

초고층 주거건물 커튼월의 창호부 결로 성능평가에 관한 연구

A Study on the Condensation Performance of Curtain-wall Window in High-Rise Residential Building

석호태*
Seok, Ho-Tae

정만석**
Chung, Man-Seok

곽현철***
Kwak, Hyun-Chul

권종욱****
Kwon, Jong-Wook

Abstract

The purpose of this thesis is thermal performance simulation about various type that can apply in the high-rise residential building to estimate condensation performance of window that is consisted of frame and glazing in curtain wall. The result of this thesis are summarized as follows. First, condensation occurrence point when relative humidity is 30·40·50% is shortest Low-e double glass. Difference by type of gas and spacer was a little by 2~6 cm, among it, the case that apply krypton in gas and the case that apply double seal in spacer were less condensation occurrence distribution. Second, when analyzed improved proposal of window and existing plan through simulation, improved proposal is superior from general side of the interior and exterior temperature, thermal break surrounding temperature and temperature of frame end, condensation occurrence point etc. Therefore, if it was used improved proposal with effect that improve in curtain wall of high-rise residential building, it may improve window condensation performance of curtain wall.

Keywords : Window, Condensation, THERM 5 & WINDOW 5 simulation

주요어 : 창호, 결로, THERM 5 & WINDOW 5 시뮬레이션

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

초고층 주거건물이 새로운 주거문화의 이슈로 등장하고 있는 현재 상황에서 외피부하지배형 건축물인 주거건물의 특성상 초고층 주거건물의 외벽체가 기존의 벽식 고층 주거건물 또는 일반 주거건물의 벽체와는 달리 경증량 커튼월 시스템으로 벽체의 물적 특성과 구조가 변화함에 따라 열, 공기, 음, 빛환경 등 실내의 각종 환경요소에 많은 영향을 미치게 되었다. 특히 일반적인 오피스 건축물과는 달리 주거건물은 겨울철의 높은 실내 습도·24시간 건물의 사용 등 주거건축물의 고유한 특성에 의해 경량 외피부재로 인한 문제점들이 발생하고 있다. 대표적으로 경량 커튼월에서 외피부의 결로 및 단열문제, 세대간 벽체의 차음 및 전열문제, 그리고 기밀화에 따른 실내 공기의 오염 문제, 과도한 창면적비에 의하여 발생하게 되는 과도한 일사열의 내부침입, 겨울철 차가운 유리표면에

의한 실내 냉기류(Cold draft) 발생 및 냉복사에 의한 열적 불쾌적 등이 주요문제로 제기되고 있다. 또한 초고층에서는 저층보다 큰 온도변화와 낮은 온도로 인해 벽체 및 구조체를 통한 전열 및 결로 성능에 대한 요구도 한층 증가하고 있다. 이는 초고층 주거건물이 초고층 건축물에서 발생 가능한 모든 문제점들을 포함하고 있을 뿐만 아니라 가장 빈번히 일어나고 또 일어날 수 있는 가능성이 있기 때문이다.

본 연구에서는 건축열환경과 관련하여 건물 전체의 열손실량 중 20~40%를 차지하는 외벽체(벽체 및 창호부)중에서 가장 큰 열손실과 결로발생 문제를 일으키는 초고층 주거건물의 커튼월 창호부에 대해 결로 성능을 평가하여 창호부를 구성하는 요소들이 결로 성능에 미치는 영향을 비교·분석하고 창호부의 개선안을 제시하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 초고층 건축물의 전반적인 경향을 나타낼 수 있는 모델인 초고층 주거건물을 주 대상으로 선정하여, 커튼월 중에서 유리외 프레임으로 이루어진

*정회원, 영남대학교 건축학부 조교수, 공학박사
**정회원, 한일MEC 부설기술연구소 연구원, 공학석사
***정회원, 영남대학교 대학원 건축공학과 박사과정 수료
****정회원, 영남대학교 건축학부 부교수, 건축학박사

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구 지원으로 수행하였음.(과제번호 R01-2003-000-10408-0)

1) 한국에너지기술연구원(2000), 건물 에너지절약을 위한 제도 개선연구, 산업자원부

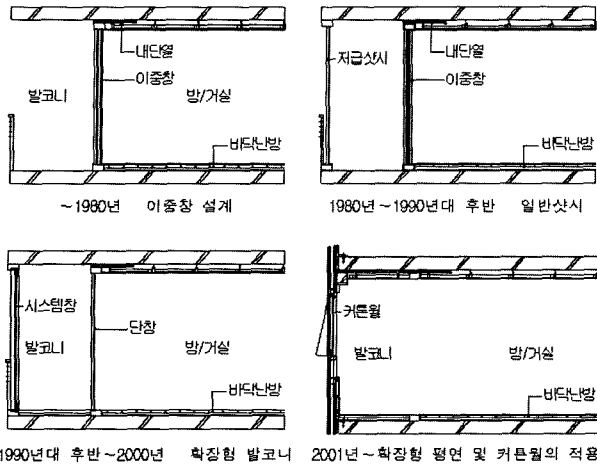


그림 1. 집합주택 외피 및 창호의 변천과정

창호부에 대한 결로 성능을 평가하기 위해 초고층 주거 건물에 적용 가능한 다양한 유형에 대해 전열해석 시뮬레이션을 실시하였다. 이에 창호부의 구성요소와 단열바가 창호부의 결로 성능에 미치는 영향을 파악하여 창호부의 결로 성능을 비교·분석·평가하고 개선안을 제시하였다.

II. 초고층 주거건물 외피시스템의 현황

1. 초고층 주거건물 커튼월의 외피설계 변화

건축의 발달에 따라 건축물의 외장에 대한 중요성도 꾸준히 증가하여 왔다. 건물의 외벽은 구조적인 기능 외에도 주위환경 및 건축주의 요구, 시공기술수준 등에 따라 다양한 형태를 연출하므로 건물의 첫인상을 결정짓는 중요한 역할을 하고 있다. 따라서 <그림 1>처럼 오늘날의 건축물들은 건물의 용도 및 특성에 적합한 외벽의 이미지를 창출함과 동시에 건축물의 요구 성능을 최적화할 수 있는 다양한 외피구조를 발전시키게 되었다.

