

## 은평한옥마을 창호의 단열효과 개선을 위한 방안 개발 및 평가

박시환 · 성재원 · 임태린 · 이서준 ·

이성준 · 조해성 · 주선우

### 요약

본 연구는 한옥 창호의 열 전달과 단열성에 대해 수치해석을 진행하여 한옥의 창호가 열전달을 얼마나 막을 수 있는지 분석한다. 그 후 현대 건축 자재를 사용하지 않고 한옥의 미를 살리기 위해 고유의 건축자재만을 사용하여 열전달을 최소화할 수 있는 창호의 구조를 제안하고, 전산해석을 통해 새로운 구조의 효율성을 검토하여 본래의 구조와 효율성을 비교하였다. 그 결과, 외기를 차단할 수 있도록 설계된 창호는 기존의 창호보다 단열효과가 뛰어난을 보였다.

## I. 서론

### 1. 연구 목적

한옥이란 양옥과 대비되는 말로, 한국의 전통 건축 양식으로 지은 집을 의미한다. 한옥은 온돌과 마루의 균형 잡힌 구조를 통해, 대륙성 기후와 해양성 기후가 공존하는 한반도의 사계절을 아우르는 냉난방 기능을 갖추고 있다는 특징을 가지고 있다. 그러나 현대식 보온 메커니즘의 부재와 단열에 적합하지 않은 소재로 인한 미비한 단열효과와 낮은 에너지 효율, 그리고 이로 인해 부담스러운 유지비가 들어간다는 단점을 가지고 있다. 따라서 현재는 많은 사람들이 한옥이 아닌 현대식 건물에 거주한다. 그러나 최근 한옥 고유의 전통적인 멋, 건강성, 친환경성, 주변 자연환경과의 조화, 심리적 안정성 등 한옥의 장점이 재조명되며 현대인들의 새로운 주거 공간으로 한옥이 대두되고 있다. 그 대표적인 예시가 바로 2010년부터 서울 주택 도시 공사가 계획하여 2017년에 완공된 은평한옥마을이다. 하지만, 전통적인 창호의 낮은 에너지 효율과 미비한 단열 효과 때문에 시공 후 이 창호들을 모두 현대적인 창호로 다시 바꿔야 하는 등의 문제점이 발생하였다. 우리는 이러한 문제점들을 파악한 후, 한국의 고유한 건축 양식을 계승하기 위해 한옥의 단열, 특히 창호의 단열에 대한 개선이 필요하다 생각하였고, 선행연구 조사를 통하여 한옥의 열 손실이 대부분 창문과 문에서 일어난다는 사실을 확인하였다. 따라서 은평한옥마을의 창호를 기준으로 정확히 창호의 어느 부위에서 열손실이 주로 발생하는지 수치해석적으로 분석하려 한다. 그리고 한옥의 전통적인 멋과 친환경성을 유지하면서 열 손실을 최대한 줄일 수 있는 창문과 문의 구조를 제안하고, 전산해석을 통해 새로운 구조의 효율성을 검토하려 한다.

키워드: 은평 한옥마을, 창호, 단열, 수치해석, CFD

## II. 이론적 배경

### 1. 창호의 구조

못과 접착제 없이 창호의 각 부재들을 끼워 맞추는 결구법은 한국의 전통건축물을 제작하는 하나의 방법이다. 결구법은 목재의 특성에 따라 각 목재에 홈을 파고 턱을 내어 부재와 부재를 잇거나 맞추는 방법이다. 그 중 한국의 전통 창호는 짜맞춤, 장부 맞춤의 방법으로 울거미와 살대를 접합하여 제작된다. 목재에 홈을 만들어 다른 부재와 끼워 맞추는 방식의 짜맞춤과 작은 구멍과 그 구멍에 맞는 튀어나온 접합 부분을 만들어 끼우는 장부 맞춤의 방식을 통해 못이나 접착제의 사용 없이도 창호의 각 부재를 접합할 수 있다. 이때 울거미란, 창호의 뼈대가 되는 목재 틀을 의미하고, 살대는 울거미가 이루는 틀 안에서 창호가 넘어지지 않도록 버티어 대는 나무를 의미한다. 이러한 전통적 방법을 통해 제작된 창호는 각 목재의 특성을 기반으로 결구를 제작하기에 재료 간의 이질성으로 인한 단점을 극복하고 외관적으로도 간결한 매력을 띠는 장점을 가진다.

### 2. 창호의 종류

한옥의 전통 창호는 크게 창호의 개폐 방식과 살대의 결합 구조를 통해 그 종류를 나눌 수 있다. 우선, 전통 창호의 경우에는 현대 창과 동일하게 개폐 방식이 여닫이와 미닫이로 나뉜다. 미닫이란, 문틀에 홈을 내어 창문 혹은 문을 끼우고 홈을 따라 문을 밀어 여닫는 창호이고, 여닫이란, 미닫이와 달리 문을 안팎으로 밀고 당겨서 여는 창호를 의미한다.

