

초고층 공동주택의 세대별 냉난방부하 시뮬레이션 결과 및 에너지 실사용량과의 비교 분석

서혜수*, 김병선**

*포스코건설 기술연구소/연세대학교 대학원 건축공학과(angela@poscoenc.com),
**연세대학교 건축공학과(sean@yonsei.ac.kr)

A Comparative Analysis of Energy Simulation Results and Actual Energy Consumption on Super High-rise Apartments

Suh, Hye-Soo*, Kim, Byung-Seon**

*R&D Center, POSCO E&C(angela@poscoenc.com),
**Dept. of Architecture, Yonsei University(sean@yonsei.ac.kr)

Abstract

Apartment Housing has been increasing steadily, particularly our current super high-rise apartment houses that represent the culture has become a trend in Korea. These super high-rise apartment houses' curtain wall system increases heating and cooling loads, it is expected to vary by each unit's thermal properties.

In this study, measured indoor environment and energy simulation results were compared to actual energy consumption.

As a result, the various factors that affect heating and cooling loads, such as direction, plan type and glazing area, influence each unit's load characteristic. In particular, according to the electricity costs savings behavior, the occupant's thermal discomfort is expected to be large in summer. Therefore, to reduce heating and cooling load for each unit requires a reasonable plan.

Keywords : 초고층 공동주택(High-rise Apartment Building), 실내환경(Indoor Environment), 냉난방부하(Heating and Cooling Load), 에너지 시뮬레이션(Energy Simulation), 에너지 사용(Energy Consumption)

1. 서 론

우리나라의 공동주택은 꾸준히 증가하여 주택공급의 86%를 차지하게 되었으며(2009년

기준)¹⁾, 특히 21층 이상의 고층 공동주택은 1995년부터 매년 17%씩 증가하고 있으며²⁾, 30층 이상의 탑상형 초고층 공동주택 또는 주상복합건물은 현재 우리의 도시 주거문화를

투고일자 : 2011년 6월 24일, 심사일자 : 2011년 6월 30일, 게재확정일자 : 2011년 7월 21일
교신저자 : 서혜수(angela@poscoenc.com)

대표하는 하나의 트렌드가 되었다³⁾.

이러한 탑상형 초고층 공동주택의 특징은 커튼월과 전방향성에 있다. 즉 건물의 외피는 커튼월로 구성되어 있어 겨울철 전도와 여름철 일사부하를 증가시킬 뿐만 아니라⁴⁾, 남향배치가 일반적인 판상형 공동주택의 단위세대가 주향이 남향인 것과 다르게, 커튼월이 모든 방향에 개방되어 있어 세대별로 주향이 다르고 모든 방위를 포함하고 있어, 세대별 열적 특성이 다를 것으로 예측된다.

따라서 본 연구에서는 탑상형 초고층 공동주택의 실내환경을 측정하고, 에너지 시뮬레이션을 통해 세대별 냉난방 부하 특성을 살펴본 후, 에너지 실사용량과의 비교를 통해 초고층 공동주택의 에너지 특성을 도출하고자 한다.

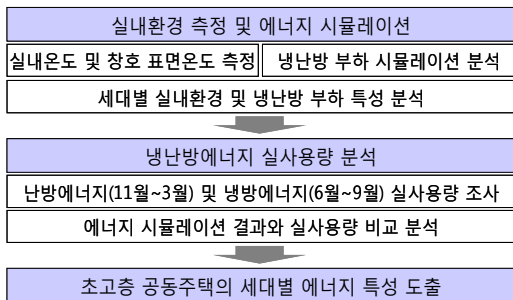


그림 1. 연구의 흐름

2. 초고층 공동주택의 실내 환경 측정

2.1 대상건물 및 측정 개요

초고층 공동주택의 향별 특성을 조사하기 위해 코어를 중심으로 6세대가 조합된 A주상복합을 대상으로, 일사에 의한 영향이 가장

클 것으로 예상되는 남동향과 남서향에 면해 있는 6호 세대인 4동 3806호의 실내온도 및 창호 표면온도를 측정하였다.

표 1. 대상 건물 및 측정 개요

구분	내용
위치	• 인천시 연수구 송도동
규모	• 64층 탑상형 4개동 및 24층 판상형 2개동 • 1,596세대
전경사진 및 배치도	
측정기간	• 2009년 8월 1일 ~ 31일(한달간)
측정대상	• 4동 3806호 1세대(미입주세대, 냉방X)
측정항목 및 장비	• 실내온도: 디지털 온습도계(거실중앙1.2m) • 창호 표면온도: 데이터로거(유리중심부)
측정사진	

2.2 초고층 공동주택의 실내환경 측정 결과

2009년 8월 한달간의 측정 결과 중 대표적인 날인 8월 28일의 측정 결과를 분석하였다.

