

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 27, No. 2, 2007

동일 체적의 건물 형상에 따른 에너지 소비량 패턴에 대한 분석 연구

최원기*, 김현중**, 서승직***

*베스텍(wkchoi@i-bestech.co.kr), **인하대학교 대학원 건축학부(nicehj00@nate.com),

***인하대학교 건축학부(energeti@inha.ac.kr)

A Study on the Analysis of Energy Consumption Patterns According to the Building Shapes with the Same Volume

Choi, Won-Ki*, Kim, Heon-Joong**, Suh, Seung-Jik***

*BESTech., (wkchoi@i-bestech.co.kr),

**School of Architecture, Graduate School, Inha University(nicehj00@nate.com),

***School of Architecture, Inha University(energeti@inha.ac.kr)

Abstract

This study was focused on the establishment of a fundamental DB(database) that is available in the building design process, so we performed the simulation analysis about the energy consumption on the various same volume buildings. Because energy consumption in building is affected by the exterior surface area, the ratio of long/short length in surface and the adjacent internal surface area etc.. For these purpose, we assumed the unit module and made a constructable 16 model buildings which are composed of the 16 unit modules. Then we analyzed the simulation using the TRNSYS 16 and the Seoul weather data.

In results, energy consumption in building is more reduced that in case of the smaller exterior surface area, the lower stories building and the larger adjacent surface area etc.. Further study is to be required the sensitivity analysis on the various weather conditions, building shapes and window area etc..

Keywords : 동일체적 건물 형상(Building shapes with the same volume), 에너지 소비량(Energy consumption), 트랜시스 16(TRNSYS 16)

접수일자 : 2007년 5월 2일, 심사완료일자:2007년 5월 29일

교신저자 : 서승직(energeti@inha.ac.kr)

1. 서론

건물은 초기 계획 단계부터 다양한 분야의 전문가들에 의해 경제, 사회, 환경, 기술 그리고 미적 측면 등에 관한 종합적인 검토가 이루어진다. 이 중 에너지 및 환경 기술적 측면의 검토에 있어, 건물 에너지 소비 절감 및 환경 성능 향상 분야에 대한 관심 증대로 건축 환경 및 설비 분야와 관련된 많은 연구가 수행되어 왔다.

이러한 건물의 환경 성능 및 에너지 절감 기술에 대한 평가는 디자인 초기 단계부터 정량적으로 분석되어 건물에 반영되는 것이 매우 중요하며, 따라서 이를 위한 건물 디자인 요소들에 따른 설계 기초 자료를 마련하는 것은 매우 큰 의미가 있을 것이다.

이에 본 연구에서는 하나의 단위 모듈을 가정하고, 이를 확장시켜 16개의 동일한 모듈로 구성된 건물의 다양한 형태에 대한 에너지 소비량 분포 패턴을 시뮬레이션 분석을 통해 수행하였다. 이는 동일 체적의 건물일지라도 지표면에 면한 벽체의 면적, 수직 외표면의 면적, 지붕면의 면적 그리고 인접한 실들에 면한 벽체의 면적 등이 건물의 에너지 소비량에 각기 다른 영향을 미칠 것으로 판단되었기 때문이다¹⁾.

이를 위해 본 연구는 먼저 단위 모듈을 제안하고, 모듈 16개로 구성할 수 있는 동일한 체적의 다양한 건물 형태를 16가지로 제안하였으며, 이를 TRNSYS와 여기서 제공하는 서울 지역의 tmy2 기상 데이터를 이용한 시뮬레이션 분석을 수행하였다. 한편 선행연구²⁾에서는 정방형 단위 모듈로 분석하였지만, 본 연구에서는 일반 사무소에서 사용하는 단위 모듈로 분석하였다.

2. 건물의 형상과 에너지

건물의 디자인 패턴적 측면에서 냉·난방 에너

지 절감을 위해선 유입/유출되는 에너지를 최적화하는 것으로, 이는 건물 방위 및 형상을 함께 고려해야 한다. 건물의 형상은 태양 복사열의 수열정도와 열 방출을 결정하려면, 먼저 건물의 외벽 면적과 관계가 있다. 이러한 건물의 외벽 면적은 바닥의 면적이 같아도 공간 및 평면 형태에 따라 달라지며, 형상이 같다면 부피에 따라 달라진다. 그러므로 이러한 모든 경우를 감안한 계획을 디자인에 반영하여야 할 것이다.

