

탑상형 공동주택의 모델링 방법론에 관한 연구

이재혁*, 윤성훈**, 최원기***

*한국건설기술연구원 건축계획환경연구실(jhlee37@kict.re.kr),

**한국건설기술연구소 건축계획환경연구실(aquila@kict.re.kr),

***(주)한화건설 기술연구소(cwk08@hanwha.co.kr)

A Study on the Modeling Methods of Tower Type Apartment House

Lee, Jae-Hyuk* Yoon, Sung-Hoon** Choi, Won-Ki***

*Building Planning & Environment Research Division, KICT(jhlee37@kict.re.kr),

**Building Planning & Environment Research Division, KICT(aquila@kict.re.kr),

***Hanwha Research Institute of Technology, Hanwha E&C(cwk08@hanwha.co.kr)

Abstract

This study is focused on the effect of thermal load according to the various plan types in tower-type apartment in Korea. So, we chose the 'J' type model in order to analyze the shading effect of the plan type. The main results are as follows.

In chosen model, cooling energy demands are more sensitive than heating ones when is compared with the two methods. And there are about 10% deviations between new and conventional method. Because new method considers more detailed than conventional one about the building geometries.

We also found that this building type affects to the about 3 floors from the top and it doesn't affect to the thermal load in lower floors. From these facts, we suggest new modeling method to the similar researches that will be analyzed the thermal load on the tower type apartment in Korea. Also there is no difference of the thermal load in each azimuth between simple and detailed modeling method.

Consequently, we judge that this new method considered the shading effect will be used a lot to the similar analysis in tower type apartment in Korea.

Keywords : 모델링 방법론(Modelling Methods), 탑상형 공동주택(Tower type Apartment), 차양효과(Shading Effect), 열부하(Thermal Load)

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

공동주택은 우리나라 주거용 건물의 50%

이상을 차지하고, 신규 주택 건설 시장의 90% 이상을 차지하고 있다. 또한 최근 신축되는 공동주택의 경우에는 대부분 기존의 일자형 형태에서 벗어난 탑상형이 주류를 이루고 있다.

투고일자 : 2010년 4월 12일, 심사일자 : 2010년 4월 20일, 게재확정일자 : 2010년 5월 25일
교신저자 : 최원기(cwk08@hanwha.co.kr)

이러한 탑상형 공동주택은 일자형 형태와 비교해 건물 에너지적인 측면에서는 다소 불리한 점이 많다고 할 수 있다. 왜냐하면, 탑상형 공동주택은 단위 층에 3~4세대로 구성되어 있어, 층벽 세대의 비율이 일자형에 비해 높으며, 정남향에 가까운 배치형태는 1~2세대에 한정될 수밖에 없는 평면 구성을 띄고 있기 때문이다.

한편, 이러한 공동주택의 에너지 성능을 시뮬레이션 프로그램을 통해 사전 분석할 경우, ESP-r, IES_VE, Visual DOE, Energyplus 등의 프로그램들은 입력된 평면의 좌표와 방위에 따른 영향을 충분히 고려할 수 있지만, TRNSYS 와 같이 방위와 면적만을 입력값으로 취하는 프로그램의 경우에는 시뮬레이션 분석을 할 경우 신중을 기해야 한다. 이는 탑상형 평면 구성에 따라 인접한 세대들이 장애물로 일사 및 일조 환경에 영향을 미칠 수 있기 때문이다. 즉, 분석하고자 하는 평면의 특정 방위에 있어, 이 방위 벽체 또는 창호의 수평 확장선보다 돌출된 면들이 존재하면, 차양과 유사한 영향을 해당 벽체에 미치기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 현재 주류를 이루고 있는 탑상형 공동주택을 TRNSYS를 이용하여 시뮬레이션 분석을 할 때 고려해야 되는 평면 형태에 대한 영향을 분석하고, 이러한 탑상형 공간에 따른 합리적인 시뮬레이션 방법론을 제시하고자 한다.

