[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 31, No. 3, 2011
ISSN 1598-6411

열교부위를 고려한 커튼월 사무소 건물의 열성능 해석에 관한 연구

신우철*, 김승철**, 윤종호***

*대전대학교 건축공학과, **대전대학교 대학원 건축공학과 대학원, ***한밭대학교 건축공학과

A Study on the Thermal Performance Analysis of Curtain Wall Office Building Considering the Thermal Bridges

Shin U-Cheul* Kim Seung-Chul** Yoon Jong-Ho***

*Dept. of Architectural Engineering, Daejeon University(shinuc@dju.ac.kr),
**Dept. of Architectural Engineering, Graduate School, Daejeon University(rufers123@naver.com),
***Dept. of Architectural Engineering, Hanbat National University(jhyoon@hanbat.ac.kr)

Abstract

Currently, office buildings in Korea tend to adopt as their outer wall the curtain wall structure which can be easily constructed and has beautiful external appearance as well. However, the problem is that the curtain wall structure does not have a uniform composition unlike the wall of existing reinforced concrete structures and has a frame made of metal with high heat conduction. Therefore, it is expected that the structure will be highly influenced by the thermal bridge. Thereupon, this study analyzes how to set up the composition of the wall system and heat transmission rate in consideration of the thermal characteristics of the curtain wall structure and applies it in practice by simulation in order to propose a guideline for the energy simulation method of the curtain wall structure and analyze its differences from existing simulation methods.

Keywords : 상당 열관류율(Equivalent U-value), 에너지 시뮬레이션(Energy simulation), 열관류율(U-value), 열교(Thermal Bridge), 커튼월(Curtain wall)

기 호 설 명

A : 면적 (㎡)
d : 중공층의 두께 (m)
h_c : 대류 열전달계수 (W/㎡K)
Q : 구조체의 열관류량 (W)
U_{eff} : 구조체의 상당 열관류율 (W/㎡K)
ΔT : 실내외 온도차 (℃)
$\Delta\theta_{ss}d$: 중공층 표면의 최대온도차 (℃)

투고일자 : 2011년 6월 7일, 심사일자 : 2011년 6월 10일, 게재확정일자 : 2011년 6월 17일
교신저자 : 윤종호(jhyoon@hanbat.ac.kr)

1. 서 론

커튼월은 건식조립공법으로 시공이 간단하여 공기를 단축시킬 수 있고, RC구조에 비해 경량으로 자중을 감소시킬 수 있는 장점이 있으나, 창호와 벽체를 구성하는 강재나 알루미늄 프레임의 금속성 부재가 슬래브나 기둥에 연결되는 구조적 특성에 따라 열교부위가 과도하게 발생하게 되며, 이에 따른 결로현상뿐만 아니라 외피의 전반적인 단열성능 저하 등의 열적 취약성이 거론되고 있다. 이에 관련된 최근의 국내 연구로서 강[1] 등은 커튼월 앵커링 유닛의 열교부위를 검토하여 단열패드, 단열피복, 단열와셔 등의 적용에 의한 열성능을 평가하였고, 송[2] 등은 커튼월 패스닝 부분의 열교를 분석하고 단열피복 방안을 검토하여 단일 모듈에 대한 에너지 성능 평가를 하였으며, 구[3] 등은 GFRC와 석재, 알루미늄 커튼월의 단일 모듈에 대해 접합부를 고려한 열성능을 평가한 바 있다.

그러나 이들 연구의 대부분은 커튼월 모듈에 대한 열전달 해석에 한정되어 있으며, 커튼월의 열적 성능이 건물의 전반적인 에너지성능에 미치는 연구는 미흡한 실정이다.

특히 Energy Plus나 ESP-r, DOE-2.1 등의 상용 건물에너지 해석프로그램이 외피의 열전달을 1차원으로 가정하는 점을 고려할 때, 커튼월과 같이 복잡한 형태의 단면구조를 갖고 열교발생 부위가 많은 구조체는 별도의 해석과 입력방안이 요구되고 있으나, 대부분의 실무적 차원에서는 커튼월의 창호와 벽체부분만을 단순하게 구분하여 입력하고 있다.

