

공동주택 발코니창에 설치된 가동단열 시스템의 열성능 평가

윤종호*, 김병수**

*한밭대학교 건축공학과(jhyoon@hanbat.ac.kr), **한밭대학교 건축설비공학과(bskim@cnu.ac.kr)

Thermal Performance Evaluation of Movable Insulation System in Apartments

Yoon, Jong-Ho*, Kim, Byoung-Soo**

*Dept. of Architecture Engineering, Hanbat National University(jhyoon@hanbat.net)

**Dept. of Building Services Engineering, Hanbat National University(bskim@cnu.ac.kr)

Abstract

The aim of this study was to analysis the Heating/cooling performance of movable insulation system built in apartments. The process of this study is as follows: 1) Test-cells of movable insulation are designed through the investigation of previous paper and work. The type of the movable insulation used in test-cell is low emissivity(5%) insulation, measured for heating season and the thermal effects are analyzed. 2) The simulation program(Design Builder) was used in energy performance analysis. the reference model of simulation was made up to analysis energy performance on movable insulation system. 3) Selected reference model(Floors:15, Area of Unit:115.5m²) for heating/cooling energy analysis, Energy performance simulation with various variants, such as slate angle of movable insulation(5°, 30°, 50°) and position of movable insulation.

Consequently, When movable insulation system is equipped with balcony window of Apartment, Annual heating energy of reference model was cut down at the average of 5.4kWh/m² or 4.6% of heating/cooling energy.

Key words : 가동단열시스템(Movable Insulation System), 저방사율(Low Emissivity), 디자인빌더 시뮬레이션 프로그램(Design Builder Simulation Program)

1. 서 론

우리나라는 주택개발정책으로 공동주택의

건설이 활발해지고 지고 있으며 현재 전체 주거건물의 50% 이상을 공동주택이 차지하고 있다.

투고일자 : 2008년 08월 22일, 심사일자 : 2008년 08월 25일, 게재확정일자 : 2008년 10월 20일,
교신저자 : 김병수(bskim@cnu.ac.kr)

공동주택은 대부분의 세대에서 외기와 면하는 부분이 남측면 발코니와 북측면 다용도실이 대부분이기 때문에 단독주택에 비해 외기와 면하는 면이 상대적으로 작고 외부조망을 위해 외피의 대부분이 개방되거나 유리로 마감되어 있다. 그렇기 때문에 일사가 있는 시간에는 실내로 유입된 일사에 의해 난방에너지 절감효과가 있을지 모르지만 일사가 없는 야간의 경우 유리의 높은 열전도율 때문에 많은 양의 열손실이 발생할 수 있다.

야간의 열손실을 방지하기 위해 선진국에서는 야간에만 선택적으로 단열을 할 수 있는 가동단열 시스템을 자동 또는 수동의 형태로 건축물에 적용하여 건축물의 에너지 절약기술로 활용하고 있다.

국내의 경우 주거용 건물에서 조망권의 침해와 건축물의 고층화에 따른 구조적인 안전성 문제와 외간 디자인이 획일화 되고 운전상의 어려움으로 보편화되지 못하였다. 또한 국내에서 야간단열시스템에 대한 정량적인 에너지 절감효과에 대한 연구결과가 미비하기 때문에 설계에 반영하기 위한 정량적인 데이터가 부족한 실정이다.

본 연구에서는 공동주택의 창호에 적용하고 있는 가동단열의 냉난방에너지 절감효과를 모형실험과 시뮬레이션 분석에 의해 정량화 하고자 한다.

2. 가동단열 시스템의 개요

우리나라에서 건축물에 사용되는 셔터는 건축법 및 소방법에 규정하고 있는 방연, 제연, 방화의 목적으로 개발된 것이 대부분이다. 그러나 최근에는 단열 기능이 추가된 셔터형태의 가동단열 시스템이 제품으로 개발되고 있다.

2.1 단열셔터¹⁾

이중셔터로서 내부에 폴리우레탄을 충전하여 단열효과가 우수해 에너지 절감효과가 크며 차

음과 환기, 채광등 다용도로 사용할 수 있다.

2.2 알루미늄 이중압출 단열셔터

이중압출 단열셔터는 이중압출된 Slat를 사용하여 내풍압에 강하기 때문에 풍압이 강한 발전소, 해안가나 개구부의 면적이 큰 대형물류센터, 공장, 백화점과 같은 공간에 적합하다.



