

한옥 창호 격자 구조의 전산해석을 통한 한옥 에너지 효율 향상 방안

안은영[†], 김재원^{**}

요 약

본 연구는 한옥의 내부기류 분석을 통한 자료를 근거로 열손실이 가장 크게 나타나는 창호에 대해 기존 창호의 아름다움을 훼손하지 않으면서도 대류에 의한 열손실을 최소화 할 수 있는 방안을 제안한다. 이를 위해서 한옥 창호 격자문의 구조에 대한 기하학적 최적화 작업을 통해 동절기의 열손실을 최소화하기 위한 격자문 구조를 제안하는 것을 목적으로 한다. 즉, 실외를 향한 창호 격자 구조를 대류 열전달의 손실을 최소화하기 위한 구조로, 동절기의 외부 냉기를 효과적으로 차단하기 위한 창호의 배열을 정의한다. 전산해석을 통해 창호 격자의 종횡비, 창호 격자 틀 돌출 길이의 격자 면적 비 등, 외부로의 열 손실을 최소화할 수 있는 구체적인 구조를 제안하고 이에 대한 타당성을 검증한다.

Numerical Analysis of Optimum Door Frame for Enhancing Thermal Efficiency

Eun Young Ahn[†], Jae Won Kim^{**}

ABSTRACT

This investigation relates generally to windows and doors for traditional Korean houses(Hanok) and, more particularly, to windows and doors for traditional Korean houses which have a lattice structure that can minimize heat loss in the winter. In order to accomplish the above objective, the present invention provides a door for traditional Korean houses, including a structure of a lattice door framed with vertical lattice frames and horizontal lattice frames which are arranged in a regular periodic pattern.

Key words: aspect ratio, door frame, vertical lattice frame, horizontal lattice frame

1. 서 론

최근 들어 우리문화에 대한 인식이 변화되면서 한옥은 외관의 수려함은 물론 친환경 웰빙주택으로서의 고품격 주거문화로 주목받게 되었다. 이러한 시대적 흐름에 따라 한옥의 약점을 보완하여 따뜻하고

편리한 한옥 모델을 개발하여 값싸고 쾌적한 생활공간으로 재탄생시키고자 하는 노력이 계속되고 있다 [1]. 한옥을 확산 보급하기 위해서는 한옥이 가지는 고유한 환경 성능을 향상시키고 현대적 삶을 수용할 수 있는 성능기준을 마련할 필요가 있다. 이에 따라 한옥의 거주 환경인 열환경, 음환경, 일조환경 등에

※ 교신저자(Corresponding Author): 안은영, 주소: 대전시 유성구 덕명동 산 16-1(305-320), 전화: 042)821-1750, FAX: 042)821-1595, E-mail: aey@hanbat.ac.kr
접수일: 2011년 11월 24일, 수정일: 2012년 2월 6일
완료일: 2012년 3월 15일

[†] 중신회원, 한밭대학교 정보통신공학과 부교수
(E-mail: aey@hanbt.ac.kr)

^{**} 준회원, 선문대학교 기계공학부 교수
(E-mail: jwk@sunmoon.ac.kr)

※ 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (2010-0021154)

대한 연구가 진행되고 있으며 창호, 구조, 마감, 방충, 수장, 복합화 등의 각 구분별로 현대화 기술이 연구되고 있다[2]. 한옥의 성능 향상을 위한 노력으로, 목재의 구조 성능 향상이나 마감(기와)재 또는 창호에 관한 대체소재의 개발이 주류를 이루고 있다. 한옥 재료가 가지는 한계를 보완하기 위해 한옥 건축에 적합한 대체재를 개발하는 것도 중요하지만 한옥재료가 가지고 있는 친환경적 효과에 대한 통합적인 분석이 선행될 필요가 있으며, 이를 바탕으로 한옥 고유의 친환경적 장점을 계승, 발전시킴으로써 건강한 주거환경을 꾸준히 지속시킬 필요성이 있다[3,4]. 이에 따라 본 연구에서는 한옥의 외부기류 분포를 계절별로 시뮬레이션하고 분석결과를 토대로 외기를 효과적으로 차단할 수 있는 창호 격자를 제안한다.