2. 초고층 주거건물 커튼월에서 발생하는 결로 문제

커튼월이 적용된 초고층 주거건물에서는 건물 전체에 대한 창면적비가 60%에 육박하게 되어, 전체 벽체 면적 중 창호부가 차지하는 비중이 상당히 큼을 알 수 있다. 창호부는 조망, 채광 및 환기의 목적으로 설치되는 필수적인 부분인 동시에 외피부하지배형 건축물인 주거건물에서 열적으로 가장 취약한 부분이기도 하다. 특히, 창호부(유리+새시)에서 발생하는 스페이서(spacer, 간봉)의 냉교현상(cold edge)에 의해 유리의 가장자리부터 결로가 발생하게 되는 유리면 결로현상과 상당히 큰 전열특성(150 W/m²·°C)을 나타내는 알루미늄 프레임 부분에 발생하는 표면결로현상 등의 결로가 발생하고 있으며, Low-e 복층유리 또는 삼중유리로 강화하더라도 쉽게 개선하기 어려운 실정이다.

III. 창호부 구성요소별 성능평가를 위한 이론적 고찰

1. 시뮬레이션 개요

본 연구에서는 창호부를 통한 열손실의 문제점을 파악하기 위해 THERM 5와 WINDOW 5 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 창호부의 전열해석을 실시하였다. <그림 2>는 시뮬레이션의 진행 및 결과 분석 과정을 나타낸 것이다. 시뮬레이션을 위해 각 창호 구성부재의 재질은 대부분 THERM 5 프로그램의 라이브러리에 포함된 물질치를 사용하였다. 시뮬레이션 환경은 겨울철의 실내외 기준온도인 실내 -10°C, 실내 20°C로 설정하였으며, 창호형태는 커튼월에 사용되는 케이스먼트 프레임으로 12 mm 단층유리와 복층유리, 24 mm 복층유리가 들어갈 수 있는 것으로 설정하였다. <표 1>은 시뮬레이션에 사용될 창호부 구성부재별 재질과 경계조건을 나타낸 것이다.

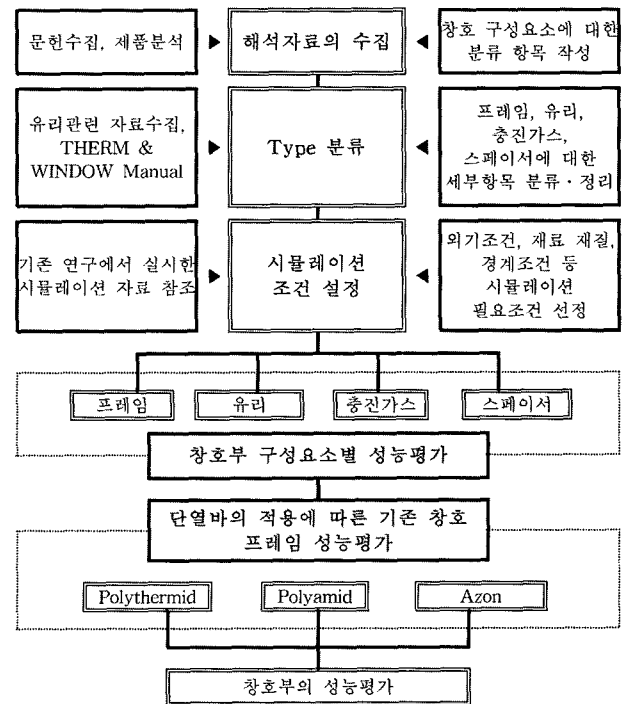


그림 2. 창호부의 성능평가를 위한 시뮬레이션 과정

표 1. 구성부재의 재질 및 경계설정

부위	재료	경계조건
Frame	Aluminum, Polyvinylchloride (PVC)/Vinyl-Rigid	Interior Aluminum Frame, Interior Wood/Vinyl Frame
Glazing	Single 12 mm CL(Clear), Double 12 mm CL, Double 24 mm CL, BL(Blue), BZ(Bronze), GN(Green), Low-e	Double 12 mm CL:U-factor inside Film
Etc.	Silica Gel(Desiccant), Polyisobutylene	Adiabatic
Space	Frame cavity - CEN simplified	NFRC 100-2001 Exterior(SHGC Exterior)

2. 창호부 구성요소별 분류

창호부는 크게 작동방식과 구성요소에 따라 분류할 수 있으며 구성요소에는 프레임·유리종류·충진가스·스페이서 등이 있는데, 각각의 분류에 따른 세부항목은 <표 2>와 같다. 본 연구의 성능평가에서는 작동방식을 제외한 프레임·유리종류·충진가스·스페이서가 사용되었으며 이를 이용하여 비교모델을 선정하였다.

3. 프로그램 검증을 위한 예비실험

커튼월에서 사용되고 있는 다양한 형태의 창호부에 대한 열적인 특성을 다룬 기존의 여러 논문들과 본 연구에서 진행한 모델들의 결로 성능평가 시뮬레이션 결과를 비교, 검증하고 실제 벽체에서 발생하는 열의 이동양상을 알아보기 위해 Y대학교 환경실험실에서 경증량 커튼월 외벽체의 축소모형을 제작하여 2004년 11월~2005년 2월에 걸쳐 축소모형 실험을 실시하였다. 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 기준모델에 대한 창호부의 결로 성능을 파악하기 위한 프로그램의 검증단계로 적외선 열화상 장치와 데이터로거를 이용하여 창호부 결로 양상을 실험실측한 결과와 시뮬레이션에 의한 결과값을 비교하여 시뮬레이션 프로그램 사용의 타당성을 제시하였다.

본 연구에서 진행하고자 하던 다양한 형태의 창호부 구성 형태들 중에서 기준모델로 선정한 알루미늄 새시 프레임과 24 mm 복층유리, 알루미늄 스페이서, 공기층으로 구성된 창호부의 형태를 실제 초고층 주거건물의 커튼월에 적용되고 있는 규모의 2/3 스케일로 다양한 온도 조건 설정이 가능한 실험챔버의 내부에 제작하였다.

시뮬레이션 결과와 모델 실험실측의 측정결과를 비교·분석하기 위해 창호부(프레임과 유리 접합부)의 수직 온도분포를 측정하였다. 검증의 비교 대상으로 창호부의 하단부를 선정하였는데, 이는 창호부의 상단부는 대류 및 인접한 벽체의 영향으로 온도분포가 부정확하여 대류나 인접한 벽체의 영향이 적은 창호부의 하단부가 시뮬레이션 결과와 모델 실험실측의 측정결과를 비교·분석하기에 적절하다고 판단되었기 때문이다.