2.1 평면 형태³⁾

건물 형상의 가장 기본이 되는 평면 형태에 있어 에너지 효율 차이는 보통 평면 형태의 장·단면비가 1:1인 정방형의 밀집된 형태가 가장 에너지를 절약할 수 있다고 분석되고 있다.

그러나 건물의 평면 형태를 결정하는데 실의 기능과 공간 구성 요소의 영향, 일조와 일사 등을 고려한 정방형 형태가 아닌 경우 남북으로 긴 형상보다는 동서로 긴 평면이 유리하다. 동서측으로 길어질수록 겨울철 수열량이 많아지고 여름철 수열량이 적어진다. 일사만을 고려하면 이 형태가 가장 유리하지만 외벽 면적이 증가하여 관류 열손실 영향이 커지므로 한냉지에서는 1:1인 정방형의 형태가 유리하다.

일반적으로 건물에서 관류열손실(취득)은 외벽 면적이 늘어날수록 커진다. 그러므로 기본 밀집된 사각형의 평면 형태에 변화를 주면 외피면적이 증가하므로 에너지 소비도 증가하게 된다.

그러나 무조건 외벽 면적을 작게하는 것이 유리한 것은 아니므로 모든 인자들을 종합적으로 고려하는 설계가 필요하다.

2.2 입면 형태³⁾

에너지 절약을 위한 입면 형태를 결정할 때 중요한 고려사항은 외피 면적에 대한 체적의 비로 S/V (Surface area/Volume = 1/m)로 표시한다.

S/V비가 작은 건물일수록 복사, 대류, 전도에 의한 열손실(취득)의 영향을 적게 받으므로 에너지 절약에 유리하다. 형태가 일정한 경우 실제적이 증가할수록 벽면적이 늘어나는 비율이 적어진다. 또한 같은 체적이라도 입방체의 배치를 다양하게 구성하여 외벽 면적을 바꿨을 때도 S/V비는 다양하게 변화됨을 알 수 있다.

그러므로 냉·난방에너지의 절약을 위해서는 건물전체 형태를 단순하게 구성하며, 단위면적당 외피면적을 최소화하고 S/V와 S/F(Surface area/ Floor Ratio)비를 작게 하는 것이 유리함을 알 수 있다. 그러나 외벽 면적에 의한 건물형태의 결정은 기후조건, 일사, 바람, 외기조건 등에 따라 다르게 적용되어야 하며 외벽 면적이 늘어남에 따른 장점과 단점을 알고 형상 결정에 반영해야 할 것이다.

이러한 다양한 기후 조건들에 따른 디자인 양상은 매우 차이가 있으며, 아직까지 우리나라 기후에 맞는 최적의 건물 형상에 대한 정량화된 지표가 마련되어 있지 않으므로 본 연구의 분석 결과를 기점으로 이러한 각 요소요소들에 대한 연구가 활성화 될 수 있을 것이다.

3. 기본 가정 및 단위 모듈

3.1 기본 가정

본 연구는 단위 모듈의 조합에 따른 다양한 형태의 동일 체적 건물에 대한 이론적 열부하 패턴 분석에 초점을 둔 것이므로, 시뮬레이션은 가능한 한 단순화된 조건에서 분석을 진행하였다.

먼저 재료의 물성값 및 벽체 구성은 표 1과 같으며, 기타 내부 발열 및 환기 회수 등은 없는 것으로 가정하였으며, TRNSYS와 서울지역 기상데이터를 이용하였다. 그리고 1층 바닥면의 경우에는 단열 경계조건으로 분석을 수행하였다.

표 1. 재료의 물성값 및 벽체의 구성⁴⁾

재료명	열전도율 (W/m°C)	밀도 (kg/m ³)	비열 (J/kg·°C)
1) 콘크리트 1	1.62	2400	790
2) 콘크리트 2	1.40	2100	653
3) ALC	0.17	600	1090
4) 몰탈	0.37	2000	790
5) 자갈	0.36	1840	840
6) 마감재	0.14	600	1210
7) 석고보드	0.21	910	1130
8) 단열재	0.03	30	837

벽체 구성	레이어 1	레이어 2	레이어 3	레이어 4	레이어 5	U-value
외벽면	2)	8)	7)			0.40
내벽면	180mm	65mm	9.5mm			
지붕면	1)	8)	7)			0.25
	180mm	110mm	9.5mm			
바닥면	5)	1)	8)	3)	4),6)	0.32
	75mm	180mm	55mm	50mm	50mm	
유리창	이중창 : U-value = 2.83					

3.2 단위 모듈¹⁾

본 연구를 수행하기 위한 단위 모듈은 그림 1과 같이 길이(9m)×폭(7m)×높이(3.5m)인 단위 모듈로 설정하였으며, 남쪽 창문면적은 벽체면적의 64%, 동·서쪽은 16%, 북쪽은 8%인 건물로 가정하였다. 이상의 단위 모듈 16개의 조합으로 건물을 모델링 하였으며, 정남향에 한하여 시뮬레이션을 수행하였다.

