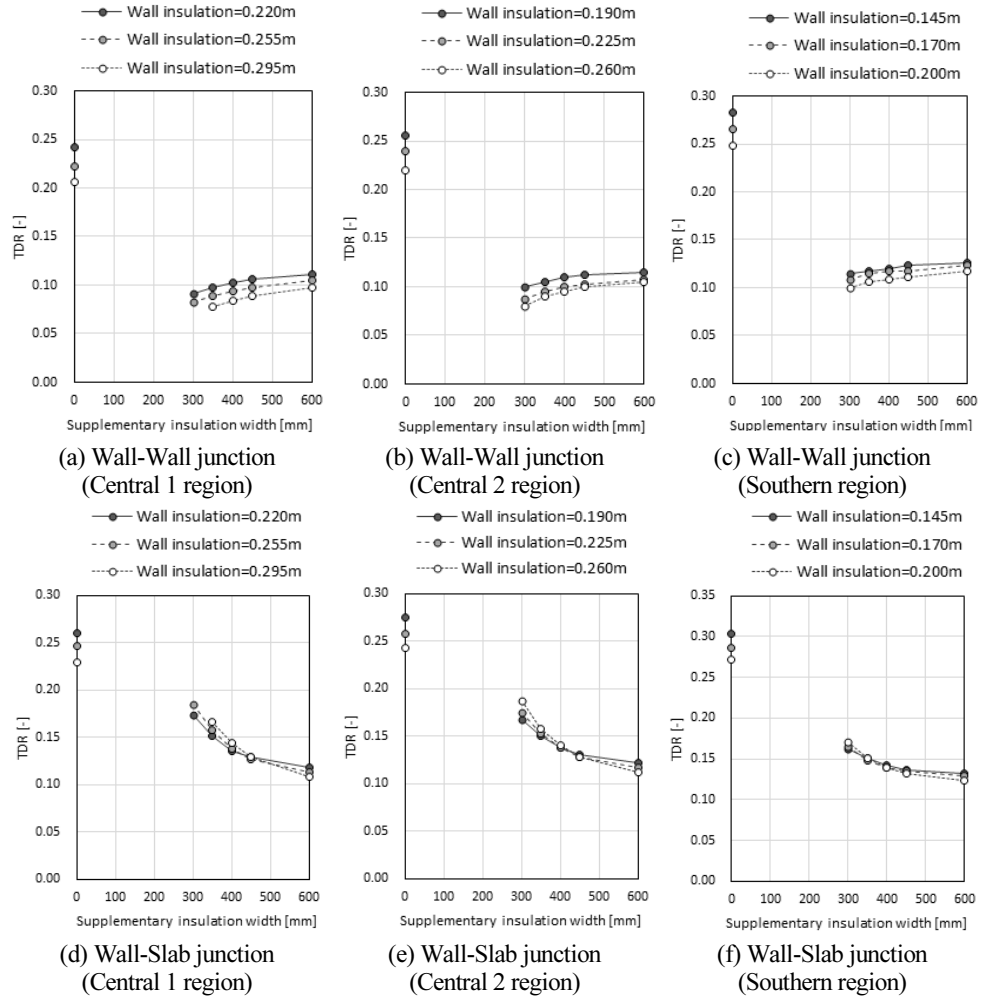
Room		Living room	Main bedroom	Bedroom 1	Bedroom 2
Floor area [m <sup>2</sup> ]		64.2	24.0	18.4	16.2
Length of supplementary insulation [m]	Wall-Wall junction	5.75	2.3	2.3	2.3
	Wall-Slab junction	11.72	5.1	4	3.38

