

공동주택의 단열형태별 선형열관류율 평가

An Evaluation of the Linear Thermal Transmittance for the Internal Insulation versus the External Insulation in Apartment Housings

이종성¹ · 이도현² · 전명훈³

Jong-Sung Lee¹, Do-Heun Lee² and Myoung-Hoon Jun³

(Received September 18, 2014 / Revised October 20, 2014 / Accepted October 29, 2014)

요 약

본 연구는 외단열시스템 성능평가의 주요인자인 선형열관류율을 국제규격(ISO)에서 제시하고 있는 평가방법에 의거, 내단열시스템 대비 외단열시스템의 열성능에 대한 우수성을 정량적으로 파악하고, 향후 외단열시스템의 열성능 평가를 위한 기초자료로의 활용을 목적으로 한다. 이를 위해 공동주택의 대표적 열교부위인 3개 부위를 내단열과 외단열 시스템으로 설계하고, 각 부위별 단열형태별로 선형열관류율을 평가하였다. 그 결과, 외벽-발코니 슬라브 부위는 열교차단재 설치가 필수적인 것으로 분석되었으며, 열교차단재를 설치할 경우 외단열시스템이 내단열시스템보다 선형열관류율이 1/2 이상 줄어드는 것으로 나타났다. 측벽-발코니 부위와 같이 슬라브가 외부로 돌출되지 않는 구조에서는 외단열시스템을 적용할 경우, 선형열관류율이 거의 0인 것으로 나타났다. 내단열로 설계된 외벽-경계벽의 경우, 선형열관류율은 0.451W/m 로 내단열로 설계된 외벽-발코니 슬라브 등 열교가 있는 부위와 비슷한 값을 보이며, 외단열로 설치될 경우 이 또한 거의 0인 것으로 나타났다.

향후, 공동주택의 외단열시스템 도입 및 성능평가를 위해서는 국제기준을 적용한 국내 평가기준의 제도화마련이 필요하며, 특히 제도화 마련과정에서 선형열관류율 계산 인자 중의 하나인 벽체길이의 계산방법은 국가차원의 결정이 필요할 것으로 판단된다.

주제어 : 공동주택, 외단열, 내단열, 선형열관류율, ISO 규정

ABSTRACT

In this study, thermal transmittance which is a parameter to measure the thermal performance was evaluated for an internal insulation versus an external insulation. Then the ISO regulation was applied to evaluate it, and the superiority of an external insulation was verified by the thermal transmittance values.

The three zones of apartment housing were selected to evaluate the performance.

(1) The junction of an outer wall and a protruded slab : If there is no a thermal bridge protection system, then the values are about same in the two insulation systems, so the protection system should certainly be installed. If it is installed, then the value for the external insulation is 2 times lower than internal system.

(2) The junction of a side wall and a flat slab: The value is 0.509W/mK for the internal insulation and about zero for the external insulation.

(3) The junction of an outer wall and a division wall: The value is 0.451W/mK for the internal insulation and also about zero for the external insulation.

A domestic regulation that could evaluate a thermal transmittance has to be established by applying the ISO regulation for the evaluation of external insulation systems in apartment housing in the future. Additionally, the government must decide which length should be used for the national standard.

Key words: Apartment Housing, External Insulation, Internae Insulation, Thermal Transmittance, ISO Regulation

1) 한국토지주택공사 토지주택연구원 수석연구원(주저자: jslee1@lh.or.kr)

2) 한국토지주택공사 토지주택연구원 선임연구위원(교신저자: dhlee3@lh.or.kr)

3) 한국토지주택공사 토지주택연구원 수석연구원

1. 서론

'08년 정부의 「저탄소 녹색성장」 국가비전 선포 이후, '09년 국토교통부에서는 도시 및 주택부문에서의 저탄소 녹색성장을 실현하기 위한 정책의 하나로 2018년까지 신규주택 100만호와 기존주택 100만호를 그린홈으로 보급할 계획이라고 발표하였다. 2025년까지 단계별로 보급할 신규주택의 그린홈 수준은 '15년에 40%, '18년에 70%의 에너지절감 주택을 보급하고, '25년에는 제로에너지 주택을 시범적으로 보급하겠다는 비교적 높은 수준을 설정하였다.¹⁾

신규주택의 그린홈 보급을 위해 '09년 「주택건설기준 등에 관한 규정」을 개정하여 20세대 이상 공동주택을 건설할 경우 에너지절약형 친환경주택으로 건설할 것을 의무화하였으며, 세부사항을 '09년 10월 「친환경주택 건설기준 및 성능」에서 정하여 고시하였다. 당시, 에너지절약형 친환경주택은 총 에너지사용량 또는 총 CO₂ 배출량을 기존주택²⁾ 대비 10~15% 줄이는 수준이었다. 이후 '10년 10월에 총 에너지사용량 또는 총 CO₂ 배출량의 절감률을 15~20%로 상향 조정하고 '12년에는 그 값을 25~30%로 상향하여 개정 고시하였다. 이와 같이 정부의 그린홈 로드맵에 따라 그린홈의 에너지절감률은 계속해서 상향 조정될 예정이다. '18년 70%, '25년 제로에너지 주택목표달성을 위해서는 기술여건 및 경제성 등을 고려하여 외피의 단열강화, 남향배치, 기밀, 외단열 등 패시브적인 설계요소를 우선 적용하고, 부족한 부분은 액티브적인 요소인 신재생에너지 등으로 보충하여 적용할 필요가 있다. 외피단열의 경우, 현재 외벽의 설계기준이 150mm수준으로 내단열시스템의 단열재두께 최대한계로 여겨지는 170mm~190mm³⁾에 근접해 있다. 창호는 현재 1.2W/m²K 수준이며, 2015년에 1.0W/m²K수준으로 상향될 예정이다. 이는 우리나라 최대 기술수준인 열관류율 0.8W/m²K과 거의 유사한 성능이다. 또한 기밀성능은 이미 1등급 수준으로 설계되어 평가되고 있고, 향에 대해서도 그 정량적인 평가가 이루어지고 있다. 그러나 패시브요소 중 하나인 외단열시스템만은 아직까지 우리나라 공동주택에 적용이 되지 않고 있으며, 향후 정부의 에너지절감 로드맵 수준을 달성하기 위해서는 공동주택의 외단열시스템 도입이 필수적이라 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 공동주택의 외단열시스템 도입에 대비하여 외단열시스템의 열성능평가 요소인 선형열관류율