이를 통해 사전 계획단계에서 보다 합리적인 에너지 절약 계획을 수립할 수 있는 토대를 마련하고, 친환경·저에너지 건축을 실현하는데 조금이나마 기여하고자 한다.

1.2 연구 방법 및 범위

본 연구는 다양한 통합형 건물 에너지 분석 프로그램들 가운데 TRNSYS를 이용한 시뮬레이션 분석 방법론을 중심으로 수행되었다. 이는 현재 국내에서 사용되고 있는 대부분의

프로그램들은 방위 및 면적 그리고 좌표에 기초해 모델링이 수행되고 있어 기하학적 형태에 따른 영향이 반영되지만, TRNSYS를 이용한 모델링에서는 단지 방위와 면적에만 의존하고 있어 기하학적 형태에 따른 영향이 고려되지 않기 때문이다.

따라서 여러 유형의 탑상형 공동주택 가운데 비교적 단순한 형태의 단위 동을 선정하고, 이를 보다 정확히 분석하기 위한 모델링 방법론을 개발하고, 이러한 방법론의 검증을 위해 기존의 단순 모델링 방식과 새롭게 제안된 방식을 비교·분석하여 에너지 성능의 차이점을 평가하였다.

2. 선행 연구 및 모델링 방법론

2.1 선행 연구 분석

공동주택의 열부하 및 에너지소비량 평가에 관한 많은 선행연구들이 수행되어 왔으며, 그 중 TRNSYS를 이용한 연구 가운데 대표적인 것으로 단위세대법과 대표모델법이 있다.

그러나 이들 대부분의 연구들은 기존의 일자형 공동주택을 주 분석 대상으로 하고 있으며, 현재 주류를 이루는 탑상형 공동주택 분석에 있어서는 한계를 지니고 있다. 특히 단위세대법의 경우에는 남향을 향하는 1~2세대는 한 번의 모델링으로 비교적 쉽게 분석이 가능하지만, 그 외의 세대들은 추가적인 모델링 과정을 거쳐야 하며, 또한 인접한 세대들이 영향을 고려할 수 없는 특징이 있다. 대표모델법 또한 판상형 공동주택의 특징을 비교적 잘 반영하고 있지만, 탑상형 평면의 특징을 모두 반영하기에는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서 수행된 새로운 접근법을 통해 비교적 쉽고 빠르게 탑상형 공동주택을 분석할 수 있는 방법을 제시하고, 계획 단계에서부터 활용하여 보다 합리적인 설계를 도출해 낼 수 있다고 사료된다.

2.2 모델링 방법론

본 연구에서 제안하는 모델링 방법론은 크게 2가지가 있다.

(1) 인접한 세대들의 영향

그림 1에서 보는 것과 같이 H1 세대에 의해 H3 세대 후면부에 음영이 발생하는 차양 효과(shading effect)가 발생하게 된다.

