

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 27, No. 1, 2007

공동주택 세대내 발코니 유형별 창호의 냉난방 에너지 성능 분석 연구

윤종호*, 안영섭**, 김병수***, 황상근****

*한밭대학교 건축공학과(jhyoon@hanbat.ac.kr), **한밭대학교 대학원 건축공학과(rnsqks8646@daum.net), ***한밭대학교 건축공학과(bskim@cnu.ac.kr), ****(주)알루ENC(skhwang@aluenc.com)

A Study on the Energy Performance Evaluation of Window System with the Balcony Types of Apartments

Yoon, Jong-Ho*, An, Young-Sub**, Kim, Byoung-Soo***, Hwang, Sang-kun****

*Department of, Architectural Engineering., Hanbat National University(jhyoon@hanbat.ac.kr)

**Department of, Architectural Eng., Graduate School, Hanbat National University(rnsqks8646@daum.net),

***Department of, Architectural Engineering., Hanbat National University(bskim@cnu.ac.kr),

****Research & Development Team of AluENC Corporation(skhwang@aluenc.com)

Abstract

Apartment balcony has been indiscreetly remodeled since the government permitted remodeling on January 2006. But remodeled balcony has a few problems such as increase of heating energy, surface condensation and cold draft. The reason of thermal problem is mainly caused by the window system in a extended balcony. The purpose of this study is to analyze heating and cooling energy and propose the efficient window types for the extended balcony area of a apartment building. 4 types of window system which have fairly high U value in Korea are investigated as follows ; double clear glass, double low-e glass, triple clear glass and triple low-e glass. Comparing double clear glass with double low-e glass, triple clear glass and triple low-e glass, simulation results show that 10%, 7% and 15% saving of total primary energy can be expected.

Keywords : 확장형 발코니(Extended Balcony), 고단열 창호(High performance window), 에너지소비량(Energy consumption), 유리(Triple glazing), 로이유리(Low-E Glazing)

접수일자:2007년 2월 18일, 심사완료일자:2007년 3월 18일

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

최근 고유가의 지속 및 에너지수요의 증가로 전체 에너지 수입액은 무려 500억불(약 50조)을 초과해 국가 총 수입액의 22%를 차지하고 있다. 한편 국내 총에너지 소비량의 1/4에 해당하는 24%의 에너지가 건물분야에 소비되고 있다. 특히 건축물에 있어서 창호는 조망, 채광 및 환기 등을 위해서 필수적인 부분이지만 다른 외부구조물에 비해 열관류율이 약 5배 이상 크기 때문에 건물전체의 에너지소비량의 20-40%를 차지하고 있다. 또한 2006년 공동주택의 발코니 확장 개조공사가 합법화 되면서 연간 에너지소비량의 증가, 결로 문제로 인한 실내 쾌적성저하 및 건축재료의 내구성 문제, 콜드드래프트, 하절기 과열현상 등 많은 문제들이 발생하고 있다.

따라서 본 연구에서는 국내에서 생산되고 있는 비교적 고단열성능을 나타내는 이중투명창호, 이중로이(low-E, low-Emissivity)창호, 삼중투명창호, 삼중로이(low-E)창호를 대상으로, 공동주택의 확장형 발코니와 비확장형 발코니에 대해 창호 종류에 따른 아파트 세대의 최대냉난방부하 및 연간 에너지소비량의 변화를 평가하는 데 연구의 목적이 있다.

1.2 연구방법 및 내용

본 연구의 해석대상창호는 국내에서 생산·시공되고 있는 공동주택 발코니창호 중 비교적 단열성능이 우수한 4개 종류를 선정하였다. 기존의 공동주택 연간에너지 소비량을 조사한 선행연구 결과 및 표준 입력조건을 이용하여 단위세대 해석모델을 설정하였다. 발코니가 있는 경우와 이를 확장하여 하나의 공간으로 리모델링한 경우의 2개 해석모델을 수립하여 다양한 창호 종류에 따른 순간최대냉난방부하 및 연간 냉난방에너지 소비량을 비교, 분석하였다.

2. 국내 고단열 창호의 특성평가

2.1 국내 적용 중인 일반적 창호 형태

국내 창호업체를 대상으로 현재 건물에 일반적으로 적용되고 있는 창문의 유형을 조사하였다. 창문에 적용한 유리는 투명단창(Single), 이중(Double), 삼중(Triple)이며, 이중로이(low-E, low-Emissivity)유리와 삼중로이유리에 로이코팅된 유리가 고단열성 창호이다. 창틀은 알루미늄과 PVC, 목재 등이며 이중 PVC가 가장 많이 사용되는 것으로 조사되었다. 간봉(Spacer)은 알루미늄이 주를 이루며, 최근 일부 플라스틱 등의 단열간봉도 점차 사용되고 있다. 프레임 열교 차단재(Thermal Breaker)로는 PVC, 우레탄 계열의 합성수지가 적용되고 있다.

2.2 창호성능 평가 분석

해석대상 창호의 단열성능 평가 및 에너지소비량 해석을 위한 열적, 광학적 입력자료 도출을 위해 현재 이 분야의 세계적 표준으로 인정되고 있는 미국 LBNL의 Window 및 Therm 프로그램을 사용하였다. 본 연구에서는 창호의 열성능을 분석하기 위해 이중투명창호, 이중로이창호, 삼중투명창호, 삼중로이창호 등 총 4개 창호를 선정하였다.