<그림 3>은 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 프레임 을 포함한 창호부 수직 온도분포와 온도편차의 측정 결

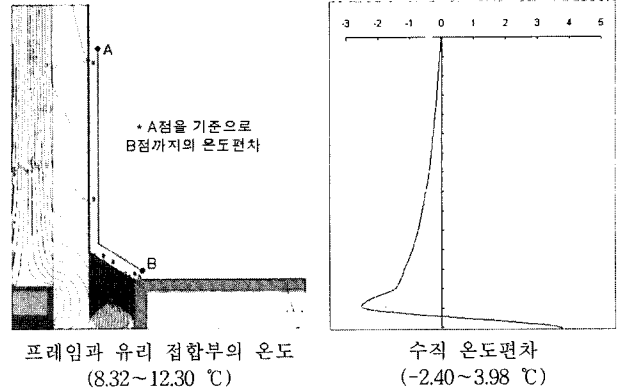


그림 3. 시뮬레이션에 의한 프레임과 유리의 온도 및 수직 온도편차

과를 시각적·수치적 기법으로 나타낸 것이다. <표 3>을 보면, 수직온도편차의 양상이 조금 차이가 나지만, 적외선 열화상 장치를 이용한 모델 실험실측의 측정결과와 도출된 결과와 거의 일치하는 것을 알 수 있다²⁾.

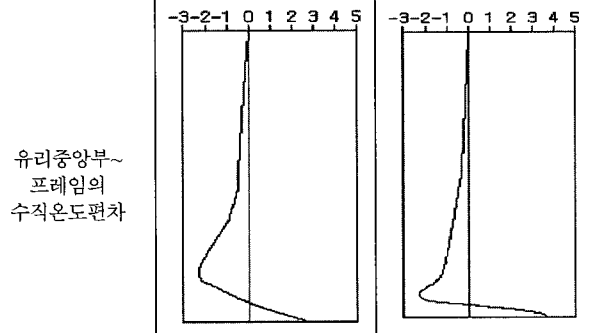
따라서, 시뮬레이션 프로그램을 이용한 결과가 적외선 열화상 장치와 데이터로거를 이용하여 실험실측한 결과와 일치하기 때문에 본 연구에서 프로그램을 이용한 기준모델의 결로 성능평가는 적절하다고 판단된다.

4. 성능평가 요소의 선정

비교의 기준으로 『알루미늄 프레임+24 mm 투명 복층 유리+공기+알루미늄 스페이서』로 구성된 『AD-24CLAA』타입을 선정하였으며, 구성요소별 조합에서 구성이 불가능하거나 현재 초고층 주거건물에 사용되지 않는 조합은 시뮬레이션 대상에서 제외하였다.

표 3. 실험실측 결과와 시뮬레이션 결과의 비교·검증(°C)

측정방법	실험실측 결과	시뮬레이션 결과	
	열화상 장치·데이터 로거	THERM Program	
표면 온도	창호부	12.10	12.30
	접합부	6.00	5.92
	유리중양부	8.40	8.32
온도편차(최대)	-2.4~3.7 (6.1)	-2.40~3.98 (6.38)	



2) 정만석(2004), 초고층 주거건물 커튼월의 창호부 전열 및 결로 성능평가에 관한 연구, 영남대학교 대학원 석사학위논문

표 2. 창호부 분류에 따른 세부항목

분류	세부항목		
작동방식	프로젝티드 창 또는 힌지 창, 슬라이딩 창, 폴딩 도어, 천장 및 지붕창		
구성요소	프레임	우드, 알루미늄, 비닐(PVC), 합성 프레임	
	유리종류	단층유리	2~15 mm (6 또는 12 mm)
		복층유리	12~28 mm (24 mm)
			투명, 청색, 황동색, 녹색, Low-e
	삼중유리	21~39 mm (36 mm)	
충진가스	공기, 아르곤, 크립톤		
스페이서	우드, 알루미늄, 스테인리스, 싱글셀, 더블셀, 복합 스페이서		

프레임은 열교차단재(Thermal Break)를 사용하지 않고 두께 12, 24 mm인 단층유리와 복층유리에 따라 프레임이 알루미늄과 PVC일 때로 분류하였고, 유리는 알루미늄과 PVC에 따라 각각 12 mm 단층유리와 복층유리, 24 mm CL, BZ, BL, GN 복층유리일 때로 분류하였다. 충전가스와 스페이서를 비교하기 위한 기본타입으로 프레임은 알루미늄, 유리는 복층유리 24 mm CL·BL, 충전가스는 공기, 스페이서는 알루미늄을 선정하였다. 이를 기준으로 충전가스는 공기·아르곤·크립톤의 세 가지 경우, 스페이서는 알루미늄·스테인리스 스틸·싱글셀·더블

표 4. 창호부의 구성요소별 분류를 통해 선정된 시뮬레이션 모델

분류	유형	프레임	유리종류	충진 가스	스페이서
Frame	ASNN	Aluminum	Single 12 mm	Air	Aluminum
	VSNN	Vinyl	Single 12 mm	Air	Aluminum
	AD-12CLAA	Aluminum	Double 12 mm	Air	Aluminum
	VD-12CLAA	Vinyl	Double 12 mm	Air	Aluminum
	AD-24CLAA	Aluminum	Double 24 mm CL	Air	Aluminum
	VD-24CLAA	Vinyl	Double 24 mm CL	Air	Aluminum
Glazing	ASNN	Aluminum	Single 12 mm	Air	Aluminum
	AD-12CLAA	Aluminum	Double 12 mm	Air	Aluminum
	AD-24CLAA	Aluminum	Double 24 mm CL	Air	Aluminum
	AD-24BZAA	Aluminum	Double 24 mm BZ	Air	Aluminum
	AD-24BLAA	Aluminum	Double 24 mm BL	Air	Aluminum
	AD-24GNAA	Aluminum	Double 24 mm GN	Air	Aluminum
	AD-24Low-eAA	Aluminum	Double 24 mm Low-e	Air	Aluminum
	VSNN	Vinyl	Single 12 mm	Air	Aluminum
	VD-12CLAA	Vinyl	Double 12 mm	Air	Aluminum
	VD-24CLAA	Vinyl	Double 24 mm CL	Air	Aluminum
	VD-24BZAA	Vinyl	Double 24 mm BZ	Air	Aluminum
	VD-24BLAA	Vinyl	Double 24 mm BL	Air	Aluminum
	VD-24GNAA	Vinyl	Double 24 mm GN	Air	Aluminum
	VD-24Low-eAA	Vinyl	Double 24 mm Low-e	Air	Aluminum
Gas	AD-24CLAA	Aluminum	Double 24 mm CL	Air	Aluminum
	AD-24CLArA	Aluminum	Double 24 mm CL	Argon	Aluminum
	AD-24CLKA	Aluminum	Double 24 mm CL	Krypton	Aluminum
	AD-24BLAA	Aluminum	Double 24 mm BL	Air	Aluminum
	AD-24BLArA	Aluminum	Double 24 mm BL	Argon	Aluminum
	AD-24BLKA	Aluminum	Double 24 mm BL	Krypton	Aluminum
Spacer	AD-24CLAA	Aluminum	Double 24 mm CL	Air	Aluminum
	AD-24CLASt	Aluminum	Double 24 mm CL	Air	Stainless Steel
	AD-24CLASi	Aluminum	Double 24 mm CL	Air	Single-seal
	AD-24CLAD	Aluminum	Double 24 mm CL	Air	Double-seal
	AD-24BLAA	Aluminum	Double 24 mm BL	Air	Aluminum
	AD-24BLASt	Aluminum	Double 24 mm BL	Air	Stainless Steel
	AD-24BLASi	Aluminum	Double 24 mm BL	Air	Single-seal
AD-24BLAD	Aluminum	Double 24 mm BL	Air	Double-seal	