따라서 본 연구에서는 커튼월 구조를 갖는 사무소 건물의 에너지 성능평가 기법 개발의 일환으로서 열교부위를 포함한 커튼월의 3차원 상세 열전달이 건물의 전반적인 에너지성능에 미치는 영향을 사례연구를 통하여 평가하고자 한다.

2. 이론해석

2.1 시뮬레이션 모델

본 연구의 사례검토를 위하여 현재 서울에 위치하는 실제 사무소 건물을 선정하였다. 건물은 지상4층으로 연면적이 4,520㎡으로서 입면 및 기준평면도는 그림 1과 같다.

4면의 외피는 동일한 크기(1,012^{mm}× 3,600^{mm})의 모듈구조를 갖는 경량 커튼월로 설계되었다. 각 모듈은 불투과성의 유리와 단열재로 구성된 스팬드럴(spandrel) 부분과 복층유리의 투명창으로 구성되어 있으며, 창의 개폐여부에 따라 그림 2와 같이 4가지 유형의 모듈로 구분된다. 여기서 A 및 C 유형이 개폐창이 있는 반면, B 및 D 유형은 완전 밀폐구조를 갖고 있다.

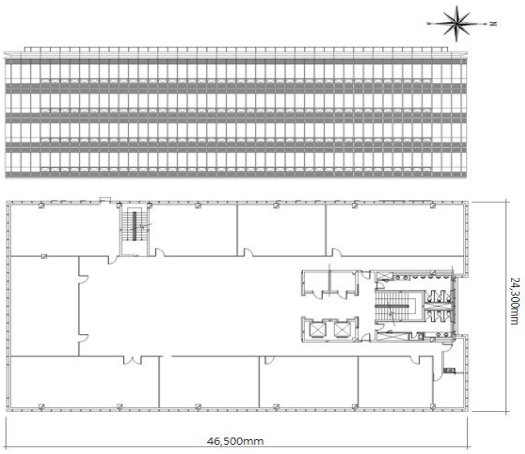
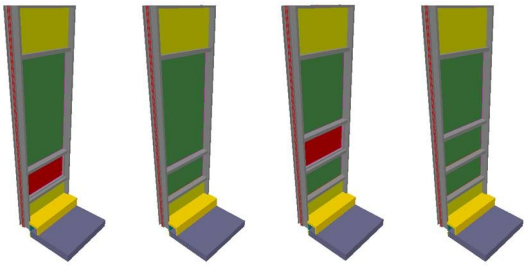


그림 1. 입면 및 기준 평면도



(a) A유형 (b) B유형 (c) C유형 (d) D유형

그림 2. 커튼월 모듈의 구조

2.2 커튼월의 에너지해석

형상이 복잡하고 열교의 영향이 큰 커튼월을 1차원 건물 해석 프로그램에 대응시키기 위해서는 커튼월과 같은 열성능을 갖는 단일 벽체로 치환하여 적용시켜야 한다. ASHRAE에서는 철재부재를 포함한 벽체의 열저항을 면적비에 의한 가중치로 계산하는 존 법(zone method)이나, 수정 존 법(modified zone method)을 제안하고 있으나, 이는 단면형상이 불규칙한 경우 적용이 힘들고 다른 건물부위와의 접합부에 대한 영향을 무시하므로 열교의 영향이 큰 커튼월의 경우 오차 발생 가능성이 있다고 알려져 있다.[4)]

이에 대한 대안으로서 본 연구에서는 3차원 열전달 해석을 기반으로 커튼월의 상당 열관류율, U_{eff}을 식 1과 같이 정의하고, 단일벽체로 치완・적용하였다.

$$U_{eff} = \frac{Q}{\Delta T \cdot A} \tag{1}$$

커튼월의 상당 열관류율을 해석하기 위한 실내·외 경계조건과 재료의 물성치는 각각 표 1 및 표 2와 같다.

커튼월의 열전달해석은 피지벨(Physibel)사의 3차원 정상상태 해석 프로그램인 트리스코 래디콘(TRISCO RADCON)을 사용하였다. 래디콘 모듈에서 중공층 내부의 대류열전달계수, h_c는 다음 식 2에 의해 계산되며, 여기서 C1, C2, C3는 표 3과 같이 Standard EN ISO 6946과 Standard EN 673 을 기준으로 하였다.

$$h_c = 2 \cdot \max\frac{C_1}{d}, \frac{C_2 \cdot (\Delta\theta_{ss} \cdot d^3)^{C_3}}{d} \tag{2}$$

한편 열교부위를 제외할 때 커튼월의 스팬드럴 부위의 단순 열관류율은 0.51 W/㎡K이 된다.