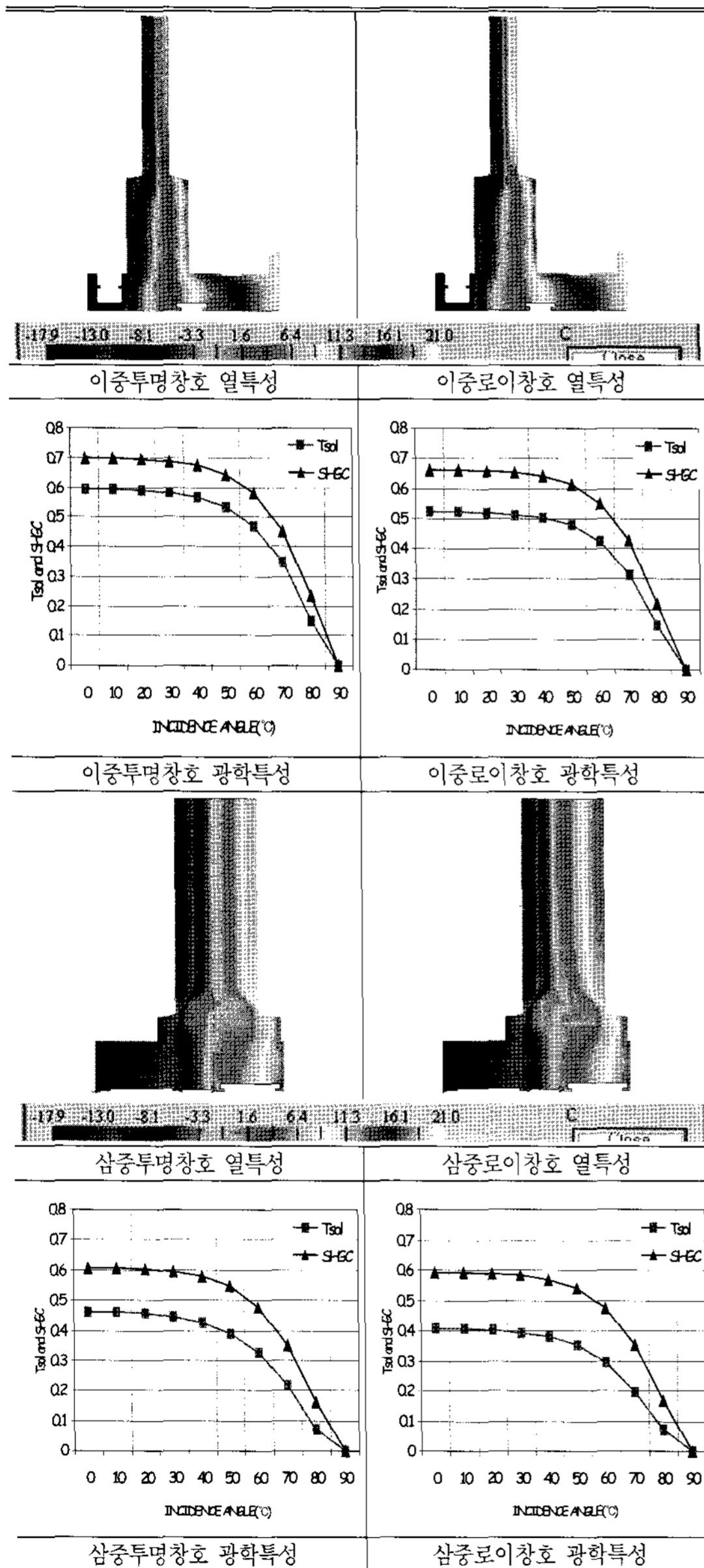
표 1. 창호별 열 및 광학특성 해석결과

창호의 종류	기호	두께 (mm)	구성	U-factor (W/m ² -k)	SHGC
이중 투명창호	PDC	24	6CL+12A+6CL	2.407	0.69
이중 로이창호	PDL	24	6CL+12A+6LE	1.903	0.66
삼중 투명창호	PTC	52	6CL+18.5A+3CL+18.5A+6CL	1.702	0.61
삼중 로이창호	PTL	52	6CL+18.5A+3LE+18.5A+6CL	1.422	0.59

CL:투명유리, LE:로이유리, A:공기층
 PDC : PVC프레임의 이중투명창호 PDL : PVC프레임의 이중로이창호
 PTC : PVC프레임의 삼중투명창호 PTL : PVC프레임의 삼중로이창호

표 1은 창호 종류에 따라 입사각에 변화 따른 일사획득계수(SHGC) 및 태양투과율(Tsol) 해석결과 및 프레임의 열전달 해석결과이다.

표 2. 창호 종류별 열 및 광학특성 분석결과



열적인 특성으로 창호를 구성하고 있는 유리, 프레임, 간봉, 열교차단재를 통합적으로 고려한 종합 열관류율을 계산하였다. 광학적 특성으로는 창호를 통해 유입되는 태양복사량을 정량적으로 분석하기 위해 일사획득계수(SHGC), 태양투과율(Tsol)을 입사각별로 계산하였다. 창호 유형별 구성 및 종합 열관류율, 일사획득계수에 대한 최종 결과를 표 2에 나타내었다.

PVC프레임이 통합된 종합 열관류율은 이중투명창호가 $2.407W/m^2-k$ 로 가장 높게 나타났으며, 이중로이창호는 $1.903W/m^2-k$, 삼중투명창호는 $1.702W/m^2-k$, 삼중로이창호는 $1.422W/m^2-k$ 의 순으로 열관류율이 낮아지는 것으로 평가되었다. 일사획득 특성은 이중투명창호의 SHGC가 69%로 가장 높았으며, 이중로이창호 66%, 삼중투명창호 61%, 삼중로이창호 59% 순으로 나타났다. 각 창호의 입사각별 광학적 특성 및 열특성 해석 결과는 다음단계의 건물에너지 소비량평가를 위한 입력자료로 적용하였다.