또한, 전통 창살대의 결합 구조를 통해 나타나는 기하 문양에 따라 띠살, 정자살, 완자살, 빗살, 꽃살 등의 다양한 종류로 나뉘게 되고, 각 창호는 다양한 의미와 쓰임새를 갖는다. 은평 한옥마을을 답사한 결과, 은평 한옥마을에는 아자살과 완자살, 띠살로 제작된 창호가 갖게 사용되었다는 사실을 확인할 수 있었다. 띠살은 세로로 긴 살대를 촘촘하게 짜 넣고, 창살의 위, 아래, 가운데 부분에 가로로 직교를 이루는 살대가 위치한 창호를 의미한다. 수평과 수직의 살대만 사용되어 세련된 기교를 필요로 하지 않기 때문에 한국 전통 주거에 가장 많이 사용되는 창호로 은평 한옥마을에서도 가장 많은

비율로 사용되었다. 창호의 울거미 속에 불교의 상징으로 여겨지는 '만(卍)'자를 바탕으로 무늬를 넣은 완자살은 길상만덕의 집결, 즉 운이 좋을 조짐과 많은 덕행들이 행해질 것이라는 걸 의미한다. 아래의 그림을 참고하면,

‘卍’자의 사방 끝이 늘어나고 이어지며 규칙적인 무늬를 형성하는 살대 구조에서 완자살의 아름다움을 찾아볼 수 있다. 완자살은 띠살과 함께 우리 주변에서 자주 볼 수 있는 창호의 종류이며, 울동성이 강하다는 특징 때문에 사대부의 집에서 자주 사용되었다. 아자살은 완자살과 달리 민가에서 자주 사용되는 종류이며, 한자의 '아(亞)'를 닮았다고 해서 아자살이란 이름을 가지게 되었다. 아자살의 살대는 서로 엇갈리지 않고 곧고 단정한 구조를 가지고 있기에 고상한 멋이 나타난다. 은평 한옥마을에서는 찾아볼 수 없지만, 전통 창호의 한 종류인 귀갑살의 경우에는 살대가 연속적으로 육각형 모양을 이룬다. 이는 십장생 중 하나인 거북의 등 무늬와 같아, 귀갑살에는 장수를 염원하는 마음이 깃들어 있다. 이렇듯, 창호의 종류에 따라 다양하고 고유한 미적 특성을 확인할 수 있다.

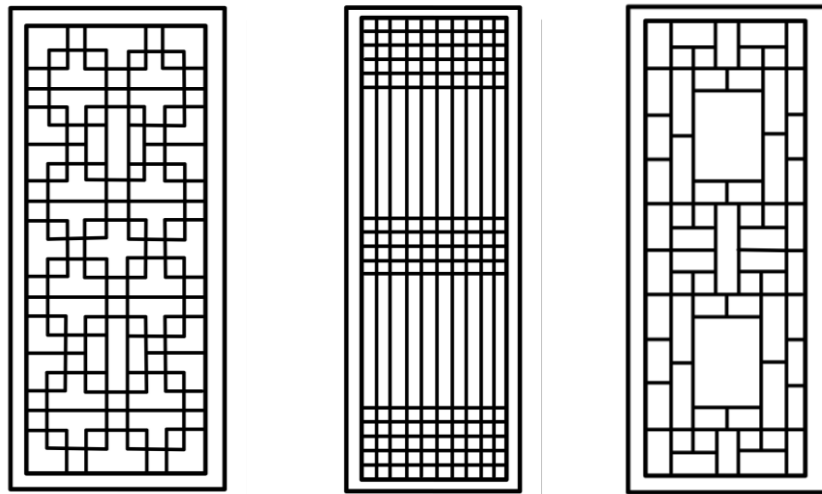


그림 1. 창호 살대의 구조 좌측부터 완자살, 띠살, 아자살.

살대의 구조에 따라 각 종류의 창호는 각각 다른 격자의 중횡비가 나타나게 된다. 격자의 중횡비는 창호 살대 내부에서의 자연적으로 발생하는 대류에 의한 외동 흐름의 변화에 영향을 준다. 이렇게 발생한 외류는 창호의 단열 효과와 직접적인 관계를 가진다. 예를 들어, 살대의 격자 사이로 대류된 공기의 외동 흐름이 반시계 방향으로 작용한다면, 이는 외부의 기체에 의한

열전도를 막아 높은 단열 효과를 보인다. 즉, 살대의 구조에 따른 다양한 창호의 종류는 격자 내의 와동의 흐름에 변화를 주며, 단열적 측면에서의 다양한 특성의 원인으로 작용한다.

은평 한옥마을의 전통적인 창호들은 낮은 에너지 효율과 미비한 단열 효과로 인해 현대적인 기술이 사용된 한식 시스템 창호로 바뀌었기에 겉모습만 전통 창호의 외형을 가진다. 한식 시스템 창호는 전통 창호의 구조에 유리로 된 창을 더한 기능성 창호로, 전통 창호의 미비한 단열과 방음 기능을 개선함과 동시에 한국 전통의 미를 계승하고자 하였다.

### 3. 선행연구

한옥 창호의 단열성을 연구하기에 앞서 이와 관련된 선행연구로 ‘한옥 창호 격자 구조의 전산해석을 통한 한옥 에너지 효율 향상 방안’을 조사하였다. 이 연구에서는 계절별 한옥 내부의 자연 대류 현상에 대한 전산해석을 진행하였고 한옥의 열전도와 열에너지 손실이 창호를 중심으로 이루어짐을 확인하였다. 한옥 외부로 노출된 창문 및 외벽면에 대해 혹서기와 혹한기 조건(외부온도 조건 45도, -20도)에 따른 외부 대류 열전달 경계조건을 적용하여 분석했다.