## 성능평가 결과

### 결로 방지 성능

Figure 3은 외벽 단열재의 두께 및 보조 단열재의 폭에 따른 TDR 분석 결과로, 지역과 열교 부위에 관계없이 보조 단열재 적용으로 TDR이 대폭 감소된 것을 볼 수 있다. 보조 단열재를 현행 권장 최소 폭인 300 mm만을 적용하더라도 TDR은 지역에 따라 0.09~0.12(외벽-실내벽 접합부), 0.17~0.19(외벽-슬래브 접합부) 미만의 매우 낮은 수준으로 결로 방지성능을 충분히 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

외벽-실내벽 접합부의 경우(Figure 3(a)~(c)), 외벽 단열재의 두께가 증가할수록 TDR이 감소하는 경향을 볼 수 있는데, 이는 열전도율이 높은 단열재이더라도 두께를 증가시키면 열교 부위에서의 열류 경로가 길어지는 효과가 있어 열저항이 증가하기 때문으로 판단된다. 반면 외벽-슬래브 접합부의 경우(Figure 3(d)~(f)), 보조 단열재 미적용 시에는 외벽 단열재의 두께가 클수록 TDR이 감소하는 경향이 나타났으나, 보조 단열재 적용 시에는 외벽 단열재 두께에 따른 TDR의 차이는 명확하게 나타나지 않았다. 이는 상부층 바닥난방 구조의 단열 역할로 인해, 외벽 단열재 두께 증가 시 열교 부위에서의 열류 경로가 길어지는 효과가 외벽-실내벽 접합부에 비해 상대적으로 약화되기 때문으로 판단된다.



**Figure 3.** TDR with wall insulation thickness and supplementary insulation width

한편 보조 단열재의 폭을 증가시킬 경우, 외벽-슬래브 접합부에서는 TDR이 감소하여 결로방지 성능이 개선됨을 보였으나, 외벽-실내벽 접합부에서는 오히려 TDR이 소폭 증가하는 경향이 나타났다. 이는 보조 단열재의 폭이 늘어날 경우, Figure 4와 같이 보조 단열재에 의한 열저항 증가로 A부분에서의 열유속( $q_A$ )은 감소되지만, 이의 반대 급부로 Edge부위인 B부분에서의 열유속( $q_B$ )이 증가하여 접합부의 표면온도가 다소 낮아지기 때문으로 추정된다. Figure 5는 B부분을 50 mm로 설정하였을 경우  $q_A$ 와  $q_B$ 를 추출한 결과로, 보조 단열재의 폭이 증가할수록 B부분을 통한 열유속이 증가하는 것을 볼 수 있는데 이를 통해 보조 단열재 폭 증가에 따른 표면온도 감소(TDR 증가)의 원인을 추정할 수 있다.

그러나 외벽-실내벽 접합부에서 보조 단열재 폭 증가에 따른 TDR 증가 수준은 매우 제한적이고, TDR이 가장 큰 경우더라도 0.13 미만의 매우 낮은 수준이므로 보조 단열재의 결로방지 성능은 충분히 확보될 수 있다. 또한 보조 단열재 폭을 늘릴 경우 결로 방지 성능 확보 이외에 추가적인 에너지 절감 또한 기대할 수 있을 것이므로, 결로 방지 성능을 만족하는 조건에서 에너지 절감 성능을 향상시킬 수 있는 보조 단열재의 폭에 대한 검토가 필요하다.

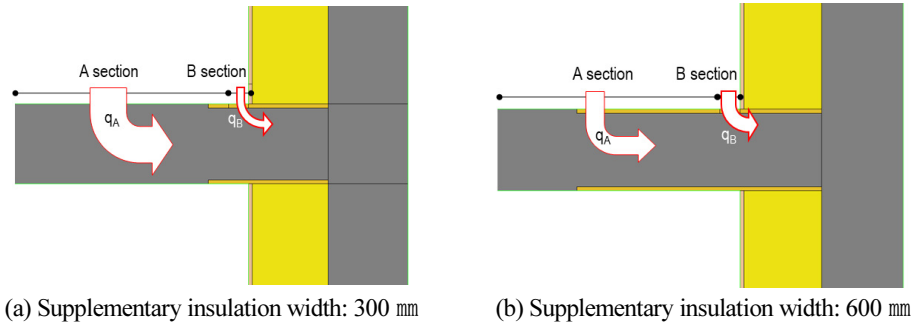


Figure 4. Conceptualized heat flux depending on the width of supplementary insulation