3. 공동주택 에너지 해석방법 및 기준모델

공동주택 창호종류별 에너지소비량 평가를 위한 해석도구는 ESRU의 ESP-r를 사용하였다. 공동주택 남측 발코니공간은 일종의 자연형 태양열 온실공간이기 때문에 해석시 여러 측면을 고려해야 하며, 이들 결과에 의해 해석의 정밀도 및 신뢰성도 크게 좌우될 수 있다. ESP-r은 EU에서 자연형 태양열 시스템해석을 위해 유럽내 표준프로그램으로 지정된 바 있으며, BEST TEST를 통해 전세계 대표적 시간별 해석 프로그램들과 함께 신뢰성에 대한 세부적 검증도 입증되었다. 특히 수치해석적 알고리즘을 기반으로 하고 있기 때문에 국내 공동주택의 해석용 평가도구로 가장 적합한 것으로 판단된다.

창호의 프레임은 PVC로 통일하였으며 열적인 특성과 광학적인 특성으로 구분하여 실시하였으며,

해석 대상건물은 가장 일반적 형태를 가진 남향의 35평 15층 규모의 실제 공동주택을 대상으로

하였으며, 해석은 단위세대별로 수행하였다. 해석 모델은 동일규모 단위세대를 발코니가 있는 경우와, 남측 발코니를 확장한 경우로 구분하여 평가를 수행하였으며 확장된 발코니 바닥은 거실바닥과 동일하게 단열한 바닥으로 구성하였다. 존구성은 단위세대 내부를 하나의 존으로 구성하고 열적 특성이 틀린 남측, 북측의 발코니 공간과 측면의 계단실, 엘리베이터실을 별도 존으로 정의하였다. 세대 위치는 중간층 중간세대를 기준모델로 하였다.

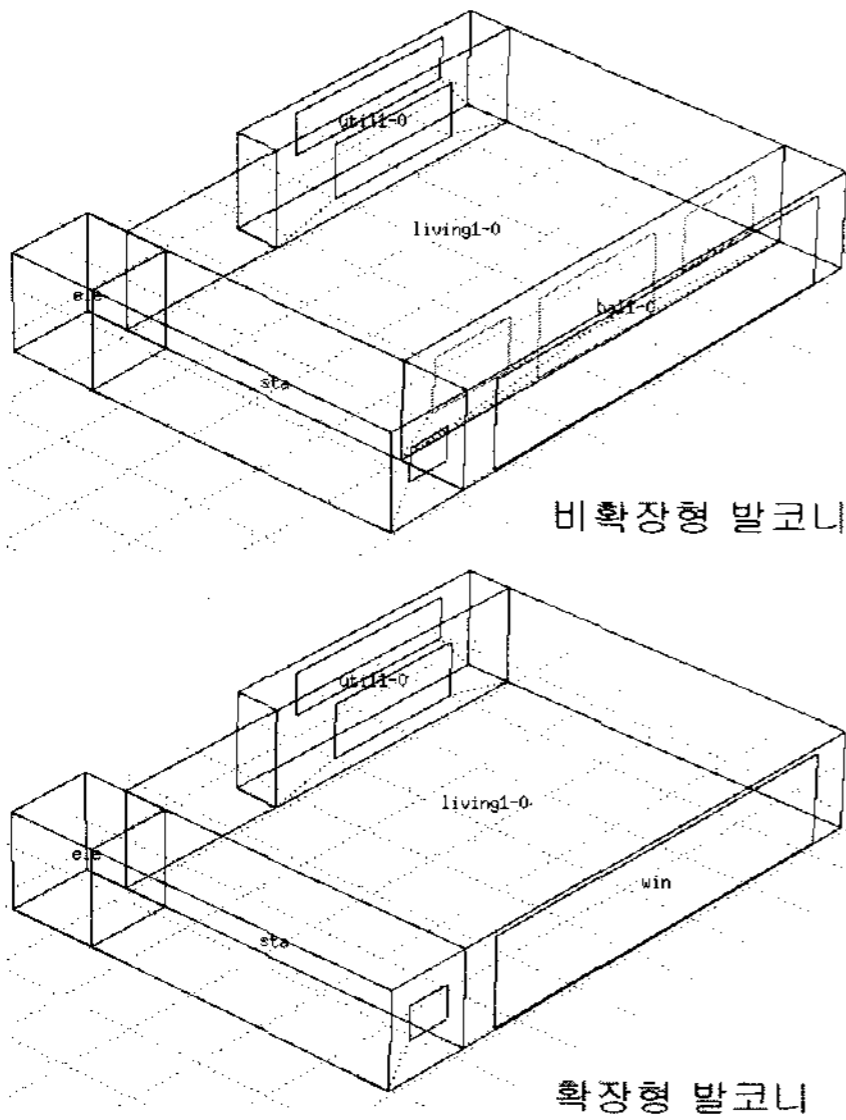


그림 1. 공동주택의 시뮬레이션 해석모델

그림 1은 비확장형 발코니와 확장형 발코니의 시뮬레이션 해석모델을 도식한 것이다.

특히 이중로이창호와 삼중로이창호는 로이코팅유리의 장파에 대한 저방사특성을 고려하기 위해 창사이의 공기층을 별도의 존으로 정의하여 모델을 구성하였다.