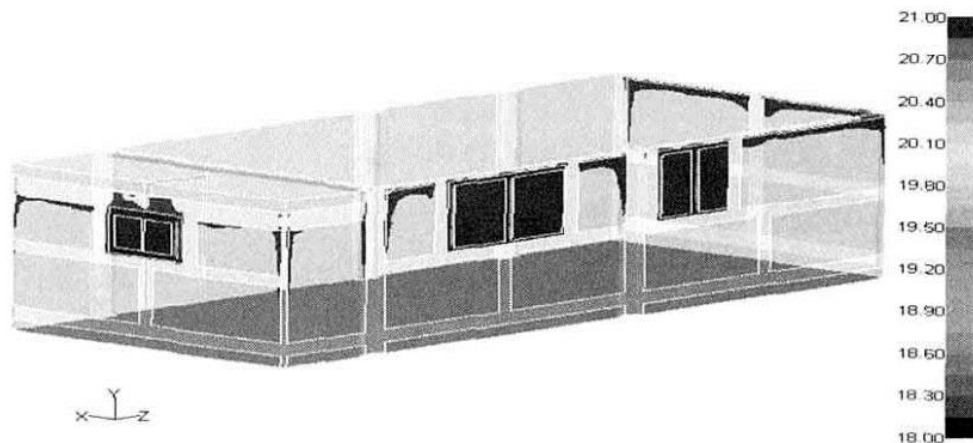


그림 2. 한옥 내부의 최대 온도 영역(21℃ 등온, 붉은색 부분).

위 그림은 한옥 내부의 등온 영역을 나타내고 있다. 얇은 창호지를 통한 외부 열전달 효과가 벽면에 비하여 높기 때문에 창문부분에서 상대적으로 높은

온도분포를 나타내고 있는 것을 확인할 수 있다. 창문부분의 외부 열전달효과는 흑한기에도 흑서기와 같은 현상을 띠고 있는 것으로 나타났다. 따라서 창호에서 가장 큰 외부 열전달 효과가 나타나기 때문에 한옥을 모델링 해서 전산해석을 했을 때에도 창호에서 가장 많은 열손실이 발생하는 것을 확인했고 이에 대한 열역학적 개선이 시급하다는 것 역시 확인했다.

#### 4. 열 전달

##### A. 대류

고체면 또는 유동하는 인접한 액체 또는 기체 사이에서 발생하는 열전달이다. 전도와 유체운동이 복합적으로 영향을 주게 되고, 유체운동이 빠르면 대류 열전달도 많아지게 된다. 바람, 펌프와 같이 외부의 영향에 의하여 표면 위로 유체가 흐르는 경우의 대류를 강제대류라 하고, 유체 내부의 온도차로 인해 밀도의 변화가 생기고 이로 인한 부력에 의해 유체 유동이 발생하는 경우를 자연대류라 한다. 대류 열전달 방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$Q = hA\Delta T$$

$Q$  : 대류 열전달속도,  $h$  : 대류 열전달계수,  $A$  : 면적,  $\Delta T$  : 온도 차  
대류 열 전달율은 단순히 온도차에 비례하며, 다음과 같은 Newton의 냉각법칙에 의해 결정된다.

$$\frac{dT}{dt} = -k(T - T_r)$$

$T$  : 온도,  $t$  : 시간,  $k$  : 비례상수,  $T_r$  : 주변 온도

본 연구에서 사용할 상용 CFD 소프트웨어 ANSYS Fluent 프로그램에서 경계에서의 heat cell (열을 측정할 때 설정하는 작은 셀 단위)은 아래 수식에 따라 정의된다. ANSYS fluent 프로그램이 CFD 수치해석 모델을 사용하는 프로그램이기에, 사용자가 범위를 입력하고 그 범위를 작은 셀 단위로 넣어 각각의 셀마다 아래의 수식을 적용하여 전체 범위에 대해 더해준다면 수치해석이 진행된다.

$$q = h_f(T_w - T_f) + q_{rad}$$

여기서  $q$ 는 단위 셀 당 열량이며,  $h_f$ 는 열전달 계수,  $T_w$ 는 외부의 온도  $T_f$ 는 내부 boundary cell의 유체의 온도이며,  $q_{rad}$ 는 단위 cell로부터 방사되는 열량을 측정한 것이다.

## B. 전도

전도는 입자 간의 상호작용에 의해서보다 에너지가 많은 입자에서 에너지가 적은 입자로 에너지가 전달되는 것이다. 기체와 액체에서 일어나는 전도는 분자들이 멋대로 움직이는 과정에서 이들의 충돌과 확산에 의한 것이며, 고체의 경우에는 격자 내부 분자의 진동과 자유전자의 에너지 전달에 의한 것이다. 전도에 의한 열 전달율은 물체의 기하학적 형상, 두께, 재질 그리고 물체 간의 온도차에 따라 다르다. 전도에 의한 열 전달율은 푸리에 전도법칙에 의해 결정된다.

$$Q = -kA \frac{T_2 - T_1}{L}$$

$Q$ : 열 전달율,  $k$ : 열 전도도,  $T_2 - T_1$ : 온도 차,  $L$ : 두께

### III. 연구 방법

#### 1. 실험 개요

창호의 틈으로 손실되는 에너지와 외부와의 통풍효과로 인한 열 손실 효과를 측정하기 위해서 은평 한옥마을의 창호와 창호 주변의 내부 벽, 바닥에 설치된 보일러 시설을 모델링하여 모사하였고, 통풍효과를 구현하기 위하여 외부에서 바람이 불어오는 설정을 적용한 해석 도메인을 설정하였다. 바닥의 보일러 시설에서 발생하는 열이 이동하는 경로와 외부에서 불어오는 바람에 의한 통풍효과로 인한 열의 이동 경로, 온도 분포를 측정해서 창호의 단열효과를 측정하려 한다.

#### 2. 창호 종류 선정

창호 틈으로 손실되는 열과 에너지를 분석하기 위한 창호로는 띠살 창호를 선정하였다. 띠살 창호는 은평 한옥 마을에서 가장 많이 쓰인 창호 구조이고, 구조가 비교적 간단하여 전산해석을 진행하는데 드는 부하가 적으므로 띠살 창호, 그 중에서 여닫이형 창호를 선정하였다. 창호의 틈새는 경첩의 두께를 고려하여 창호와 창호 사이 틈과 울거미와 창호 사이 틈 모두 10mm 로 통일하여 설정하였다. 가로 1000mm, 세로 570mm 의 울거미를 가지고 72mm 간격을 내부에 두고 있는 표준 창호를 선정하였다. 창호의 크기는 은평한옥마을의 시범한옥인 화경당에 설치된 것을 참고하였다.

