KIEAE Journal, Vol. 18 , No. 6 , Dec. 2018, pp.147-152.

KIEAE Journal

Korea Institute of Ecological Architecture and Environment

94

열전도 해석을 이용한 공기층의 유효열전도계수 추정

Estimation on effective thermal conductivities of air cavities using thermal conduction analysis

이현균* · 손영우* · 이용준** · 이상환*** · 이주희****

Lee, Hyeon-Kyun* · Son, Young-Woo* · Lee, Young-Jun** · Lee, Sang-Hwan*** · Lee, Ju-Hee****

* *Graduate school of Mechanical Engineering, Hanyang University, South Korea*

** *BEL technology, South Korea*

*** *Dept. of Mechanical Engineering, Hanyang University, South Korea*

**** *Corresponding author, Dept. of Automotive ICT Engineering, Hoseo University., South Korea (juheelee@hoseo.edu)*

ABSTRACT

Purpose: Recently, with the development and reliability of computational analysis method, thermal conduction analysis have been an important process in an architectural design. Especially, the thermal conduction analysis in the window frame is used instead of the experiment because it saves time and expense. Except for glass, window frames are made of various materials and there are many air cavities inside the window frames. Therefore, in order to accurately estimate the thermal transmittance (U_f) of the window frame, a method of appropriately predicting the effective thermal conductivity coefficient of the air cavities is required. In this study, we estimate the effective thermal conductivity coefficients of air cavities. **Method:** We apply formulas of ISO 10077-2 to our scheme developed in previous study and then estimate the effective thermal conductivity coefficients of air cavities using iterative calculations. Thermal conductivity coefficient of air is used as the initial value of the simulation. Subsequently, the calculated coefficients are used in next simulations. The simulations are conducted until the values does not change. Finally, the obtained thermal conductance and thermal transmittance are compared with the values in ISO 10077-2. **Result:** We conduct the thermal conduction simulation for ISO 10077-2 D2, and estimate the effective thermal conduction coefficients of air cavities. In addition, the temperature distributions are obtained by using the effective thermal conductivities. From the simulation results, it is confirmed that the effective thermal conductivities of air cavities having a long length in the direction of the heat flow have a large change. In the future work, we will add the process automatically calculating effective thermal conductivity on our code.

© 2018 KIEAE Journal

KEYWORD

유한체적법
공기층
열전도해석
유효열전도계수

Finite Volume Method
Air Cavity
Thermal Conduction Analysis
Effective Thermal Conductivity

ACCEPTANCE INFO

Received Nov 29, 2018
Final revision received Dec 11, 2018
Accepted Dec 16, 2018

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

건축공학에서는 질 좋은 주택을 설계하기 위하여 열에너지와 관련된 단열성능 또는 건축 자재의 온도분포에 관심을 가지게 되었으며 실험 또는 시뮬레이션을 이용하여 단열성능 또는 온도의 분포에 대해 연구가 진행되고 있다.

먼저, 실험은 전통적으로 많이 사용되어져 온 방식이다. 단열성능 또는 온도분포에 대한 연구들을 진행하기 위하여 실험들이 수행되었다. [1,2]. 그러나 실험은 실제 구조물을 직접 만들고, 실험조건을 통제하기가 어렵다는 단점이 존재한다. 이것은 여러 가지 불확실성과 많은 비용을 야기 시킨다. 그러므로 시뮬레이션 기법들을 이용한 열해석 연구들이 주목받게 되었다. 이전 연구[3,4]에서 유한체적법의 기법을 기반으로 건축공학에서의 열전도해석이 가능한 프로그램을 개발하고 검증하였다. 본 연구에서는 이전연구의 유한체적법을 이용하여 이전 연구에서 보여주지 않았던 중공층의 열전달에 대한 추가적인 연구를 수행하였다.

최근 창세트는 에너지 소비효율등급을 표시하여야 하며, 이에 따라 열해석을 위한 시뮬레이션을 이용하여 성능을 평가하도록 되어 있다.[5] 창세트는 창틀 안에 공기층을 포함하고 있어 온도분포로 인한 공기흐름이 존재하게 되고, 복사열 또한 무시할 수가 없다. 따라서 공기를 포함하고 있는 창세트 시뮬레이션에서는 공기의 흐름을 분석하기 위하여 Navier-Stokes 방정식을 푸는 CFD (Computational Fluid Dynamics, 전산유체역학) 해석이 진행된다. CFD를 이용하여 [5]에서는 공기의 물성값을 도출하는데 성공하였다. 하지만, CFD의 Navier-Stokes 방정식과 압력에 대한 방정식을 수치해석으로 푸는 것은 많은 시간과 복잡한 계산과정을 요구한다. 따라서 본 연구에서는 복잡한 유동해석을 수행하는 대신 반복 계산을 통한 유효열전도계수를 산정하는 과정을 이전 연구의 프로그램을 이용하여 수행하였다.