에 대한 평가방법을 고찰하고, 공동주택의 대표적인 열교부위를 선정하여 단열형태별 선형열관류율 평가를 통해 내단열시스템 대비 외단열시스템의 열성능에 대한 우수성을 정량적으로 평가하여 향후, 단열시스템별 열성능 평가의 기초자료로 활용함을 목적으로 한다.

2. 선형열관류율 고찰

2.1 선형열관류율 정의

선형열관류율(linear thermal transmittance)에 대한 정의와 계산방법에 대해서는 ISO 10211⁴⁾에서 정의하고 있다. 선형열관류율은 Ψ (psi)로 표시하며, 2차원 혹은 3차원 형태의 구조체 1m 단위길이당 1°C온도차일 때 실제 열류량과 1차원 정상열전달일 때의 열류량과의 차이를 말한다. 즉, 비선형 열전달형태가 발생하지 않는 1차원 벽체에서의 선형열관류율은 0이 된다. 이 값은 우각부위, 열교가 있는 부위 등, 2차원 또는 3차원 열전달현상을 보이는 구조체를 통한 열손실량의 정도를 평가하는데 주요하게 쓰인다. 또한 비교적 열교부위가 많은 내단열과 비교적 열교부위가 작은 외단열의 비교 평가에서 선형열관류율을 적용할 수가 있다. 선형열관류율 수식으로 표현하면 식 1 및 식 2와 같다.

$$\psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j l_j \quad (\text{식 1})$$

$$L_{2D} = q / (t_i - t_e) \quad (\text{식 2})$$

여기서,

L_{2D} : 단위길이당 2차원 열류량 [W/mK]

U_j : 1차원 요소의 열전달률 [W/m²K]

l_i : U_j 값이 적용된 벽체의 길이 [m]

q : 다른 공간과의 단위길이당 열전달률 [W/m]

2.2 선형열관류율 계산 방법

선형열관류율을 계산하는 방법으로는 ISO 10211에서 규정하는 임의의 2개의 서로 다른 공간과 3개의 서로 다른 공간이 주어졌을 때 그 방법을 보인다. 먼저, 2차원형태의 구조체에 대해 열류량을 계산하기 위한 지배방정식은 Laplace 방정식이다. 이 방정식은 2계 편미분방정식으로 온도 값이 x와 y 모두에 종속적인 형태이다. Laplace 방정식에서 온도 값을 x와 y에 독립적인 형태로 나타내기 위해서는 상미분 방정식으로 바꾸어야 하며 상미분방정식으로 바꾸기 위해서는

- 1) 외국의 주택분야의 에너지절감목표율은 EU '17년까지 31%, 프랑스 '20년 40%, '20년 제로에너지, 잉글랜드 독일, '16년 제로에너지, 미국 '25년 제로에너지 주택 시범보급임.
- 2) 기존주택이란 '08년 「건축물 설비기준 등에 관한 규칙」의 [별표3]에서 정한 지역별 부위별 열관류율기준의 성능으로 벽체 및 창호를 단열하고, 보편적인 세대평면으로 설계된 주택임.
- 3) 토지주택연구원(2013), 친환경주택 성능평가 프로그램 개선 및 패시브 설계 가이드라인 수립 연구.

- 4) Thermal bridges in building construction - heat flows and surface temperatures - detailed calculations

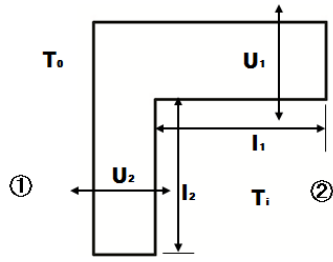


그림 1. 2개 경계조건-2차원 벽체

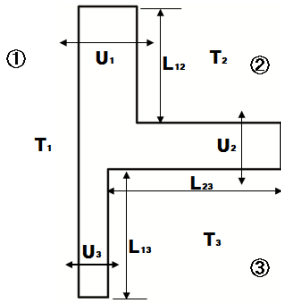


그림 2. 3개 경계조건-2차원 벽체

- 1) 유한차분법을 적용하여 x와 y의 거리를 아주 작게 나누어 각 절점에 알맞은 방정식으로 표현하고,
- 2) 각 절점의 방정식을 조합하여 다원 1차 연립방정식을 표현하는 행렬로 나타내어,
- 3) 연립방정식을 풀 수 있는 수치해석법인, 가우스반복법 (Gauss Seidel iteration method) 혹은 가우스 소거법 (Gauss elimination method) 을 이용하여 각 절점에서의 온도를 계산한다.

이때, 2차원 열류량 계산은 Physibel 등과 같은 범용 열전달해석 소프트웨어를 이용하지 않고는 계산하기가 쉽지 않다.

각 절점에서의 온도와 열류량을 계산하기 위해서는 식 3의 Laplace 방정식 외에 벽체와 공기가 접하는 경계면에서는 대류열전달을 통한 열류량을 계산하는 식 4의 Newton 방정식이 적용된다. 위의 식 3을 통해 각 절점별 온도를 계산할 수 있다면 식 4를 이용하여 열류량을 계산할 수가 있다.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (\text{식 3})$$

$$q = h \Delta T \quad (\text{식 4})$$

그림 1은 서로 다른 2개의 공간조건에서의 벽체형태를 나타낸다. 이 경우, 열류량을 계산할 수 있다면 식 1 및 식 2에 의해 선형열관류율 값을 쉽게 구할 수 있다.