창호(窓戶)는 건물 내부를 외부와 차단시키기 위해 창이나 출입구 등의 개구부에 설치되는 각종의 창이나 문을 의미한다. 창호는 동양식 창호와 서양식 창호로 구분되며, 동양식 창호로 목재와 창호지를 사용하는 한옥 창호가 있다.

한옥 창호를 살펴보면, 수직 살대와 수평 살대를 서로 똑같은 칸으로 짜 만들어가는 격자살문, 용(用)자를 바탕으로 무늬를 짜 넣은 용자살문, 문짝 중앙에 불발기창을 내어 불발기창만 창호지를 바르고 나머지 위, 아래에는 벽지를 발라 빛이 통과하지 못하도록 만든 팔각불발기문 등 그 형태가 매우 다양하다.

이러한 한옥 창호는 실내 공간을 밝게 만들어 주고 단아하거나 화려한 멋을 풍기며 현대의 감성에도 결코 뒤지지 않은 아름다움이 있다. 그러나 한옥 창호가 얇은 창호지와 목재로 구성됨에 따라 외기 차단이라는 건물의 기본적인 요건을 충족하지 못하는 점이 있었다. 따라서 본 연구에서는 전산해석으로 한옥 구조의 대류현상과 창호의 외기차단 효과를 계절별로 분석하고 이를 토대로 대류 열전달에 의한 열손실이 최소화되는 격자살문 구조를 도출하여 외기 차단이라는 건물의 기본적인 요구 충족이 가능하도록 한옥 창호를 제안하고자 한다.

2. 한옥 내부의 열전달 효과 전산해석

일반적으로 한옥 건축물의 창호에 사용되는 미닫이문은 창호로 외기와 차단되어 있으며 차단 수단은 문풍지로 불리는 종이와 이 문풍지를 지탱하는 창호

격자 틀로 구성되어 있다. 창호 격자의 구성은 미학적 요소와 더불어 문풍지를 지탱하는 구조로만 여겨져 열전달의 차단 효과에 대한 실효성은 그동안 고려되지 않았다. 이에, 외기를 효과적으로 차단하여 에너지 효율을 극대화할 수 있는 한옥 창호 배열을 제안하고자 하는 것으로, 이러한 목적을 위해서 먼저, 계절별로 한옥 내부의 자연대류현상에 대한 전산해석을 통해서 한옥의 열전도가 창호를 중심으로 이루어짐을 확인하고 이에 창호의 열손실을 최소화하기 위한 창호격자를 구성하여 한옥의 열효율 향상을 꾀할 수 있음을 확인하였다. 그림 1은 한옥내부의 자연대류 및 온도분포 해석을 위하여 ‘-’자형 한옥 내부를 형상 모델링 한 것이다.

한옥 내부의 온도분포를 확인하기 위한 경계 조건은 다음과 같다. 한옥 외부로 노출된 창문 및 외벽면에 대하여 외부 평균 기온 22℃의 외부 대류 열전달 경계조건을 적용하여 한옥 외부에서 내부로 전달되는 열전달 현상을 고려하였다. 그리고 창 또는 방문의 틈새나 창호지를 통한 통풍효과는 없는 것으로 고려하였다[4]. 외기 조건의 확보를 바탕으로 계절별 실내 기류 해석을 수행하였다. 실험대상이 되는 건물에 대한 건축 자재의 구성과 물성치는 김도연과 오혜경의 논문[5]을 참조하여 예비 계산의 실효성을 제고하였다. 전산해석은 한옥 내부의 자연대류 및 온도분포 해석을 위하여 사용된 모델링을 바탕으로 수행되었다. 한옥 외부로 노출된 창문 및 외벽면에 대해 흡서기와 흡한기 조건에 따른 외부 대류 열전달 경계조건을 적용하여, 한옥 외부에서 내부로 전달되는 열전달 현상을 고려하였다. 실내의 대청과 연결되어 있는 내벽부분과 방문 및 천정부분에 대해서도 흡서기 및 흡한기의 외부온도 조건 45℃, -20℃에 대한 대류 열전달 경계조건을 적용하여 열전달을 고려하였다. 또한 방안의 온돌 부분에 대하여도 열전달 효과를 가정하여 경계조건을 적용하였다. 아울러 창, 방문 틈새나 창호지를 통한 통풍효과는 없는 것으로 고려하였다.