열전도계수를 구하기 위해서는 시뮬레이션 프로그램을 반복해서 계산할 필요가 있다. 시뮬레이션에서 나온 온도분포를 이용하여 열전도계수를 계속해서 보정하는 방식이다. 이 때, 보정하는 식은 ISO 15099[6]와 ISO 10077-2[7], 이 외에도 여러 가지 방식들이 있다. ISO 15099는 형상의 정보, 레일리 수 그리고 너셀 수를 이용하여 산

pISSN 2288-968X, eISSN 2288-9698
http://dx.doi.org/10.12813/kieae.2018.18.6.147

정하는 것을 제안하고 있다. ISO 10077-2는 형상의 정보와 온도 분포를 이용하여 계산을 할 수 있도록 산정식을 제안하였다. 본 연구에서는 시뮬레이션에서 얻은 온도를 바로 사용하기 위하여 ISO 10077-2의 계산방법을 따랐다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 ISO 10077-2 D2의 계산을 목표로 설정하였으며, 공기층의 유효 열전도도를 구하고, 그 때의 열전도도(thermal conductance)와 열관류율 (thermal transmittance)를 계산하여 ISO에서 제시하는 허용범위 안에 들어오는지를 확인하였다. 또한, 그 때의 온도분포를 이용하여 유효열전도계수를 고려하였을 때와 아닐 때의 온도분포를 조사하여 유효열전도계수가 온도분포에 미치는 영향에 대해 연구하였다. 우리는 추가적으로 ISO가 제시하는 실내, 실외 경계조건 외에도 하나의 경계조건을 제시하였다. 따라서 경계조건의 변화에 대한 유효열전도계수의 차이도 살펴보았다.

시뮬레이션을 진행하기 위하여 사용한 수치해법은 유한체적법이다. 유한체적법의 알고리즘을 직접 프로그래밍하여 구현하였으며, 프로그램에 대한 검증은 이전의 논문들로부터 되어있다고 판단하였다.[3,4]

2. 유한체적법 (Finite Volume Method, FVM)

공기층의 유효 열전도계수를 구하기 위하여 유한체적법 시뮬레이션을 수행하였다. 유한체적법은 열전달 또는 유동의 해석 등에서 좋은 결과를 가져왔다. 우리들은 유한체적법의 알고리즘을 구현한 프로그램을 개발하였고, 그 과정은 [3,4,8]에 나와 있는 것과 동일하다. 본 논문에서는 유한체적법의 기본적인 지배방정식으로 구성된 알고리즘만으로 계산을 수행하였다.

일반적으로 수송방정식은 종속변수 ϕ에 대하여 다음과 같은 적분방정식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial t}\int_V (\rho\phi)\,dV + \int_S [\rho\phi(v-v_s) - \Gamma_\phi \phi] \cdot dS = \int_V Q_{\phi V}\,dV + \int_S Q_{\phi S} \cdot dS \qquad (식1)$$

여기서 ρ는 밀도, ϕ는 어떤 값을 나타내는 종속변수, V는 검사체적의 부피, S는 검사체적의 면을 나타내는 검사표면, v는 관측좌표계에서의 절대속도, v_s는 검사표면의 속도 벡터, Γ_ϕ는 확산계수, Q는 원천(source)을 나타낸다, 좌변은 시간에 의한 비정상항을 나타낸다. 본 연구에서는 관심을 가지는 영역은 정상상태이기 때문에, 비 정상항은 무시하였다. 본 연구에서 스칼라 함수인 종속변수는 온도로 하였다.

