

공동주택 단지의 주동형식에 따른 냉난방 에너지 및 외기냉방 효과 분석

An Analysis of Heating and Cooling Energy and Effect on Outdoor Air Cooling according to Building Type of Apartment Complex

노지웅*

Roh, Ji-Woong*

(Submit date : 2014. 1. 3., Judgment date : 2013. 1. 1., Publication decide date : 2014. 7. 15.)

Abstract : This study makes three apartment building complex an object of analyzing representative building types and energy consumption rate of households, and effect of outdoor air cooling. Recently created apartment complex is composed of very various types of building, plan, and orientation etc. But, it is difficult to remark conclusively that these various types of buildings are designed energy-effectively. Because architects are hard to find useful energy design guideline for decision making.

By the preceding study, the present condition and problem about this subject is grasped, apartment building types were examined and representative types were extracted. In this study, energy simulation was conducted, and the effect to outdoor air cooling was analyzed about representative types of the subject apartment complex. It is expected that this analysed results will be basic data for the more integrated study. Research consequence can be summarized as follow:

- 1) Besides solar gain, household layout of building, orientation, and plan etc. effects compositively on energy consumption rate.
- 2) The effect of outdoor air cooling in building of tower type can be improved by arranging households appropriately.

Key Words : 주동형식(Building Type), 판상형(Plank Type), 탑상형(Tower Type), 공동주택 단지(Apartment Complex), 에너지 시뮬레이션(Energy Simulation), 외기냉방(Outdoor Air Cooling)

*노지웅(교신저자) : 홍익대학교 건축학부
E-mail : jwroh@hongik.ac.kr, Tel : 044-860-2478

*Roh, Ji-Woong(corresponding author) : Dept. of Architecture,
Hongik University

기 호 설 명

I_{dir}	: 직달일사
I_{beam}	: 수직 입사성분
I_{sdiff}	: 천공 방사
I_{gdiff}	: 지표면 방사 성분
I_{hdiff}	: 수평면상의 확산 천공방사
β	: 표면의 기울기

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

공동주택은 이제 우리나라에서 단독주택을 제치고 가장 대표적인 주거유형으로 자리잡고 있다. 단지의 규모도 도시화에 발 맞추어 어느 지역을 가도 수십에서 수백동이 어우러진 대규모 단지를 흔히 볼 수 있게 되었다. 단지내 주동의 유형과 배치에 착목하면 1990년대 이전에는 ‘관상 一자형’의 획일적인 배치가 대부분이었는데 비해 1990년대 이후부터는 탑상형의 ‘L자형’, ‘C자형’, ‘Y자형’ 등이 등장하게 되었다. 최근에는 다양한 주동형을 혼합배치한 단지가 증가하고 있는데 설계자가 에너지 효율적인 측면을 적절히 고려한 단지배치인지는 의문의 여지가 있다.¹⁾

단지내 주동의 유형과 배치계획의 결정은 설계자가 다양한 여건을 고려하여 결정하겠지만 에너지 효율적인 측면에서 실무설계에 반영할만한 가이드라인은 매우 미흡한 실정이다. 실제, 에너지 성능에 관한 공동주택 연구는 단열성능으로 대표되는 요소기술의 개발에는 많은 노력과 성과를 거두었지만 단지계획과 세대배치 등에 대해서는 상대적으로 부족한 상황으로 이에 대한 보다 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

본 연구는 최근에 조성된 약 4000세대 규모의 3개 공동주택 단지를 대상으로 대표적인 주동형식을 도출하여 각 구성세대의 에너지 소비량과 외기냉방 효과 등을 분석하여 에너지 효율적인 설계 가이드라인을 위한 참고자료로서 제시하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 공동주택의 단지배치, 주동형식과 세대배치에 대한 다양한 조합에 대하여 에너지 성능을 검토하여 에너지 절약형 설계의 가이드라인을 제공하는 것을 최종적인 목표로 하고 있다. 선행연구²⁾에서는 총 2600세대 규모의 2개 단지를 대상으로 주동형식을 검토하여 세대배치와 방위각 등에 따라 그 유형을 상세히 분류하였고, 전체유형을 대상으로 시뮬레이션을 실시하여 에너지 비용에 미치는 영향을 비교, 검토한 바 있다. 금번 연구에서는 1400세대 규모의 인접단지를 추가적으로 검토대상에 포함시켜 3개 단지를 대표하는 주동형식을 도출하였다. 이를 대상으로 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 주동내 세대별 일사획득과 에너지 소비량을 산출하여 그 특성을 분석하였고, 외기냉방을 적용할 경우의 냉방 에너지를 전기 소비량으로 환산하여 에너지 절감효과를 검토하였다.