실내온도는 최고 35.3℃까지 상승하며, 창호 유리의 표면온도는 남동향이 최고 46.4℃, 남서향이 48.4℃이며, 최고 온도값이 나타나는 시간대는 남동향의 경우 오전 11시 전후, 남서향의 경우 오후 4시 전후로 차이가 나는 것으로 나타나, 향이 서로 다른 세대간의 실내환경의 차이는 더 클 것으로 예상된다.

표 2. 실내 온도 및 창호 유리의 표면온도 측정 결과

	평균	최고	최저
남동향 창표면	32.8	46.4	27.3
남서향 창표면	32.9	48.4	26.4
실내기온	31.5	35.3	28.9
외기온	23.8	26.8	19.8

1) 국토해양통계누리, <https://stat.mltm.go.kr>

2) 국토해양부, http://www.mltm.go.kr/USR/NEWS/m_71/dtl.jsp?id=155097257

3) 정재원, 김민휘, 김유신, 김진호, 권오현, 외기전담시스템 기반 초고층 공동주택 중앙 공급식 환기시스템의 적정 급기조건 설정 및 에너지 절감효과 분석, 대한건축학회논문집 계획계 v.25 n.06, 2009

4) 김광호, 김병선, 소규모 유리외피 사무소 빌딩 사례를 통한 온열환경과 냉방부하 저감방안에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계 v.21 n.08, 2005

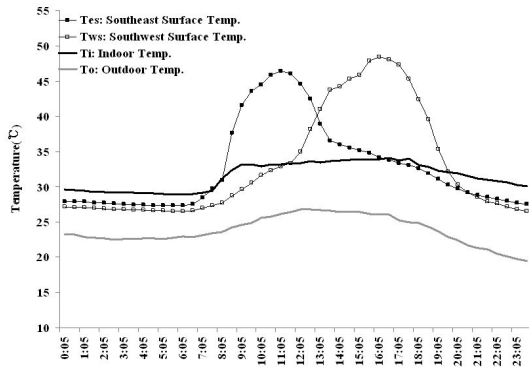


그림 2. 실내온도 및 창호 유리의 표면온도 측정 결과

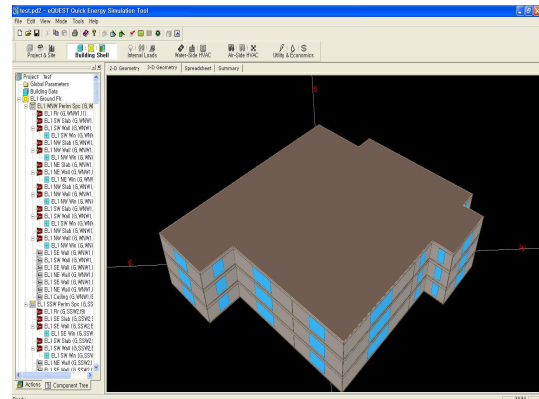


그림 4. eQuest 모델링

3. 초고층 공동주택의 냉난방 부하 분석

3.1 시뮬레이션 모델링

A주상복합의 향별 냉난방 부하 특성을 알아보기 위해 4동을 대상으로 eQuest 3.61를 사용하여 에너지 시뮬레이션을 실시하였다.

표 3. 세대별 규모, 향 및 평면개방 형태

구분	1호	2호	3호	4호	5호	6호
바닥면적(m ²)	191.2	141.4	175.4	185.0	148.0	196.2
천장고(m)	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
체적(m ³)	458.9	339.4	421.0	444.0	355.2	470.9
향	북동 남동	북동	북서 북동	북서 남서	남서	남서 남동
평면개방형태	직각	단면	직각	직각	단면	직각

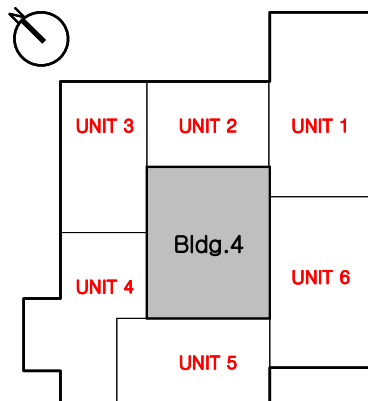


그림 3. 대상 건물 세대 구성(4동)

건물의 부위별 열관류율(W/m²°C)은 창호 1.73, 외벽 0.45, 세대간벽 0.62, 슬래브 1.65이다. 에너지 시뮬레이션에서의 문은 외부로 통하는 문을 의미하므로, 세대현관문은 실제적으로 열전달에 의한 영향이 적으므로 생략하였다.