만약, V와 S가 임의의 유한한 체적(V_0)과 그 체적의 표면(S_j, $j = 1, 2, \cdots, n-1, n$)을 나타낸다면 식(1)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

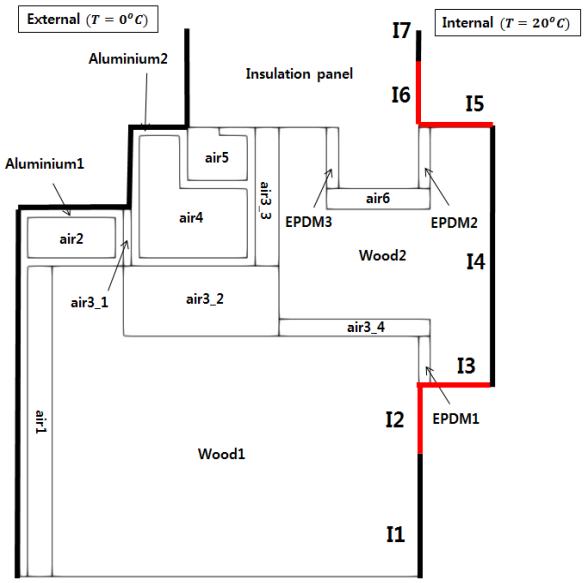

Fig. 1. ISO 10077-2 D2 window frame section

$$\frac{\partial}{\partial t}\int_{V_0} (\rho\phi)\,dV + \sum_j \int_{S_j} [\rho\phi(v-v_s) - \Gamma_\phi \nabla \phi] \cdot dS_j = \int_{V_0} Q_{\phi V}\,dV + \sum_j \int_{S_j} Q_{\phi S} \cdot dS_j \qquad (식2)$$

위 식을 이산화하면 해석이 가능한 연립방정식을 얻을 수 있다. 이 연립방정식을 풀기 위하여 우리는 직교구배법 (Conjugate Gradient method) 를 사용하였다. 자세한 내용은 참고 문헌[3,4]에 상세히 기술되어 있다.

3. 유효열전도계수와 온도분포

3.1. 유효열전도계수의 산정 수식

유한체적법을 ISO 10077-2 D2문제에 적용을 시켜서 공기층에 대한 유효열전도계수를 구하는 데 필요한 산정수식에 대해 조사하였다. ISO 10077-2는 여러 가지 기하학적 형상을 제시하고 있고, 본 연구에서 사용한 방법을 검증하기 위하여 유효열전도계수와 온도분포는 D2에 대하여 수행하고 그 결과를 ISO에 제시된 값과 비교를 하였다.

유효 열전도계수는 여러 가지 공식이 있지만, ISO 10077-2에서 제시하는 식을 사용하였다. 그 식에 따르면, 온도 분포를 이용하여 유효 열전도계수를 보정하게 되어 있다. 따라서, 여러 번의 반복 계산을 통하여 유효열전도계수를 추정할 수 있었다.

먼저, 본 연구에서 사용한 ISO 10077-2 D2에서 제시한 창틀 형상은 Fig. 1.과 같다. 내측은 온도가 섭씨 20도인 실내와, 온도가 섭씨 0도인 실외, 총 2개의 외부 경계조건으로 구성되어 있다. Fig. 1.에서와 같이 계산 영역내에 공기층은 총 6개가 존재한다. 이 중에서 air3 공기층은 4조각으로 쪼개어서 해석을 진행하였다. 그리고 쪼개어진 각 각의 공기층에 대하여 유효열전도 계수들을 구하였다. 처음 시뮬레이션에서는 공기층에서의 유동과 복사열을 무시한 상태에서 단순 공기의 열전도 계수인 0.034 $W/(mK)$를 이용하여 온도분포를 구

하였다. 그 다음부터는 구해진 온도분포와 ISO 10077-2에 나와 있는 식을 이용하여 보정하였다. 그 식은 다음과 같다.

$$\lambda_{eq} = \frac{d}{R_s} \quad (식3)$$

여기서 λ_{eq}는 유효열전도계수, d는 열속 방향으로의 공기층 길이이고, R_s는 공기층의 열저항으로 다음과 같다.

$$R_s = \frac{1}{h_a + h_r} \quad (식4)$$

여기서 h_a는 대류열전달계수이고, h_r는 복사열전달계수이다. 이 두 값에 대해서 ISO 10077-2는 다음과 같은 식을 제안하고 있다.

(a) 공기층의 폭(b)이 5mm보다 작을 경우

$$h_a = \frac{C_1}{d}\ ,\ C_1 = 0.025\,W/(mK) \quad (식5)$$

(b) 그렇지 않은 경우 (otherwise)

$$h_a = \max\ (\frac{C_1}{d}; C_2 \Delta\, T^{1/3}), \quad (식6)$$

C_1 : $0.025\,W/(mK)$
C_2 : $0.73\,W/(m^2K^{4/3})$

$\Delta\, T$: the maximum surface temperature difference in the cavity

공기층 중에서 air3_4만이 (a)의 경우에 해당된다. 따라서 air3_4의 대류열전달계수는 기하학적인 정보에 의해서 결정이 된다.