그림 1. 단열셔터의 형상 및 설치예

3. 축소모형을 이용한 가동단열 시스템의 열성능 실험

3.1 축소모형의 개요

가동단열 시스템의 야간단열 성능을 평가하기 위해 본 연구에서는 축소모형을 이용하여 실험을 실시하였다.

축소모형은 가로, 세로, 높이를 각각 2000mm, 2200mm, 800mm로 하였으며 남측면 전면에는 이중유리를 설치하였다. 그중 하나의 모형에 가동단열을 설치하였다. 그림 2는 축소모형의 개요 및 센서의 위치를 나타내고 있다.

가동단열 시스템이 작동할 경우 유리표면에 완전히 밀착되지 않기 때문에 전도손실의 차단보다는 복사열 차단효과에 중점을 두어 표면 방사율이 5%정도의 낮은 방사율 값을 갖는 단열재를 설치하였다. 단열재의 열적 물성치는 표2에 나타내었다.

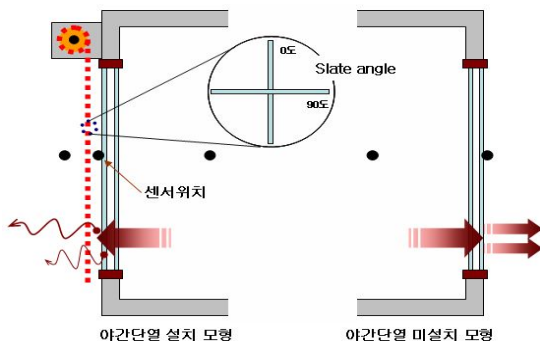


그림 2. 실험모형의 개요 및 센서위치

표 1. 야간가동 단열재의 물성치

단열재	두께 (m)	열전도율 (W/m°C)	밀도 (kg/m³)	비열 (J/kg°C)	표면방사율	표면양흡수율
단열재	0.001	210	2700	880	0.05	0.05

3.2 실험방법 및 결과

가동단열은 일몰 후 저녁 8시부터 다음날 오전 8시까지 설치하였으며, 주간에는 일사가 건물에 유입되는데 장애가 되지 않도록 전면 개방시켰다. 모형의 내부에는 창으로 유입된 태양복사를 축열 할 수 있도록 시멘트 벽돌로 바닥을 마감하였다.

가동단열의 단열성능 실험은 2008년 3월 10일부터 5월 10일까지 2달간 이루어졌으며 그림3은 실험기간동안 특정일의 실험결과를 그래프로 도식화하여 나타내었다.

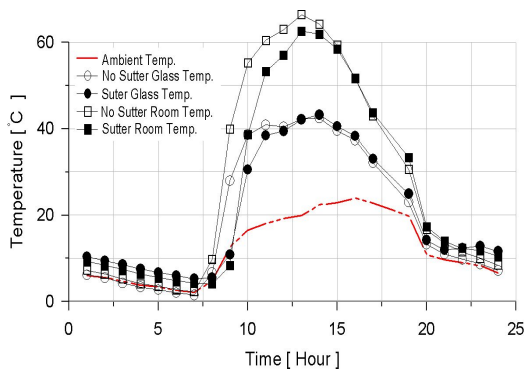


그림 3. 모형에 의한 가동단열 성능실험결과

그림에 나타난 것과 같이 주간에는 가동단열 시스템을 사용하지 않은 실험모델의 온도가 최고 63°C 정도로 셔터를 설치한 모델보다 2~3°C 높게 상승하였지만 일몰 후 실내의 온도는 큰 차이가 나지 않는 것으로 분석되었다. 야간에 가동단열 시스템을 설치한 경우 야간의 유리창 표면온도는 평균 3°C 정도, 실내 공기온도는 2°C 정도 높게 유지되는 것으로 나타났다.

축소모형을 이용한 가동단열 시스템의 실험결과 야간단열을 한 경우 실내온도가 높게 유지하기 때문에 난방기간 동안 효과적으로 난방에너지 절감효과가 있는 것으로 분석되었다.