2. 에너지 시뮬레이션 개요

본 연구에서는 세종시에 조성된 공동주택 단지를 분석대상으로 하여 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램인 IES 4D사의 VE(Virtual Environment)를 이용하여 모델링과 일사해석, 그리고 동적 열부하 계산 및 에너지 소비량 등을 다음과 같이 산출하였다.

1) 이장범, 일명특성을 고려한 아파트 주동배치의 다양한 계획방안, 대한건축학회논문집 제25권 제2호, 2009.2

2) 노지용, 공동주택 단지의 주동형식에 따른 에너지 비용 분석, 한국태양에너지학회논문집 vol.33 no.1, 2013.2

2.1 일사해석

본 프로그램은 매 시간 스텝마다 모든 외부 건물표면에 도달하는 일사를 계산한다. 일사는 직달일사와 확산일사로 나누어서 각각 다음과 같이 계산된다.

직달일사 I_{dir} 은

$$I_{dir} = I_{beam} \cos(\theta) \quad (1)$$

여기서, I_{beam} 은 수직 입사성분, θ 는 입사각을 나타낸다.

확산일사는 천공 방사(I_{sdiff})와 지표면 방사 성분(I_{gdiff})으로 각각 다음과 같이 계산된다.

$$I_{sdiff} = I_{hdiff} \cos^2(\beta/2) \quad (2)$$

$$I_{gdiff} = \rho_g I_{nglob} \sin^2(\beta/2) \quad (3)$$

여기서, I_{hdiff} 는 수평면상의 확산 천공방사, β 는 표면의 기울기, ρ_g 는 지표면의 일사반사율(albedo)이며는 수평면상의 전 일사로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_{nglob} = I_{hdiff} + I_{beam} \sin \alpha \quad (4)$$

단, α 는 태양고도

2.2 냉난방부하 해석

실내에서의 전도,대류,복사 및 침기 등은 다음과 같은 기초식을 이용하여 산정하였다.

내부 열원이 없는 고체에서의 공간적 온도 분포(Q_{cd})(W/m^2)는

$$Q_{cd} = -\lambda \nabla T \quad (5)$$

여기서, λ 는 열 전도율(W/m^2K), T 는 온도($^{\circ}C$)를 나타낸다.

대류열전달(Q_{cv})(W/m^2)은

$$Q_{cv} = h_c(T_a - T_s) \quad (6)$$

여기서, h_c 는 대류열전달률, T_a 는 공기온도($^{\circ}C$), T_s 는 평균 표면온도($^{\circ}C$)이다.

표면에서 방출하는 복사열량(Q_r)은

$$Q_r = \varepsilon A \sigma \theta^4 \quad (7)$$

여기서, ε 은 표면열방사율, A 는 표면적, σ 는 스테판-볼츠만 상수, θ 는 표면의 절대온도($^{\circ}C$)

이다.

공간을 출입하는 기류와 연계된 열전달량(Q_{vent})은

$$Q_{vent} = m c_p (T_i - T_a) \quad (8)$$

여기서, m 은 풍량(kg/s), c_p 는 공기의 정압비열($J/kg/K$), T_i 는 공급되는 공기온도($^{\circ}C$)이다.

이와같은 물리량들과 일사획득량, 내부발열량 등을 고려하여 냉난방부하가 산출된다.

2.3 에너지 소비량 산정

냉난방 부하량을 산정한 후 난방 시스템과 냉방 시스템을 설정한다. 이때 시스템의 효율과 보조동력 소모값, 실외기펌프 및 팬의 동력 소모 등을 설정하여 연료 또는 전기 소비량이 산정된다.