그림 2는 3개의 서로 다른 공간이 조합되었을 경우, 예를 들어, 외기-복도-실내 혹은 외기-지붕-실내 등에 대한 구성을 보인다. 이때는 표 1과 같이 조금은 복잡한 계산이 필요하다.

표 1. 3개의 공간이 조합된 벽체의 선형열관류율 계산방법

①	$T_1 = 1^\circ\text{C}, T_2 = 0^\circ\text{C}, T_3 = 0^\circ\text{C}$, 열류량 Q_1
	$L_1 = L_{12} + L_{13}$
②	$T_1 = 0^\circ\text{C}, T_2 = 1^\circ\text{C}, T_3 = 0^\circ\text{C}$, 열류량 Q_2
	$L_2 = L_{12} + L_{23}$
③	$T_1 = 0^\circ\text{C}, T_2 = 0^\circ\text{C}, T_3 = 1^\circ\text{C}$, 열류량 Q_3
	$L_3 = L_{13} + L_{23}$
	$\psi_{ij} = L^{2D}_{ij} - U_{ij}L_{ij}$
	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \end{bmatrix}$
	$\begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \end{bmatrix}$

즉, 각 공간에서의 열류량을 먼저 계산하고, 각 공간별로 서로 얹혀서 전달되는 열류량을 계산하기 위해 역행렬을 이용한다.

이렇듯, 열교(heat bridge)의 크기 정도를 나타내는 선형열관류율을 계산하기 위해서는 2차원 혹은 3차원 구조체에서의 열류량을 계산해야하는 어려움이 있다. 따라서 이를 계산할 수 있는 범용소프트웨어가 필요하다. 또한 선형열관류율을 계산하기 위해서는 적용길이 즉, 안목치수 혹은 바깥치수를 적용길로 할 것인지를 결정할 필요가 있다. 참고로 선형열관류율 계산 시에 독일, 벨기에는 안목치수를 적용하고 있으며, 프랑스, EU에서는 바깥쪽 치수를 적용하고 있다.

2.3 선행연구 고찰

외단열 및 선형열관류율과 관련된 선행연구를 살펴본 결과, 표 2와 같다.

김연희(2011)의 에너지 절약형 외단열 공동주택의 상세 설계도 도출 및 에너지 성능 분석에 관한 연구는 프로토타입 공동주택을 설정하여 주요 부위별 외단열 설계 대안을 작성하였고 내·외단열 공동주택 간의 열교부위 손실열량과 열용량 차이를 반영하여 에너지 성능까지 평가하였다.

강혜민과 이준성(2012)의 외단열시스템 보급 활성화를 위한 설계-시공 통합관리 방안에 관한 연구에서는 공동주택 시스템 도입에 따른 원가구조 분석을 바탕으로 외단열 시스템 적용 활성화를 위한 경제성 개선방안을 제안하여 설계 및 시공 통합관리방안을 제시하고 있다.

구보경 등(2011)의 통계분석을 통한 내, 외단열 공동주택 벽-슬라브 접합부 열교부위의 선형열관류율 예측에 관한 연구에서는 공동주택 열교부위 인 벽-슬라브 접합부를 대상으로 내·외단열 시 벽체 콘크리트 및 단열재 두께별로 선형 열관류율 값을 예측할 수 있는 식을 도출하였다.

표 2. 선행연구

구분	연구자	연구제목	연구내용
외 단 열	김연희 (2011)	에너지 절약형 외단열 공동주택의 상세 설계 도 도출 및 에너지 성능 분석에 관한 연구	-프로토타입 공동주택 설정 -주요부위별 외단열 설계안 작성 -단열성 및 시공성 평가
	강혜민 (2012)	외단열시스템 보급 활성화를 위한 설계-시공 통합관리 방안	-공동주택 시스템 도입에 따른 원가구조 분석 -외단열 시스템 활성화를 위한 경제성 방안 제안
선형 열관류율	구보경 (2011)	통계분석을 통한 내, 외단열 공동주택 벽-슬라브 접합부 열교부위의 선형열관류율 예측에 관한 연구	-내-외단열 시 벽체 콘크리트 및 단열재 열교부위 선형열관류율 예측(벽-슬라브 접합부를 중심으로)
	문선혜 (2011)	공동주택에서 선형열손실이 외피의 단열성능에 미치는 영향에 관한 연구	-내단열에서 외단열로 변경 시 선형열관류율 비교 -선형열관류율 변화 및 해당 외피를 통한 손실 에너지량 산출

문선혜와 윤용상(2011)의 공동주택에서 선형열손실이 외피의 단열성능에 미치는 영향에 관한 연구에서는 내단열에서 외단열로 변경됨에 따른 선형열관류율 값을 비교분석하여 선형열관류율 변화 및 해당 외피를 통한 손실 에너지량을 산출하였다.

2.4 선형열관류율 활용 현황

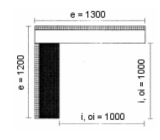
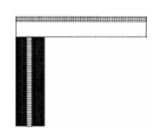
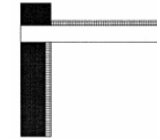
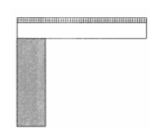
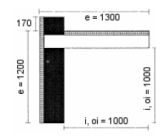
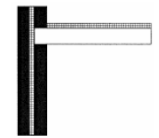
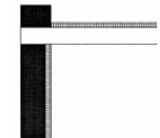
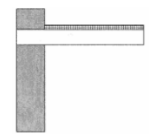
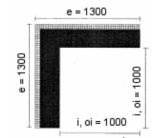

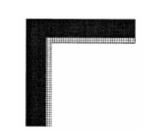

유럽국가 중 프랑스, 핀란드, 벨기에, 네덜란드 등 에너지 성능 평가 시 건물 에너지 성능 지침(EPBD, Energy Performance of Building Directive)의 시행에 따라 선형열관류율을 이용하여 열교부위의 열류량을 평가하고 있다. 특히 프랑스의 경우, 선형열관류율 값에 대한 레퍼런스 기준을 제시하고 이를 통해 선형열관류율 값을 선택할 수 있도록 하고 있다. 또한 건축물 설계시 규정에 선형열관류율 값의 기준을 두어 그 값을 넘지 않도록 제한하고 있다.