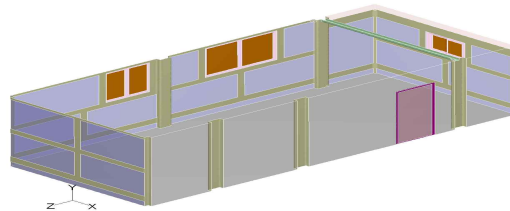


그림 1. 한옥 내부의 모델링 형상

다음의 그림 2는 한옥 내부의 등온 영역을 나타내고 있다. 얇은 창호지를 통한 창문의 외부 열전달 효과가 벽면에 비하여 높기 때문에 창문부분에서 상대적으로 높은 온도분포를 나타내고 있는 것을 확인할 수 있다. 계절의 변화에 따른 또 다른 실험에서 창문부분의 외부 열전달 효과는 혹한기에도 혹서기와 같은 현상을 나타내고 있어 창호에 대한 열역학적 개선이 시급한 것으로 분석되었다.

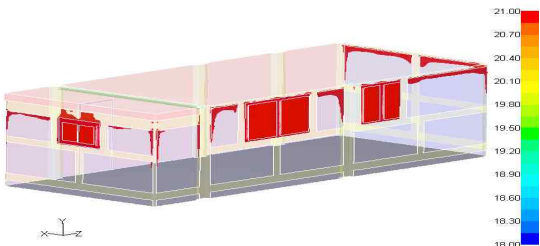


그림 2. 한옥 내부의 최대 온도 영역(21℃ 등온, 붉은색 부분)

3. 창호 격자의 와류 유동 전산해석 변수 설정

앞서 실험에서 나타난 바와 같이 창호부분에서의 열전달에 의한 에너지 손실이 가장 크게 일어나고 있어서 창호의 열전달 효과를 줄이는 것이 마땅하고 쾌적한 실내 환경을 구성하는데 매우 커다란 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 이에 따라 이번 장에서는 창호의 열전달을 최소화 할 수 있는 창호의 격자 비율을 제안하고자 한옥 창호의 격자 비율과 열전달율과의 상관관계를 전산해석을 통해 분석한다.

대류 열전달에 의한 열손실이 최소화되는 격자살문 구조를 제시하기 위해서 다음과 같은 방법으로 전산해석을 위한 변수를 설정한다. 그림 3은 문제 영역과 주요 변수를 나타내고 있다.

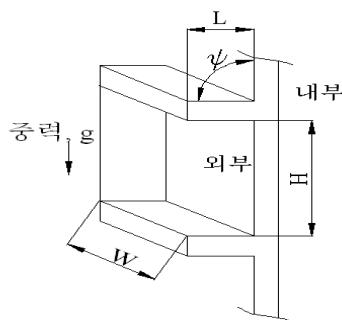


그림 3. 문제영역 및 주요 변수

기하학적 정보의 변수 결정은 [6]의 논문을 참조하였다. 선행 연구에 따르면 온도차 ΔT 에 의한 자연대류의 속도와 특성 시간이 제안되었으며 그에 따라 이동 거리 즉, 창호 격자의 중력 방향 거리와 그에 수직인 수평 방향 거리에 대한 출발 값을 선정할 수 있다. 특성 속도는 브룬트-비셀라(Brunt-Väisälä) 주파수와 자연 대류 속도를 조합하여 구할 수 있다. 같은 방법을 사용하여, 격자살문의 격자 중횡비를 도출하는 과정은 격자에서 자연 대류의 중력방향 속도 (V)와 격자에서 자연 대류의 수평방향 속도(U) 식을 도출한 후, 도출된 식으로부터 격자에서 자연 대류에 의한 와동 흐름이 형성되는 최소값을 찾아낸다. 자연 대류는 온도차에 의해 자연적으로 생긴 밀도변화에 의해 대류가 일어나는 것을 의미한다.