단위 모듈의 조합으로 가능한 다양한 건물 형태는 그림 2와 같으며, 총 16개의 모델에 대하여 분석하였다.

단위 모듈의 조합에 의한 모델링 과정에서 발생하는 외피의 면적 및 인접 존과 면한 벽체 면적은 표 2와 같다.

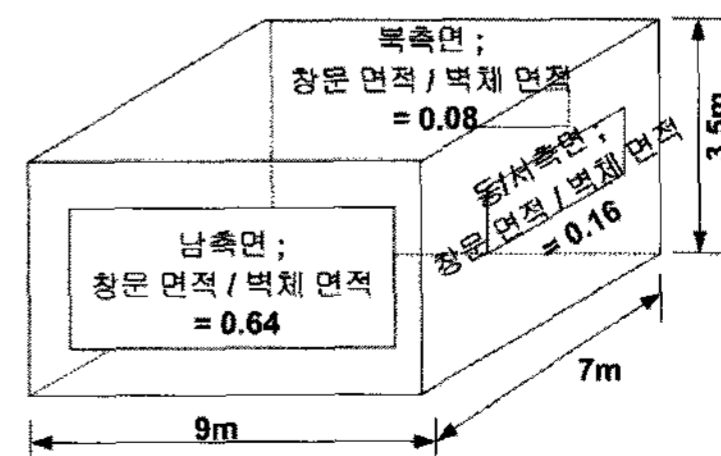


그림 1. 단위 모듈 개념도

표 2. 각 모델의 특징

모델	수직벽 (m ²)	지붕, 지면 (m ²)	수직벽 +지붕 (m ²)	총 외피 (m ²)	인접한 벽체 (m ²)	체적 (m ³)
M-1	1,057	1,008	1,065	3,073	367.5	3,528
M-2	1,106	1,008	2,114	3,122	343	3,528
M-3	602	1,008	1,610	2,618	595	3,528
M-4	1,106	504	1,610	2,114	847	3,528
M-5	1,204	1,008	2,212	3,220	294	3,528
M-6	700	1,008	1,708	2,716	546	3,528
M-7	1,204	504	1,708	2,212	798	3,528
M-8	1,204	252	1,456	1,708	1,050	3,528
M-9	448	1,008	1,456	2,464	672	3,528
M-10	700	504	1,204	1,708	1,050	3,528
M-11	896	1,008	1,904	2,912	448	3,528
M-12	896	504	1,400	1,904	952	3,528
M-13	896	252	1,148	1,400	1,204	3,528
M-14	1,400	126	1,526	1,652	1,078	3,528
M-15	1,792	63	1,855	1,918	945	3,528
M-16	1,792	1,008	2,800	3,808	0	3,528

각 모델의 형상에 따른 냉·난방 에너지 소비량 분포는 표 3과 같으며, 동일 체적이라도 건물의 형상에 따라 에너지 소비량은 약 2.7배까지 증가할 수 있음을 보여준다.

표 3. 각 모델의 냉·난방 에너지 소비량(GJ)

모델	난방 에너지 소비량	냉방 에너지 소비량	총 에너지 소비량
M-9	75.48	80.84	156.32
M-10	107.47	83.73	191.19
M-3	105.62	92.24	197.85
M-6	114.03	101.91	215.94
M-13	121.47	95.09	216.57
M-12	124.25	103.97	228.22
M-11	130.25	122.05	252.30
M-4	168.27	113.95	282.22
M-8	170.83	116.86	287.69
M-1	168.15	125.52	293.67
M-7	172.73	124.82	297.55
M-2	171.40	130.52	301.92
M-14	184.15	134.07	318.22
M-5	177.86	140.57	318.43
M-15	208.94	172.53	381.47
M-16	215.22	199.45	414.66

4. 시뮬레이션 분석 결과

4.1 냉·난방 에너지 소비량 분포

전체 16개 모델에 대한 시뮬레이션 분석은 여름철 26°C, 겨울철 20°C로 설정한 시간별 냉·난방 부하를 중심으로 평가하였으며, 이를 에너지 소비량으로 가정하여 사용하였다.