복사열전달계수는 다음과 같이 주어져있다.

$$h_r = 4\sigma T_m^3 EF \quad (식7)$$

σ : $Stefan - Boltzmann\,constant$,
$5.67 \times 10^{-8}\,W/(m^2K^4)$

$$E : the\ inter\ surface\ emittance \quad (식8)$$
$$(\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1)^{-1}$$

$$F : the\ view\ factor\ \text{for}\ a\ rectangular\ \text{section} \quad (식9)$$
$$\frac{1}{2}(1 + \sqrt{1 + (d/b)^2} - d/b)$$

T_m : the mean temperature

본 논문에서는 ISO 10077-2의 기준을 따라서 ϵ(방사도, emittance)의 값은 0.9로 통일하였다.

식 (6)과 (7)에서 보다시피 온도분포와 기하학적인 정보를 알고 있어야 유효열전도계수를 구할 수 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 반복 시뮬레이션을 통하여 바뀌는 온도분포에 따라 유효열전도계수도 보정된다.

3.2. 경계조건

ISO는 안쪽면 (internal surface)에서 수직한 면이 서로 만나는 곳은 열저항을 다르게 처리하도록 제안하고 있다. 하지만, 본 연구에서는 ISO기준 경계조건에 대한 시뮬레이션뿐 아니라 면적을 이용해서 보정하는 경계조건에 대해서도 연구를 진행하였다. 두 경계조건에 대하여 시뮬레이션을 수행하여 각 각의 경계조건에 대하여 유효열전도계수를 추정하였고, 각 경계조건에 대하여 2차원 열전도도(thermal conductance, L^{2D})와 창틀의 열관류율(thermal transmittance, U_f)를 계산하였다. 두 경계조건에 대한 실내 열저항의 역수(열전달계수)는 Table 1.에 나와 있고 각 각의 경계면 I1~ 7은 Fig. 1.에 표시되어 있다.

Table 1. Boundary conditions for the internal surfaces

Face \ Boundary	B1 [$W/(m^2K)$]	B2 [$W/(m^2K)$]
I1	7.6923	6.3172
I2	5.0000	6.3172
I3	5.0000	5.0000
I4	7.6923	7.6923
I5	5.0000	5.0000
I6	5.0000	7.6923
I7	7.6923	7.6923

실외의 열저항은 $0.04\,m^2K/W$의 값을 사용하였다. 두 가지 조건을 Table 1.에 B1과 B2로 표시하였다. Table 1.에서 B1경계조건은 ISO기준을 그대로 따른 것이다. 수직으로 만나는 면에 대하여 reduced radiation/convection을 적용하였고, 그 결과 5.0의 열전달계수를 사용하였다. B2는 본 연구에서 새롭게 계산을 한 경계조건이다. 만약 ISO의 기준대로 시뮬레이션을 수행할 경우 수직으로 만나는 면에서는 기하학적으로 경계면을 나누는 계산이 사용하는 단점이 있다. 이러한 계산과정은 단순한 내용이지만, 프로그래밍 관점에서는 복잡한 작업이 될 수도 있다. 하지만 본 연구에서 제시하고 있는 경계조건 B2의 경우에는 면적의 비를 이용하여 보정을 하였다. 그래서, B2의 I1과 I2의 경우에는 B1과 다르게 6.3172의 열전달계수를 사용하였다. 이 값은 면적의 비를 이용하여 계산을 한 값이고, 그 식은 다음과 같다.

$$\frac{A1}{A1+A2} \times 7.6923 + \frac{A2}{A1+A2} \times 5.0000$$
$$\frac{28}{28+19} \times 7.6923 + \frac{19}{28+19} \times 5.0000 = 6.3172 \quad (식10)$$

여기서 A1과 A2는 각 각 I1과 I2의 면적을 나타낸다. 즉, 식(10)은 면적을 이용한 비례식으로 보정을 한 값이다. 7.6923과 5.0000는 ISO 10077-2에서 제시하고 있는 표면에서의 열전달계수이다. 또한, A1과 A2의 면적은 2차원 이기 때문에, 길이로 대체하였다. I6에 대해서는 면적에 대해서 보정을 하지 않았다. 원래 단열재(insulation) 의 경우에는 창틀에 비해 굉장히 긴 길이를 가지고 있다. 따라서 수직으로 만나는 면이 차지하고 있는 면적이 작기 때문에 우리는 I6과 I7에 대해서는 보정을 하지 않았다. 이렇게 구한 경계조건 B1과 B2에 대하여 반복 시뮬레이션을 통한 유효열전도계수를 추정하였다.