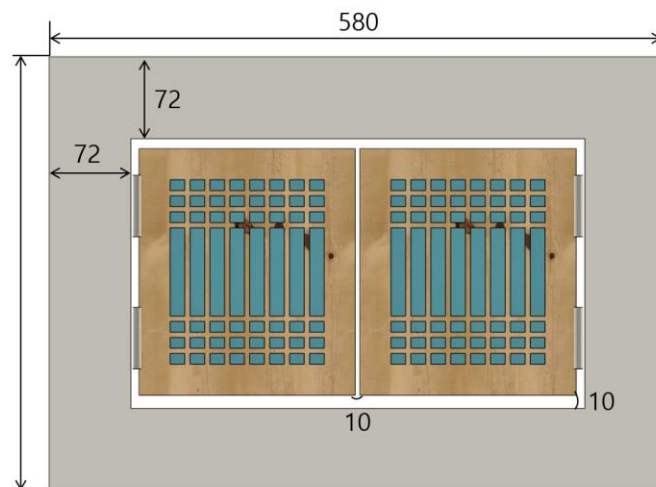




그림 3. 모델링 한 창호의 수치.

이 창호를 개선한 새로운 형태의 창호는 통풍에 의한 열 이동을 최소화할 수 있도록 통풍효과를 최소화한 구조로 선정하였다. 창호와 창호 사이 틈을 막기 위해서 창호를 서로 엇갈리게 하였다.

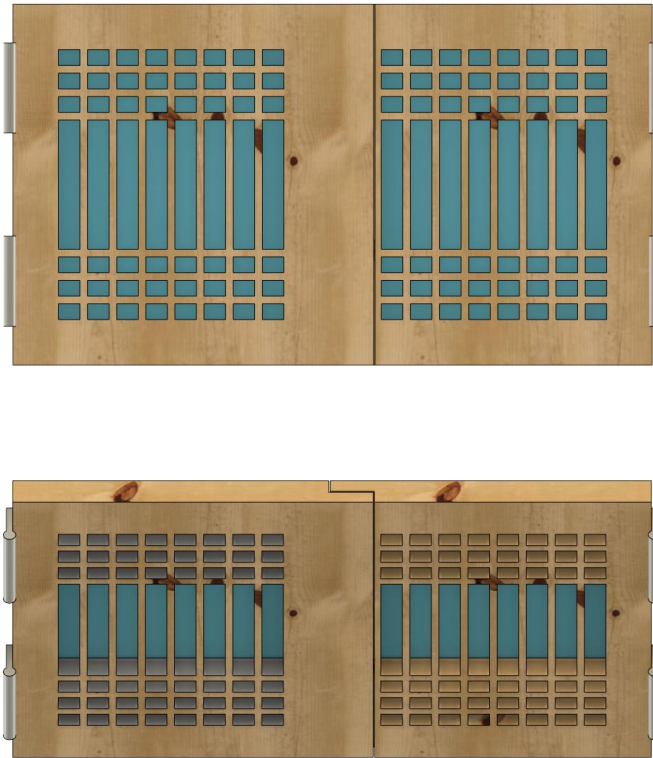


그림 4. 통풍효과를 막기 위해 설계한 개선된 형태의 창호. 위에서부터 정면모습과 사선에서 본 모습임

### 3. 창호 물성치 선정

재료	밀도 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	비열 ( $\text{J}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$ )	열 전도율 ( $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$ )
Concrete	2300	780	0.72
Wood (pine)	935.7	1685	0.4528
Glass (sodalime)	2465	898.6	1.078
Aluminum	2719	871	202.4

## 표 1. CFD 실행을 할 때 설정한 건축자재들의 물성치

은평한옥마을 한옥의 특징을 고려하여 모델링한 창호의 재료들의 물성치를 설정하였다. 창호의 골격은 나무로 설정하여 주었다. 실제 은평한옥마을의 시공사로부터 얻은 정보에 의하면 한옥 창호의 내구성과 수축방지를 위하여 여러가지 나무를 섞은 재료를 사용하지만, 그러한 재료는 재료마다 밀도나 비열 등 물성치가 달라지기 때문에 사용하는 나무 중 가장 많은 비율을 차지하는 소나무를 창호의 골격을 대표하는 목재 재료로 선정하였다. 전통한옥과 다르게 은평 한옥마을의 신 한옥은 창호의 살대에 창호지를 발라 마감하지 않고 창을 설치하여 단열성을 높였다. 이에 맞추어 살대 사이의 틈은 유리, 그 중에서 가장 흔하게 쓰이는 soda lime 유리를 선정하여 수치해석을 진행하였다. 대류와 전도에 의한 열전달 효과를 해석하기 위해 모델링한 창호 주변의 바닥과 벽은 콘크리트로 설정하였고, 경첩은 알루미늄으로 설정하였다.

### 4. 전산해석 설정

한옥의 창호로 유입되는 공기에 의한 열전달을 계산하기 위해 상용 CFD 소프트웨어인 ANSYS Fluent 프로그램을 사용하였다. CFD 에서 유동을 해석할 때 해석 도메인의 크기는 결과에 영향을 끼칠 수 있다. Kobayashi et al. (2013) 은 해석 도메인이 모델의 가로, 세로, 높이의 4 배 이상 되었을 때 신뢰할 만한 결과가 나온다고 주장했다. 본 연구에서는 선행연구의 결과에 따라 해석 모델은 가로, 세로, 높이가 모델의 5 배인 직육면체 도메인 속에서 해석되었다.