ISO 14683⁵⁾에서는 76개의 벽체형태에 대해 안목치수 및 바깥치수를 적용하여 선형열관류율을 계산하여 제시하고 있다. 이들 벽체형태는 건축물에서 구성될 수 있는 일반 부위를 대상으로 하고 있으며, 제시된 선형열관류율 통해 사용자가 구조체를 통한 열류량을 예측하는데 용이하게 사용할 수 있다. 표 3은 ISO 14683에 제시된 구조체별 선형열관류율 제시 내용을 일부 보이고 있다.

2.5 선형열관류율 저감 설계기술

선형열관류율 값이 크다는 것은 열손실이 많다는 의미이다. 그러므로, 단열시스템의 성능평가의 주요인자인 선형열

표 3. 선형열관류율 ISO규정

			
R1 $\Psi_e = 0.55$ $\Psi_{oi} = 0.75$ $\Psi_i = 0.75$	R2 $\Psi_e = 0.50$ $\Psi_{oi} = 0.75$ $\Psi_i = 0.75$	R3 $\Psi_e = 0.40$ $\Psi_{oi} = 0.75$ $\Psi_i = 0.75Z$	R4 $\Psi_e = 0.40$ $\Psi_{oi} = 0.65$ $\Psi_i = 0.65$
			
R5 $\Psi_e = 0.60$ $\Psi_{oi} = 0.80$ $\Psi_i = 0.80$	R6 $\Psi_e = 0.50$ $\Psi_{oi} = 0.70$ $\Psi_i = 0.70$	R7 $\Psi_e = 0.65$ $\Psi_{oi} = 0.85$ $\Psi_i = 0.85$	R8 $\Psi_e = 0.45$ $\Psi_{oi} = 0.70$ $\Psi_i = 0.70$
			
C1 $\Psi_e = -0.55$ $\Psi_{oi} = 0.15$ $\Psi_i = 0.15$	C2 $\Psi_e = -0.10$ $\Psi_{oi} = 0.10$ $\Psi_i = 0.10$	C3 $\Psi_e = -0.20$ $\Psi_{oi} = 0.05$ $\Psi_i = 0.05$	C4 $\Psi_e = -0.15$ $\Psi_{oi} = 0.10$ $\Psi_i = 0.10$

관류율은 구조체를 통한 열교의 크기를 평가하는 인자이기도 하다. 우리나라 공동주택은 대부분 내단열을 적용하고 있기 때문에 슬라브 부위를 통한 열교발생을 피할 수가 없다. 만약 외단열시스템이 적용되다 하더라도, 발코니가 반드시 있어야 하는 우리나라 공동주택 특성상 열교발생을 막기가 쉽지 않다. 외국의 경우, 이러한 발코니 부위 및 계단실 부위에서 발생될 수 있는 열교를 차단하여 선형열관류율을 작게 할 수 있는 제품이 개발되어 보급되고 있으며 이를 적용한 공동주택 단지가 있어 이에 대한 설계기술을 소개한다.

2.5.1 열교차단재

외측으로 돌출되는 발코니 슬라브를 통해 손실되는 열량을 작게 하기위해 독일 Shock사에서 Isokorb라는 제품을 개발하여 보급하고 있다. 이 제품은 발코니와 건물내부의 연결부위를 끊어서 열교를 차단해주는 HTE 모듈방식(flush-mounted pressure bearing)의 단열재이다. 이 제품은 하중을 분산시키면서 구조적으로 안전을 유지해 주는 시스템으로 조립 및 건설현장에서 시공이 편리하여 공기를 단축시킬 수 있다. 또한 스테인레스 스틸과 고밀도 마이크로화이버 강하 콘크리트로 만들어져 발코니와 내부 바닥의 열 배분의 효율성을 높여준다. 표 4의 제품에 대한 샘플 및 시공장면을 보인다.

2.5.2 열교차단재 적용 공동주택 단지

오스트리아 인스브르크에 있는 Lodernareal 단지는 대지면

5) Thermal bridges in building construction - Linear thermal transmittance - Simplified methods and default values

적 25,910m², 총 바닥면적 35,000m², 세대수 354세대이며 세계 최대 규모의 패시브하우스 공동주택단지로서 인정받고 있다. Lodernareal 단지는 다양한 에너지절약기술이 적용되었으며 특히, 열교 차단재를 적용하여 열교(heat bridge)를 줄였고 외단열 단열재의 두께가 240mm~300mm로 우리나라의 약 2배 정도 두께의 단열재를 사용하였다. 또한 창호의 열관류율은 0.6W/m²K로 우리나라 기준의 2배의(1.2W/m²K) 성능을 갖춘 제품을 사용하고 있다.

열교차단재를 설치한 지붕층과 실내-발코니 슬라브 부위의 외단열 상세설계를 살펴보면 그림 3과 같다. 지붕층의 외단열 설계는 지붕 위에 설치되는 단열재와 벽체에 설치된 단열재의 단락을 없애는 열교 차단재를 설치하여 그 위에 몰탈로 마감하였다. 발코니 부위와 계단부위의 외단열 상세설계를 살펴보면 슬라브가 외기 측까지 연장될 경우, 발코니 슬

라브와 벽체를 단락시켜주는 열교차단재를 설치하여 설계하였다.