표 1. 실내·외 경계 조건

	실외	실내	Ref.
온도 (℃)	0	20	EN ISO 6946
표면열전달 계수 (W/m²℃)	25	7.7	

표 2. 재료의 물성치

재료명	열전도율 (W/m·K)	방사율	Ref.
Aluminium	160	0.9	ISO 10456, ISO 2005
Steel	50	0.9	
Glass	1.0	0.9	
Low-e glass	1.0	0.03	
Polyamid	0.25	0.9	
Rubber	0.25	0.9	
Silicone pure	0.35	0.9	
Fibreboard MDF	0.1	0.9	
Reinforced concrete	2.5	0.9	
Insulation	0.035	0.9	

표 3. C1, C2, C3의 기준치

부위	C1	C2	C3	Ref.
창호 중공층	0.025	1.03	0.38	EN 673
프레임 중공층	0.025	0.73	0.333	EN ISO 6946

그림 3은 커튼월과 바닥 슬라브의 연결부위와 커튼월 모듈사이의 단면상세를 트리스코의 3차원 해석모델로 나타낸 것이다.

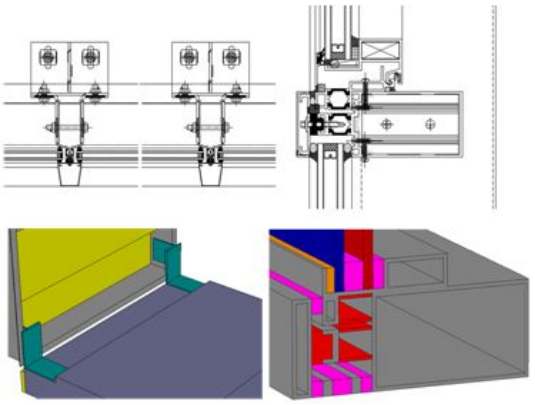


그림 3. 커튼월의 단면상세 및 시뮬레이션 해석모델

2.3 건물의 에너지해석

열교부위를 갖는 커튼월이 정밀해석이 건물의 열성능에 미치는 영향을 평가하기 위하여 제어조건에 따른 시스템의 냉·난방부하를 비교분석하였다. 이때 건물에너지해석 프로그램은 DOE-2.1을 기반으로 한 Visual DOE 4.1을 이용하였다.

표 4는 본 연구의 에너지해석 시뮬레이션에서 적용된 사례건물의 조명 및 장비밀도, 재실밀도, 환기량 등 제반 입력조건과 제어조건을 정리한 것이다.

표 4. 에너지소비성능 시뮬레이션 해석조건

항목	구분	내용
조명밀도	사무실	30 W/m²
	홀	20 W/m²
	화장실	15 W/m²
장비밀도	사무실	45 W/m²
	홀	5 W/m²
재실밀도	사무실	0.2 인/m²
	홀	0.05 인/m²
	회의실	0.5 인/m²
환기량	사무실	30 m³/h·인
	회의실	25 m³/h·인
	로비	20 m³/h·인
난방제어	온도	20℃
	운영시간	07시~18시
	기간	11월~3월
냉방제어	온도	26 ℃
	운영시간	07시~18시
	기간	6월~9월

전술한 바와 같이 상당 열관류율이 적용되는 커튼월의 건물외피는 투과유리를 제외한 불투과성 벽체(프레임을 포함한 스팬드럴 부위)로서, 이때 투과유리의 프레임 또한 이 벽체에 포함된다.

기존의 시뮬레이션 방식으로 단순 열관류율이 적용되는 커튼월의 경우에는 투과유리의 프레임(창호 프레임)을 다른 구조의 프레임과 구분하였으며, 이 창호 프레임은 미국 LBNL의 THERM 5.0 프로그램에서 해석된 열관류율을 입력하였다. 이 방식에서 기타 구조 프레임의 열교는 무시되며 스팬드럴 부위의 열관류율 만이 고려된다.