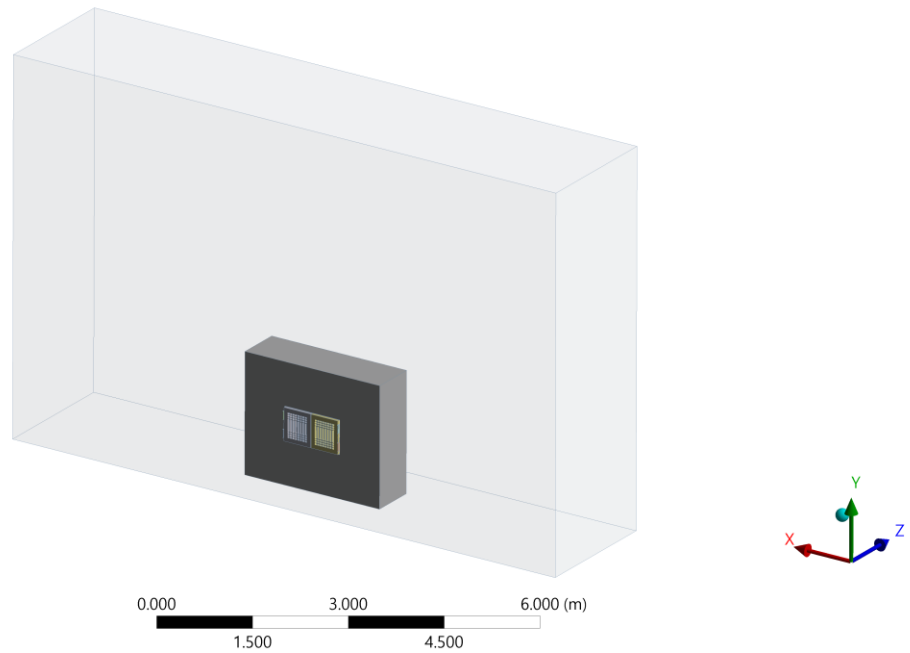


그림 5. CFD 해석을 진행한 모델과 해석 도메인

창호가 위치한 벽 쪽의 면에서 초속 3.05m/s 의 풍속이 불어온다고 설정했고, 나머지 도메인의 벽면은 1 기압 등압조건을 설정하였다. 이 조건은 기상청의 은평구 진관동 기후 보고서를 참고하였다. 혹한기의 기온과 환경을 고려하여 실외온도는 0℃, 바닥은 보일러를 틀었다 가정하여 26℃의 등온조건으로 설정하였다. 해석할 유체 모델은 대류로 인한 열전달 효과를 확인하기 위해 비압축성 이상기체 모델로 선정하였다. 또한 대류효과를 구현하기 위한 중력가속도는 아래쪽 방향으로 9.8m/s<sup>2</sup> 로 설정되었다. 보다 정확한 결과를 얻으면서 빠른 계산 속도를 위해 열전달 효과를 중심으로 확인해야 하는 창호 주변과 벽면은 매쉬를 조밀하게, 해석할 요소가 없는 외부 도메인의 매쉬는 비교적 성기게 구성하여 총 격자수가 416,943 개가 되도록 meshing 하였다.

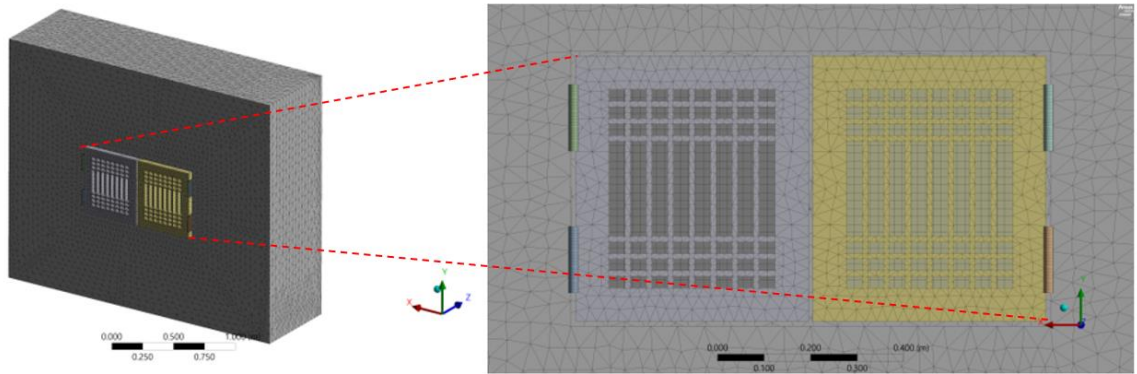


그림 6. 창호모델의 mesh 형상

태양에 의한 복사는 무시하였고, 건물 벽면과 바닥면은 no slip condition 이 적용되었다.



무관하게 항상 성립이 되는 항등식이 나오게 되었다. 이 말은 삼각형이, 즉 두 창호가  $x$ ,  $a$ ,  $\theta$  값에 상관없이 항상 만난다는 것이다. 이로써 저런 모양의 창호 끝을 사용하게 된다면 창호를 열고 닫을 때 어려움이 있을 수 있다.

두 번째로 계산해 본 창호의 구조이다.