4. 시뮬레이션에 의한 가동단열 시스템의 냉난방 에너지성능 평가

4.1 시뮬레이션 프로그램의 개요

Design Builder 프로그램은 시간별 동적 에너지 해석 프로그램의 대표적 해석 프로그램인 DOE-2.1, Blast 또는 esp-r의 장점을 결합해 미국에서 새롭게 개발되고 있는 EnergyPlus 프로그램의 써드 파티 중 가장 개발이 앞서있는 프로그램 중의 하나이다.

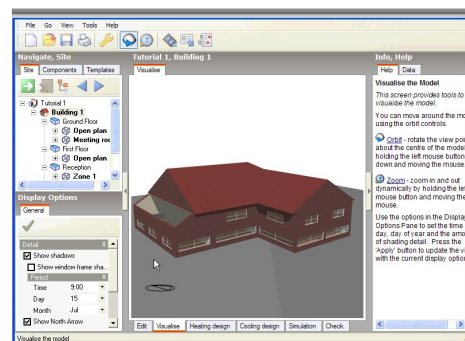


그림 4. Design Builder메인화면

EnergyPlus의 알고리즘 및 기능을 모두 활용할 수 있으며, 특히 창호 및 가동단열 시

시스템의 해석에 적합하여 본 연구에서 시뮬레이션 연구의 해석도구로 Design builder를 사용하였다.

4.2 시뮬레이션 해석모델의 개요

가동단열 시스템의 냉난방에너지 성능평가를 위해 15층 규모의 공동주택을 시뮬레이션 해석모델로 선정하였다.

가동단열 시스템은 공동주택의 발코니 및 다용도실의 외기와 면하는 유리창의 외부에 설치하였기 때문에 발코니의 유무에 따라 냉난방에너지 성능의 차이가 발생할 수 있다. 시뮬레이션 해석모델은 발코니를 확장한 형태와 확장하지 않은 형태로 하였다.

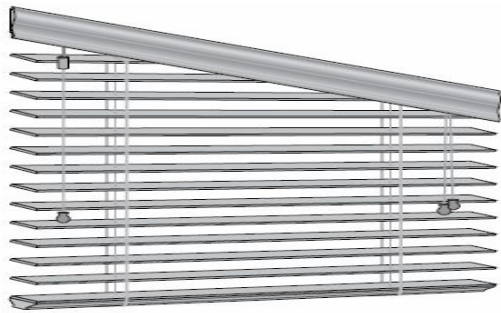


그림 5. 시뮬레이션 해석모델에 적용된 가동단열 시스템의 형태

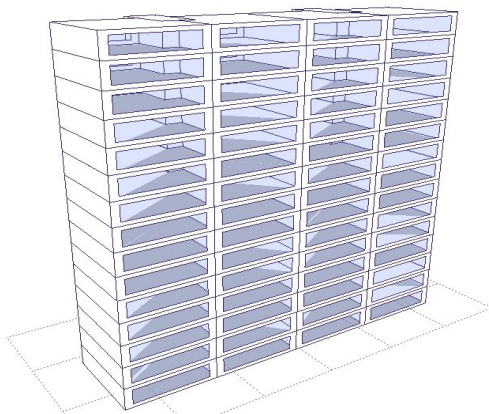


그림 6. 시뮬레이션 해석모델의 모습 (공동주택 15층)

시뮬레이션을 위한 기상데이터는 대전지역의 30년 표준기상데이터를 활용하였다.

해석모델의 향은 정남으로 하였으며 남측면 발코니 및 다용도실의 창면에 설치된 가동단열 시스템의 면적은 세대당 30㎡로 하였다. 선행연구의 연구결과²³⁾를 참고하여 야간단열을 10월부터 4월까지 7개월 동안 오후 8시부터 다음날 오전 8시까지 가동하는 것으로 하였다. 가동단열 시스템의 설치위치는 아래의 그림14와 같이 창을 중심으로 3가지 형태로 설치할 수 있다. 그러나 기존창호에 적용이 가능한 내부(Inside)와 외부(Outside) 형태의 단열 시스템을 선정하였으며 슬레이트(Slats)의 설치각도를 5°, 30°, 50°로 변화시킬 수 있도록 하였다.