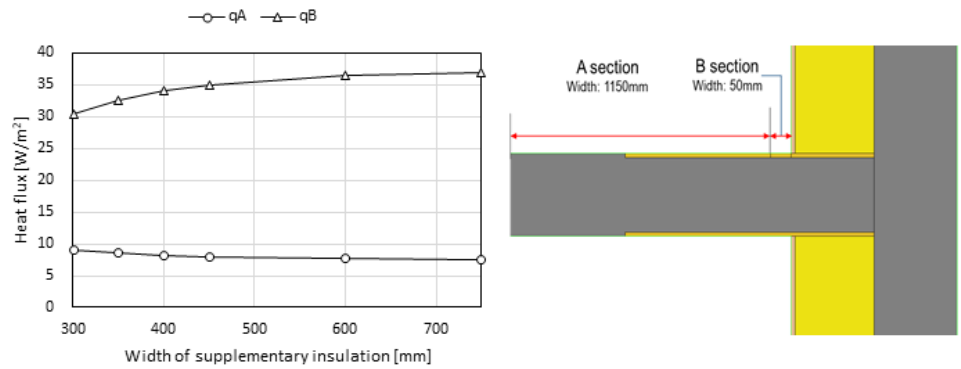


Figure 5. Analysis result of heat flux at planar area (A) and edge area (B)

### 난방 에너지 요구량

Figure 6은 THERM 시뮬레이션 결과에 기반하여 산출한 접합부 선형열관류율로, 보조 단열재의 폭이 증가함에 따라 외벽-실내벽 및 외벽-슬래브 접합부 모두 선형열관류율이 점차 감소하는 경향을 확인할 수 있다. 또한 외벽 단열재가 두꺼울수록 선형열관류율이 낮아지며, 같은 맥락에서 외벽 단열재가 가장 두꺼운 중부1 지역의 선형열관류율이 전반적으로 낮게 형성 되는 경향을 확인할 수 있다. Table 3은 보조 단열재의 폭에 따른 선형열관류율을 지역별 외