표 4. 적용유리 구성표

자외선투과율		15
가시광선	투과율	71
	반사율	12
태양열 복사열	투과율	45
	반사율	18
열관류율		1.73
차폐계수		0.64
취득총열량		418

내부발열은 ASHRAE(미국냉동공조학회)의 STANDARD 90.1에 나타나 있는 주거용 건물에 대한 내부발열 값 및 스케줄을 적용하였다.

표 5. 내부 발열부하 요소

재실자		조명발열	기기발열
현열	잠열	밀도	현열부하
131w/인	45w/인	4명/세대	5.4w/m ²
			7.01w/m ²

3.2 냉난방 부하 분석 결과

세대별 연간 난방부하는 2,400~5,900 kWh/yr로 분포하고 있으며, 단위면적당 연간 난방부하는 16~30kWh/m²·yr이다.

단위면적당 연간 난방부하를 기준으로 5호, 2호, 6호, 3호, 4호, 1호 순으로 부하가 많아진다. 두 세대 사이에 위치한 단면 개방형 평면인 5호와 2호의 단위면적당 연간난방부하가 적게 나왔으며, 특히 남서향인 5호는 일사의 영향으로 난방부하가 가장 적게 분석된 반면, 직각 개방형 평면이면서 북동향과 남동향에 면해있는 1호의 난방부하가 가장 많은 것으로 분석되었다.

6호의 경우 난방부하에 불리한 직각 개방형 평면이나, 일사취득에 유리한 남서향과 남동향에 모두 면해 있어 난방부하가 비교적 적게 나온 것으로 판단된다.

세대별 연간 냉방부하는 8,600~20,200 kWh/yr(평균 14,262kWh/yr)의 값을 보이고 있으며, 단위면적당 연간 냉방부하는 61~102kWh/m²·yr(평균 81kWh/m²·yr)의 값으로 분포하고 있다.

단위면적당 연간 냉방부하를 기준으로 2호, 3호, 4호, 1호, 5호, 6호 순으로 부하가 많아진다. 두 세대 사이에 위치한 단면 개방형 평면이면서 북동향인 2호의 냉방부하가 가장

표 6. 세대별 연간 난방부하

구 분	1호	2호	3호	4호	5호	6호	평균
연간난방부하 (kWh/yr)	5,814	2,684	4,653	4,976	2,469	4,222	4,136
	1.41	0.65	1.12	1.20	0.60	1.02	1.00
단위면적당 연간난방부하 (kWh/m ² ·yr)	30.4	19.0	26.5	26.9	16.7	21.5	23.9
	1.27	0.79	1.11	1.12	0.70	0.90	1.00

표 7. 세대별 연간 냉방부하

구 분	1호	2호	3호	4호	5호	6호	평균
연간냉방부하 (kWh/yr)	16,396	8,644	12,365	14,107	13,936	20,121	14,262
	1.15	0.61	0.87	0.99	0.98	1.41	1.00
단위면적당 연간냉방부하 (kWh/m ² ·yr)	85.8	61.1	70.5	76.3	94.2	102.6	81.7
	1.05	0.75	0.86	0.93	1.15	1.25	1.00