이러한 분포는 건물 형상에 따른 외피 면적 때문에 발생하는 것으로 판단하여 각각의 외피에 대한

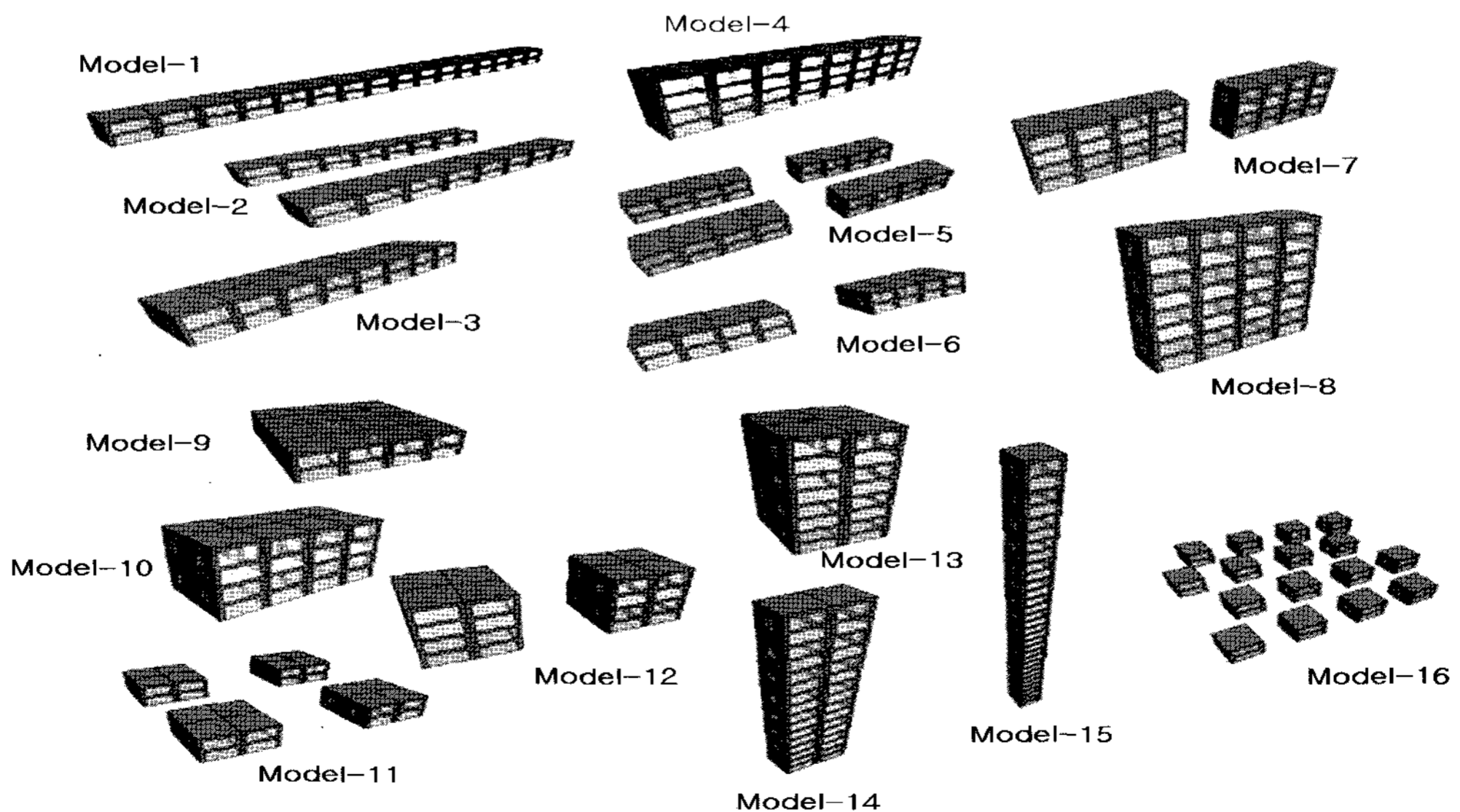


그림 2. 단위 모듈 조합에 의한 건물 모델링

냉·난방 에너지 소비량 분포를 분석하였다.