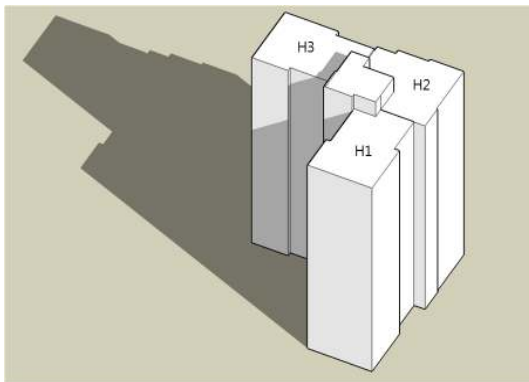


그림 1. 인접세대 영향에 대한 개념도

(2) 인접한 세대들의 위치에 대한 상부층의 영향

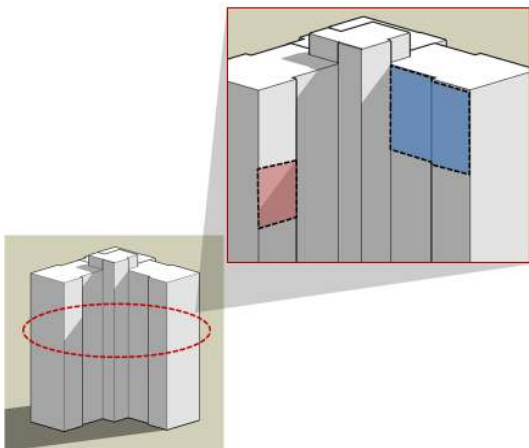


그림 2. 상층부의 영향에 대한 개념도

그림 2는 인접한 세대의 상층부에 의해 발

생하는 음영의 영향을 보여주는 개념도이다. 오른쪽 위 상자 안에서 보는 것처럼 오른쪽 상단 점선 부분이 하층부에 위치한 점선 부분에 차양 장치로 작용하여 음영을 발생시킨다.

이를 위해 단위 세대의 수평 확장선상의 인접세대들의 영향을 일종의 차양 장치로 가정하여 모델링에 반영하는 것이 첫 번째이고, 두 번째는 해당 층의 세대에 얼마나 많은 상부 층들이 영향을 미치는 지를 분석하여 제시하는 것이다.

3. 분석 모델 및 시뮬레이션 조건

3.1 분석 모델

본 연구를 위해 채택한 답상형 공동주택은 그림 3과 같이 3세대로 구성되어 있다. 2세대의 거실은 남측을 향해 있으며, 나머지 한 세대는 거실이 동측을 향해 있는 구성이다.

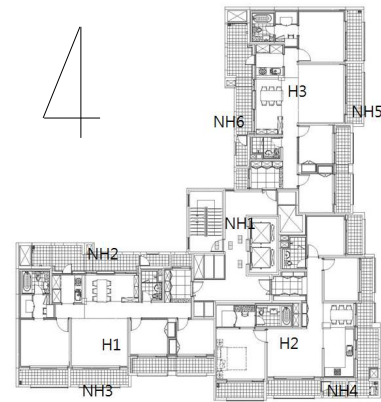


그림 3. 시뮬레이션 대상 모델 평면

본 연구를 위해 대상 모델은 3개의 난방공간과 6개의 비난방 공간으로 조닝하였으며, 각 세대의 전용면적 부분을 하나의 난방공간으로 설정하고, 난방공간 앞뒤의 발코니 부분을 비난방 공간으로 설정하였다. 세대의 중간 부분에 위치한 계단실은 비난방 공간으로 설정하였다.

3.2 시뮬레이션 기본 조건

(1) 벽체 및 창호 구성

벽체 구성은 현재 시공되고 있는 공동주택의 일반적인 벽체 구성을 따랐으며, 벽체 구성 재료별 열적 물성값은 표 1과 같다.

표 1. 벽체 구성 재료의 열적 물성값

재료	열전도율 [W/m·K]	밀도 [kg/m³]	비열 [J/kg·K]
석고보드	0.18	750	870
콘크리트	1.6	2200	1000
단열재	0.037	25	1470
모르타르	1.4	2000	900
경량기포 콘크리트	0.19	500	1000

표 2. 벽체의 열적 물성값

벽체	열관류율 [W/m²·K]
외벽	0.406
측벽	0.306
발코니벽	3.776
슬래브	1.699

표 3. 창호의 열 및 광학적 물성값

	U-value [W/m²·K]	g-value [%/100]	구성 [mm]
16mm 복층유리	2.89	0.605	5/6/5
5mm 단창 (알루미늄창틀)	6.50	0.793	5

표 2와 3은 벽체의 열적 물성값과 창호의 열 및 광학적 물성값을 나타낸 것이다.