표 2. 기준모델의 부위별 열관류율

	단열재 두께(mm)	열관류율(W/m ² ·K)
외 벽	60	0.47
측 벽	60	0.50
지 붕	60	0.45
바닥(지면접합)	50	0.44
슬라브	20	0.95
발코니창		2.7

표 3. 기준모델의 실별 특징

실명	면적(m ²)	부피(m ³)	창면적(m ²)	벽면적(m ²)	난방유무
주거공간	94.6	255.0	18.3	304.0	○
주방	12	32.4	2.5	61.8	○
발코니	23.4	63.2	43.2	83.5	○,×
다용도실	15.6	42.1	15	94.7	×
계단 / 엘리베이터실	21.1/ 5.67	57.0/ 15.6	1.08/ 0	102.0/ 37.4	×

발코니는 비확장시에는 비난방, 확장시 난방으로 적용

4.3 가동단열 시스템의 냉난방 에너지 성능분석

(1) 발코니의 유무에 따른 공동주택의 냉난방 에너지 성능분석

외기에 면한 창에 설치된 가동단열 시스템의 에너지 성능을 분석하기 위해 우선 발코니의 유무에 따른 냉난방에너지 성능분석

을 실시하였다.

발코니가 있는 시뮬레이션 해석모델을 기준모델로 할 때 발코니가 없는 경우 난방에너지는 2.8%(약 2.2kWh/m²yr), 냉방에너지는 10%(약 10kWh/m²yr)로 증가하는 것으로 분석되었다.

(2) 발코니의 유무에 따른 가동단열 시스템의 냉난방 에너지 성능분석

발코니확장형 모델과 비확장모델에 가동단열을 설치할 경우 에너지 절감효과는 아래의 그림과 같다. 발코니 비확장시 가동단열 시스템의 설치결과 냉난방절감효과는 거의 없는 것으로 나타났다. 이러한 이유는 발코니가 외기와 실내공간을 직접 면하게 하지 않는 완충공간으로 작용하기 때문에 나타나는 결과로 분석되었다.

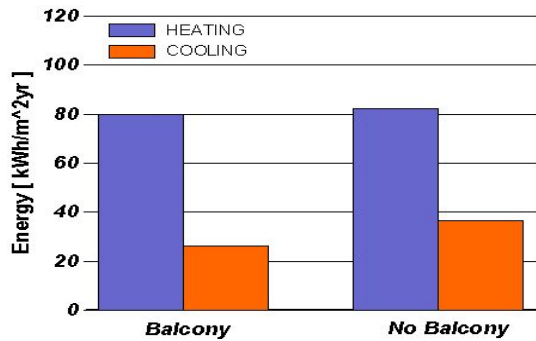


그림 7. 기준모델의 발코니 유무에 따른 냉난방에너지 성능

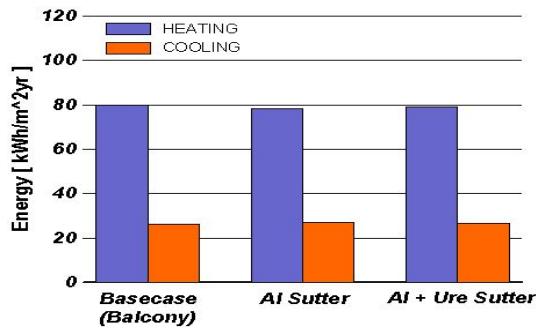


그림 8. 발코니 비확장시 가동단열 시스템의 에너지 성능 평가 결과

발코니 확장시 가동단열 시스템의 설치결과 냉난방 절감효과는 아래의 그림과 같다.

분석결과 발코니를 확장할 경우 발코니창이 직접외기와 면하기 때문에 난방에너지는 5%(약 4.1kWh/m²yr), 냉방에너지는 11.8%(약 4.2kWh/m²yr) 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