$$\text{법례)} \frac{A}{\text{Frame}} + \frac{D-24+CL}{\text{Glazing}} - \text{두께} - \text{Color} + \frac{A}{\text{Gas}} + \frac{A}{\text{Spacer}}$$

Frame : A(알루미늄), (비닐)
 Grazing: S(싱글-두께), D(더블-두께)
 : CL(투명), BL(청색), BZ(황동색), GN(녹색), Low-e
 Gas : A(공기), Ar(아르곤), K(크립톤)
 Spacer : A(알루미늄), St(스테인리스 스틸), Si(싱글셀), D(더블셀)

셀의 네 가지 경우로 나누는 등 기준모델을 대상으로 창호부의 구성요소를 변화시키면서 창호에 미치는 영향을 각각 비교·분석하였다. <표 4>는 창호부의 구성요소별 분류를 통해 선정된 시뮬레이션 유형을 나타낸 것이다.

IV. 창호부의 결로 성능평가 결과 분석

1. 성능평가 결과 분석기법

본 연구에서는 초고층 주거건물에 사용되는 커튼월 창호부 구성요소(프레임, 유리, 충전가스, 스페이서)별 분류를 통해 기준이 되는 창호형태로 선정된 모델을 대상으로 창호부 구성요소를 변화시키면서 각 분류에 따른 열전달 특성과 열성능 해석 및 결로 여부의 판정 등을 하였다. 창호부의 시뮬레이션을 통해 도출된 결과는 <표 5>와 같이 실내의 온도차에 따른 창호 내부 표면의 온도분포(등온곡선), 열류흐름도, 각 부분의 온도와 U값(열관류율), 상대습도에 따른 결로 발생여부 등의 분석기법을 이용하여 비교·분석하고, 창호부를 구성하는 요소가 창호에 미치는 영향을 파악하였다.

성능평가의 결과는 지점별 온도변화에 따른 분포양상을 비교하여 결로가 발생하는 위치를 구하는 결로판정요소에 의한 기법으로 분석하였다. 결로판정요소에 의한 기법은 프레임과 유리 표면의 일정한 지점을 선정하여 각 요소별 온도를 그래프로 만들어 유리종류, 충전가스, 스페이서 등의 분류에 따른 온도분포를 비교하고, 이에 실내온도(20°C)와 상대습도의 변화에 따른 프레임 및 유리에 결로가 발생하는 위치와 거리를 도출하여 항목별로 결로가 발생하는 부분에 대한 비교와 분석을 실시하였다. 창호 구성요소별 분류에 의해 도출된 시뮬레이션 값을 프레임, 유리, 충전가스, 스페이서로 나뉘 정리하면, <표 6>과 같이 나타낼 수 있다.

2. 결로판정요소에 의한 결과 분석

본 절에서 창호부에서 결로 발생가능성이 있는 부분을 수치적 기법을 이용하여 분석하였다. 수치적 기법에 의한 시뮬레이션 결과 분석은 시각적 기법을 통한 방법으로는 확연히 구분할 수 없는 요소간의 미미한 차이를 도표나 선을 이용하여 한눈에 알아보기 쉽게 나타내는 방식으로 이루어진다.

이 절에서는 유리종류, 충전가스, 스페이서 등과 같이 거의 비슷한 Frame·SHGC Exterior·Edge·Glazing 값

표 5. 성능평가 결과 분석기법

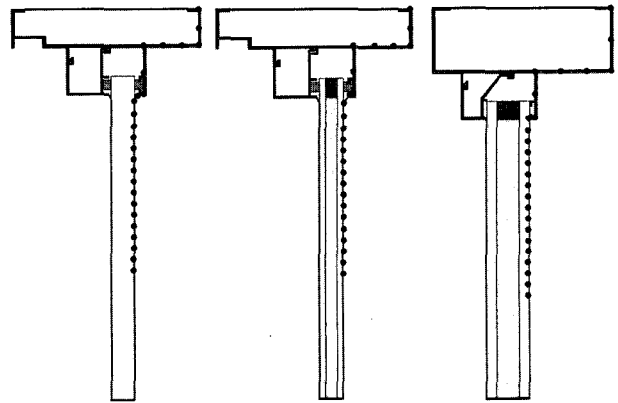
시각적 기법	수치적 기법	결로판정요소
· 창호의 실내외 온도차에 따른 창호내외 온도분포 (등온곡선) · 최고 최저의 열류량을 가지는 지점 · 열류흐름도	· 각 부분의 온도 · 각 부분의 열류속 vector · U값(열관류율)	· 상대습도 · 표면온도 · 표면열류량

표 6. 시뮬레이션을 통해 도출된 요소별 시뮬레이션 값
(단위: W/m² · K)