한편 투과유리는 1면이 로이(Low-e) 코팅된24mm(6mm + 12A + 6mm)의 복층창으로 열관류율과 일사획득계수(SHGC ; Solar Heat Gaiin Coefficient)는 각각 1.66W/m²·K와 0.42를 적용하였다.

3. 에너지 성능평가

3.1 커튼월의 상당 열관류율

표 5는 3차원 열전달 해석과 식 1에 의해 계산된 각 모듈의 상당 열관류율을 정리한 것이다. 여기서 “투과유리 제외” 는 투과유리를 제외하고 모든 프레임을 포함한 불투과성(스팬드럴) 부위의 평균 상당 열관류율을 나타낸다.

표 5. 모듈 유형별 평균 상당 열관류율 (W/m²·K)

종류 / 상당 열관류율 (W/m²·K)	A유형	B유형	C유형	D유형
투과유리 제외	3.24	2.48	3.33	2.57
투과유리 포함	2.34	1.96	2.43	2.04

개폐창이 없는 B 유형 모듈이 가장 낮은 2.48W/㎡K의 상당 열관류율을 나타내고 있으며, 불투과성 부위의 단순 열관류율 0.51 W/㎡K와 비교할 때 4.8배 이상 높은 수준인 것을 알 수 있다. 또한 개폐창이 설치되어 프레임 면적이 상대적으로 증가하는 A 및 C 유형의 모듈이 B 및 D 유형에 비해 더욱 높은 상당 열관류율을 갖는 것으로 분석되었다. 투과유리를 포함할 경우 각 모듈의 평균 상당 열관류율이 낮아지나 단순 열관류율과 비교

할 때 여전히 높은 수준을 유지하고 있다. 이것은 커튼월의 프레임이 상당한 열적취약 부위로서 건물의 에너지해석에서 반드시 반영되어야 하는 것을 의미한다.

3.2 건물의 냉난방부하

그림 4~6은 단순 및 상당 열관류율 적용방식에 따른 사례건물의 월별 및 연간 냉난방부하를 비교한 것이다. 여기서 (-)는 난방부하를 (+)는 냉방부하를 나타낸다. 상당 열관류율이 적용될 때 단순 열관류율에 비해 난방부하는 증가하고 있으나 냉방부하는 오히려 감소하는 것을 알 수 있다. 두 방식의 총 부하는 각각 313.9MWh/yr와 315.1MWh/yr로서 거의 일치하고 있으나, 상당 열관류이 적용된 연간 난방부하는 82.3MWh/yr로서 단순 열관류율 해석방식의 53.1MWh/yr에 비해 약 41.1% 증가하는 반면 냉방부하는 232.8MWh/yr로서 단순 열관류율이 적용된 255.7MWh/yr에 비해 9% 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같은 현상은 난방부하가 건물외피의 열성능에 좌우되는 반면, 냉방부하의 경우에는 일사나 내부발열 등에 주로 지배받으며 벽체의 열관류율이 높아질 때 배열에 따라 냉방부하가 오히려 감소하기 때문인 것으로 추정된다.

한편 실제 에너지소비량은 보일러나 냉동기 등의 열원시스템의 선택과 1·2차 에너지 기준설정에 따라 결정된다.