재실자 및 조명기기의 발열부하는 표 3과 같이 선행연구에서 제시한 식과 논문의 결과를 적용하였다. 구조체는 외벽, 내벽, 측벽, 지중바닥, 층간바닥, 최상지붕으로 구성하였으며, 적용된 각종 물성 값은 표 4와 같다.

표 3. 재실자 및 조명, 기기의 발열부하

항목 Zone	재실자 (인)	조명 및 기기부하(W)	난방설정 온도(°C)	냉방설정 온도(°C)
Living1-0	3	65	24	26
기타 존	-	-	-	-

표 4. 해석에 적용된 외피의 열물성치

구조체	구 성	재 료	두께	열전 도율	밀도	비열	열관 류율
			mm	W/m- k	kg/ m ²	J/kg- k	
외 벽	1	중량콘크리트	200	1.4	2100	653	0.494
	2	단열재	60	0.04	12	840	
	3	공기층	50	-	-	-	
	4	하드보드	10	0.08	600	2000	
내 벽	1	벽돌	100	0.04	1500	650	0.298
	2	합성보드	120	0.18	800	837	
측 벽	1	중량콘크리트	150	1.4	2100	653	0.468
	2	단열재	60	0.04	12	840	
	3	벽돌	90	0.62	1800	840	
	4	경량콘크리트	20	0.38	1200	653	
지 중 바 닥	1	중량콘크리트	150	1.4	2100	653	0.416
	2	단열재	80	0.04	12	840	
	3	자갈	150	0.52	2050	184	
	4	흙	250	1.28	1460	879	
층 간 바 닥	1	중량콘크리트	120	1.4	2100	653	0.256
	2	경량콘크리트	10	0.38	1200	653	
	3	단열재	20	0.04	12	840	
	4	경량콘크리트	10	0.38	1200	653	
최 상 지 붕	1	지붕팻트	12	0.19	960	837	0.280
	2	중량콘크리트	150	1.4	2100	653	
	3	단열재	60	0.04	12	840	
	4	공기층	50	-	-	-	
	5	플라스터	9.5	0.38	1120	840	

표 5에 단위세대의 창면적과 벽면적을 나타냈으며 남향의 창면적은 계단실과 거실까지 총 32.9m²이다. 본 연구의 해석에 사용한 기상데이터는 TRY 형식의 서울지역 30년 시간별 표준기상데이터를 적용하였다. 표 6에 시간별 표준기상데이터의 주구성요소인 외기온도, 상대습도, 수평면전일사량, 풍속 등에 월별 및 연간 평균값의 계산결과를 나타내었다. 적용 데이터의 연평균 외기온도는 12°C, 일적산 수평면전일사량은 3.115kWh/m²이다.

표 5. 단위세대의 창면적비

면적(m ²) 및 창면적비(%)	창면적	벽면적	창+벽 면적	창면적비
	(m ²)	(m ²)	(m ²)	(%)
북측벽체	19.2	78.82	98.02	19.6
동측벽체	0	66.7	66.7	0
남측벽체	32.9	79.62	112.52	29.2
서측벽체	0	66.7	66.7	0
바닥	0	166.96	166.96	0
지붕	0	166.96	166.96	0

표 6. 서울지역의 시간별 표준기상자료 월별 통계치

월	온도 (°C)			상대 습도 (%)	풍속 (km/h)	수평면 전일사량 (kWh/m ²)
	평균	최대	최소			
1	-2.8	8.9	-12.8	57.9	6.1	1.748
2	-0.6	10	-11.1	66.8	7.7	2.645
3	6	16.1	-0.6	64	7	2.814
4	11.3	23.9	2.2	62.2	7.6	4.105
5	16.6	27.8	5.6	65.6	7.1	5.271
6	21.7	31.7	13.9	75.2	5.7	4.247
7	24.2	32.8	17.2	80	5.8	3.43
8	25.2	34.4	17.2	72.6	7	3.809
9	20.8	30.6	10.6	70.4	4.4	3.07
10	14.6	25	2.2	58.5	5.6	3.121
11	6.8	16.7	-6.1	65	7.1	1.645
12	-0.1	13.3	-12.8	54.6	7.3	1.47
Year	12.0	34.4	-12.8	66.1	6.5	3.115

4. 공동주택 창호종류별 에너지 성능평가

4.1 확장형 및 비확장형 발코니의 연중에너지 소비량 분석

본 연구에서는 선행연구에서 수행된 국내 공동주택의 원단위 실측 조사 및 에너지 성분별 소비량 분석결과¹⁾를 바탕으로 기준모델의 보정(calibration)을 수행하였다. 보정과정은 선행연구에서 수립한 체계적 과정에 따라 수행하였으며, 주 조절변수는 불확실성이 가장 큰 침기량 및 내부발열조건 등이다. 확장형 및 비확장형 발코니 단위세대 모델에 대해 연간 에너지소비량을 평가한 결과를 그림 2에 나타내었다. 연간 총에너지소비량 결과를 공조면적으로

나누어 단위면적당 연간소비량 형태로 나타내었으며, 이 값은 건물부하를 기준으로한 에너지 소비량 값으로 설비시스템의 효율, 배관손실 등은 포함되지 않은 결과이다.