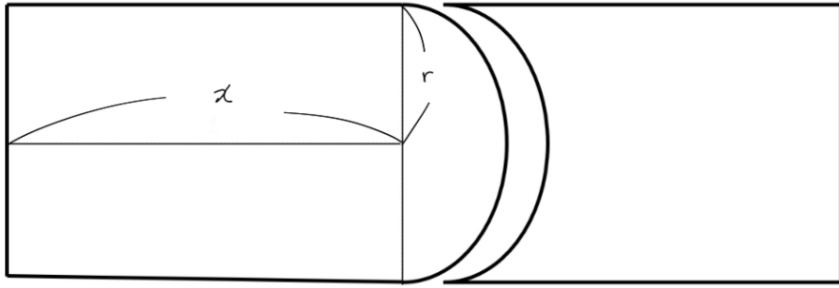


그림 8. U자로 맞물리는 창호의 단면도

$$\sqrt{x^2 + r^2} + x + r < 2x$$

$$\sqrt{x^2 + r^2} < x - r$$

$$x^2 + r^2 < x^2 - 2xr + r^2$$

$$xr < 0$$

각각의 창호에서 가장 먼 곳을 수식으로 나타내자면  $x+r$ ,  $\sqrt{x^2+r^2}$  (오른쪽 창호의 경우를 생각해 본 것으로 피타고라스의 법칙을 통해)이고, 두 선분이 삼각형을 만들지 않을 조건으로 두 길이의 합이  $2x$  보다 작은 경우로 계산해보았다. 최종적인 식은  $xr < 0$ 으로,  $x > 0$ ,  $r > 0$ 이라는 조건을 감안한다면 모순되는 식이 나온 것이다. 따라서 두 창호는 닫히는 과정에서 만날 수밖에 없으며 최악의 경우에는 닫히는데 어려움이 생겨서 오히려 안 닫히는 결과를 초래할 수 있다.



그림 9. S자로 맞물리는 창호의 단면도

마지막으로 고려한 형태의 창호는 창호 사이 틈이 s 자인 창호이다. 위와 같은 형태의 창호는 한쪽만 먼저 닫으면 항상 창호를 열고 닫는 데에는 문제가 생기지 않는다. 또한 창호 틈 구조에 의해서 통풍에 의한 열전달을 막을 수 있을 것이라 예측되어 이 구조의 창호를 선정하여 전산해석을 진행하였다.

## 2. 전산해석 결과

상술한 설정에 따라 전산해석을 진행한 결과이다.

먼저 창문 쪽 도메인 inlet 으로부터 3.05m/s 로 유입되는 공기의 흐름을 형상화하여 분석하였다.

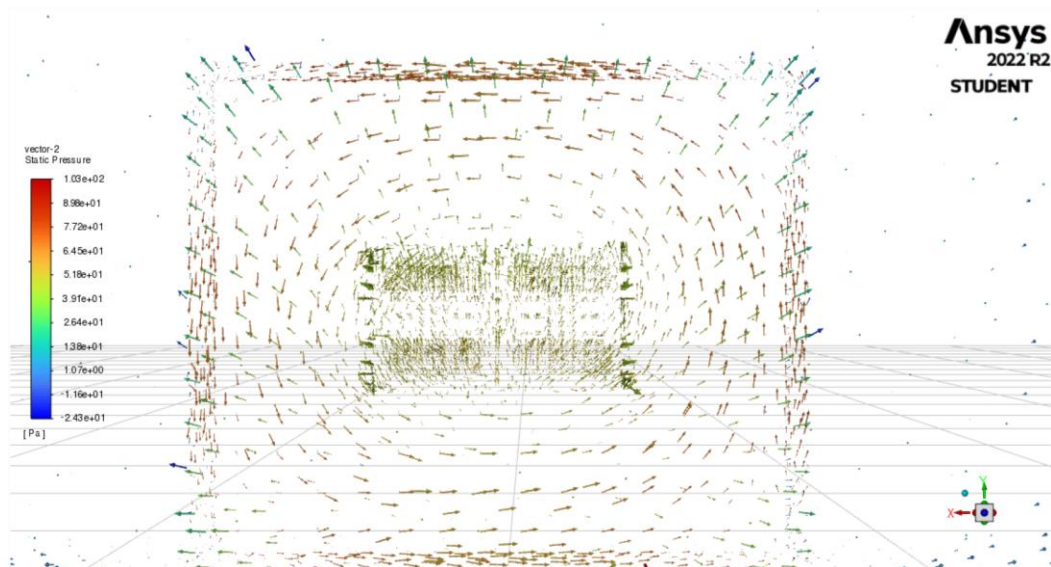


그림 10. 모델 내부 공기의 흐름을 나타낸 그림.

창호 내부 모델 안쪽에서는 바닥 열원으로부터 발생한 열로 인한 대류가 지배적으로 발생하여 공기가 앞에서 봤을 때 반시계방향으로 이동하였다. 그리고 공기의 이동과 열의 이동이 완전히 동일한 형상으로 나타났으므로 공기의 대류가 열을 전달하는 요인이 되었다고 해석 가능하다. 또한 외부에서부터 유입된 공기는 살대 사이 공간에 머물며 살대 두께만큼의 공기층을 형성하며 열 전달을 방해하는 효과가 발생하는 것을 확인하였다. 또한 창호의 틈으로 외기가 침투하는 현상이 계속되었을 때, 외기의 낮은 온도에 의해 결국 실내 온도와 외부의 온도가 같아진다는 사실을 확인하였다.

즉 침기에 의한 온도 하강이 전체 온도분포에 상당히 큰 영향을 끼친다는 것을 알 수 있었다.

반면 보일러 열원으로부터의 전도로 인한 열 전달은 열원으로부터 위쪽으로 141mm 까지밖에 영향을 끼치지 못하는 것으로 확인되었다. 따라서 집 내부 열전달은 대류에 의한 열 이동이 지배적인 것으로 해석되었다. 아래 그림은 299K 의 온도로 설정된 보일러 열원에서 발생한 열이 전도에 의해 얼마만큼의 구배로 변화하고 어디까지 열을 전달하여 영향을 미칠 수 있는가를 분석한 그림이다.