(2) 경계 조건

표 4. 시뮬레이션을 위한 조건

	조건	
난방설정온도 및 기간	20℃ (11월 ~ 3월)	
냉방설정온도 및 기간	26℃ (6월 ~ 8월)	
기상자료	서울 2006(기상청)	
내부발열 [W/m²]	기기 및 조명	3.76
	인체	1.825

시뮬레이션을 위하여 이용된 기상데이터는 기상청의 2006년 서울지역 기상데이터를 이용하였으며, 나머지 시뮬레이션을 위하여 필요한 조건들은 표 4와 같다.

4. 시뮬레이션 결과 분석

시뮬레이션 분석은 2.2에서 제시한 첫 번째 방법론에 대하여 3가지 Case를 설정하여 진행하였다. 그리고 두 번째 방법론에 대해서는 Case2에 적용하여 분석하였다. Case 1은 발생하는 음영을 고려하지 않은 조건이며, Case 2는 창이 포함된 각각의 벽체에 대한 음영을 고려하여 최대한 실제 평면과 유사하게 모델링한 경우이다. 그리고 Case 3은 각각의 방위에 대하여 각 방위에 위치한 창과 벽체를 하나의 창과 벽체로 가정하고, 시뮬레이션 프로그램 상에서 가정된 부분에 대하여 방위별 하나의 차양 계산 모듈을 적용하여 시뮬레이션 한 경우이다. 이를 통해 각각의 시뮬레이션 결과가 어느 정도의 차이를 보이는지 비교·분석하였다.

4.1 차양효과

(1) 냉방 에너지 요구량

표 5. Case별 냉방 에너지 요구량 및 비율

	Case 1		Case 2		Case 3	
	에너지 요구량	비율	에너지 요구량	비율	에너지 요구량	비율
H1	6.537	100	5.949	91.0	5.827	89.1
H2	6.027	100	6.113	100.7	6.027	100.0
H3	7.285	100	6.199	85.1	6.316	86.7
합계	19.894	100	18.261	91.8	18.216	91.6

※ 비율 산정은 Case 1의 값을 기준으로 한 비교값임.
단위: [GJ, yr=6~8월]/[%]

표 5와 그림 4에서 알 수 있듯이 차양 효과가 발생하지 않는 Case 1의 경우 가장 높은 냉방 에너지 요구량 분포를 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 차양의 영향을 가장

적게 받는 H2의 경우 거의 영향이 없는 것으로 나타나고 있으며, 전체적으로 평면의 배치 특성에 따라 약 10% 내외의 냉방 에너지 요구량 차이를 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 다소 상세한 모델링을 수행한 Case 2와 그렇지 않은 Case 3의 경우에는 약 1% 정도의 차이를 나타내고 있으므로, 기존의 단위 세대법 또는 대표모델법을 이용한 방법과 동일한 특성을 보이고 있음을 알 수 있다.

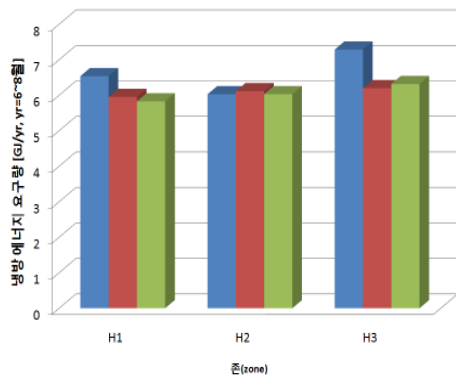


그림 4. 존(zone)별 연간 냉방 에너지요구량

(2) 난방 에너지 요구량

표 6. Case별 난방 에너지 요구량 및 비율

	Case 1		Case 2		Case 3	
	에너지 요구량	비율	에너지 요구량	비율	에너지 요구량	비율
H1	28.846	100	30.109	104.4	30.111	104.4
H2	29.226	100	29.376	100.5	29.403	100.6
H3	33.441	100	34.245	102.4	34.034	101.8
합 계	91.513	100	93.731	102.4	93.548	102.2