3. 선형열관류율 평가

3.1 개요

3장에서는 앞에서 고찰한 선형열관류율 평가방법에 따라 공동주택 주요부위를 내단열 및 외단열로 설계했을 경우의 선형열관류율을 평가하도록 한다. 선형열관류율 평가를 위해 필요한 열류량 시뮬레이션은 범용열해석 프로그램인 Physibel을 사용하였다.

앞에서도 언급하였던 것처럼 선형열관류율은 열전달 현상이 열교가 없는 1차원상태일 때의 열류량과 비교되는 보조 열류량이라 할 수 있다. 이 값을 계산하기 위해서는 어느 길이를 적용할 것인지를 정해야하며, 본 연구에서는 독일과 벨기에에서 사용하고 있는 길이 H_c값을 벽체의 두께를 포함한 바깥쪽 치수를 사용하도록 한다. 열류량 계산을 위한 재료별 물성치 및 내외부 경계조건(온도 및 대류열전달계수)을 표 6 및 표 7에 나타낸다.

3.2 주요부위의 단열형태별 선형열관류율 평가

선형열관류율 평가대상 주요부위는 열교가 발생하는 우각부위를 대상으로 하였으며, 특히 그 부위를 내단열 또는 외단열로 설계했을 때 선형열관류율 값의 차이가 발생할 수 있는 부위를 선정하였다. 선정된 부위는 외벽체와 슬라브(발코니 및 실내측)가 만나는 단면, 발코니슬라브가 없는 경우의 단면, 외벽체와 경계벽이 만나는 단면부위를 선정하였다.



3.2.1 외벽체-슬라브 접합 부위 단면(내단열)

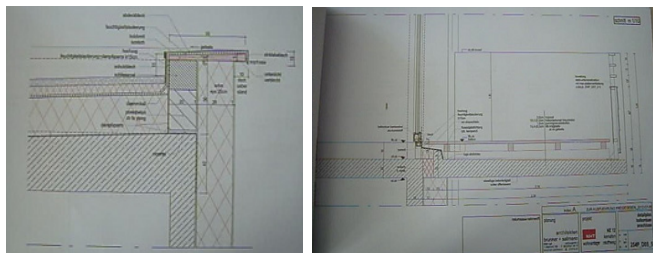
그림 4는 현재 내단열로 설계되고 있는 외벽체와 슬라브가

표 4. Isokorb 열교차단재



표 5. Lodernareal의 단지개요

항목	내용	단지전경
시행사	Neue Heimat Tirol	 
단지명	Lodernareal Estate, Austria	
세대수	354세대	
지하 주차공간	405개	
대지면적	25,910m ²	
총 바닥면적	35,000m ²	
공사비	약 800억, 2억2천/세대	
공사기간	2007년~2009년	
입주방식	Rental house	



지붕층 벽체 열교차단재

실내-발코니 슬라브

그림 3. 지붕층 벽체 및 실내-발코니 슬라브 외단열 설계

표 6. 벽체 구성재료의 물성치

재료명	λ[W/mK]	ρ[kg/m ³]	c[J/kgK]
콘크리트 벽돌	1.4	1800	1000
석고보드	0.18	900	1000
단열재 1	0.037	30	1000
콘크리트	1.6	2500	1000
판상단열재	0.058	30	1000
단열재 2	0.032	30	1000
FA 기포콘크리트	0.1	400	1000

표 7. 경계조건

위치	θ[°C]	h[W/m ² K]
실내측	-15	23.25
외기측	20	9.09

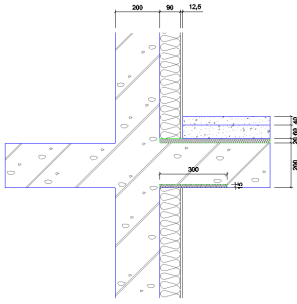


그림 4. 슬라브-외벽(내단열)

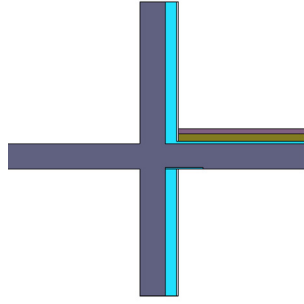


그림 5. Geometry

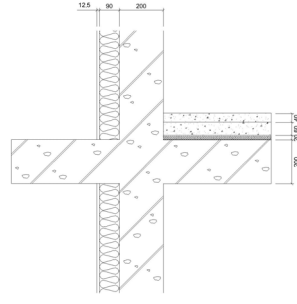


그림 8. 슬라브-외벽(외단열)

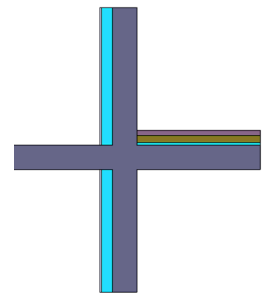


그림 9. Geometry

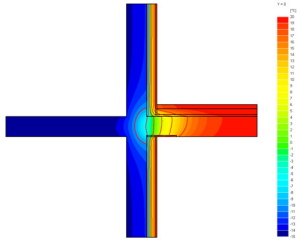


그림 6. 온도계산결과

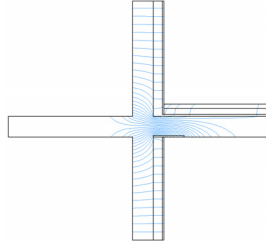


그림 7. 열류량 계산결과

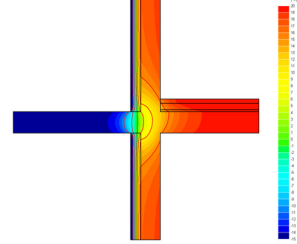


그림 10. 온도계산 결과

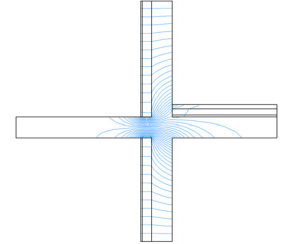


그림 11. 열류량 계산 결과

표 8. 슬라브-외벽(내단열)의 선형열관류율 결과

구분	계산 결과
열류량	$Q_{2D} = 46.856 W/m$
내외부 온도차	$\Delta\theta_{ie} = 35K$
벽체 1차원 열관류율	$U_w = 0.360 W/m^2K$
높이	$H_e = 2.32m$
선형열관류율	$\Psi_1 = 0.504 W/mK$