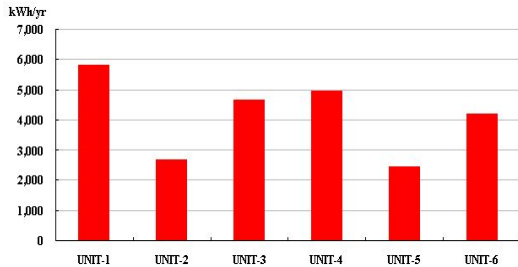


그림 5. 연간 난방부하 분석 결과

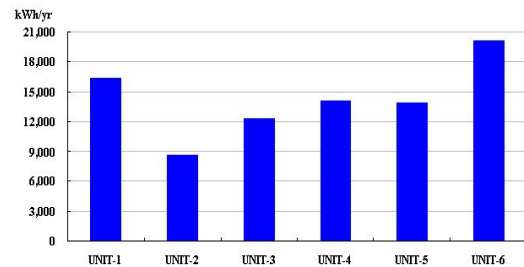


그림 7. 연간 냉방부하 분석 결과

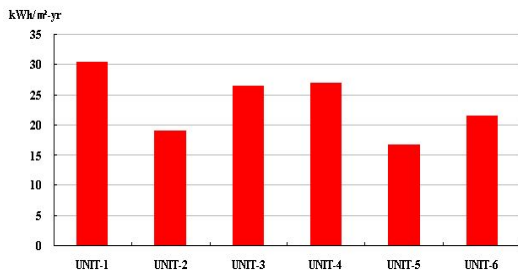


그림 6. 단위면적당 연간 난방부하 분석 결과

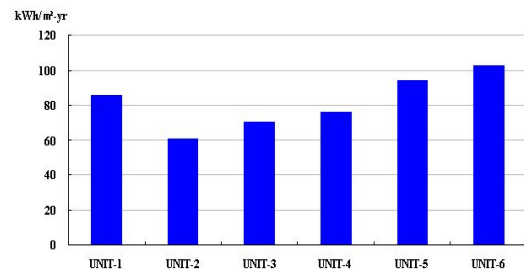


그림 8. 단위면적당 연간 냉방부하 분석 결과

적은 것으로 분석되었으며, 직각 개방형 평면이지만 북서향에 면해 있는 3호, 4호의 냉방부하도 평균 이하로 나왔다.

반면, 직각 개방형 평면이면서 남서향과 남동향에 모두 면해있어 일사부하가 높은 6호의 냉방부하가 가장 많은 것으로 분석되었으며, 5호는 단면 개방형 평면이나 남서향 세대라서 냉방부하가 비교적 높게 나오는 것으로 판단된다.

탑상형 형태인 초고층 공동주택의 냉난방부하에 미치는 요인은 이상에서 살펴본 바와 같이, 세대의 향, 평면형태(세대 위치) 및 창면적 등 다양한 디자인 요소에 의해 복합적으로 영향을 받는 것으로 나타났다. 특히 창호를 통한 일사는 난방부하를 감소시키기도 하며, 냉방부하를 증가시키는 양면성을 갖고 있다.

4. 초고층 공동주택의 에너지 사용량 특성

4.1 에너지 사용량 분석 개요

냉난방 에너지 사용 특성을 알아보기 위해 A주상복합의 1년간 에너지 사용량(지역난방 및 전력)을 조사하였다. 기간은 2009년 10월부터 2010년 9월까지로, 분석 대상은 4동의 64개층 중 아웃리저층 및 팬트하우스층을 제외한 짝수층인 174세대(미입주 2세대 포함)로, 세대별 열유량계 및 전력량계의 일별 사용량 데이터를 근거로 향별 에너지 소비 특성을 분석하였다.

또한 에너지 사용량 분석을 위해 난방에너지는 11월에서 3월, 냉방에너지는 6월에서 9월까지로 한정하여 해당되는 월의 사용량만을 대상으로 하였다.

4.2 향별 에너지 소비 특성

세대별 난방에너지 사용량은 약 5,600~15,200m³로 분포하고 있으며, 단위면적당 난방에너지 사용량은 41~90m³/m²이다.

난방에너지 사용량을 기준으로 5호, 2호, 6

호, 4호, 3호, 1호 순으로 많아진다. 단위면적당 난방에너지 사용량의 순서가 일부 역전되기도 하지만 전체적인 경향은 유사한 것으로 나타났다. 즉, 두 세대 사이에 위치한 단면 개방형 평면인 5호와 2호의 난방에너지 사용량이 적게 나왔으며, 이들 두세대 중, 남서향인 5호는 일사의 영향으로 난방에너지가 가장 적게, 직각 개방형 평면이면서 북동향과 남동향에 면해있는 1호의 난방부하가 가장 많은 것으로 분석되었다.

이러한 특성은 에너지 시뮬레이션에서 분석된 난방부하의 향별 경향과 유사한 것으로 나타났다.