* 비율 산정은 Case 1의 값을 기준으로 한 비교값임.
단위: [GJ, yr=11~3월]/[%]

난방 에너지 요구량의 경우에는 표 6과 그림 5에서 알 수 있듯이 차양 효과가 발생하지 않는 Case 1의 경우 가장 낮은 분포를 나타내고 있음을 알 수 있다. 냉방 에너지 요구량에서와 같이 차양의 영향을 가장 적게 받는 H2의 경우 약 0.5% 정도의 차이만을 나타내고 있다.

그러나 냉방 에너지 요구량과는 달리 난방 에너지 요구량의 경우에는 모델링 방법론에 따라 5% 미만의 차이만을 나타내고 있으며, Case 2와 Case 3의 경우에는 약 0.2% 정도의 차이를 나타내고 있음을 알 수 있었으며, 실내 취득일사량이 하절기에 보다 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

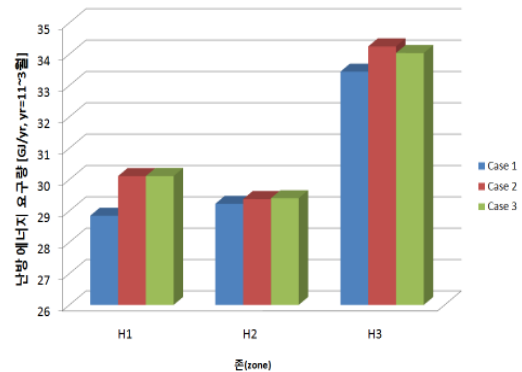


그림 5. 존(zone)별 연간 난방 에너지요구량

(3) 실내로 유입되는 일사 취득량 분석
차양 조건을 제외하고는 모든 것이 거의 동일한 설정조건이므로, 냉난방 에너지 요구량에 직접적으로 영향을 미치는 것은 존별 일사 취득량의 차이인 것으로 판단할 수 있다.

표 7. 냉방기간 zone 별 일사취득량 및 비율

	Case 1		Case 2		Case 3	
	일사 취득량	비율	일사 취득량	비율	일사 취득량	비율
NH2	2.670	100	1.912	71.62	1.134	42.49
NH3	7.476	100	6.819	91.21	6.825	91.28
NH4	9.564	100	9.784	102.29	9.333	97.58
NH5	8.541	100	7.603	89.02	7.717	90.35
NH6	3.623	100	1.859	51.32	1.952	53.89
합 계	31.875	100	27.978	87.8	26.961	84.6

* 비율 산정은 Case 1의 값을 기준으로 한 비교값임.
단위[GJ/yr, yr=6~8월]/[%]

냉방 기간 존별 일사취득량은 표 7과 같으며, 차양의 영향이 가장 적은 NH4를 제외한 나머지

지 모든 공간에서 Case 1에 비하여 Case 2와 Case 3 모두 감소하였다. 표 7에서 와 같이 Case 1 대비 Case 2와 Case 3의 일사유입량의 상대적인 비율은 북측과 서측에 위치한 NH2와 NH6에서 가장 낮게 나타났다. 이는 NH2와 NH6에서 차양 도구로 작용한 NH2와 NH6의 전면 벽체의 길이가 남측에 비해 월등히 크다는 것이 주 원인인 것으로 판단된다.

일사취득량과 냉방 에너지 요구량의 변화를 연결하여 살펴보면, H1과 연결된 NH2와 NH3의 일사취득량이 크게 감소한 Case 3의 경우가 H1에서 가장 낮은 에너지요구량을 나타내고 있다. 그리고 H3과 연결된 NH5와 NH6의 일사취득량이 다소 크게 감소한 Case 2의 경우, H2에서 가장 낮은 에너지 요구량을 나타내었다.