ⓒCopyright Korea Institute of Ecological Architecture and Environment

3.3. 유효열전도계수의 추정

반복 시뮬레이션을 통해 추정한 유효열전도계수는 Table 2.와 같다. 파란색은 B1에 대한 결과, 그리고 초록색은 B2에 대한 결과이다. 그리고 Table 2.에서의 Error는 B1과 B2의 두 유효열전도계수의 상대오차이다. 두 경계조건 모두 반복 횟수가 3번 정도면 거의 수렴하는 것을 확인할 수가 있다.

그리고 각 각의 유효열전도계수를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였을 때의 열전도도와 창틀의 열관류율은 Table 3.에 나타내었으며 오차는 다음과 같은 식으로 계산하였다.

$$Error(\%) = \frac{ISO - Present}{ISO} \times 100 \quad (식11)$$

열전도도의 값은 두 경계조건에 대해 모두 ISO의 기준과 비교했을 때 0.08%의 오차를 보였고, 열관류율은 각 각의 경계조건에 대해 0.25%와 0.52%의 값을 보여주었다. ISO 10077-2에서는 열전도도 3%와 열관류율 5%의 허용오차를 설정해놓았다. 따라서 우리들의 시뮬레이션은 ISO의 기준을 만족시켰다는 것을 알 수 있다. 또한, 면적으로 보정한 경계조건, B2역시 수직으로 만나는 면을 고려한 경계조건과 크게 다르지 않은 것을 확인할 수가 있었다. 우리들이 이번에 적용을 시킨 경계조건 B2는 경계면을 나누지 않아도 계산이 가능하다는 것을 입증해 주었다.

Table 2.에 있는 유효열전도계수들의 크기들과 기하학적인 형상들에 대한 관계에 대해 조사하였다. 먼저, air1, air3_1, air3_3의 유효열전도계수에 주목하였다. 위의 세 형상들은 모두 열속방향으로의 길이가 짧은 공기층을 가지고 있다. 이러한 형상을 가지고 있는 공기층들은 모두 다른 공기층들에 비해 상대적으로 작은 유효열전도계수를 가지는 것을 확인할 수가 있었다. 반대로, air3_2, air3_4, air6, 이 세 형상들은 열속방향으로 길이가 긴 형상을 가지고 있었다. 열속방향으로 긴 형상은 온도의 최대차이가 크다는 것을 의미한다. 이것은 식 (6)에 의해서 높은 값을 가지게 된다.

Table 3. The thermal conductance and the thermal transmittance for the two boundary conditions

	Thermal conductance [$W/(mK)$]	Thermal transmittance [$W/(m^2K)$]
ISO	0.263	1.44
B1 (Error)	0.262782 (0.08%)	1.44359(0.25%)
B2 (Error)	0.263212 (0.08%)	1.44750 (0.52%)

3.4. 온도분포와 유효열전도계수

유효열전도계수가 가장 크게 변한 공기층은 air3_2와 air3_4이다. 공기의 열전도계수 변화로 인한 온도분포를 이번 절에서 살펴볼 것이다. 그리고 경계조건 B1과 B2를 사용했을 때, 온도분포 차이에 대한 결과를 고찰하였다.

Fig. 2와 3은 각 각 두 경계조건에 대한 온도분포를 나타내고 있다. Table 2.에서의 값을 보게되면, B1과 B2에 대해서 유효열전도계수가 비슷한 값을 보여주고 있다. 이 결과는, 전체적으로 비슷한 온도분포를 보여주는 것을 의미한다. 하지만, Fig. 2와 3에서, I2부근에서는 경계조건의 차이에 따라서 온도분포가 약간 다르게 나타났다.