그림 3은 수직벽 면적에 따른 에너지 소비량 분포를 나타내고 있으며, 동일한 수직벽 면적에서 약 8~35GJ의 오차를 발생하고 있으며, 이는 인접한 벽체의 면적에 따른 결과로 분석되어진다.

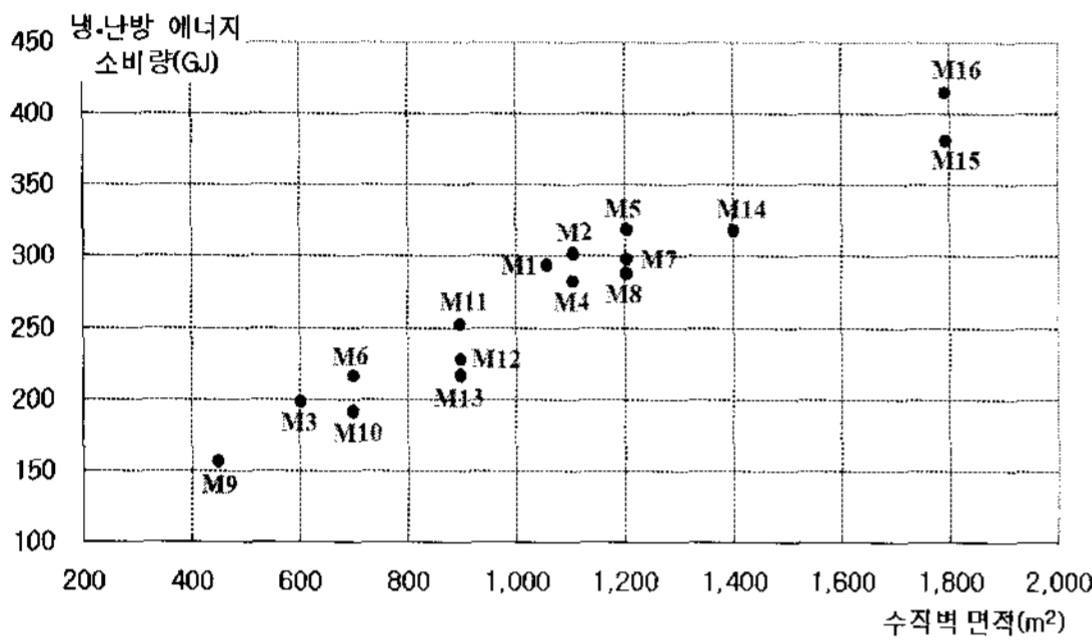


그림 3. 수직벽 면적에 따른 에너지 소비량 분포

그림 4는 지붕(바닥층) 면적에 따른 에너지 소비량 분포를 나타낸 것으로, 지붕면이나 바닥층 면적만으로는 에너지 소비량 분석이 어려움을 알 수 있다. 그러나 동일한 체적에서 지붕 면적이 일치한다면 동일한 층임을 알 수 있으며, 표 4와 같이 동일한 층에서 전체 인접 면적이 증가함에 따라 에너지 소비량은 감소함을 알 수 있었다. 특히 동일한 층에서 1열에서 접할 수 있는 최대 개수와 2열 이상 접할 수 있는 최소 개수와의 에너지 소비량은 약 41~71GJ의 차이를 보이며, 층수가 증가함에 따라서 더 큰 차이를 나타냄을 알 수 있었다.