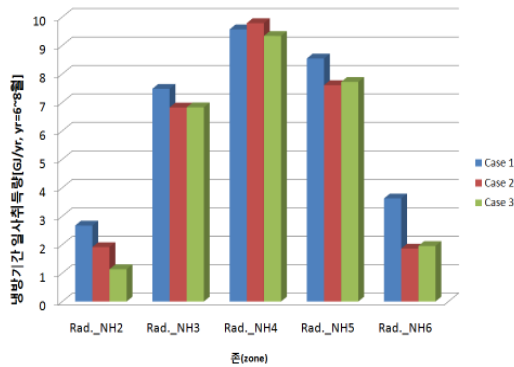


그림 6. 냉방기간 존(zone)별 일사취득량

표 8. 냉방기간 zone 별 일사취득량 및 비율

	Case 1		Case 2		Case 3	
	일사 취득량	비율	일사 취득량	비율	일사 취득량	비율
NH2	2.122	100	1.713	80.72	1.016	47.89
NH3	19.416	100	17.235	88.77	17.240	88.79
NH4	16.503	100	16.932	102.60	15.843	96.00
NH5	8.792	100	8.307	94.49	8.315	94.57
NH6	4.740	100	3.160	66.68	3.445	72.69
합 계	51.573	100	47.348	91.8	45.895	88.9

* 비율 산정은 Case 1의 값을 기준으로 한 비교값임.
단위[GJ/yr, yr=11~3월]/[%]

표 8과 그림 7에서 알 수 있듯이 난방기간에도 Case 1에 비하여 Case 2의 NH4를 제외한 나머지 모든 존에서 일사취득량이 감소하였다.

표 8에서 나타난 바와 같이 비율은 냉방기간과 동일하게 북측과 서측에 위치한 공간에서 가장 큰 변화를 보이고 있다.

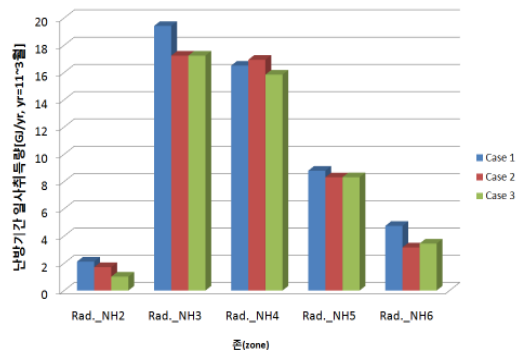


그림 7. 난방기간 존(zone)별 일사취득량

4.2 인접한 상부층 높이에 대한 영향

단위 층에 대하여 기하학적으로 영향을 미치는 상부층 영향을 분석한 것으로, 단위 동에 대한 총 냉난방 에너지요구량을 분석할 때 활용될 수 있는 결과를 도출하기 위함이다.

단위 층을 중간층이라 가정된 뒤 하부로부터의 반사 일사를 없게 하기 위하여 지표면 반사율을 0으로 설정하고 상부층의 차양 높이에 따른 에너지 요구량의 변화를 살펴보았다. 이 때 층고는 3m로 설정하였다. 표 9와 10은 이에 대한 분석 결과이다. 차양 높이에 따른 에너지 요구량의 비율 변화를 보면 난방의 경우 0.5% 이내의 변화를 보였고, 냉방의 경우 4% 이내의 변화를 보였다. 난방의 경우 상부 차양의 영향이 거의 없는 것으로 확인되었으며, 냉방의 경우 상부차양의 높이를 3층 정도로 시뮬레이션을 하면 큰 문제가 없는 것으로 분석되었다.

표 11과 12는 하부층 높이에 따른 냉난방 에너지 요구량의 변화를 나타낸 표이다. TRNSYS

에서 차양의 영향을 계산하는 방법에 있어 차양 장치를 통과한 일사량 성분은 직달일사와 확산 일사 그리고 지표면에 반사된 일사의 조합으로 구성된다.