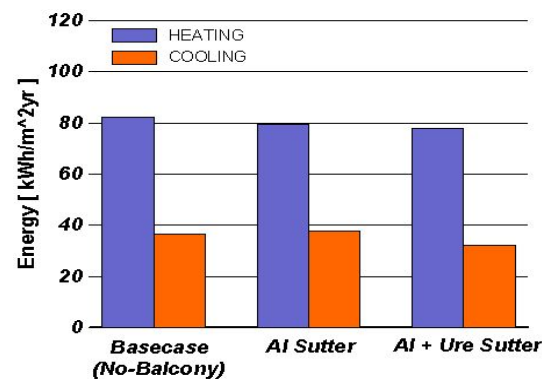


그림 9. 발코니 확장시 가동단열 시스템의 에너지 성능 평가 결과

(3) 가동단열 시스템의 개구각도에 따른 냉난방에너지 성능분석

가동단열 시스템의 개구각도를 5°, 30°, 50°로 적용한 후, 발코니의 유무에 따라 분석하였다. 가동단열 시스템은 알루미늄을 주재료로 하는 형태(AL Sutter로 이하 표기)와 알루미늄에 우레탄 폼을 충전한 형태(AL Sutter+Urethane로 이하 표기)의 제품을 분석하였다. 그림 10은 발코니가 있을 때 창의 외부에 설치할 경우 Slats의 각도를 변경시킨 후 냉난방에너지 절감량을 비교하여 나타낸 것이다.

분석결과 개구각도가 작을 때보다 50°에 가까울수록 외기와외의 접촉이 많이 되고 유리창 표면에서 열전달 효과가 상승하기 때문에 야간단열효과가 감소하는 것으로 분석되었다.

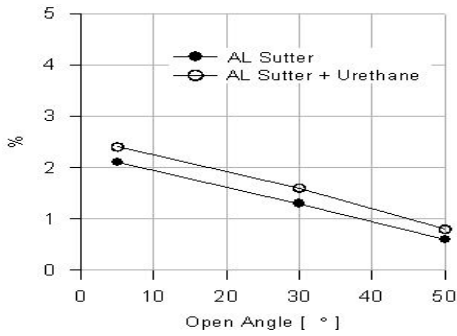


그림 10. 가동단열 Slats의 개구각도에 따른 에너지 절감률(발코니 有)

$$Y = -0.0354098X + 2.60328 \text{ ---(식1)}$$

$$Y = -0.0332787X + 2.27623 \text{ ---(식2)}$$

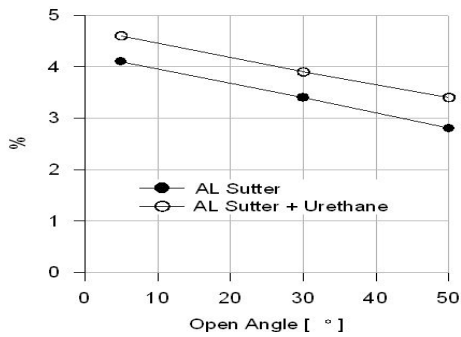


그림 11. 가동단열 Slats의 개구각도에 따른 에너지 절감률(발코니 無)

$$Y = -0.0267213X + 4.72377 \text{ ---(식3)}$$

$$Y = -0.0288525X + 4.25082 \text{ ---(식4)}$$

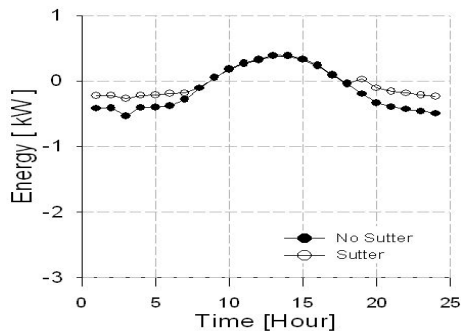


그림 12. 하절기 가동단열의 가동여부에 따른 창면손실열량

개구각도의 증가에 따른 가동단열의 에너지 성능 평가를 예측하기 위해 식1과 식2와 같이 예측식을 제시하였다.

그림 11은 발코니가 없을 때 창외부에 설치할 경우 Slats의 각도를 변경시킨 후 냉난방에너지 절감량을 비교하여 나타낸 것이다.

발코니를 확장하여 발코니가 없는 경우 발코니를 확장하기 전보다 창으로 손실되는 냉난방에너지의 양이 많기 때문에 가동단열 시스템의 단열효과가 3%이상 증가하는 것으로 나타났다.

또한 개구각도가 작을 때보다 50°로 증가할수록 외기와의 접촉이 많기 때문에 유리창 표면에서 열전달 효과가 상승하여 단열효과가 감소하는 것으로 분석되었다.