분류	유형	THERM 5 시뮬레이션 값				WINDOW 5 시뮬레이션 값
		Frame	SHGC Exterior	Edge	Glazing	Total Window U-factor
Frame	ASNN	9.203	9.455	5.273	5.550	5.910
	VSNN	3.609	2.961	5.352	5.550	5.135
	AD-12CLAA	9.219	9.736	3.426	3.184	4.025
	VD-12CLAA	3.559	3.218	3.299	3.184	3.219
	AD-24CLAA	8.922	9.234	3.237	2.700	3.833
	VD-24CLAA	3.153	2.918	3.147	2.700	2.826
Glazing	ASNN	9.203	9.455	5.273	5.550	5.910
	AD-12CLAA	9.219	9.736	3.426	3.184	4.025
	AD-24CLAA	8.922	9.234	3.237	2.700	3.833
	AD-24BZAA	8.924	9.230	3.208	2.676	3.813
	AD-24BLAA	8.928	9.207	3.172	2.672	3.806
	AD-24GNAA	8.924	9.228	3.208	2.678	3.829
	AD-24Low-eAA	8.929	9.321	2.640	1.695	3.085
	VSNN	3.609	2.961	5.352	5.550	5.135
	VD-12CLAA	3.559	3.218	3.299	3.184	3.219
	VD-24CLAA	3.153	2.918	3.147	2.700	2.826
	VD-24BZAA	3.201	2.937	3.091	2.676	2.810
	VD-24BLAA	3.220	2.950	3.104	2.672	2.813
	VD-24GNAA	3.202	2.935	3.091	2.678	2.812
	VD-24Low-eAA	3.187	2.982	2.489	1.695	2.072
Gas	AD-24CLAA	8.922	9.234	3.237	2.700	3.833
	AD-24CLArA	8.925	9.246	3.109	2.538	3.708
	AD-24CLKA	8.925	9.251	3.079	2.469	3.658
	AD-24BLAA	8.928	9.207	3.172	2.672	3.806
	AD-24BLArA	8.923	9.250	3.109	2.514	3.692
	AD-24BLKA	8.923	9.255	3.079	2.448	3.644
Spacer	AD-24CLAA	8.922	9.234	3.237	2.700	3.833
	AD-24CLASt	8.918	9.234	3.231	2.700	3.831
	AD-24CLASi	8.879	9.230	3.182	2.700	3.817
	AD-24CLAD	8.876	9.227	3.180	2.700	3.816
	AD-24BLAA	8.928	9.207	3.172	2.672	3.806
	AD-24BLASt	8.917	9.234	3.201	2.672	3.809
	AD-24BLASi	8.886	9.226	3.165	2.672	3.797
	AD-24BLAD	8.875	9.228	3.150	2.672	3.793

을 가지는 요소들을 <그림 4>와 같은 프레임과 유리의 일정한 지점을 선정하여 각 요소별 온도를 그래프로 만들어 유리종류, 충전가스, 스페이서 등의 분류에 따라 비교·분석을 실시하였다. 비교 지점은 유리종류에 따른 온도분포를 살펴본 결과, 프레임과 유리 접합부에서의 거리가 70 cm 이후에는 온도분포가 일정하게 나타나, 프레임의 각 대표 지점과 유리표면 5 cm 간격으로 17개 지점을 포함해서 유리종류에 따라 각각 25개 지점을 선정하여 지점별 온도분포 양상을 분석하였다. 실내온도(20°C)와 상대습도의 변화에 따라 프레임 및 유리의 결로 발생 위치와 거리를 도출해 낼 수 있었다. <표 7>은 실내온도 20°C일 때 상대습도에 따른 결로 발생온도를 나타낸 것이다.

상대습도가 60% 이상이면 결로 발생온도가 12°C 이상



12 mm 단층유리 12 mm 복층유리 24 mm 복층유리
그림 4. 수치적 기법으로 분석하기 위한 비교 지점의 선정

표 7. 실내온도 20°C일 때 상대습도에 따른 결로 발생온도

구분	상대습도(%)				
	30	40	50	60	70
결로발생온도(°C)	2	6	9.4	12	14.5

으로 나타나게 된다. 전체 유리종류에서 가장 높은 온도를 나타내는 유리중양부 표면온도가 12°C 보다 낮기 때문에 모든 유리면에 결로가 발생하는 것으로 나타났다. 이에 상대습도가 30%, 40%, 50%일 때로 나누어 각각 창호부를 구성하는 요소별 분류에 따른 결로 발생영역(유리와 프레임의 접합부로부터의 거리)을 비교·분석하였다.

1) 상대습도별 유리종류에 따른 결로 발생지점

<그림 5>는 프레임이 알루미늄일 때 유리종류에 따른 결로 발생지점을 나타낸 것이다. 프레임의 표면온도가 0~4°C 범위에 있어 상대습도와 상관없이 항상 프레임에는 전구간에 걸쳐 결로가 발생하고 있다. 상대습도 30%일 때 24 mm Low-e 복층유리는 7 cm, 24 mm 나머지 복층유리는 9 cm, 12 mm 복층유리는 13 cm까지 결로가 발생하였고, 상대습도 40%일 때 24 mm Low-e 복층유리는 18 cm, 24 mm 나머지 복층유리는 30 cm, 12 mm 복층유리는 42 cm까지 결로가 발생하는 것으로 나타났다. 상대습도 50%일 때는 Low-e 복층유리는 38 cm까지

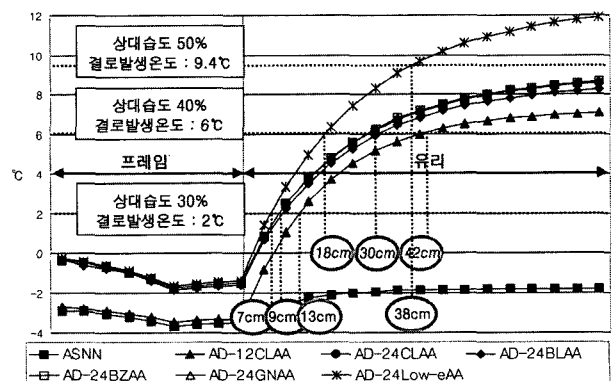


그림 5. 유리종류에 따른 결로 발생지점(알루미늄 프레임)

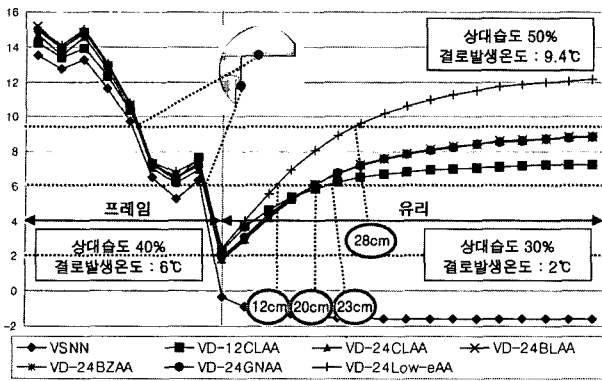


그림 6. 유리종류에 따른 결로 발생지점(PVC 프레임)

결로가 발생하지만 나머지 유리들은 유리전체에 결로가 발생하는 것으로 나타났다. 단층유리는 상대습도와 상관 없이 유리전체에 결로가 발생하는 것으로 나타났다.