표 9. 슬라브-외벽(외단열, 열교차단재 없음) 선형열관류율 결과

구분	계산 결과
열류량	$Q_{2D} = 55.888 W/m$
내외부 온도차	$\Delta\theta_{ie} = 35K$
벽체 1차원 열관류율	$U_w = 0.360 W/m^2K$
높이	$H_e = 2.32m$
선형열관류율	$\psi_3 = 0.762 W/mK$

만나는 부위에 대한 단면도를 보이며, 그림 5는 시뮬레이션 시 프로그램에 입력된 벽체형태(Geometry)를 보인다.

그림 6은 Physibel 프로그램에 의한 온도분포 해석 결과를 보이고 있으며, 그림 7은 열류량 해석 결과를 보이고 있다. 외벽체 부위보다는 슬라브 부위를 통하여 열류가 집중된 것을 알 수 있다.

표 8은 열류량 계산 결과를 이용하여 식 2 및 식 3에 의해 계산된 선형열관류율 계산결과를 나타낸다. 콘크리트 벽체, 단열재 및 석고보드로 구성된 벽체두께 총 0.3025m와 콘크리트 바닥, 바닥단열, 기포콘크리트, 몰탈로 구성된 바닥두께 총 0.32m를 통하여 발생하는 열류량은 약 46.9W/m 이며, 선형열관류율은 0.504W/mK 인 것으로 분석되었다.

3.2.2 외벽체-슬라브 접합 부위 단면(외단열)

그림 8은 외벽체-슬라브 부위를 외단열로 설계하였을 경우의 벽체형태를 보인다. 열교차단재를 설치하지 않고 앞의 내단열시스템과 똑같은 단열재만이 외측에 설치되어 있을 경우의 설계이다. 그림 9는 시뮬레이션시 입력된 Geometry이다.

그림 10 및 그림 11은 온도분포와 열류량 계산결과를 나타낸다. 발코니 슬라브에 열교차단재가 없을 경우 내단열과 마찬가지로 슬라브 부위에 집중하여 열손실이 발생함을 알 수 있다.

표 9는 슬라브-외벽 부위의 선형열관류율 계산결과를 나타낸다. 계산결과 선형열관류율은 0.762W/mK로 오히려 내단열보다 크게 나타나고 있다. 이는 외단열시스템 적용시 슬라브에서의 열교차단이 얼마나 중요한가를 단적으로 증명하고 있다.

그림 12는 앞에서의 외단열시스템의 문제점을 보완하기 위해 발코니 슬라브와 내측 슬라브를 끊어서 그 사이에 열교차단재를 설치하는 설계를 보인다. 그림 13은 프로그램에 입력된 Geometry를 보이고 있다. 이 그림에서는 열류량계산시 열교차단재에 들어있는 철근의 영향을 고려하기 위해 Geometry를 구성하였음을 알 수 있다. 그림 14 및 그림 15는 온도분포 및 열류량 계산결과를 나타낸다. 앞의 열교차단재가 없는 구조에 비해 열류량이 작아졌음을 알 수 있다.

표 10은 선형열관류율 계산결과를 나타낸다. 철근으로 설

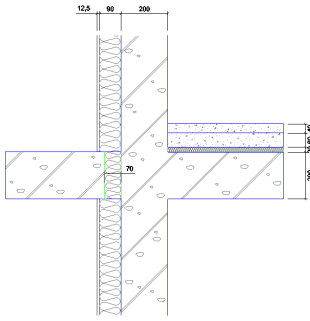


그림 12. 슬라브-외벽(외단열)

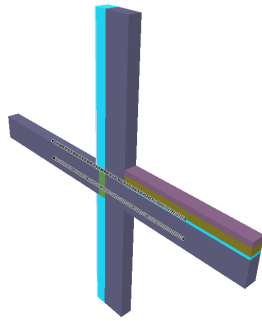


그림 13. Geometry

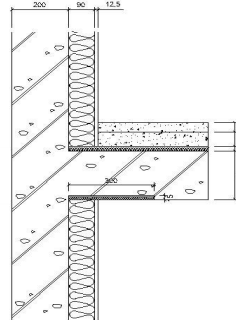


그림 16. 슬라브-측벽(내단열)