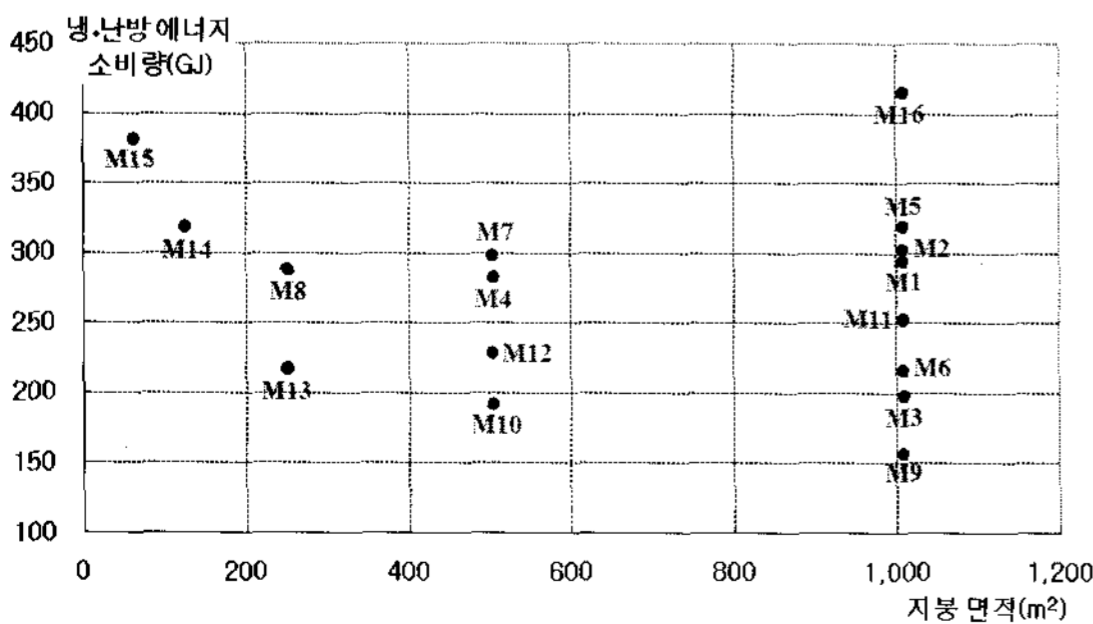


그림 4. 지붕 면적에 따른 에너지 소비량 분포(GJ)

표 4. 층수별 인접 면적에 따른 에너지 소비량 분포

층수	열수	모델	전체 인접 면적 (m ²)	총 에너지 소비량(GJ)
1층	4열	M-9	672	156.32
	2열	M-3	595	197.85
		M-6	546	215.94
		M-11	448	252.30
	1열	M-1	367.5	293.67
		M-2	343	301.92
		M-5	294	318.43
		M-16	0	414.66
2층	2열	M-10	1,050	191.19
		M-12	952	228.22
	1열	M-4	847	282.22
		M-7	798	297.55
4층	2열	M-13	1,204	216.57
	1열	M-8	1,050	287.69

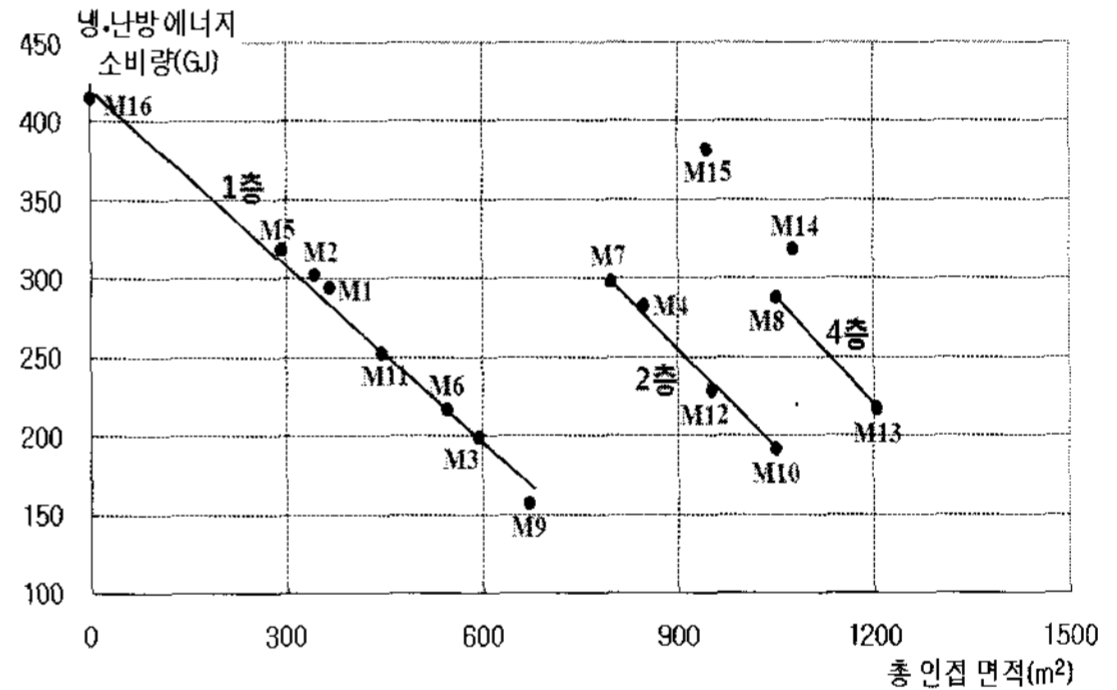


그림 5. 총 인접 면적에 따른 에너지 소비량 분포(GJ)

또한 그림 5는 인접 면적에 따른 에너지 소비량 분포를 나타낸 것으로 동일한 층에서 총 인접 면적에 따라 선형에 가까운 에너지 소비량 분포를 나타내고 있으며, 층수가 높아질수록 저층의 에너지 소비량으로 유지하기 위해서는 더욱 많은 인접 면적을 필요로 함을 알 수 있다.