Table 2. The effective thermal conductivities of air cavities

[$W/(mK)$]

Air \ Iteration		0	1	2	3	4	Error [%]
air1	B1	0.034	0.047415	0.047420	0.047420	0.047420	2.11×10^{-3}
	B2	0.034	0.047675	0.047415	0.047419	0.047419	
air2	B1	0.034	0.075875	0.075874	0.075874	0.075874	1.32×10^{-3}
	B2	0.034	0.075851	0.075877	0.075875	0.075875	
air3_1	B1	0.034	0.032153	0.032153	0.032153	0.032153	3.11×10^{-3}
	B2	0.034	0.032135	0.032155	0.032154	0.032154	
air3_2	B1	0.034	0.139509	0.140061	0.140061	0.140061	6.64×10^{-2}
	B2	0.034	0.150115	0.139597	0.140154	0.140154	
air3_3	B1	0.034	0.046729	0.046729	0.046729	0.046729	2.11×10^{-3}
	B2	0.034	0.046849	0.046739	0.046739	0.046739	
air3_4	B1	0.034	0.112301	0.112374	0.112374	0.112374	2.11×10^{-3}
	B2	0.034	0.114062	0.112344	0.112417	0.112417	
air4	B1	0.034	0.092863	0.092854	0.092854	0.092854	2.11×10^{-3}
	B2	0.034	0.092545	0.092882	0.092874	0.092874	
air5	B1	0.034	0.063315	0.063310	0.063310	0.063310	2.11×10^{-3}
	B2	0.034	0.063137	0.063327	0.063322	0.063322	
air6	B1	0.034	0.091152	0.091138	0.091138	0.091138	2.11×10^{-3}
	B2	0.034	0.091450	0.091161	0.091146	0.091146	

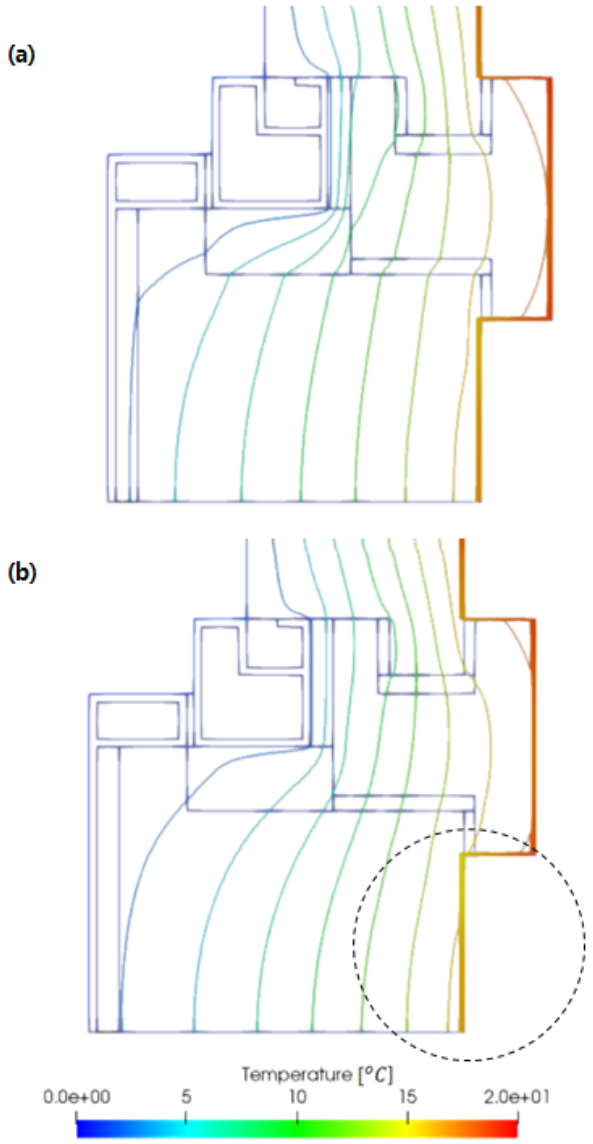

Fig. 2. The temperature contour (a) with the air conductivity and (b) with the effective conductivities for B1 boundary condition.