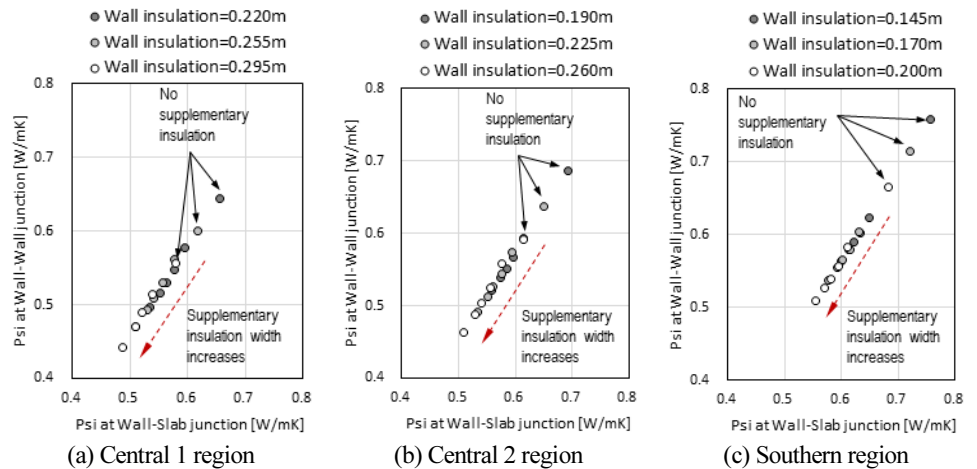


Figure 6. Simulation result of linear thermal transmittance

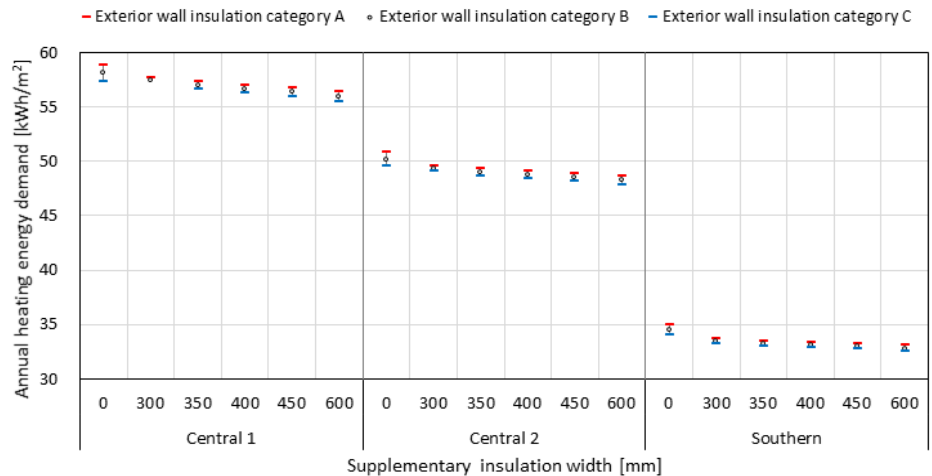
벽단열재 등급(두께)에 따라 나타난 것이다. 외벽-실내벽 접합부의 선형 열관류율은 중부1 지역의 경우 최대 20.4%~23.0%, 중부2 지역은 최대 21.6%~23.9%, 남부 지역은 최대 23.6%~25.6% 감소되었으며, 외벽-슬래브 접합부의 경우 중부1 지역은 최대 15.8%~18.5%, 중부2 지역은 최대 16.9%~19.4%, 남부 지역은 최대 18.7%~20.8% 감소되었다.

**Table 3.** Linear thermal transmittance with supplementary insulation width

Region	Junction	Exterior wall insulation category	Supplementary insulation width [mm]						Maximum reduction rate
			0	300	350	400	450	600	
Central 1	Wall-Wall	A (220 mm)	0.645	0.576	0.548	0.530	0.516	0.497	23.0%
		B (255 mm)	0.599	0.562	0.529	0.508	0.492	0.469	21.7%
		C (295 mm)	0.555	N/A <sup>(1)</sup>	0.514	0.489	0.470	0.442	20.4%
	Wall-Slab	A (220 mm)	0.655	0.596	0.577	0.563	0.552	0.534	18.5%
		B (255 mm)	0.617	0.577	0.557	0.542	0.531	0.511	17.2%
		C (295 mm)	0.579	N/A <sup>(1)</sup>	0.538	0.522	0.509	0.487	15.8%
Central 2	Wall-Wall	A (190 mm)	0.685	0.593	0.567	0.551	0.539	0.522	23.9%
		B (225 mm)	0.637	0.573	0.544	0.526	0.512	0.492	22.8%
		C (260 mm)	0.592	0.559	0.525	0.504	0.487	0.464	21.6%
	Wall-Slab	A (190 mm)	0.692	0.614	0.597	0.584	0.574	0.558	19.4%
		B (225 mm)	0.651	0.594	0.576	0.561	0.551	0.533	18.1%
		C (260 mm)	0.613	0.576	0.556	0.541	0.530	0.510	16.9%
Southern	Wall-Wall	A (145 mm)	0.758	0.624	0.603	0.589	0.579	0.564	25.6%
		B (170 mm)	0.714	0.603	0.580	0.565	0.554	0.538	25.7%
		C (200 mm)	0.666	0.583	0.556	0.539	0.527	0.509	23.6%
	Wall-Slab	A (145 mm)	0.756	0.649	0.634	0.622	0.613	0.599	20.8%
		B (170 mm)	0.721	0.631	0.615	0.602	0.593	0.578	19.8%
		C (200 mm)	0.682	0.612	0.594	0.581	0.571	0.555	18.7%