표 8. 세대별 난방에너지 사용량

구 분	1호	2호	3호	4호	5호	6호	평균
난방 에너지 (m ³)	15,172	8,540	13,331	12,708	5,643	11,685	11,180
	1.36	0.76	1.19	1.14	0.50	1.05	1.00
단위면적당 난방 (m ³ /m ²)	85.94	71.16	89.74	83.96	41.50	60.83	72.00
	1.19	0.99	1.24	1.16	0.57	0.84	1.00

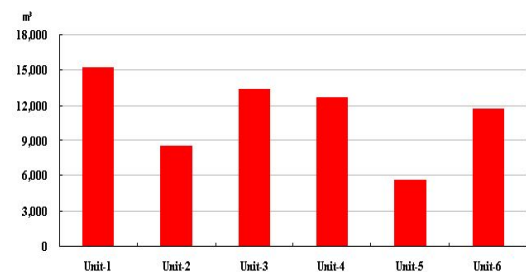


그림 9. 난방에너지 사용량(11월~3월)

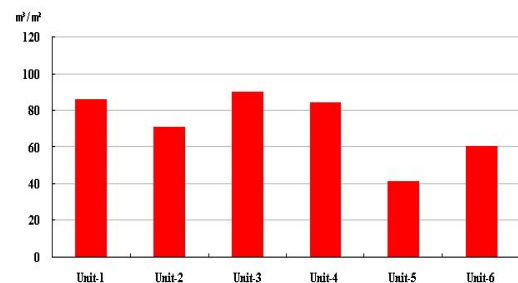


그림 10. 단위면적당 난방에너지 사용량(11월~3월)

세대별 냉방에너지 사용량은 약 57,000~68,000kWh로 분포하고 있으며, 단위면적당 냉방에너지 사용량은 350~480kWh/m²이다.

냉방에너지 사용량을 기준으로 2호, 5호, 3호, 1호, 4호, 6호 순으로 많아지나, 단위면적당 냉방에너지 사용량을 기준으로는 6호, 1호, 3호, 5호, 4호, 2호 순으로 그 경향이 다르게 나타나고 있다.

표 9. 세대별 냉방에너지 사용량

구 분	1호	2호	3호	4호	5호	6호	평균
냉방 에너지 (kWh)	64,217	57,160	59,056	64,571	57,923	67,927	61,809
단위 면적당 냉방 (kWh/m ²)	1.04	0.92	0.96	1.04	0.94	1.10	1.00

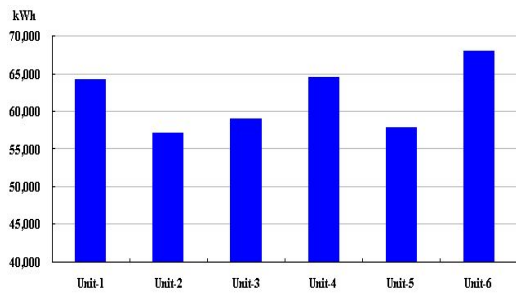


그림 11. 냉방에너지 사용량(6월~9월)

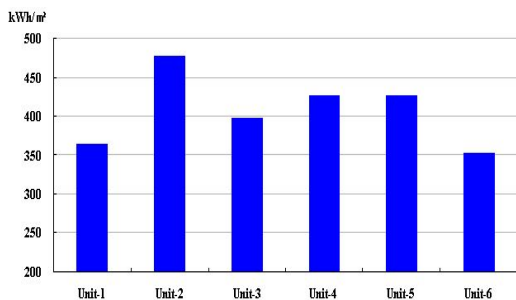


그림 12. 단위면적당 냉방에너지 사용량(6월~9월)

에너지 시뮬레이션 분석에 의한 냉방부하 결과값과 비교해 보았을 때, 전체 냉방에너지

사용량 분석치는 유사하나, 단위면적당 냉방 에너지 사용량과는 큰 차이가 나타나는 것을 알 수 있다.

즉, 에너지 시뮬레이션과 전체 냉방에너지 사용량 결과에서는 두 세대 사이에 위치한 단면 개방형 평면이면서 북동향인 2호의 냉방 부하가 가장 적게, 직각 개방형 평면이면서 남서향과 남동향에 모두 면해있어 일사부하가 높은 6호의 냉방부하가 가장 많은 것으로 분석된 반면, 단위면적당 냉방에너지 사용량의 경우 정반대의 결과인 6호가 가장 적게, 2호가 가장 많게 나오는 것으로 분석되었다.

이상에서 살펴본 바와 같이, 난방에너지의 전체 및 단위면적당 사용량은 에너지 시뮬레이션에서의 난방부하 예측값과의 경향이 유사하게 나타나나, 냉방에너지 사용량의 경우 단위면적당 사용량이 시뮬레이션의 예측값과 상당한 차이가 나타나는 반면, 전체 냉방에너지 사용량과는 경향이 유사한 것을 알 수 있다.