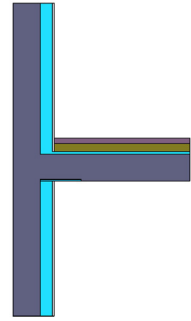


그림 17. Geometry

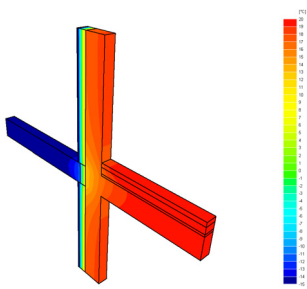


그림 14. 온도계산 결과

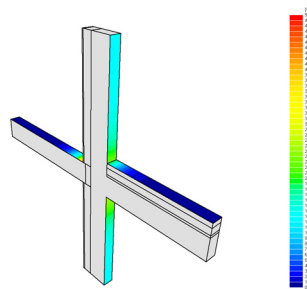


그림 15. 열류량 계산 결과

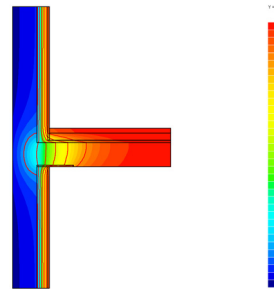


그림 18. 온도계산결과

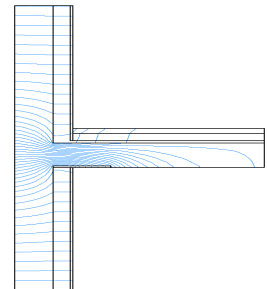


그림 19. 열류량계산결과

표 10. 슬라브-외벽(외단열, 열교차단재있음) 선형열관류율 결과

구분	시뮬레이션 결과
열류량	$Q_{2D} = 38.16 W/m$
내외부 온도차	$\Delta\theta_{ie} = 35K$
벽체 1차원 열관류율	$U_w = 0.360 W/m^2K$
높이	$H_e = 2.32m$
선형열관류율	$\psi_5 = 0.255 W/mK$

표 11. 측벽부위(외단열) 선형열관류율 계산결과

구분	시뮬레이션 결과
열류량	$Q_{2D} = 47.042 W/m$
내외부 온도차	$\Delta\theta_{ie} = 35K$
벽체 1차원 열관류율	$U_w = 0.360 W/m^2K$
높이	$H_e = 2.32m$
선형열관류율	$\psi_7 = 0.509 W/mK$

치된 열교차단재가 슬라브 부위에 설치될 경우, 선형열관류율은 0.255W/mK인 것으로 계산되었다. 이는 내단열시스템에 비해 약 2배 정도 향상된 값이며, 단열재를 단지 외측으로 이동하고 열교차단재를 설치하지 않는 외단열시스템에 비해서는 약 3배 정도 성능이 향상되었음을 알 수 있다.

3.2.3 측벽부위 및 확장형 외벽부위(내단열)

그림 16은 측벽부위나 확장형 세대에서 나타나는 발코니 슬라브가 없을 때의 내단열 설계 내용을, 그림 17은 시뮬레이션시 입력된 Geometry를 보인다. 그림 18 및 그림 19는 온도 분포 및 열류량 계산결과를 보인다. 발코니슬라브가 있는 구조와 마찬가지로 슬라브 부위에서의 열류량이 큰 것을 알 수 있다.

표 11은 선형열관류율 계산결과를 나타낸다. 측벽-슬라브 부위의 선형열관류율은 약 0.509W/mK로 발코니슬라브가 있는 구조와 유사한 것으로 분석되었다.

3.2.4 측벽부위 및 확장형 외벽부위(외단열)

그림 20 및 그림 21은 측벽 또는 확장형 벽체 부위를 외단열시스템으로 설계했을 경우, 설계내용과 시뮬레이션시 입력된 Geometry를 보인다. 벽체의 외부를 단열재로 완전히 감쌀 수 있어 열교차단재를 설치할 필요가 없다.

그림 22와 그림 23은 온도분포 및 열류량 계산결과를 보인다. 그림에 보이는 것처럼 슬라브를 통한 열류량은 1차원 형태의 열전달을 보이는 일반 벽체부위와 유사하게 나타나고 있으며, 이는 열류량이 매우 작음을 의미한다.

표 12는 선형열관류율 계산 결과를 나타낸다. 선형열관류율은 -0.001W/mK로 1차원 열전달현상을 보이는 벽체와 동등수준임을 알 수 있다. 여기서 선형열관류율이 (-)값으로 계산된 이유는 적용한 길이가 슬라브 두께를 포함한 바깥쪽 기준이기 때문에 식 2에서 오른쪽 두 번째 항이 첫 번째 항보다 크기 때문이다. 그러나 안목치수를 이용하여 선형열관류율을 계산하게 되면 (+) 값이 될 것이다. 결국 어떤 길이를 적용하

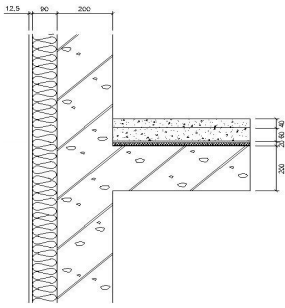


그림 20. 측벽-슬라브(외단열)

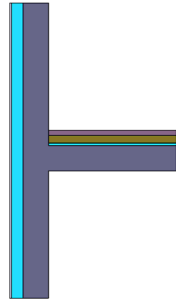


그림 21. Geometry

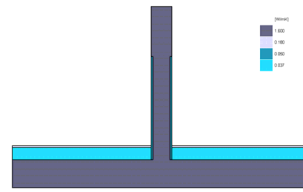


그림 24. Geometry

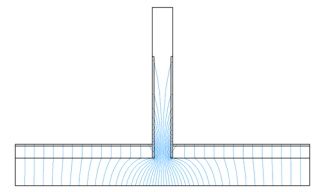


그림 25. 열류량 계산 결과

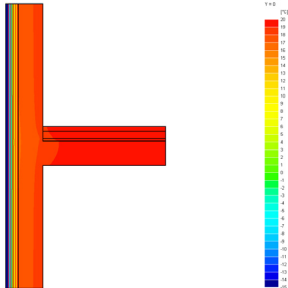


그림 22. 온도분포 계산결과

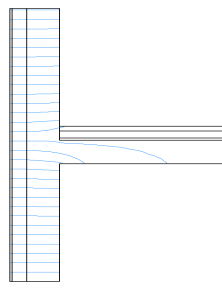


그림 23. 열류량 계산결과

표 12. 측벽-슬라브(외단열) 선형열관류율 결과

구분	시뮬레이션 결과
열류량	$Q_{2D} = 29.159 W/m$
내외부 온도차	$\Delta\theta_{ic} = 35K$
벽체 1차원 열관류율	$U_w = 0.360 W/m^2K$
높이	$H_e = 2.32m$
선형열관류율	$\psi_s = -0.001 W/mK$

여도 그 길이 따라 계산된 선형열관류율 값을 이용하여 손실 열량을 계산하면 그 결과는 같게 된다.