<sup>(1)</sup> Not available because the width of exterior wall is larger than 300 mm

이렇게 산출된 선형열관류율을 TRNSYS 시뮬레이션 모델에 적용하여 연간 난방에너지 요구량을 분석한 결과는 Figure 7 및 Table 4와 같다.



**Figure 7.** Simulation result of annual heating energy demand



**Table 4.** Annual heating energy demand and energy reduction rate

Region	Exterior wall insulation category	Annual heating energy demand [kWh/m <sup>2</sup> ] depending on supplementary insulation width						Maximum reduction rate
		0 mm	300 mm	350 mm	400 mm	450 mm	600 mm	
Central 1	A (220 mm)	58.8	57.7	57.3	57.0	56.8	56.5	4.1%
	B (255 mm)	58.1	57.4	57.0	56.6	56.4	56.0	3.7%
	C (295 mm)	57.4	N/A <sup>(1)</sup>	56.6	56.3	56.0	55.5	3.2%
Central 2	A (190 mm)	50.8	49.6	49.3	49.1	48.9	48.7	4.3%
	B (225 mm)	50.2	49.3	49.0	48.7	48.5	48.2	3.8%
	C (260 mm)	49.6	49.1	48.7	48.4	48.2	47.9	3.5%
Southern	A (145 mm)	35.0	33.7	33.5	33.3	33.2	33.1	5.5%
	B (170 mm)	34.6	33.5	33.2	33.1	33.0	32.8	5.1%
	C (200 mm)	34.1	33.2	33.0	32.8	32.7	32.5	4.6%

<sup>(1)</sup> Not available because the width of exterior wall is larger than 300 mm

중부1 지역의 경우, 보조 단열재 미적용 시 57.4 kWh/m<sup>2</sup>~58.8 kWh/m<sup>2</sup>인 난방에너지 요구량이 보조 단열재를 최대 600 mm까지 적용하면 55.5 kWh/m<sup>2</sup>~56.6 kWh/m<sup>2</sup>까지 감소하여 최대 3.2%~4.1%의 난방에너지 요구량 저감이 가능한 것으로 나타났다. 중부2 지역의 경우에는 49.6 kWh/m<sup>2</sup>~50.8 kWh/m<sup>2</sup>의 난방에너지 요구량이 47.9 kWh/m<sup>2</sup>~48.7 kWh/m<sup>2</sup>까지 감소하여 최대 3.5%~4.3%의 에너지 요구량이 저감되었으며, 남부 지역의 경우 34.1 kWh/m<sup>2</sup>~35.0 kWh/m<sup>2</sup>의 난방에너지 요구량이 32.5 kWh/m<sup>2</sup>~33.1 kWh/m<sup>2</sup>까지 감소하여 최대 4.6%~5.5%의 에너지 요구량이 저감되는 것으로 분석되었다. 이를 통해 결로방지 보조 단열재가 결로방지 성능 뿐 아니라 지역에 따라 약 3~5%의 난방에너지 절감 효과도 거둘 수 있음을 알 수 있다.

또한 동일한 열관류율 조건이더라도 외벽 단열재가 두꺼운 경우 전반적으로 난방에너지 요구량이 낮은 경향을 볼 수 있다. 이는 앞서 분석한 바와 같이 외벽 단열재의 두께 증가로 열교 부위의 열류 경로가 길어져 선형열관류율이 감소하였기 때문이다. 이와 같은 맥락으로, 외벽 단열재의 두께가 작을수록 보조 단열재에 의한 난방에너지 절감율이 큰 것을 알 수 있는데, 이는 외벽 단열재의 두께가 작아 열류 경로가 상대적으로 짧을 경우, 보조 단열재가 열류의 흐름을 감소시키는 효과가 상대적으로 증가하기 때문으로 판단된다.