<그림 6>을 보면, 프레임이 PVC일 때 프레임의 표면 온도가 2~16°C 범위에 있어 상대습도가 30%일 때 단층 유리만 전체 유리면에 결로가 발생하고 나머지 복층유리 전부는 모든 영역에서 결로가 발생하지 않는 것으로 나타났다. 상대습도 40%일 때는 24 mm Low-e 복층유리는 프레임과 유리의 접합부에서 12 cm, 24 mm 나머지 복층유리는 20 cm, 12 mm 복층유리는 23 cm까지 결로가 발생되는 것으로 나타났다. 상대습도 50%일 때는 Low-e 복층유리는 28 cm까지 결로가 발생하지만 나머지 유리들은 유리전체에 결로가 발생하는 것으로 나타났다. <표 8>은 상대습도별 유리종류에 따른 결로 발생지점을 알루미늄과 PVC 프레임으로 나누어 정리한 것이다.

2) 상대습도별 충전가스 및 스페이서의 변화에 따른 결로 발생지점

<그림 7>과 <그림 8>을 보면, 충전가스와 스페이서의 변화에 따른 결로 발생지점을 파악할 수 있다. <표 9>

표 8. 상대습도별 유리종류에 따른 결로 발생지점 (단위: cm)

시뮬레이션 모델		상대습도(%)						
프레임	유리종류	30		40		50		
		프레임	유리	프레임	유리	프레임	유리	
알루미늄	단층유리	전체	전체	전체	전체	전체	전체	
	복층유리	12 mm 투명	전체	13	전체	42	전체	전체
		24 mm 투명	전체	9	전체	29	전체	전체
		24 mm 청색	전체	9.2	전체	30	전체	전체
		24 mm 황동색	전체	9	전체	29	전체	전체
		24 mm 녹색	전체	9	전체	29	전체	전체
		24 mm Low-e	전체	7	전체	18	전체	38
PVC	단층유리	없음	전체	하단	전체	중간	전체	
	복층유리	12 mm 투명	없음	없음	하단	23	중간	전체
		24 mm 투명	없음	1	하단	20	중간	전체
		24 mm 청색	없음	1	하단	20	중간	전체
		24 mm 황동색	없음	1	하단	20	중간	전체
		24 mm 녹색	없음	1	하단	20	중간	전체
		24 mm Low-e	없음	없음	하단	12	중간	28

와 <표 10>은 상대습도별 충전가스 및 스페이서의 결로 발생지점을 정리한 것으로, 상대습도 30%일 때 6.5~9

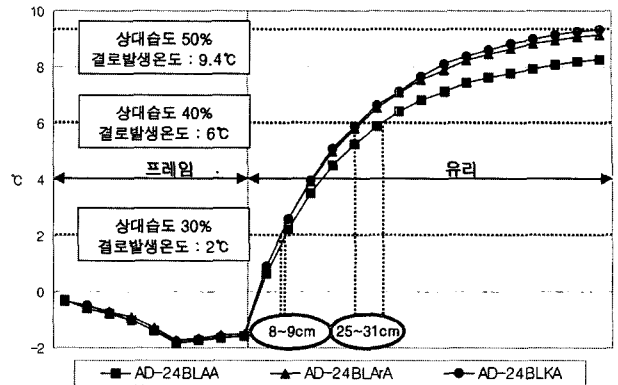


그림 7. 충전가스에 따른 결로 발생지점(24 mm BL)

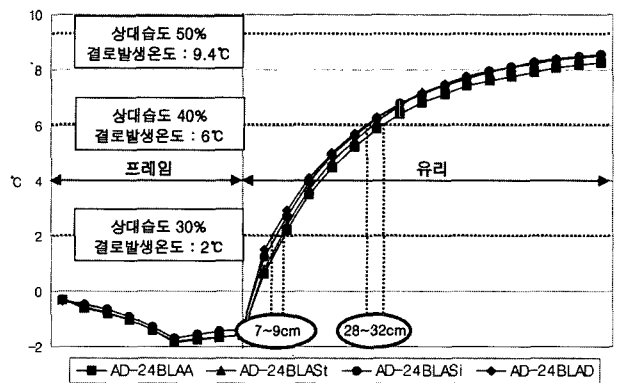


그림 8. 스페이서에 따른 결로 발생지점(24 mm BL)

표 9. 상대습도별 충전가스의 변화에 따른 결로 발생지점 (단위:cm)

시뮬레이션 모델		상대습도(%)		
24 mm 복층유리	충진가스	30	40	50
	공기	8	28.5	전체
	아르곤	8	25.5	전체
AD-24CL_A	충진가스	30	40	50
	공기	9	31	전체
	아르곤	8	26	전체
AD-24BL_A	충진가스	30	40	50
	공기	9	31	전체
	아르곤	8	25	80

표 10. 상대습도별 스페이서의 변화에 따른 결로 발생지점 (단위:cm)

시뮬레이션 모델		상대습도(%)		
24 mm 복층유리	스페이서	30	40	50
	알루미늄	8.5	28	전체
	스테인리스	8.5	28	전체
AD-24CLA_	스페이서	30	40	50
	싱글셀	6.5	27	전체
	더블셀	6.5	27	전체
AD-24BLA_	스페이서	30	40	50
	알루미늄	9	31.5	전체
	스테인리스	9	31.5	전체
AD-24BLA_	스페이서	30	40	50
	싱글셀	7	27.5	전체
	더블셀	6.5	27.5	전체

cm, 40%일 때 25~31.5 cm까지 결로가 발생하는 것으로 나타났다. 50%일 때는 크립톤이 80 cm까지 결로가 발생하지만 다른 경우에는 유리전체에 결로가 발생하는 것으로 나타났다. 충전가스나 스페이서의 변화에 따른 차이는 2~6 cm 정도로서 공기나 알루미늄을 사용한 비교 대상을 제외하면 각각의 요소에 따른 변화는 크지 않은 것으로 나타났다. 그 중에 충전가스는 크립톤, 스페이서는 더블셀을 적용한 경우가 가장 결로가 적게 발생하는 것으로 나타났다.