3.2.5 외벽-경계벽 부위(내단열)

그림 24는 외벽체와 경계벽 부위의 내단열시스템 적용시 벽체형태 및 구성재료별 열전도도를 나타낸다. 그림 25는 열류량 계산결과를 나타내며, 외벽체에서 경계벽 부위를 통해 열류량이 큰 것을 나타나고 있다.

표 13은 선형열관류율 계산 결과를 나타낸다. 선형열관류율이 약 $0.451W/mK$ 로 비교적 크게 나타나고 있다. 외단열로 설계하였을 경우, 측벽부위의 결과와 마찬가지로 선형열관류율은 거의 0에 가까울 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 정부의 주택분야 에너지절감 중장기 목표 달성을 위해 공동주택에 반드시 도입되어야 할 외단열 시스템

표 13. 외벽체-경계벽(내단열)의 선형열관류율 결과

구분	시뮬레이션 결과
열류량	$Q_{2D} = 24.489 W/m$
내외부 온도차	$\Delta\theta_{ic} = 20K$
벽체 1차원 열관류율	$U_w = 0.360 W/m^2K$
높이	$L_e = 2.15m$
선형열관류율	$\Psi_{11} = 0.451 W/mK$

의 열성능 평가방법을 마련하고자 하였다. 또한 내단열과 외단열 시스템의 열성능을 정량적으로 평가하여 외단열시스템의 열적 우수성을 파악하고자 하였다. 이를 위해 국제규격 ISO 10211에서 규정하는 선형열관류율 평가방법을 이용하여 공동주택 평면의 주요 열교부위인 3개 부위를 선정하고 내단열 및 외단열로 설계되었을 경우에 대해 각각의 선형열관류율을 계산하였다.

그 결과, 열교차단재가 없이 외단열로 설계된 외벽-발코니 슬라브 부위의 선형열관류율은 $0.762W/mK$ 로 내단열인 경우, $0.504W/mK$ 보다 오히려 크게 나타나고 있어 열교차단재의 설치가 반드시 필요한 것으로 분석되었다. 열교차단재가 설치될 경우 그 값은 $0.255W/mK$ 로, 내단열시스템에 비해 약 2배 정도 향상된 값이며, 단열재를 단지 외측으로 이동하고 열교차단재를 설치하지 않는 외단열시스템에 비해서는 약 3배 정도 성능이 향상되었다. 측벽-발코니 부위와 같이 슬라브가 외부로 돌출되지 않는 구조에서는 외단열시스템을 적용할 경우, 선형열관류율이 거의 0인 것으로 나타났다. 또한 내단열로 설계된 외벽-경계벽의 경우 선형열관류율은 $0.451W/mK$ 로, 내단열로 설계된 외벽-발코니 슬라브 등 열교가 있는 부위와 비슷한 값을 보이며, 외단열로 설치될 경우 이 또한 거의 0인 것으로 예측되었다. 따라서, 외단열시스템을 적용할 경우 에너지절감에 크게 기여할 것으로 판단된다.

외단열시스템을 국내시장에 적용하기 위해서는 우선적으로 제도의 도입이 필요하다. 즉, 공동주택의 외단열시스템 도입 및 성능평가를 위해 국제기준을 적용한 국내 평가기준의 제도화마련이 필요하며, 특히 제도화 마련과정에서 선형열관류율 계산 인자 중의 하나인 벽체길이의 계산방법은 국가차원의 결정이 필요한 것으로 판단된다. 기술적인 측면에서 살펴보면, 국내의 외단열 적용기술 수준은 선진국에 비해 크게 부

족하기 때문에 국내기술에 의한 외단열 재료 및 시스템 개발이 필요할 것이다. 특히 발코니슬라브 부위에서의 열교 차단을 위한 상세기술의 개발이 반드시 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 토지주택연구원에서 2014년 수행한 “공동주택 에너지 저감형 건축자재(DB구축)활용 기술 개발” 연구내용의 일부를 발췌하여 정리한 내용입니다.

참고문헌

1. 강혜민, 이준성(2012), “외단열시스템 활성화를 위한 설계-시공 통합관리 방안: 공동주택 사례분석에 기초하여”, 「대한건축학회 논문집」, 28(11): 157~166.
2. 구보경, 임재한, 송승영(2011), “통계분석을 통한 내, 외단열 공동주택 벽-슬라브 접합부 열교부위의 선형 열관류율 예측에 관한 연구”, 「대한건축학회논문집」, 27(8): 305~312.
3. 김연희(2011), 「에너지 절약형 외단열 공동주택의 설계 상세도 도출 및 에너지 성능분석」, 이화여자대학교 석사논문.
4. 문선혜, 윤용상(2011), “공동주택에서 선형열손실이 외피의 단열 성능에 미치는 영향”, 「대한설비공학회 동계학술발표회 논문집」.
5. 한국토지주택공사(2013), 「친환경주택 성능평가 프로그램 개선 및 패시브 설계 가이드라인 수립연구」.
6. 한국토지주택공사(2014), 「공동주택 에너지 저감형 건축자재(DB구축)활용 기술 개발 3차년도 보고서」.
7. EN ISO 14683 (2005), *Thermal bridges in building construction - Linear thermal transmittance - Simplified methods and default values*.
8. ISO 10211 (2013), *Thermal bridges in building construction - Heat flows and surface temperature - Detailed calculations*.
9. Mills, A. F. (1995), *Heat and mass transfer*.
10. Physibel (2013), *Trisco manual & pilot book*.