하부층의 높이 변화에 의한 일사 변화가 에너지 요구량에 미치는 영향을 살펴보았지만, 그 영향은 매우 미미하여 무시될 수 있는 수준인 것으로 판단된다.

표 9. 냉방기간 상부층의 영향에 따른 냉방 에너지 요구량의 변화

상부 차양 높이	0m		3m		6m		9m		12m		15m	
	에너지 요구량	비율	에너지 요구량	비율	에너지 요구량	비율	에너지 요구량	비율	에너지 요구량	비율	에너지 요구량	비율
H1	5.699	100	5.595	98.2	5.568	97.7	5.557	97.5	5.552	97.4	5.549	97.4
H2	5.994	100	5.983	99.8	5.981	99.8	5.981	99.8	5.981	99.8	5.981	99.8
H3	6.005	100	5.880	97.9	5.819	96.9	5.797	96.5	5.785	96.3	5.777	96.2

※ 비율 산정은 상부차양높이 0m의 값을 기준으로 한 비교값임. 단위[GJ/yr, yr=6~8월]/[%]

표 10. 난방기간 상부층의 영향에 따른 난방 에너지 요구량의 변화

상부 차양 높이	0m		3m		6m		9m		12m		15m	
	에너지 요구량	비율	에너지 요구량	비율	에너지 요구량	비율	에너지 요구량	비율	에너지 요구량	비율	에너지 요구량	비율
H1	30.385	100	30.514	100.4	30.534	100.5	30.542	100.5	30.547	100.5	30.550	100.5
H2	29.501	100	29.510	100.0	29.511	100.0	29.511	100.0	29.511	100.0	29.511	100.0
H3	34.555	100	34.627	100.2	34.653	100.3	34.669	100.3	34.680	100.4	34.687	100.4

※ 비율 산정은 상부차양높이 0m의 값을 기준으로 한 비교값임. 단위[GJ/yr, yr=11~3월]/[%]

표 11. 하부층 높이에 따른 난방 에너지요구량 및 비율

	0m		3m		6m	
	에너지 요구량	비율	에너지 요구량	비율	에너지 요구량	비율
H1	30.073	100	30.108	100.1	30.108	100.1
H2	29.373	100	29.377	100.0	29.377	100.0
H3	34.198	100	34.228	100.1	34.228	100.1

※ 비율 산정은 하부층높이 0m의 값을 기준으로 한 비교값임. 단위[GJ/yr, yr=11~3월]/[%]

표 12. 하부층 높이에 따른 냉방 에너지요구량 및 비율

	0m		3m		6m	
	에너지 요구량	비율	에너지 요구량	비율	에너지 요구량	비율
H1	5.983	100	5.957	99.6	5.950	99.5
H2	6.116	100	6.113	100.0	6.113	99.9
H3	6.241	100	6.221	99.7	6.213	99.5

※ 비율 산정은 하부층높이 0m의 값을 기준으로 한 비교값임. 단위[GJ/yr, yr=6~8월]/[%]

이 결과를 바탕으로 만약 30층짜리 탑상형 공동주택의 단위 동에 대한 총 냉난방 에너지 요구량을 계산하고자 할 경우, 다음과 같은 방법을 이용해 산정할 수 있을 것이다.

- (1) 지상층 분석 : 1층 바닥경계조건 입력, 상부 3개층 차양으로 모델링
- (2) 2~27층 분석 : 상부 3개층 차양으로 모델링
- (3) 28층 분석 : 상부 2개층 모델링
- (4) 29층 분석 : 상부 1개층 모델링
- (5) 30층 분석 : 지붕면 경계조건 입력

이상의 분석 결과를 종합하여 탑상형 공동주택의 단위 동에 대한 총 냉난방 부하를 산정할 수 있을 것이며, 보다 정확한 시뮬레이션 결과값을 얻을 수 있을 것이다.