3. 분석대상 개요 및 시뮬레이션 조건

3.1 분석대상

본 연구대상인 공동주택 단지는 총 323,421 m^2 의 대지에 3개 단지, 3956세대의 규모로 2012년 7월에 조성이 완료되었다. 표1의 A,B단지는 선행연구3)에서 분석한 바 있으며, 금번 연구에서는 추가적으로 1400세대 규모의 C단지를 포함하여 연구를 진행하였다. 주동을 구성하는 세대 면적과 세대수는 표2와 같다.

Table. 1 Generation of two apartment complex

complex	household (number)	site area (m^2)	building coverage (%)	volume ratio (%)	building area (m^2)
A	1240	107,484	17.08	139.09	18,374.64
B	1328	90,527	17.13	186.88	15,503.27
C	1388	125,410	13.17	130.52	16,503.37

3) 각주 2) 참조

Table. 2 Generation house number

personal use [m ²]	59	84	101	114	149
A	0	616	129	327	12
B	214	364	210	516	24
C	0	726	120	306	12

3개 단지는 공통적으로 판상형과 탑상형을 혼용하고 있지만 A단지는 전체 25개 주동 중 22개 동이 중층형(10층)의 ‘판상 一자형’이며 나머지 3개동은 고층형(28층)의 ‘탑상 一자형’으로 전체세대의 80%이상이 판상형 주동을 구성하고 있다. B단지는 전체 13개 주동 중 고층형(19층)의 4개동이 판상형, 초고층형(29층)의 9개동이 탑상형으로서 탑상형이 주된 주동형식을 이루고 있다. 이 단지의 판상형 주동은 ‘一자형’과 ‘T자형’, ‘L자형’으로 세분되며, 탑상형은 ‘L자형’과 ‘C자형’, ‘Y자형’으로 분류된다.

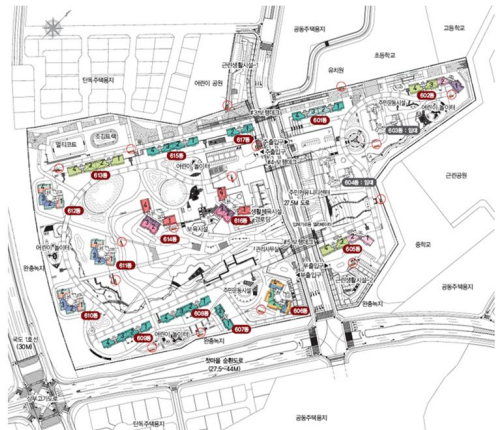


Fig. 1 Apartment Complex 'C'

이번 연구에 추가된 C단지는 최대 24층 규모의 17개 주동으로 구성되며 판상 11개동, 탑상 6개동으로 이루어져 있다. 판상형은 다시 ‘一자형’과 ‘L자형’으로 세분되며, 탑상형은 ‘L자형’과 ‘Y자형’으로 분류된다.⁴⁾ 판상형은

기본적으로 남동향으로 배치하였고 ‘판상 L자형’에서는 1개 세대를 남향에 배치하고 있다. 탑상형의 구성세대는 3개 방위, 또는 4개 방위를 조합한 형태를 띄고 있다.

Table. 3 Apartment building types

Type 1	Type 2	Type 3
Type 4	Type 5	Type 6
Type 7		

3.2 시뮬레이션 조건

(1) 시뮬레이션 Case

본 연구에서는 전체 3개단지를 구성하는 7개 주동형식 중 ‘Type1, 판상 一자형’과 ‘Type4, 판상 L자형’, 그리고 ‘Type 2, 탑상 L자형’, ‘Type7, 탑상 Y자형’에 해당되는 주동을 대상으로 하여 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하였다. 단, 환기조건과 관련하여 창을 닫은 상태를 기본으로 하고(Case 1-1~4-1), 추가적으로 외기온도 기준 20~24℃ 범위에서 창을 개방상태로 하여 외기냉방의 효과를 검토하였다(Case 1-2~4-2).