발코니를 확장한 경우의 이중투명창호의 연간에너지 소비량은 154kWh/m².yr로 이중로이창호 및 삼중투명창호, 삼중로이창호로 변화시킬 경우 연간에너지소비량은 각각 139kWh/m².yr, 143kWh/m².yr 및 131kWh/m².yr로 나타났다. 이것은 기준모델인 이중투명창호에 비해 7.2 ~ 15%의 에너지 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

현재 국내 공동주택의 가장 일반적 형태라 할 수 있는 비확장형 발코니에 이중투명창호를 적용한 단위세대의 경우 연간에너지소비량이 125kWh/m².yr로 나타났다. 동일조건에서 창호를 이중로이창호, 삼중투명창호, 삼중로이창호로 변화시킬 경우 각각 114kWh/m².yr, 116kWh/m².yr 및 108kWh/m².yr로 창호의 변경에 따라 이중투명창호에 비해 8.6 ~ 14.6%까지 연간에너지소비량을 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

또한 확장형 발코니와 비확장형 발코니의 창호종류별 에너지 성능분석결과 확장형 발코니에 비해 비확장형 발코니가 약 19%의 연간에너지 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

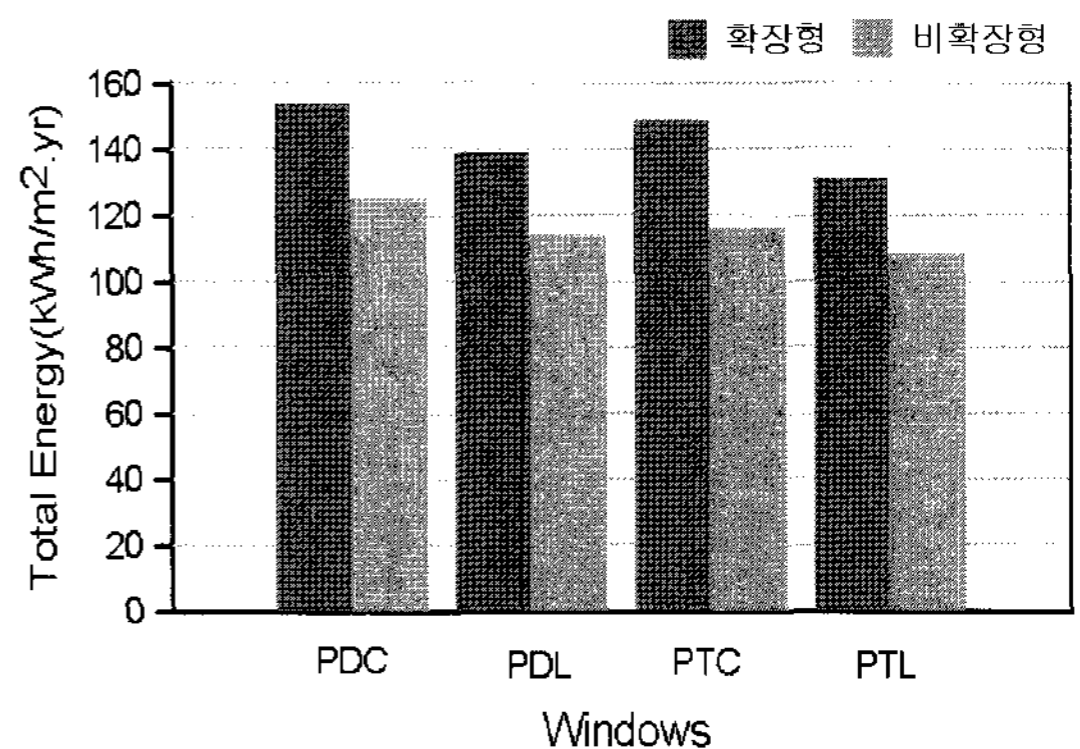


그림 2. 확장형과 비확장형 발코니의 연중에너지 소비량

4.2 확장형 및 비확장형 발코니의 최대 냉난방부하 분석

발코니를 확장하였을 때와 확장하지 않았을 때 최대 냉난방부하 분석을 표 7과 그림 3에 나타내었다. 확장형 발코니에 이중투명창호를 적용하였을 때 최대 난방부하는 8.68kW로 분석되었으며 이중투명창호 대비 이중로이창호, 삼중투명창호, 삼중로이창호는 각각 6%, 9%, 11%가 감소하는 것으로 나타났다. 최대 냉방부하의 분석결과 이중투명창호는 8.85kW로 나타났으며, 이중투명창호 대비 이중로이창호, 삼중투명창호, 삼중로이창호는 각각 5%, 8%, 15%가 감소하는 것으로 나타났다.