온도 차이에 의한 자연 대류는 기류 유동을 일으키며 그 기류 유동의 맥동현상에 대한 규명을 블린과 비셀라가 수행하여 마련한 식이 식(1)이다. 식(1)의 N 값에 의해 격자에서 자연 대류의 중력방향 속도 (V)와 격자에서 자연 대류의 수평방향 속도(U)의 특성적 크기가 결정된다.

$$N = \left(\frac{g \Delta T}{H} \right)^{1/2} \tag{1}$$

여기서 α 는 열팽창 계수, g 는 중력가속도, ΔT 는 내부 및 외부의 온도 차, H 는 창호 격자 틀의 수직 방향 거리를 나타낸다. 이들 무차원 수의 조합을 통해 창호 격자의 중력방향 속도V와 중력에 수직인 방향, 즉, 수평방향의 속도 U를 아래의 식과 같이 정의할 수 있다.

$$U = (RaPr)^{7/16} A^{-1/2} \frac{k}{H} \tag{2}$$

$$V = (RaPr)^{1/2} \frac{k}{H} \tag{3}$$

여기서 Ra는 레일리 수(Rayleigh Number), Pr는 프란틀 수 (Prandtl number), A는 창호 격자 틀의 중횡비(L/W)이며, κ 는 열 확산 계수이다. 위의 속도 관계식으로부터 이차유동(secondary flows)이 유발되기 위한 기하학적 유효 영역을 도출하면 $V \approx U$ 에서 $A \approx O(10^{-2})$ 이 된다.

4. 실험 및 고찰

앞서 설명한 결정 변수들을 이용하여 한옥 창호의

격자에서의 자연대류에 의한 와동현상을 확인하고 이를 통한 태양의 효과가 있는 낮 시간은 창호의 특성상 복사 열전달이 실내로 더운 공기를 유입하므로 야간의 조건으로 연구 내용을 제한한다. 구체적으로는 외기의 온도가 지표면보다 낮아 외기의 상승 운동이 창호 주변에서 발생하며 이를 창호 격자내부에 가둬둠으로써 공기에 의한 열저항 효과를 유도하고자 격자 구조를 제안한다. 여기서, 전체 격자살문의 면적 대비 창호 영역의 면적 비는 한옥 창호의 경우 채광의 효과를 우선해야하는 사항이므로 배제하였으며, 격자살문 전체의 면적 벡터방향의 두께도 한옥 구조의 표준화에 준거되어 있으므로 배제하였다. 외기의 추운 온도와 실내 내부의 온기에 의한 온도차는 열전달을 유발하므로 내부 온도 20도와 외기 온도 5도를 기준으로 한 동절기를 기준으로 이론적 접근을 통해 전열 차단 최대 효과를 얻을 수 있는 창호 격자 변수를 찾고자 한다.

기하학적 변수 도출에 사용된 이론적 근거는 브룬트-버셀라(Brunt-Vaisala)주파수를 산출하여 관련 변수의 범위를 결정하였으며, 구체적인 변수의 결정은 여러 매개 변수에 의한 실험 결과를 [2~3]의 반응면 기법(response surface method)을 통해 최적화하여 그 범위를 좁혀 수행하였다. 전산해석 결과 기하학적 변수 범위의 격자 종횡비에서 그림 4와 같은 와동 흐름이 확인되었다. 그림 4와 같은 와동 흐름은 저온의 외기가 내부로 전달되는 것을 억제하는 메커니즘으로 작용하여 열전달 억제에 우수하다.

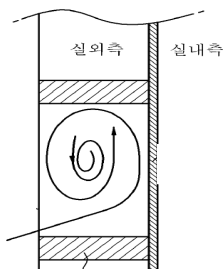


그림 4. 창호 틀 내부의 와동 흐름

아래의 표 1은 외기 온도 5℃와 내부 온도 20℃로 설정된 조건에서 시간 경과에 따른 내부 온도의 공간 평균치를 측정된 것이다. 표의 종횡비는 도출한 기하학적 변수의 실시예로 시제품을 제작한 것이며 내부 온도의 공간 평균치는 온도변수를 활용한 열량평가

표 1. 시간경과에 따른 내부온도 평균치

종횡비(W/H) 경과시간	0.01	0.03	0.05	0.07	0.1	0.12
5분	18.7	18.7	18.8	19	18.9	18.7
20분	17.2	17.5	17.9	18.5	18.3	18.0
60분	17.2	17.3	17.8	18.5	18.2	17.8
150분	17.0	17.1	17.7	18.5	18.1	17.3
와동 흐름	0	0	0	0	0	0

를 통해 확인하였다.