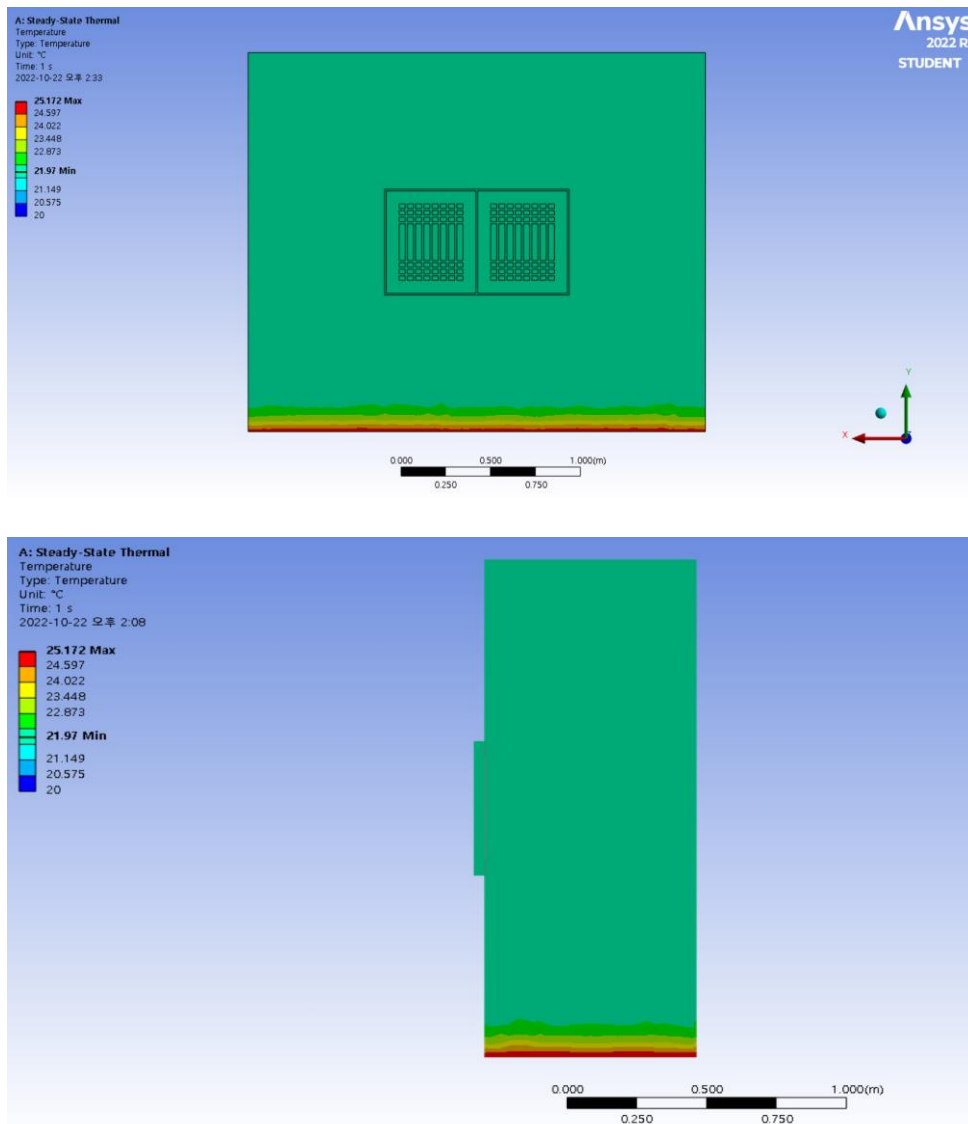


그림 11. 바닥의 heater 에 의한 열전달 효과(붉은 색 부분이 26°C로 등온임)



아래의 그림은 시간이 충분히 흘렀을 때 실내와 실외의 온도분포를 모델의 단면으로 본 그림이다. 전도와 실내 내부 대류로 인해서 모델은 네모나게 부분적으로 높은 온도를 갖고 있다. 그리고 창문 쪽을 주목해서 보면 창호의 틈으로부터 파란색의 저온 분포가 시작되어 대류로 인해 실내 전체로 저온의 외기가 확산된 것을 확인할 수 있다. 또한, 아래 그림에서 창호 겉면에 주변에 비해 높은 온도 분포를 갖는 구역이 있음을 확인할 수 있는데, 이 온도분포는 살대 사이에 공간에 공기가 잔류하여 공기층을 형성하였기 때문에 생성되었다.