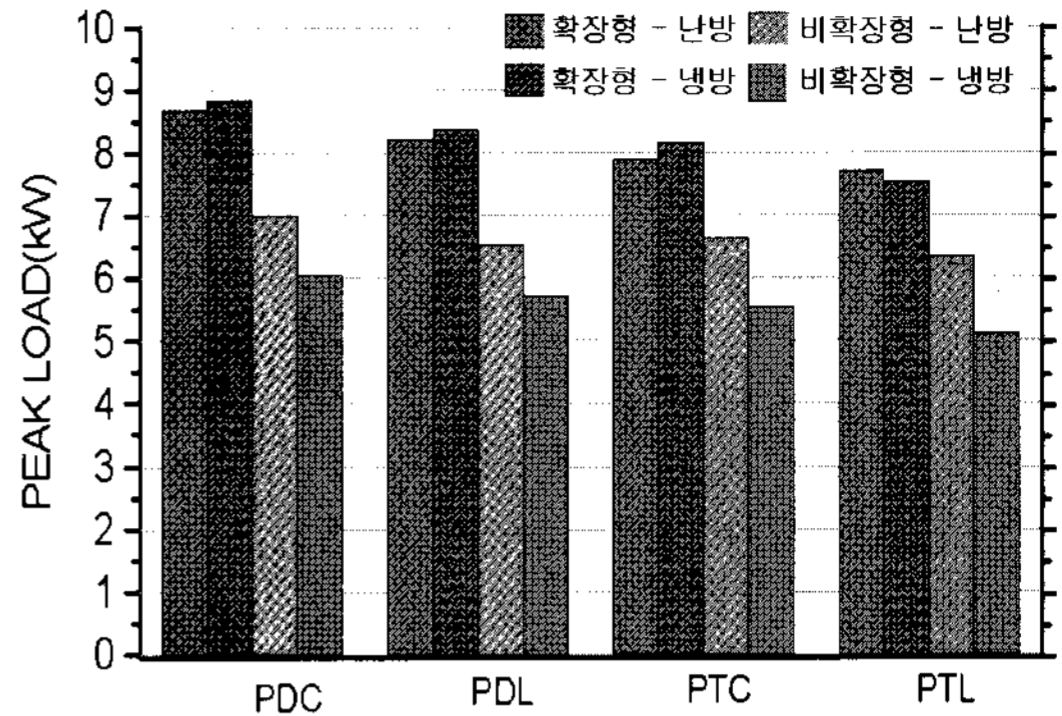


그림 3. 확장형과 비확장형 발코니의 최대 냉난방부하 비교 분석

표 7. 확장형과 비확장형 발코니 단위세대 모델의 최대 냉방난방부하 분석결과

창호종류	최대 냉난방부하(kW) 확장형				최대 냉난방부하(kW) 비확장형			
	난방	절감율 (%)	냉방	절감율 (%)	난방	절감율 (%)	냉방	절감율 (%)
PDC	8.68	-	8.85	-	7.00	-	6.06	0
PDL	8.20	6	8.37	5	6.53	7	5.71	6
PTC	7.90	9	8.17	8	6.63	5	5.53	9
PTL	7.72	11	7.53	15	6.35	9	5.11	14

발코니를 확장하지 않은 경우의 이중투명창호를 적용하였을 때 최대 난방부하는 7.00kW로 분석되었으며 이중투명창호 대비 이중로이창호, 삼중투명창호, 삼중로이창호는 각각 7%, 5%, 9%가 감소하는 것으로 나타났다. 최대 냉방부하는 이중투명창호가 6.06kW로 분석되었으며 이중투명창호 대비 이중로이창호, 삼중투명창호, 삼중로이창호는 각각 6%, 9%, 14%가 감소하는 것으로 나타났다.

확장형 발코니는 비확장형 발코니보다 최대 난방부하의 경우 약 18%가 증가하며 최대 냉방부하의 경우에는 32%가 증가하는 것을 나타냈다.

특히 난방부하보다 냉방부하가 크게 증가한 것은 확장형 발코니의 창호가 직접 외기에 면하여 있기 때문에 여름철기간에 직접적으로 일사 영향을 많이 받는 것으로 분석되었다.

4.3 세대위치별 창호종류에 따른 에너지 소비 특성

아파트는 세대별 위치에 따라 외기와의 경계조건이 틀리기 때문에 위치에 따른 연간에너지 소비량도 달라진다. 본 연구에서는 층별 4세대에 15층 규모 단위 동을 해석대상으로 설정하였다. 앞서 4.1절에서 해석한 기준모델은 중간층 중간세대(그림 3의 2-I)에 대한 결과이며, 다른 세대위치에 따른 해석이 추가로 필요하다. 동서측 위치의 편차가 크지 않다고 가정할 경우 그림 4에 도식한 바와 같이 총 6개의 세대로 위치별 특성을 구분할 수 있다. 최상층 중간세대는 지붕면이 외기에 면하며 최상층 측세대는 지붕과 벽체가 외기에 면하고 있다. 중간층 중간세대는 지붕과 벽체가 외기에 면하지 않으며 중간층 측세대는 벽체가 외기에 면한다. 최하층 중간세대는 바닥이 지중에 면하고 최하층 측세대는 바닥이 지중에 면하고 벽체가 외기에 면하다.