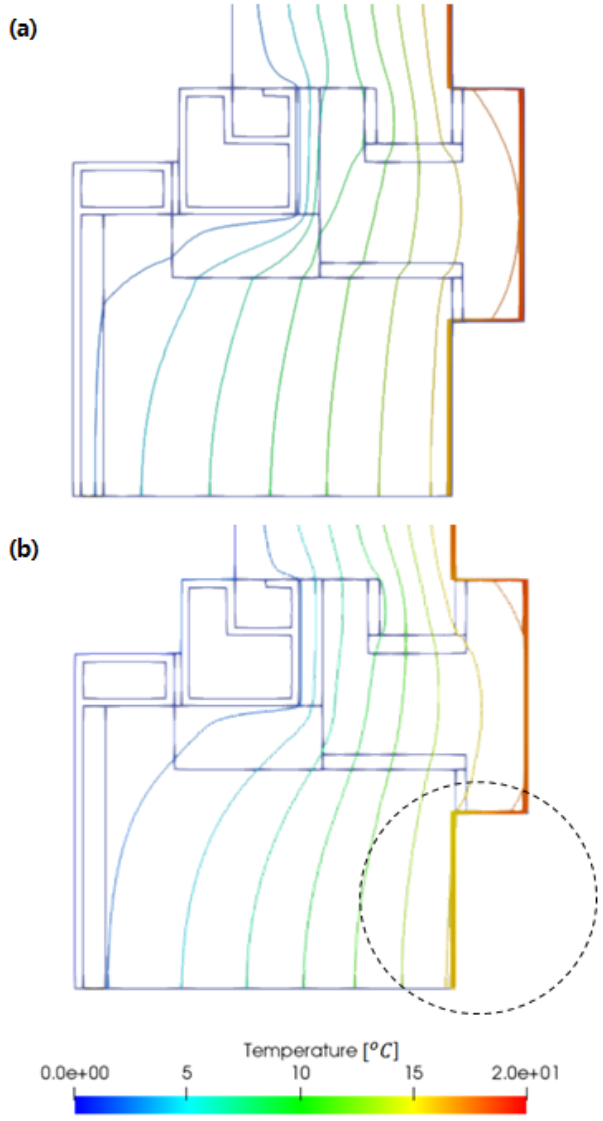

Fig. 3. The temperature contour (a) with the air conductivity and (b) with the effective conductivities for B2 boundary condition.

먼저, Fig. 2.(a)와 Fig. 3.(a)는 반복계산으로 열전도계수를 보정하기 전의 값을 이용한 온도분포 결과이다. Fig. 2. (a)에서 보다시피, Aluminum2의 높은 열전도계수로 인하여 air4와 air5의 온도분포변화가 크지 않은 것을 확인할 수가 있었다. 따라서 air4와 air5는 온도가 거의 균일한 분포를 가지게 되고 이로 인해 식 (6)을 따라 기하학적인 정보로 인해 유효열전도계수가 커지는 것을 예상할 수가 있다. air2의 경우에도 알루미늄으로 둘러싸여 있어 공간에 대한 온도분포의 변화가 크지 않다. 따라서 이 둘의 값은 d 값이 지배적이고 그 값이 큰 순서대로 유효열전도계수도 커지게 되었다.

Fig. 2.(b)와 Fig. 3.(b)에서는 수렴된 유효열전도계수를 사용했을 때의 온도분포를 보여주고 있다. 수렴되기 전의 값과 다르게 air3_2과 air3_4에서의 온도분포가 크게 바뀌었다. 바뀌는 분포에 대한 그림은 Fig. 2.와 Fig. 3.의 그림을 보면 알 수가 있다. 이 두 공기층(air3_2 와 air3_4)은 열속방향으로 긴 방향의 기하학적인 형상을 가지고 있어, 큰 온도차이를 보여주고 있다. 또한, 열전도계수를 보정하기 전 air3_2에서의 온도분포는 보정한 후의 온도분포보다 공간에 대해 더 큰 변화를 보이고 있다. 따라서 공기층의 높은 유효열전도계수로 인하여 공간에 대한 온도변화는 작아졌다는 것을 확인할 수가 있었다. 이 영향으로 인하여 Wood1의 하단영역에서의 온도분포가 위쪽으로 올라가게 되었다. 이는 공기층에서의 상승된 유효열전도계수에 의하여 공기층위쪽에 있는 높은 온도가 확산된 것을 의미한다.

4. 결론

본 연구에서는 유한체적법을 이용한 열전도시뮬레이션의 반복계산으로 ISO 10077-2 D2 창틀 안에 있는 공기층의 유효열전도계수를 추정하였다. 우리들은 ISO의 기준에 맞춘 경계조건 B1과 면적의 비를 이용하여 근사화시킨 경계조건 B2를 이용한 두 경계조건에 대해 유효열전도계수를 구하였다. 그 결과 두 경계조건은 모두 비슷한

ⓒCopyright Korea Institute of Ecological Architecture and Environment

값으로 수렴을 하였다.