그림 6은 총 외피에 따른 에너지 소비량 분포를 나타낸 것으로 총 인접 면적에 따른 에너지 소비량 분포 패턴과 반대되는 양상이며, 이는 총 외피가 적을수록 총 인접 면적이 증가하기 때문이다.

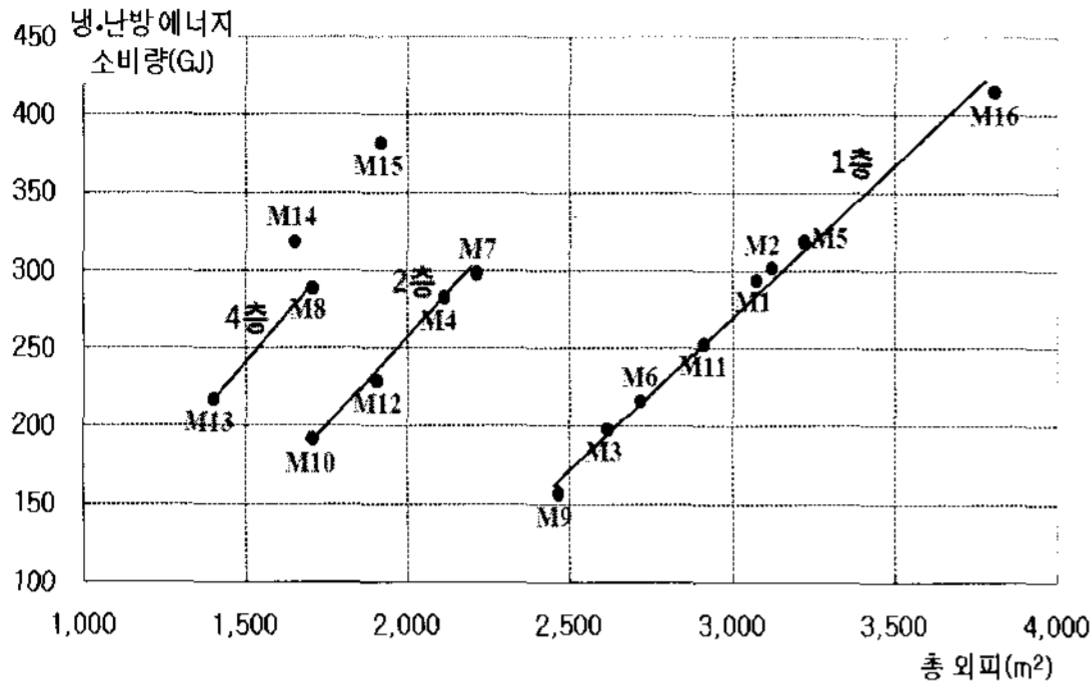


그림 6. 총 외피에 따른 에너지 소비량 분포(GJ)

표 5. 남측 수직벽 면적에 따른 에너지 소비량(GJ)

모델	남측 수직벽 면적 (m ²)	냉방 에너지 소비량	난방 에너지 소비량	총 에너지 소비량
M-9	126	75.48	80.84	156.32
M-3	252	105.62	92.24	197.85
M-10	252	107.47	83.73	191.19
M-6	252	114.03	101.91	215.94
M-13	252	121.47	95.09	216.57
M-12	252	124.25	103.97	228.22
M-11	252	130.25	122.05	252.30
M-1	504	168.15	125.52	293.67
M-4	504	168.27	113.95	282.22
M-8	504	170.83	116.86	287.69
M-2	504	171.40	130.52	301.92
M-7	504	172.73	124.82	297.55
M-5	504	177.86	140.57	318.43
M-14	504	184.15	134.07	318.22
M-15	504	208.94	172.53	381.47
M-16	504	215.22	199.45	414.66

표 5는 남측 수직벽 면적에 따른 에너지 소비량을 나타낸 것으로 남측 수직벽 면적의 증가하는 부분에서 냉방 에너지 소비량이 급격히 커지는 것을 볼 수 있다. 이는 남측 수직벽 면적의 증가에 따라 창문을 통해 유입되는 일사의 증가로 여름철 실내의 온도 상승에 따른 냉방 에너지 소비량이 증가하여 발생하는 것으로 판단된다.