난방 에너지의 절대적인 양을 최소화하는 측면에서는 외벽 단열재의 두께를 증가시키고, 보조 단열재의 폭을 600 mm까지 늘리는 것이 필요하나, 이 경우 외벽 두께 증가에 의한 유효 면적 감소 등 건축적인 문제가 야기될 수 있을 뿐 아니라, Figure 8에서 보는 바와 같이 추가되는 단열재의 물량이 과도하게 증가되는 문제가 있다. 또한 추가 단열재 물량이 증가할수록 난방 에너지의 절감률은 점차 감소하는 경향이 있으므로, 보조 단열재의 최적 폭을 결정하기 위해서는 재료 및 시공비와 난방 비용을 모두 고려한 경제성을 추가적으로 분석할 필요가 있다.

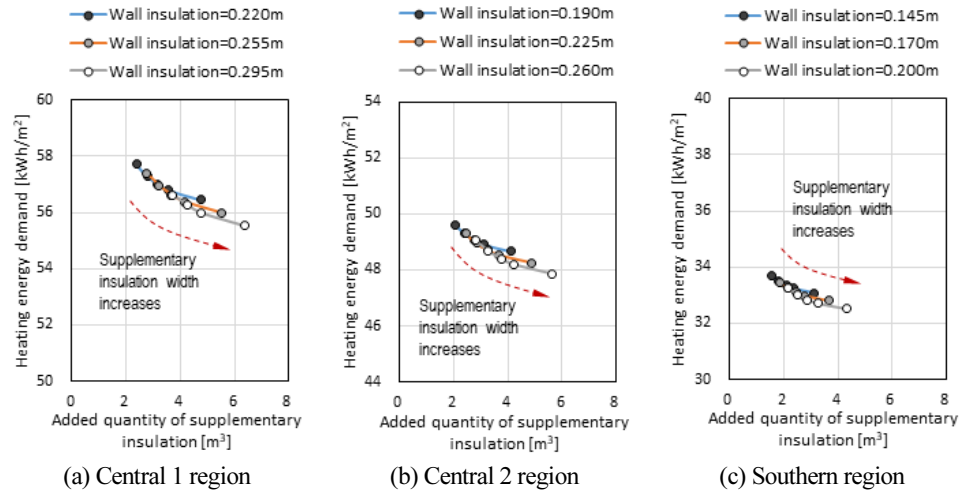


Figure 8. Heating energy demand with the added quantity of supplementary insulation

## 결론

본 연구에서는 공동주택에서 결로 방지 목적으로 적용되는 보조 단열재의 결로 방지 성능 및 에너지 성능을 THERM과 TRNSYS 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 주요 열교부위인 외벽-실내벽 접합부와 외벽-슬래브 접합부에 대한 TDR을 분석하여 결로 방지 성능을 우선적으로 검토하였으며, 선형 열관류율을 활용하여 난방 에너지 요구량을 분석하였다. 본 연구를 통해 도출된 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 결로 방지 측면에서는 두께 10 mm의 보조 단열재를 현행 공동주택 결로 방지 설계 가이드 라인에서 제안하고 있는 최소 폭인 300 mm로 시공하여도 충분한 것으로 판단된다.
- (2) 보조 단열재의 적용으로 외벽-실내벽 접합부의 선형 열관류율은 중부1 지역의 경우 최대 20.4%~23.0%, 중부2 지역은 최대 21.6%~23.9%, 남부 지역은 최대 23.6%~25.6% 감소되었으며, 외벽-슬래브 접합부의 경우 중부1 지역은 최대 15.8%~18.5%, 중부2 지역은 최대 16.9%~19.4%, 남부 지역은 최대 18.7%~20.8% 감소되었다.
- (3) 본 연구에서 분석한 공동주택 모델에 대해, 보조 단열재의 폭을 0 mm에서 600 mm까지 증가시킬 경우 중부1 지역은 3.2%~4.1%까지, 중부2 지역은 3.5%~4.3%까지, 남부 지역은 4.6~5.5%까지 난방 에너지 요구량이 감소되는 것으로 나타났다.