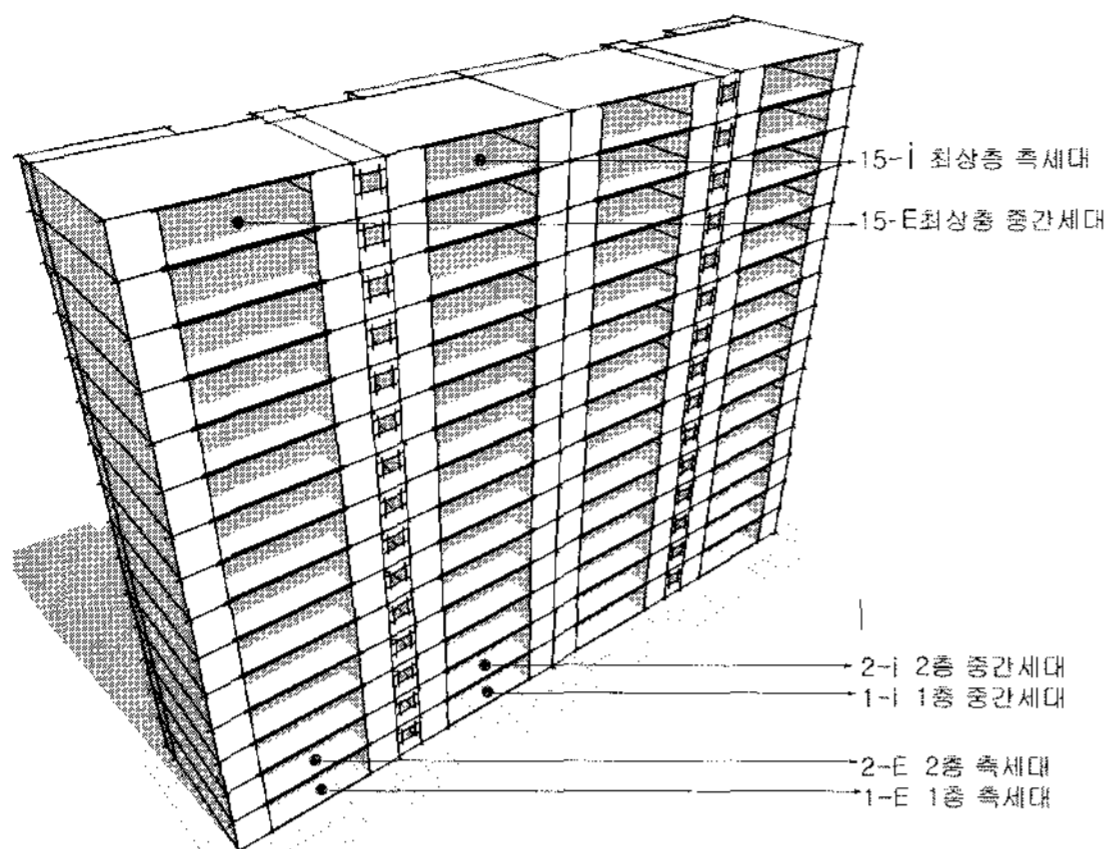


그림 4. 확장 발코니 모델의 해석대상 세대위치

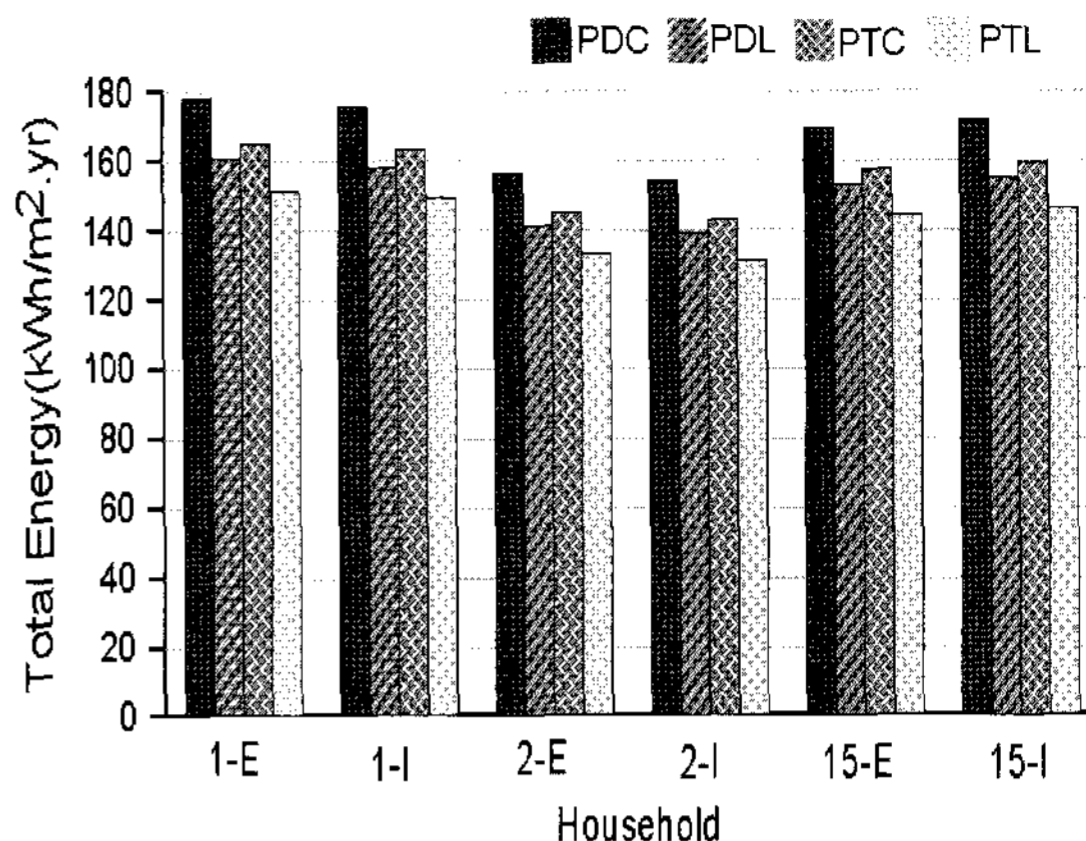


그림 5. 확장형 발코니의 세대별 연간에너지 소비량

따라서 본 연구에서는 이들 대표세대에 대한 에너지소비량을 창호종류별로 추가 해석하여 세대 위치에 따른 창호 종류별 특성 비교 및 동단위의 평균 연간에너지소비량 원단위 결과를 도출하였다.

에너지소비량이 가장 작은 세대는 중간세대 (2-I)이며 가장 큰 세대는 최하층 축세대(1-E)로 분석되었다.

이중투명창호를 동 전체에 적용할 경우 179kWh/m².yr이며 삼중로이창호는 152kWh/m².yr로 최대 15%의 에너지소비량 차이가 나타났다. 표 9와 10은 세대위치별 연간 에너지소비량을 나타냈다.