추가적으로 온도분포에 대해 조사하였다. 공기층의 열전도계수가 보정된 후에는 air3의 영역주위에서의 온도분포가 가장 큰 변화를 보여주었다. air3_2는 순수한 공기의 열전도 계수보다 약 4배에 가까운 열전도계수를 보여주며 주위의 온도분포를 변화시켰다. 그 결과 Wood1의 밑 부분에서 internal surface의 온도정보를 air3이 전달하는 역할을 하였고, 그 결과 Wood1 하단의 온도 값이 상승하는 결과를 가져왔다. 향후에는, 다른 창틀 형상에 대한 시뮬레이션 연구와 유효열전도계수를 시뮬레이션기법으로 계산하여 유동의 가시화에 대한 연구가 필요하다. 이 연구들이 진행 된다면 창틀의 열전도 이해에 좀 더 도움을 줄 것이라 생각된다. 또한, 본 연구에서는 ISO에서 제시하는 값과 비교를 하였고, 향후 추가적인 실험 혹은 해석적 해와 비교를 통해 계속적으로 프로그램을 검증과 개선을 수행할 예정이다.

Acknowledgement

본 연구는 국토교통부 주거환경연구사업의 연구비지원(18RERP-B082204-05)에 의해 수행되었습니다.

Reference

[1] Jarek Kurnitski, Juha Jokisalo, Jari Palonen, Kai Iokiranta, Olli Seppanen, “Efficiency of electrically heated widdows, Energy and Building, Vol.36, No.10, 2004. 10

[2] 이성진, 김정국, 김종훈, 정학근, 이진숙, 장철용, “창호의 단열성능 간이 개선방법의 비교 분석” , 한국생태환경건축학회 논문집, v.15, n.1, 2015.2 // (Lee, Sung-Jin, Kim Jeong-Gook, Kim Jonghun, Jeong, Hakgeun,Lee, Jin-Sook, Jang Cheol-Yong , “A Comparative Evaluation on the Thermal Insulation Performance of Windows according to the Temporary Improvement Method” , KIEAE Journal, Vol.15, No.1, 2015)

[3] 이주희, 장진우, 이용준, 최준혁, 이상환, “3차원 비정렬격자를 이용한 전열해석 방법론” , 한국건축친환경설비학회 논문집, v.8, n.6, 2014,12 // (Lee, Juhee, Jang, Jinwoo, Lee, Yongjun, Choi, Junhyuck, Lee, Sanghwan “ Methodology for numerical heat transfer considering 3-dimensional unstructured grid ” Journal of KIAEBS Vol.8, No.6, 2014)

[4] 이주희, 장진우, 이현균, 이용준, 이규성, “건물의 3차원 구조체에 대한 전열해석 프로그램 개발 중 서로 다른 열전도율을 갖는 복합재질 3차원 구조의 비정렬 격자에 대한 전산해석방법”, 한국생태환경건축학회 논문집, v.16, n.1, 2016,2 // (Lee, Juhee, Jang, Jinwoo, Lee, Hyeonkyun, Lee, Yongjun, Lee, Kyusung “ Numerical heat transfer analysis methodlogy for multiple materials with different heat transfer coefficient in unstructured grid for development of heat transfer analysis program for 3 dimensional structure of building” KIEAE Journal, Vol.16, No.1, 2016)

[5] 이용준, 오은주, 김사겸, 최경석, 강재식, “창틀 공기층의 유효 열전도율 산정방법 차이가 창 전체 열관류율 시뮬레이션 결과에 미치는 영향에 대한 비교 분석 – 단창 창틀의 비환기 공기층에 대한 시뮬레이션을 중심으로” , 한국생태환경건축학회 논문집 : v.16 n. 2, 2016. 4 // (Lee, Yong-jun, Oh, Eun-joo, Kim, Sa-kyum, Choi, Gyeong-seok, Kang, Jae-sik, A comparative analysis of the total window thermal transmittance simulation result according to the evaluation method of effective conductivity of frame cavity – Focused on unventilated frame cavity simulation results of single window-“, KIEAE Journal, Vol, 16, No.2, 2016)

[6] ISO, ISO 15099:2003(E) Thermal performance of windows, doors and shading devices – detailed calculations, 2003

[7] ISO, ISO 10077-2:2012(E) Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance part 2:Numerical method for frames, 2012

[8] 명현국, “CFD”, 문운당, 2012 // (Myonghyon Kook, “CFD”, Moonwoondang, 2012)