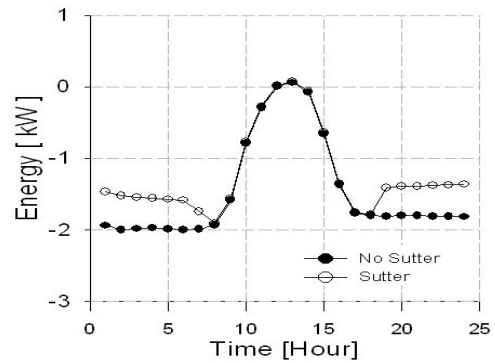


그림 13. 동절기 가동단열의 가동여부에 따른 창면손실열량

개구 각도에 따른 가동단열 시스템의 에너지 성능 평가를 예측하기 위해 식3과 식4와 같이 예측식을 제시하였다.

(4) 가동단열 시스템의 설치위치에 따른 에너지 성능분석

본 절에서는 가동단열 시스템의 설치위치별 에너지 성능분석을 실시하였다. 아래의 그림과 같이 발코니 창과 가동단열의 설치 방법은 크게 3가지로 요약할 수 있다. 그러

나 내부(Inside)와 외부(Outside)와 달리 유리창사이(Mid Pane)에 설치된 가동단열 시스템의 경우 가동단열의 작동에 필요한 공간확보를 위해 유리창과 유리창 사이의 공기층의 크기가 다른 2가지 시스템보다 크고 에너지 성능에 영향을 주기 때문에 분석결과가 가동단열 시스템의 효과라고 단정하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 가동단열의 설치위치를 내외부로 한정하여 시뮬레이션을 실시하였다.

가동단열의 시뮬레이션 분석은 가동단열 시스템의 재료와 발코니의 유무에 따라 냉난방에너지 성능분석을 실시하였다.

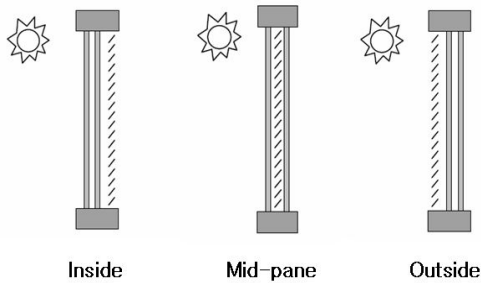


그림 14. 가동단열 설치위치의 개념도

분석결과 발코니를 비확장한 경우 가동단열 시스템의 냉난방에너지 절약효과는 1% 미만으로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

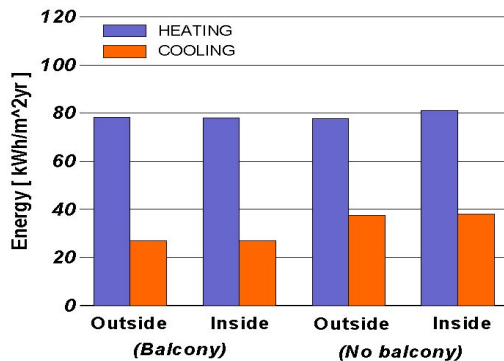


그림 15. 가동단열 설치위치에 따른 성능분석 (AL Sutter)

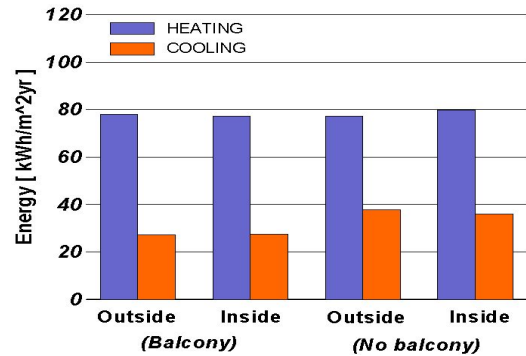


그림 16. 가동단열 설치위치에 따른 성능분석 (AL Sutter +Urethane)

발코니를 확장한 경우 창외부에 설치한 AL Sutter +Urethane 형태의 가동단열 시스템의 경우 AL Sutter만 적용한 경우보다 냉난방절감효과가 우수한 것으로 나타났다. 그러나 내부에 가동단열 시스템을 설치한 경우 외부에 설치한 경우보다 냉난방에너지 감소량에 비해 냉난방에너지가 더 많이 증가하기 때문에 전체 냉난방 에너지량이 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 발코니가 확장된 경우 더욱 두드러지는 것으로 분석되었다.

5. 결 론

15층 규모의 판상형 공동주택을 해석모델로 하여 외기와 면한 발코니창에 알루미늄과 알루미늄에 단열재를 삽입한 타입의 야간가동단열 시스템을 적용하여 냉난방에너지 성능분석을 실시하였다.