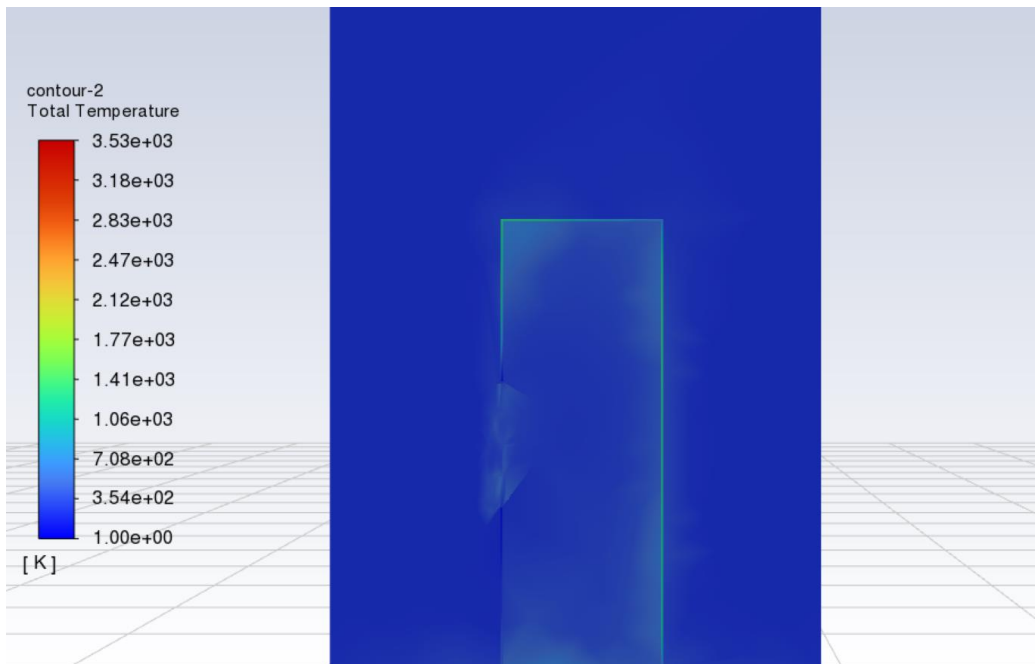


그림 12. 모델의 단면의 온도 분포

위 실험결과를 바탕으로 바람으로 인해, 또는 집 내, 외부의 압력차이로 인해 실내로 유입된 차가운 공기가 대류를 통해 집 안 곳곳으로 퍼져 큰 폭의 에너지 손실이 발생할 수 있다는 것을 확인하였다. 때문에 이 현상을 새롭게 설계한 창호가 개선시킬 수 있는가를 확인하기 위한 실험을 진행하였다. 나머지 유체와 고체의 상태량 등은 통제 변인으로 설정해 모두 똑같이 유지한 채로 창호의 종류만을 독립 변인으로 하여 새롭게 설계한 s 자형 창호와 기존의 틈이 있는 1 자형 창호의 단열 성능을 비교하였다. 실내 쪽 창호 바로 뒤 20mm 뒤에 해석 도메인을 설정한 뒤 창호를 통해 들어오는 외기의 최고

풍속, 최소 풍속, 평균유량을 측정하였다. 이는 200 번의 반복실험을 통해 도출된 평균값이다.

창호의 종류	최고 풍속 (m/s)	최소 풍속 (m/s)	평균 유량 (ccm)
1 자형 창호	1.12	0.038	2730
s 자형 창호	1.09	0.028	2166

표 2. 창호의 종류에 따른 실험 결과

결과에서 알 수 있듯이 s 자형 창호가 외기를 막는데 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

### 3. 결론 및 제언

본 연구의 결과에 따르면 살과 살대 사이 공기가 머물며 살대의 두께만큼의 공기층을 형성해 자체적으로 보온의 효과와 동시에 공기가 한옥 내부로 들어오지 않게 하는 효과 모두를 확인할 수 있었다. 더불어 창호가 서로 맞물리게 설계한 S 자 형태의 창호는 외부 공기의 유입을 막아 한옥 내부의 온도를 유지하는 데 적합하며, 이는 앞으로의 한옥 설계에서도 창호를 설계할 때 고려해야 할 부분으로 생각된다. 본 연구는 침기율을 낮추기 위해 창호 틈새에 집중해서 분석을 진행했으나, 살대 사이에 공기층을 효과적으로 만들었을 때 단열효과를 얻어낼 수 있을 것이라는 결론 또한 도출할 수 있었다. 따라서 효율적인 공기층을 만들어내는 메커니즘의 단열 창호도 제작될 수 있다고 생각된다. 이러한 연구를 통해 한옥 전통의 멋을 살리면서도 에너지를 최대 효율로 사용할 수 있길 기대한다.

## 참조 자료

- 첨단한옥창호 공식블로그 : 네이버 블로그. (n.d.). Retrieved October 22, 2022, from <https://m.blog.naver.com/PostList.naver?blogId=ghanok2013>
- Ahn, E.-Y., & Kim, J.-W. (2012). Numerical analysis of optimum door frame for enhancing thermal efficiency. *Journal of Korea Multimedia Society, 15*(5), 672-676.
- Kim, J.-W., & Aan, E.-Y. (2012). Computational analysis of air flows inside Korean traditional house. *Journal of Korea Multimedia Society, 15*(3), 380-387.
- Lee, J.-Y., Jang, H.-C., Lee, T.-G., Song, M.-J., & Kim, S.-W. (2013). A study on the airtightness performance of new Han-ok bedrooms. *Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, 13*(3), 79-89.
- Kim, S. J., Park, J. J., & Kim, Y. I. (2018). Experimental research of window air tightness and opening force with respect to mohair number, clearance and shortened length. *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 30*(4), 195-203.
- “전통 건축의 창호 / 결구법.” Edited by 강혜정 and 심용식 , *월간한옥*, 월간한옥, 22 Oct. 2019, <https://hanokmag.com/27/?q=YToyOntzOjEyOiJrZXI3b3JkX3R5cGUiO3M6MzoiYWxsIjtzOjQ6InBhZ2UiO2k6NDt9&bmode=view&idx=8820683&t=board>.

Ju, Nam cheol. *Han'Guk Ŭi Mun Kwa Ch'Angho = Korean Gate, Door and Windows*. Taewŏnsa, 2003.

기상청, 수도권 기기상청, 서울특별시 은평구 기후변화 상세 분석 보고, 2016.11

Janssen, L. P. B. M., & Warmoeskerken, M. M. C. G. (2006). *Transport phenomena data companion*. VSSD.

Kobayashi, T., Chikamoto, T., & Osada, K. (2013). Evaluation of ventilation performance of monitor roof in residential area based on simplified estimation and CFD analysis. *Building and Environment*, *63*, 20–30. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.01.018>