표 1에 의하면, 격자 종횡비 0.01~0.12 범위에서 그림 4와 같은 와동 흐름이 형성되었으며, 열전달 차폐 효과도 우수한 것으로 나타났다. 그 중에서도 격자 종횡비 0.07~0.1범위에서 5분 후 열손실이 거의 없었으며, 150분간 진행 후에도 외부로의 열손실이 10% 미만을 만족하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 격자살문의 격자 사이로 대류된 공기가 반시계방향으로 회전하는 와동흐름을 형성하여 열전도 저항 역할을 하는 공기층을 형성함으로써 저온의 외기에 의한 열손실을 최소화한 것으로 확인되었다. 이러한 실험결과를 근거로, 격자살문을 채용하되 격자살문의 격자 종횡비를 0.07~0.1 범위로 설계하여 외부로의 열손실을 최소화하는 효과를 검증하였다.

5. 결론

한옥의 격자살문은 규칙적인 형상의 격자가 단아한 멋을 풍기고 미적인 아름다움이 있으며, 창호지가 반투명 투과성 소재이므로 실내 공간도 밝게 만들어 준다. 본 논문은 창호의 이 같은 기능 외에도 외기가 내부로 들어오는 것을 차단하여 외부로의 열손실을 최소화하여 외기차단이라는 건물의 기본적인 기능을 하기 위한 한옥 창호 구조를 제하고자 하였다. 이를 위해 격자에서 자연 대류에 의한 와동 흐름이 형성되는 기하학적 변수의 최소값을 결정하고, 도출한 최소값을 근거로 기하학적 변수 값을 설정하고, 기하학적 변수를 활용한 실시예의 시제품을 제작하여 온도 변수를 활용한 열량평가를 수행함으로써 격자살문의 외기 차단효과가 탁월한 창호 격자의 최적의 종횡비를 제안하였다. 제안된 방법은 한옥을 현대 주거공간으로 활용함에 있어서 제기되고 있는 가장 큰 단점인 에너지 비용문제를 극복하는 하나의 방법

이 될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] 국립문화재 연구소, 전통건축물 환경특성 및 구성 요소 성능연구, 국립문화재연구소, 2008.

[2] 송인호, 권영상 외 8인, 한옥건축 산업화 촉진을 위한 기술기반 구축기획 연구, 국토해양부, 2008.

[3] 안은영, 김재원, "친환경 전통건축의 내부기류 전산해석," 멀티미디어학회 논문지 제 15권 3호, pp.380-387, 2012.

[4] 안은영, 김재원, "친환경 전통건축의 내부기류 전산해석," 멀티미디어학회 논문지 제 15권 3호, pp.380-387, 2012.

[5] 김도연, 오혜경, "북촌한옥 각 실의 용도 및 공간변화 특성에 관한 연구," 한국가정관리학회지, 26권 92호, pp. 115-127, 2008.

[6] Hosang Kwak and Jae Min Hyun, "Natural Convection in an Enclosure Having a Vertical Sidewall with Time Varying Temperature," Journal of Fluid Mechanics, Vol.329, pp. 65~88, 1996.

[7] Shiwei Zhou and Qing Li, "A Variational Level Set Method for the Topology Optimization of Steady-State Navier - Stokes Flow," Journal of Computational Physics, Vol.227, Issue24, pp. 10178-10195, 2008.

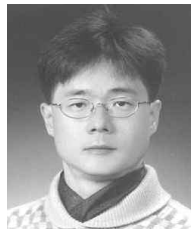
[8] Jacques E.V. Peter, and Richard P. Dwight, "Numerical Sensitivity Analysis for Aerodynamic Optimization: A Survey of Approaches Review Article," Computers & Fluids, Vol.39, Issue3, pp. 373-391, 2010.



안 은 영

1989년 2월 동국대학교 전자계산학과 학사
 1991년 2월 동국대학교 컴퓨터공학 석사
 2000년 8월 동국대학교 컴퓨터공학 박사

2000년 3월~2006년 3월 천안대학교 정보통신학부 조교수
 2006년~현재 한밭대학교 정보통신.컴퓨터공학부 부교수
 관심분야 : 컴퓨터그래픽스, 가상현실, 문화기술, 유체 가시화



김 재 원

1991년 KAIST 기계공학과 졸업 (공학박사)
 1990년~1995년 대우전자(주) 선임연구원
 1991년~1992년 스웨덴 왕립공대 초빙연구원

1995년~현재 선문대학교 기계공학부 교수
 관심분야 : 영상처리, 회전유동, 수치해석, 유체기계