이는 난방에너지의 경우 동절기 난방기간 동안 세대내 모든 실에서 난방을 가동하여 전체 난방에너지 사용량뿐만 아니라 단위면적당 난방에너지 사용량 모두 에너지 시뮬레이션 예측값과 유사하게 분석되는 것으로 판단되며, 냉방에너지의 경우 세대내 모든 실에서 냉방장치를 가동하지 않아 단위면적당 냉방 에너지 사용량은 그 경향이 에너지 시뮬레이션과 다르게 나타나는 것으로 판단된다.

이는 냉방에너지원으로 사용되는 전력에 대한 비용 부담에 따른 냉방장치의 비가동에 의한 것이어서 이에 따른 재실자들의 열적 불쾌적감이 있을 것으로 예상된다.

5. 결 론

탑상형 초고층 공동주택의 실내환경 측정 및 에너지 시뮬레이션을 통해 세대별 난방부하 특성을 살펴본 후, 에너지 실사용량과의 비교를 통해 초고층 공동주택의 에너지 특성

을 분석한 본 연구의 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 초고층 공동주택의 실내환경 측정 결과, 향이 다른 두 창외 유리 표면 온도 최고 값 및 그 시간대가 다른 것으로 나타나 향이 다른 각 세대의 실내환경 특성이 다른 특성이 있다.
- (2) 에너지 시뮬레이션 분석결과, 초고층 공동주택 각 세대의 냉난방 부하에 미치는 요인은 세대의 향, 평면형태 및 창면적 등 다양한 디자인 요소에 의해 복합적으로 영향을 받아 세대별 냉난방부하 차이가 뚜렷한 것으로 나타났다. 특히 창호를 통한 일사는 난방부하를 감소시키기도 하며, 냉방부하를 증가시키는 양면성을 갖고 있다.
- (3) 초고층 공동주택의 냉난방에너지 실제 사용량을 조사한 결과, 난방에너지 사용량은 향과 평면형태가 다른 6세대의 예측값과 유사한 경향이 있으며, 냉방에너지의 경우 단위면적당 사용량이 예측값과 상당한 차이가 있는 것은 냉방장치를 모든실에서 사용하지 않는 것으로 판단되며, 이에 따라 재실자들의 온열쾌적 만족도가 낮을 것으로 예상된다.

따라서 탑상형이 대부분인 초고층 공동주택은 판상형 일반 공동주택과는 다르게 코어를 중심으로 구성되는 세대가 모든 향에 면해 있게 되므로, 냉난방부하에 영향을 미치는 다양한 요인 즉, 향, 평면형태, 창면적 등에 의한 복합적인 영향을 고려하여 각 세대별로 부하를 감소시킬 수 있는 합리적인 계획이 필요하다. 특히 냉방에너지의 경우 전력비용 부담에 따른 사용량 절감 행동에 따라 재실자들의 열적 불쾌적감이 클 것으로 예상되므로, 냉방부하를 감소시키기 위한 설계가 절실하다 하겠다.

또한 향후 재실자의 에너지 사용 습관 및 열쾌적 범위에 따른 이용행태가 실제 에너지

사용량에 미치는 영향에 관한 추가적인 연구를 통해 에너지 소비 특성을 보다 명확하게 파악할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 국토해양통계누리, <https://stat.mltm.go.kr>
2. 국토해양부, http://www.mltm.go.kr/USR/NEWS/m_71/dtl.jsp?id=155097257
3. 정재원, 김민휘, 김유신, 김진호, 권오현, 외기전담시스템 기반 초고층 공동주택 중앙공급식 환기시스템의 적정 급기조건 설정 및 에너지 절감효과 분석, 대한건축학회논문집 계획계 v.25 n.06, 2009
4. 김광호, 김병선, 소규모 유리외피 사무소빌딩 사례를 통한 온열환경과 냉방부하 저감방안에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계 v.21 n.08, 2005
5. 김종도, 김성화, 최무혁, 아파트 주동평면형태의 특성 및 개방성에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계 v.26 n.04, 2010
6. 강윤석, 정미현, 박효진, 김은미, 임병찬, 건물 에너지 절약을 위한 적정 창호 선정에 관한 연구, 한국건축친환경설비학회 논문집 Vol.2, No.1, 2008
7. 김시현, 임도요, 정창현, 김태연, 이승복, 공동주택의 에너지 성능 최적화를 위한 개방유형별 외피성능, 대한건축학회 학술발표대회 논문집 v.28 n.1, 2008
8. 임태섭, 김병선, 업무용 건축물의 일사부하저감을 통한 실내 온열환경 개선에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 계획계 v.26 n.10, 2010