3. 단열바의 적용에 따른 기존 창호 프레임 성능평가 결과 분석

창호부를 구성하는 요소별 성능평가를 실시한 결과, 프레임의 변화에 따라 창호 프레임을 통한 열손실이 상당한 차이가 난다는 것을 알 수 있었다. 프레임의 구성재료에 따라 실내외의 표면온도편차가 크게 나타나며, 알루미늄보다는 PVC가 에너지 측면에서 유리한 것을 알 수 있다. 하지만 이론적인 해석상 PVC 프레임의 사용이 유리한 것으로 나타났지만, PVC의 경우 내화성 및 내유독성의 낮아 단일 재료로만 사용이 불가능하여 현재 업체에서는 커튼월의 단열 성능개선을 목적으로 창호 프레임에 단열바가 적용된 알루미늄 프레임 창호를 많이 사용하고 있으며, 알루미늄 프레임에 흔히 Thermal Break라고 불리는 열저항값이 높은 단열바가 삽입되어 단열바가 실내외 알루미늄 프레임을 연결하면서 한편으로는 프레임을 통한 열교를 사전에 차단하여 단열 및 결로방지 성능을 개선한 방식을 대부분 채택하고 있다.

그래서 현재 업체에서 커튼월에 적용하고 있는 창호 프레임에 단열바가 적용된 사례를 시뮬레이션하기 위해 현재 많이 사용중인 제품들에 대한 시장조사 결과, 업체마다 알루미늄 커튼월의 단열 성능을 개선하기 위해 <표 11>처럼 다양한 재료 및 형태의 열교차단재를 사용하는 것으로 나타났다. 이를 기준으로 열교차단재의 변화에 따른 창호부 온도 및 결로 발생지점을 비교·분석해 보았다. <그림 9>는 열교차단재의 적용 형태를 변화시켰을 때의 창호부의 온도 및 결로 발생지점을 비교하기 위해 사용된 단열바가 적용된 창호 프레임의 형태를 나타낸 것이다.

<표 12>는 단열바의 변화에 따른 각기 다른 형태의 창호 프레임에 나타나는 온도 및 상대습도·단열바·창호 프레임의 변화에 따라 나타나는 결로 발생지점을 나타낸 것이다. Thermal Break에서 Polyamid와 Polythermid는 물성치와 열관류율이 유사하여 결과가 동일하게 나타나

같이 기술하였다. A와 B 형태에서 Azon의 프레임 온도가 Polyamid·Polythermid와 거의 비슷한 것으로 나타났다.

프레임의 말단부 온도가 14.15~14.53°C 로 프레임에는 결로가 발생하지 않는다. 유리는 상대습도 30%에서는 결로 발생지점이 없고, 40%에서는 A 형태는 13 cm, B 형태는 6 cm 까지 결로가 발생하는 것으로 나타났다. 50%에서는 유리 전체에 결로가 발생하는 것으로 나타났다.

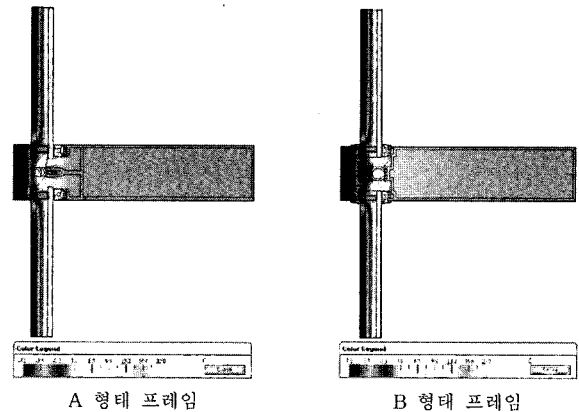
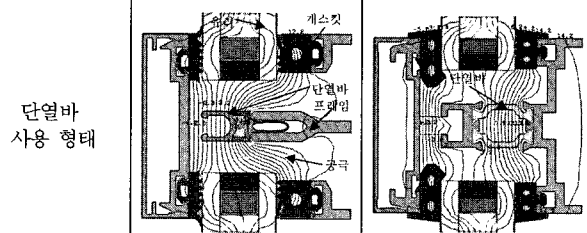


그림 9. 비교를 위한 단열바 적용 창호 프레임

표 12. 단열바의 변화에 따른 창호 프레임의 온도 및 결로 발생지점

창호 프레임	A 형태		B 형태		
Thermal Break	Polyamid (Polythermid Bar)	Azon	Polyamid (Polythermid Bar)	Azon	
U-factor	0.25	0.17	0.25	0.17	
표면온도 (°C)	실외	-5.45	-5.55	-6.05	-6.05
	실내	15.57	15.63	15.35	15.42



프레임온도(°C)	14.48 이상	14.53 이상	14.15 이상	14.18 이상
상대습도 (%)	30	-	-	-
	40	13	13	6
	50	전체	전체	전체

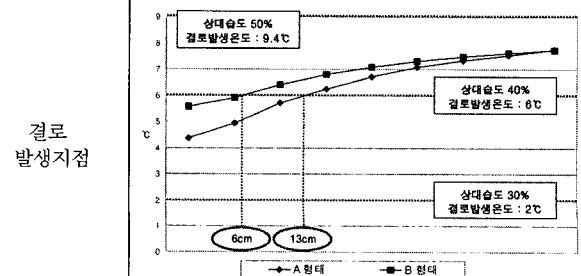


표 11. 창호 프레임에 단열바가 적용된 사례

커튼월 Type	적용된 Thermal Break	열전도율(W/m·K)
알루미늄	Polyamid	0.25
	Polythermid Bar	0.25
	Azon	0.17

유리의 표면온도를 측정한 결과, Azon과 Polyamid · Polythermid가 같은 온도분포 양상을 나타내는데, 이를 통해 단열바는 단열바를 통해 전달되는 창호부의 전열을 막아 실내 창호 프레임의 온도가 떨어지는 것을 방지하는 역할을 하지만 단열바의 종류에 따른 창호부 유리의 온도차는 크지 않은 것을 알 수 있었다.

4. 창호부 개선안의 제안

본 절에서는 창호부 구성요소별 분류와 기존 창호 프레임에 Thermal Break를 변화함에 따라 분석한 결과를 바탕으로 창호 프레임의 절로 성능을 개선할 수 있는 개선안을 제안하고자 한다. 창호부 구성요소별 분류에 의한 결과 분석에서 가장 우수한 것으로 선정된 것을 최종 개선안으로 도출하였다. 이렇게 도출된 개선안은 현재 커튼월에 적용되고 있는 기존안과 비교하여 개선안의 우수성을 검증하였다. 기존안은 프레임은 알루미늄, 유리는 24 mm Low-e 복층유리, 충전가스는 공기, 스페이서는 알루미늄, Thermal Break는 Azon을 채택했으며, 개선안은 프레임은 알루미늄, 유리는 24 mm Low-e 복층유리, 충전가스는 크립톤, 스페이서는 더블셀, Thermal

Break는 Azon을 채택하였다. 나머지는 기존안과 개선안이 모두 동일하다는 조건하에서 시뮬레이션을 실시하였다. <표 13>은 현재 사용중인 기존안과 창호 프레임의 개선안을 시뮬레이션한 결과를 비교하기 위해 정리한 것이다.