5. 결 론

본 연구는 최근 신축되는 공동주택의 대부분을 차지하는 탑상형 공동주택 가운데 비교적 인접한 세대에 의한 영향을 많이 받은 ‘ㄱ’ 자형 건물을 대상으로 차양효과를 고려한 모델링 방법론을 제안한 것으로, 이를 통해 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 차양의 영향을 고려하지 않은 시뮬레이션 방법과 비교해, 평면의 배치 특성에 따른 차양효과에 의해 냉방의 경우 10%, 난방의 경우 5% 내외의 에너지 요구량의 차이가 발생하였다.
- (2) 정밀한 방법으로 모델링을 한 Case 2와 대략적인 모델링 방법인 Case 3의 결과 차이는 냉난방 모두 1% 이내의 차이만을 나타내고 있으므로, 가능한 한 단순한 모델로 모델링을 수행하여도 무방한 것으로 분석되었다.
- (3) 단위 층에 대하여 기하학적으로 영향을 미치는 상부층의 영향은 층고를 3m로 하였을 때, 약 3층 높이인 것으로 판단되며 이것이 에너지 요구량에 미치는 영향은 난방의 경우 0.5% 이내, 냉방의 경우 4% 이내인 것으로 확인되었다.
- (4) 하부층 높이에 따른 반사 일사가 에너지 요구량에 미치는 영향은 0.5% 이내로 하부층 높이 변화에 대한 모델링은 무시해도 좋을 것으로 판단된다.

추후 보다 다양한 평면 유형에 따른 모델링 방법론에 대한 추가적인 연구를 수행할 예정이며, 단지 규모로 확대될 경우의 영향 또한 분석할 예정이다.

참 고 문 헌

1. 최원기, 서승직, TRNSYS 16 사용자 매뉴얼 4권, 일진사, 2009. 01
2. 서승직, 건축환경공학, 일진사, 2009

3. 최원기 외, 공동주택의 세대별 냉난방에 따른 온도 변화 및 열부하 양상에 관한 이론적 연구, 대한건축학회논문집, 2007. 06
4. 최원기 외, 아파트의 열성능 분석을 위한 시뮬레이션 방법론에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 2007. 09
5. 반영식, 이영재, 이견영, 건축물의 에너지 소비량에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 제 6권 3호, no. 3, 1990. 6
6. 손장열, 박병윤, 박태수, 아파트에서 실내 열환경 및 난방에너지 소비실태에 관한 조사연구, 대한건축학회 논문집, 제 9권 2회, 1993. 02
7. 유호선, 정주혁, 문정환, 이재현, 아파트 단위 난방부하 계산을 위한 단위동법 제안, 대한설비공학회 논문집, 제 19권 1호, pp. 68-76, 2007. 018
8. 유호선, 조균형, 이영아, 전과정 평가에 의한 아파트의 에너지 소비량 평가연구, 대한건축학회 논문집, 제 18권 5호, 2002. 05
9. 유호선, 현석균, 박유원, 김용식, 홍희기, 한국형 아파트의 난방에너지 분석 1 : 위치의 영향, 대한설비공학회 논문집, 제 16권 1호, 2004. 01
10. 이봉진, 정동열, 이선, 홍희기, 한국형 아파트의 난방에너지 분석 2 : 난방방식에 따른 차이, 대한설비공학회 논문집, 제 16권 5호, 2004. 05
11. 박유원, 유호선, 홍희기, 한국형 아파트의 난방에너지 분석 3 : 실내설정조건의 영향, 대한설비공학회 논문집, 제 17권 8호, 2005. 08
12. Solar energy lab., TRNSYS User Manual v. 16., Solar energy lab., Univ. of Wisconsin-Madison
13. ASHRAE, ASHRAE Handbook of Fundamentals 1997, ASHRAE, USA
14. F. P. Incropera & D. P. DeWitt, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Wiley, p. 838, 1996.