냉·난방 에너지 소비량이 가장 적었던 모델 M-9를 길이·폭·높이(6.04m)가 같은 정방형 단위 모듈을 모델 M-9와 동일하게 조합한 모델 (M-9-C)과 비교하였다.

표 6은 두 모델의 특징을 비교한 것으로 체적은 0.1% 이하의 미세한 차이므로 동일하다고 가정하였다.

표 6. 모델의 특징 비교

모델	수직벽 (m ²)	지붕, 지면 (m ²)	수직벽 + 지붕 (m ²)	총 외피 (m ²)	인접한 벽체 (m ²)	체적 (m ³)
M-9	448	1,008	1,456	2,464	672	3,528
M-9-C	584	584	1,167	1,751	876	3,525

표 7. 에너지 소비량 비교(GJ)

모델	냉방 에너지 소비량	난방 에너지 소비량	총 에너지 소비량
M-9	75.48	80.84	156.32
M-9-C	69.18	74.39	143.57

표 7은 두 모델간의 에너지 소비량을 비교한 것으로 정방형 단위 모듈로 조합한 모델이 냉·난방 에너지 소비량이 8% 이상 낮게 평가되고 있다. 이것은 정방형 단위 모듈의 조합에서 총 외피면적은 줄고 인접한 벽체의 면적이 증가하였기 때문이다.

5. 결론

본 논문은 하나의 단위 모듈을 가정하고, 이를 확장시켜 16개의 동일한 모듈로 구성된 다양한 형태의 건물에 대한 에너지 소비량 분포 패턴을 시뮬레이션 분석을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 지붕면(지표면) 면적이 작거나 크다고 해서 에너지 소비량이 감소하거나 증가하는 것이 아니지만, 동일한 체적에서 지붕 면적이 일치한다면 동일한 층임을 알 수 있었고 동일한 층에서 총 인접 면적이 증가한다면 에너지 소비량은 감소하였다. 또한 2열 이상으로 구성된 건물보다 1열로만 구성된 건물이 보다 큰 에너지 소비량을 보이며, 층수가 증가함에 따라 그 수치도 증가하고 있다. [그림 3, 그림 4, 표 4]

- 2) 인접 면적에 따른 에너지 소비량 분포는 동일한 층에서 총 인접 면적에 따라 선형에 가까운 에너지 소비량 분포를 나타내고 있으며, 층수가 높아질수록 저층의 에너지 소비량으로 유지하기 위해서는 더욱 많은 인접 면적을 필요로 함을 알 수 있다. 또한 총 외피에 따른 에너지 소비량 분포 패턴과 상반된 양상을 보이는 것은 총 외피 면적이 적을수록 총 인접 면적이 증가하기 때문이다. [그림 5, 그림 6]
 - 3) 남측 수직벽 면적이 늘어남에 따라 여름철 냉방 에너지 소비량이 급격히 증가하는 것은 창문을 통해 유입되는 일사량이 증가하여 발생하는 것으로 판단된다. [표 5]
 - 4) 모델 M-9와 모델 M-9-C의 에너지 소비량 분석 결과 단위 모듈을 정방향으로 모델링하는 것이 에너지 절감 면에서 효과적임을 알 수 있었다. [표 6, 표 7]
- 결과적으로 건물의 에너지 소비량을 줄이기 위해

서는 외기에 노출된 외피 면적을 작게하고, 가능한 존이 서로 인접한 저층의 보다 컴팩트(compactness)된 건물인 경우가 바람직할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. P. Depecker, C. Menezo, J. Virgone, S. Lepers, "Design of buildings shape and energetic consumption", Lyon, 2001.
2. 김헌중, 최원기, 차동원, 서승직, 동일 체적의 건물 형상에 의한 에너지 소비량 분포 특성에 관한 연구, 한국태양에너지학회, 학술발표대회, 2006, pp. 92-97
3. 김자경, 자연과 함께하는 건축, 시공문화사, 2004.
4. 김헌중, 이현근, 최원기, 서승직, 원형 건물의 모델링 방법에 따른 열부하 특성 비교, 대한건축학회, 학술발표대회, 2006, pp. 705-708.