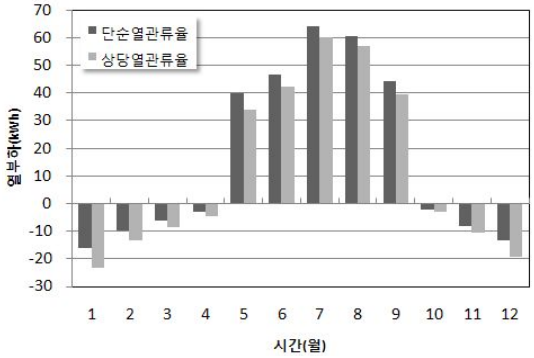


그림 4. 월별 냉·난방부하

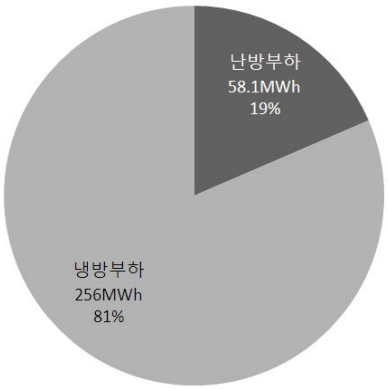


그림 5. 단순 열관류율에 따른 연간 냉·난방부하

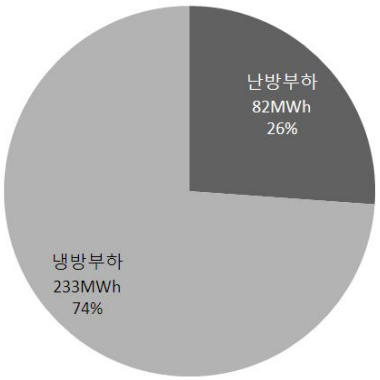


그림 6. 상당 열관류율에 따른 연간 냉·난방부하

4. 결 론

본 연구에서는 커튼월 구조를 갖는 사무소 건물의 에너지 성능평가 기법 개발의 일환으로서 열교부위를 포함한 커튼월의 상세 열전달이 건물의 연간 열성능에 미치는 영향을 평가하였다. 사례건물의 시뮬레이션 해석에 따른 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 커튼월 모듈에서 프레임을 포함한 불투과성 부위의 상당 열관류율은 2.48 ~ 3.33 W/㎡K로서 프레임을 제외한 불투과성 부위의 단순 열관류율 0.51W/㎡K에 비해 최소 4.8에서 최대 6.5배 이상 높은 수준인 것으로 분석되었다.

둘째, 커튼월 구조를 갖는 사무소 건물의

에너지 성능해석에서 상당 열관류율이 적용될 때 단순 열관류율에 비해 난방부하는 증가하나 냉방부하는 오히려 감소하는 것으로 분석되었다. 이에 따라 기존의 단순 열관류율 적용방식은 실제보다 냉방에너지가 과대평가되고 난방에너지는 과소평가될 가능성이 있다.

이상과 같이 커튼월 프레임 부위의 열적 취약성은 국부적인 열손실이나 결로 등과 같은 문제발생에 한정되지 않고 건물 전체의 열성능에 영향을 미치게 된다. 따라서 건물의 정확한 에너지성능평가를 위해서는 열교부위의 3차원 열전달해석을 통한 상당열관류율이 도입되어야 할 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2009-0089930)

참 고 문 헌

1. 강승희 외, 커튼월 단열 앵커링 유닛의 난방에너지 성능 및 경제성 평가, 大韓建築學會論文集 計劃系 19권 12호 통권82호, 2003
2. 송승영 외, 단열피복을 통한 주상복합건물 알루미늄 커튼월 패스닝 유닛의 에너지성능 향상에 관한 연구, 大韓建築學會論文集 計劃系 22권 2호 통권 08호, 2006
3. 구소영 외, 커튼월 불투명 벽체부의 열성능 평가에 관한 연구, 대한건축학회 제28권 제1호(통권 제52집), 2008
4. 구소영 외, 열교를 고려한 커튼월 벽체부의 열성능 평가에 관한 연구, 한국건축친환경설비학회 논문집 Vol.2, No.4. 2008
5. 신치웅, SI단위 공기조화설비, 기문당, 2008
6. 채영태 외, 초고층 사무소 건물의 부하특성 및 에너지 절약방안에 관한 연구, 공기조화냉동공학회, 1998
7. 건축물 공간별 표준운전프로필, 혁신도시 공공청사 에너지 절약 설계 가이드라인 시행계획, 국토해양부, 2010
8. Jan Kosny, Elizabeth Kossecka. Multi-dimensional heat transfer through complex building envelope assemblies in hourly energy simulation programs, 2002
9. Prechaya Mahattanatawe, The energy performance of the cold-formed steel-frame and wood-frame houses developed for Thailand.
10. EN ISO 6946, Building components and building elements. Thermal resistance and thermal transmittance, Calculation method.
11. EN ISO 10456, Building materials and products.
12. EN 673, Glass in building - Determination of thermal transmittance (U value) - Calculation method.
13. Physibel TRISCO and RADCON Manual, 2010
14. Visual DOE Manual, 2010
15. LBNL Therm 5.0 Manual, 2010