그림 5와 표 8은 6세대 위치별 해석결과를 바탕으로 15층 60세대 규모의 동전체에 대한 연간에너지소비량을 산출하고 이를 창호종류별로 최종 비교한 결과이다.

표 8. 15층 60세대 평균 연간에너지 소비량 및 절감율

창호종류	연간에너지소비량 (kW/m ² .yr)	절감율(%)
이중투명창호	179	0
이중로이창호	161	10
삼중투명창호	166	7
삼중로이창호	152	15

표 9. 세대별 연간에너지 소비량(확장형 발코니)

단위 : kWh/m².yr

창호종류	구분	1-E	1-I	2-E	2-I	15-E	15-I	평균	비율 %
이중투명 창호	난방	120	119	106	105	116	115	114	100
	냉방	58	57	51	50	56	55	54	
이중로이 창호	난방	103	102	91	90	100	99	98	90
	냉방	58	57	50	49	55	54	54	
삼중투명 창호	난방	110	109	97	96	107	105	104	93
	냉방	55	54	48	47	53	52	51	
삼중로이 창호	난방	102	101	90	89	99	98	97	85
	냉방	49	48	43	42	47	46	46	

표 10. 세대별 연간에너지 소비량(비확장형 발코니)

단위 : kWh/m².yr

창호종류	구분	1-E	1-I	2-E	2-I	15-E	15-I	평균	비율 (%)
이중투명 창호	난방	98	96	86	85	94	93	92	0
	냉방	46	46	40	40	45	44	43	
이중로이 창호	난방	88	87	78	76	85	84	83	90
	냉방	42	41	36	36	40	40	39	
삼중투명 창호	난방	91	90	80	79	88	86	85	93
	냉방	42	42	37	37	41	41	40	
삼중로이 창호	난방	83	82	73	72	80	79	78	85
	냉방	39	39	34	34	38	37	36	

5. 결론

본 연구에서는 발코니를 확장한 공동주택을 대상으로 창호종류에 따라 어느 정도의 에너지소비 특성이 변화되는지를 평가하였다. 이를 위해 국내에서 출시되는 대표적 고단열 창호들에 대해 열적, 광학적 특성분석을 수행하고 이를 근거로 아파트 단위세대 및 동 규모에서 창호 차이에 따른 연간 에너지 소비특성을 분석하였다.

1) 연간 에너지소비량을 분석한 결과 확장형 발코니가 비확장형 발코니 보다 약 19% 증가하는 것으로 나타났다. 창호 종류별 비교결과 이중투명창호를 기준했을 때, 이중로이창호가 10%, 삼중투명창호가 7%, 삼중로이창호가 15%의 에너지절감 효과를 기대할 수 있는 것으로 나타났다.

2) 최대 냉난방부하 분석결과 확장형 발코니에서 이중투명창호 대비 삼중로이창호가 난방부하 11% 냉방부하 15%가 감소하며, 비확장형 발코니의 경우에는 이중투명창호 대비 삼중로이창호는 난방부하 9%, 냉방부하 16%가 감소하는 것으로 나타났다.

3) 세대별 연간에너지 소비량이 가장 작은 세대는 중간세대(2-I)이며 바닥과 외벽이 지면과 외기에 면한 최하층 측세대(1-E)가 가장 크게 나타났다.

4) 15층 60세대 규모의 동 전체에 대한 연간 에너지소비량은 이중투명창호를 동 전체에 적용할 경우 179kWh/m².yr이며 삼중로이창호는 152kWh/m².yr로 최대 15%의 에너지소비량 차이를 나타낸다.

5) 향후 공동주택의 고단열 창호 적용에 따른 설비투자비 절감효과, 결로 개선효과 및 실내 쾌적성 개선효과에 대한 추가연구를 수행할 예정이다. 또한 건축 초기설계단계부터 지역기후 및 방위조건, 건물사용조건에 따른 효과적인 창호종류를 선택할 수 있도록 창호설계지침 데이터 수립에 대한 연구도 수행할 예정이다.

후 기

본 연구는 과학기술부 우수연구센터육성사업인 한양대학교 친환경건축 연구센터의 지원으로 수행되었음 (R11-2005-056-02005-0)

참 고 문 헌

1. 홍성희 외, 공동주택의 에너지소비원단위 설정 연구, 대한건축학회 논문집, 계획계, 2001
2. ASHRAE, ASHRAE Handbook 2001 Fundamentals, ASHRAE, 2001
3. LBNL, THERM 5/WINDOW6 NFRC Simulation Manual, LBNL, 2003
4. 윤종호, "ESP-r 및 국외 건물 열해석 프로그램의 개발동향 분석", 한국공기조화냉동 공학회, 공기조화냉동공학회 공조부문 강연회 (41-50p), 1999. 9
5. 박효순 외, 공동주택의 발코니개조가 건물에너지효율등급에 미치는 영향에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 2006
6. Jongho Yoon, et.al., "A Calibration Procedure for Energy Performance Simulation of a Commercial Building", Journal of Solar Energy Engineering, American Society of Mechanical Engineers, Volume 125, Issue 3, pp 251-257, 2003. 8.
7. Dariush Arasteh, P.E. "Future Advanced Windows for Zero-Energy Homes" ASHRAE Transacriion, Volume 109, Part2. July 11, 2003.
8. Arturas Kaklauskas, et.al, "Selection of low-e windows in retrofit of public buildings by applying multiple criteria method COPRAS: A Lithuanian case" Energy and Buildings 38 (2006) 454-462