본 연구는 2차원 전열해석을 기반으로 수행되어 우각부에서의 3차원 열류의 영향은 고려되지 않은 한계가 있으므로, 3차원 전열해석을 통해 보조 단열재에 의한 추가적인 에너지 성능 개선을 분석할 필요가 있다. 그리고 본 연구의 해석 대상 주택과 상이한 공동주택에서는 접합부의 개수나 길이가 달라져 에너지 성능에 차이가 발생할 수 있으므로, 공동주택의 면적이나 유형별로 보조 단열재의 적용 효과를 분석할 필요도 있다. 또한 보조 단열재의 최적 폭 선정을 위해서는 재료 및 시공 비용과 난방 비용에 대한 분석이 이루어져야 하며 이를 위해서는 난방 시스템 모델링을 통한 에너지 소요량의 분석까지 수행되어야 할 것으로 판단된다.

## 후기

본 연구는 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(과제번호: NRF-2019R1A2C1010515).

## References

1. Kim, K.S., Lee, D.B., Lee, J.H., Park, H.S. (2000). A Study on Evaluation of Insulation and Condensation Performance in Corners of Building Envelops. *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 16(9), 163-168.
2. Koo, B.K., Lim, J.H., Song, S.Y. (2011). Statistical Analysis on the Prediction of Linear Thermal Transmittances for Wall-Slab Joints in Internally and Externally-Insulated Apartment Buildings. *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 27(8), 305-312.
3. Lee, S.H., Chung, M.H. (2019). A Design Improvement for Insulation and Condensation Prevention by the Case Studies in Apartment Buildings - Focused on The Viewpoint of The Designer. *Journal of Korea Institute of Ecological Architecture and Environment*, 19(4), 61-66.
4. Song, S.Y., Koo, B.K., Choi, B.H. (2008). Insulation Performances of the Typical Floor's Front Wall-slab and Side Wall-slab Joints of Apartment Buildings with Internal and External Insulation Systems. *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 24(8), 277-284.
5. Park, S.H., Lee, H.H., Kim, M.H., Lim, J.H., Song, S.Y. (2015). Condensation Resistance Performance Evaluation of Internal and External Insulation System on Apartment Buildings. *Proceedings of AIK 2015 Spring annual conference*, 35(1), 259-260.
6. Rhee, K.N. (2020). Analysis of Temperature Difference Ratio and Linear Thermal Transmittance at Wall Joints with Insulation Category in Apartment Buildings. *Proceedings of AIK 2020 Spring annual Conference*, 40(1), 317.
7. Rhee, K.N., Yu, J.Y. (2020). Energy Saving Effect of Supplementary Insulation for Condensation Prevention in Apartment Buildings. *Proceedings of AIK 2020 Spring annual conference*, 40(1), 312-313.
8. LH. (2013). *Construction Work Handbook – Architecture*. Geonsuldoseo: Korea, 255.
9. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2014). *Detailed Guidelines for Preventing Condensation in Apartment Houses*, 3.
10. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2016). *Design Criteria for Preventing Condensation in Apartment Houses*, MOLIT Notice No. 2016-835.
11. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2018). *Energy Conservation Design Standards for Buildings*. MOLIT Notice No. 2017-881.
12. Solar Energy Laboratory (SEL). (2017). *TRNSYS 18 a TRAnSient SYstem Simulation program – Volume 5 Multizone Building Modeling with Type 56 and TRNBuild*.