프레임 온도는 기존안이 실내의 온도차가 21.72°C, 개선안은 실내의 온도차가 24.23°C 로 나타나 실내의 온도차에서 2.5°C 정도 개선안이 유리한 것을 알 수 있다. 단열바의 사용 형태에서 단열바(기존안: 12.97°C, 개선안: 14.97°C) 및 스페이서의 온도분포가 기존안보다 개선안이 양호한 것으로 나타났다. 프레임의 말단부 온도가 기존안은 14.53°C, 개선안은 16.29°C로 나타나 실내온도 20°C의 경우 상대습도 70%까지는 모두 절로가 발생하지 않는 것으로 나타났다. 프레임과 유리의 접합부에서 유리중앙부까지의 온도는 기존안이 6.3~11.13°C, 개선안은 12.44~13.52°C으로 나타났다. 기존안은 상대습도 50%에서 22 cm까지 절로가 발생하고 그 이상의 상대습도에서는 유리 전체에 절로가 발생하는 것으로 나타났지만, 개선안은 상대습도 60%까지는 절로가 발생하지 않고, 60~70%사이에서 절로가 발생하는 것으로 나타났다.

기존안과 개선안을 시뮬레이션을 통해 종합적으로 분석한 결과, 개선안이 기존안에 비해 실내의 표면온도, 단열바 주변 온도 및 온도편차, 열류량, 프레임의 말단부 온도, 절로 발생지점 등 전반적으로 우수한 것으로 나타났다.

V. 결 론

본 연구는 창호부의 구성요소와 단열바가 창호부의 절로 성능에 미치는 영향을 파악하여 창호부의 절로 성능을 평가하였다. 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 30·40·50%의 상대습도별로 유리종류에 따른 절로 발생지점을 분석한 결과, 알루미늄·PVC의 프레임에 따라 절로가 발생하는 위치는 차이가 있었지만, Low-e 복층유리가 다른 유리들에 비해 절로가 적은 부위에서 발생하는 것으로 나타났다. 충전가스 및 스페이서의 절로 발생위치는 충전가스나 스페이서의 변화에 따라 2~6 cm 정도로 나타나 공기와 알루미늄을 사용한 비교대상을 제외하면 각각의 요소에 따른 변화는 크지 않은 것으로 나타났다. 그 중에 가장 우수한 단열성능의 충전가스는 크립톤, 스페이서는 더블셀을 적용한 경우가 가장 절로가 적게 발생하는 것으로 나타나 절로방지 성능이 우수한 것으로 나타났다.

2) 단열바의 적용에 따른 창호 프레임의 결과에서 프레임 및 유리의 표면온도는 Azon과 Polyamid · Polythermid가 거의 비슷한 온도분포 양상을 나타내는데, 이를 통해 단열바는 단열바를 통해 전달되는 창호부의 전열을 막아 실내 프레임의 온도가 떨어지는 것을 방지하는 역할을 하지만 단열바의 종류에 따른 창호부 유리의 온도차는

표 13. 현재 사용중인 기존안과 창호 프레임의 개선안과의 비교

창호 프레임		기존안	개선안
프레임		알루미늄	알루미늄
유리		24 mm Low-e 복층유리	24 mm Low-e 복층유리
충진가스		Air	Krypton
스페이서		알루미늄	더블셀
Thermal Break		Azon	Azon
표면온도 (°C)	실외	-6.00	-7.15
	실내	15.72	17.08
단열바 사용 형태			
프레임 온도(°C)		14.53 이상	16.29 이상
상대습도 (%)	50	22	-
	60	전체	-
	70	전체	전체
절로 발생지점			

크지 않은 것을 알 수 있었다.

3) 『알루미늄 프레임+24 mm Low-e 복층유리+크립톤 충전가스+더블셀 스페이서+Azon 단열바』로 구성된 개선안이 기존안에 비해 실내의 표면온도, 프레임의 말단부 온도, 결로 발생지점 등의 전반적인 면에서 우수한 것으로 나타났다. 특히 상대습도 60%에서 기존안이 유리전체에 걸쳐 결로가 발생하는 반면 개선안은 전혀 결로가 발생하지 않는 것으로 나타나 초고층 주거건물의 커튼월에 개선안을 적용할 경우 커튼월 창호부의 결로 발생을 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구에서는 커튼월 창호부의 결로 발생을 줄일 수 있는 개선안을 제시하기 위해 창호부 구성요소별 분류와 단열바의 적용에 따른 기존 창호 프레임에 대한 성능을 평가하였다. 향후 더욱 정확한 성능평가를 위해 창호부를 구성하는 요소들과 단열바 등을 적용함에 따른 LCC 분석과 연간 에너지 소비량 분석, 실험에 의한 검증 등의 종합적인 검토가 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 석호태·곽현철·송승영(2004), 초고층 주거건물 외피시

스템의 현황조사 및 분석, 한국주거학회논문집 제15권 제5호
 2. 심정일·조 수·허정호(2001), 창문의 열성능 개선에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회, vol.21 n.2
 3. 안정혁·조 수·장문석·이풍현(2002), 시뮬레이션을 이용한 창호의 결로 판정에 관한 연구, 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, pp. 548-553
 4. 이진성·조 수·장문석·장철용·유세웅(2002), 유리조합에 따른 창호시스템의 열성능에 관한 연구, 대한설비공학회 동계학술발표회 논문집, pp. 635-640
 5. 정만석(2004), 초고층 주거건물 커튼월의 창호부 전열 및 결로 성능평가에 관한 연구, 영남대학교 대학원 석사학위논문
 6. ASHRAE(2001), ASHRAE Fundamental Handbook Chapter 30. Fenestration, ASRAE
 7. Lawrence Berkeley National Laboratory(2000), THERM 2.1 Sim Manual, Lawrence Berkeley National Laboratory
 8. Lawrence Berkeley National Laboratory(2003), THERM 5 & WINDOW 5 NFRC Simulation Manual, Lawrence Berkeley National Laboratory.

(接受: 2005. 5. 12)