분석결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 공동주택의 발코니를 확장하지 않은 경우 외기와 실내의 중간에 발코니가 완충공간으로 작용하기 때문에 가동단열 시스템의 냉난방에너지 절감효과는 거의 없는 것으로 나타났다. 그러나 발코니를 확장하여 발코니를 없애고 외기와 실내가 직접 면하는 경우 가동단열 시스템의 단열효과는 최고 냉난방에너지

소비량의 4.6%를 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

- (2) 가동단열 시스템의 재질을 알루미늄을 기본재질로 하고 내부에 공기층이 있는 타입과, 내부에 우레탄을 충진한 단열타입으로 선정하여 분석하였다.

분석결과 내부에 우레탄을 충진한 가동단열 시스템의 타입이 그렇지 않은 것보다 약 12%정도 난방에너지 절감효과가 우수한 것으로 나타났다.

- (3) 가동단열 시스템의 위치를 외부에 실내에 설치한 경우 에너지 성능분석 결과 발코니를 확장한 경우 외표면에 설치한 경우 난방에너지 절감효과는 우수한 것으로 나타났지만 내부에 설치할 경우 난방에너지가 증가하여 오히려 설치하지 않은 경우보다 약 11%의 에너지가 증가하였다.

- (4) 가동단열 시스템의 셔터설치각도를 5°, 30°, 50°로 변화시켜 분석한 결과 셔터의 개방각도가 클수록 난방에너지 절감효과가 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 발코니 비확장보다 발코니 확장형에서 더욱 두드러지는 것으로 분석되었다.

위의 연구 내용은 축소모형을 이용한 실험으로 실제 15층 이상의 고층 건물에 적용할 경우 가동단열의 운영을 위해서는 외부 풍하중의 해석이 필요할 것으로 사료된다.

표 4. 야간가동단열 성능분석결과

셔터의 종류	공동주택 평면유형	가동단열 위치	가동단열 방법	난방부하 kWh/m ² yr	냉방부하 kWh/m ² yr	냉난방 전체부하 kWh/m ² yr	절감률 %
Sutter	비확장형 발코니	외표면	기준 모델	79.9	26.4	106.3	-
			5%	76.2	27.8	104	2.2
			30%	77.8	27.1	104.9	1.3
		50%	79.1	26.6	105.7	0.6	
		내표면	기준 모델	79.9	26.4	106.3	-
			5%	75.7	28.1	103.8	2.4
	30%		77.2	27.4	104.6	1.6	
	확장형 발코니	외표면	기준 모델	79.9	26.4	106.3	-
			5%	74.1	39	113.1	4.6
			30%	75.6	38.3	113.9	3.9
		내표면	기준 모델	79.9	26.4	106.3	-
			5%	78.4	39.9	118.3	-11.3
30%			80	39.1	119.1	-12.0	

Sutter + Uretan	확장형 발코니	외표면	기준 모델	82.1	36.4	118.5	-
			내표면	75	38.7	113.7	4.1
			30%	76.5	38	114.5	3.4
		내표면	기준 모델	82.1	36.4	118.5	-
			5%	79.4	39.4	118.8	-0.3
			30%	81	38.6	119.6	-0.9
	비확장형 발코니	외표면	기준 모델	79.9	26.4	106.3	-
			내표면	75.7	28	103.7	2.4
			외표면	77.3	27.3	104.6	1.6
		내표면	기준 모델	79.9	26.4	106.3	-
			5%	74.8	28.6	103.4	2.7
			30%	76.4	27.8	104.2	2.0

후 기

본 연구는 건설교통부 건설핵심기술연구 개발사업의 연구비지원(06 건설핵심 B02)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. http://www.yegeon.com/sub2_2e.htm
2. 안태경, 전봉구, 이명호, “자연형 태양열 직접 획득방식에서의 야간 단열구조의 개발 및 열 성능에 관한 연구” 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집(계획계), V.8, No.2, 1988.10
3. 김기세, 윤종호, 송인춘, “유리온실 적용 열 반사 야간단열 시스템의 에너지 성능평가 연구”., V.16, No.10, 2000.10
4. 윤종호, 김병수 “투명단열 축열벽 시스템의 하절기 과열현상 방지에 관한 실험 연구”, 대한건축학회 계획계논문집, Vol.19, 2003.11