4) 공동주택의 단지설계 시 어떤 주동형식을 선택하는지는 설계자의 의도에 따라 결정하겠지만 금번 분석대상 단지의 경우, 에너지적인 측면을 고려했는지 여부와 이를 적절하게 반영했는지에 관해서 다소 부정적인 것으로 판단된다.

Table. 4 Simulation Cases

	Building type	orientation(household number)
Case 1	plank 一	southeast(4)
Case 2	plank ㄴ	southeast(3),south(1)
Case 3	tower ㄴ	northeast(1), southeast(1), northwest(1)
Case 4	tower Y	southeast(1), south(2), southwest(1)

(2) 시뮬레이션 조건

상세한 에너지 시뮬레이션 조건은 표 5와 같다.

시스템 효율에 있어서 난방은 바닥난방 시스템으로서 Heating SCop(seasonal COP)는 0.6[kW/kW], 보조동력 소모값은 0.330[kWh/m² · yr]을 적용하였고, 냉방은 분산식 패키지형 에어컨 시스템으로서 Nominal EER(energy efficiency ratio) 값은 2.5[kW/kW], Seasonal EER 값은 2.0, SSEER(system seasonal EER)은 1.35로 설정하였다. 실외기 펌프 및 팬의 동력소모는 제거열량의 10%, 실내 공조팬의 소비는 27.1[kWh/m² · yr]를 적용하여 분석하였다.

Table. 5 Calculation condition

		condition
heating set temp.		20℃
cooling set temp.		26℃
internal heat gain	machine and illumination	7.53 [W/m ²]
	human [W/person]	sensible: 73.3 latent: 58.6
air change rate	basic	windowse closed
	additional	windows conditionally open 20℃≤OA≤24℃
weather data	korean solar energy society	

(3) 벽체 및 창호구성

A,B,C 3개 단지의 공동주택은 동일한 외피 구조로 되어있다. 벽체 구성재료의 물성치는 표 5와 같다. 또한, 벽체의 열관류율, 창호의

열적 물성치는 표 6,7,8과 같다.

Table. 6 Properties of wall

material	conductivity [W/m · k]	density [kg/m ³]	specific heat [J/kg · K]
mortar	1.4	2000	900
concrete	1.3	2200	1000
insulation	0.037	25	1470
plaster board	0.18	750	870
light-weight concrete	0.19	500	1000

Table. 7 U-values of walls

walls	U-value[W/m ² · K]
exterior wall	0.322
side wall	0.306
balcony wall	3.776
sleeve	1.740

Table. 8 Properties of glass

	U-value [W/m ² · K]	g-value [%/100]	Thickness [mm]
22mm pair glass	1.984	0.640	5/12/5
5mm single glass	6.50	0.793	5

4. 시뮬레이션 결과 분석

구성세대의 평형이 서로 다르므로 해석결과는 단위면적당으로 모두 환산하여 나타내었다.

4.1 주동유형별 구성세대의 일사획득

일사획득 열량은 겨울철에는 난방부하 절감에 크게 기여하지만 여름철에는 냉방부하의 증가를 초래하는 주요 특성이다. 산출된 각 세대별 연간 일사획득량은 표 9와 같다. 판상형인 一자형과 판상 ㄴ자형은 4개 구성세대가 비교적 일정한 일사 획득량을 나타낸 반면, 탑상형은 세대간의 편차가 크고 부분적으로 획

득량이 적은 세대가 나타나고 있다. 기본 남동향 배치에 남향세대를 접목한 판상 ㄴ자형이 가장 일사획득이 많고 탑상 ㄴ자형이 가장 적은 것으로 나타났다.

Table. 9 Solar Gain of households(MWh/m²)

household	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
1	0.09	0.11	0.085	0.099
2	0.093	0.11	0.057	0.114
3	0.093	0.13	0.09	0.091
4	0.091	0.113	-	0.092
average	0.092	0.116	0.077	0.099

4.2 주동유형별 구성세대의 에너지 소비량

냉난방 부하로부터 시스템 효율을 적용하여 단위면적당 에너지 소비량을 산출하였다(표 10, 그림 4 참조). 각 세대의 월별 가스 및 전기 소비량은 그림 2,3과 같다. 이때 전기소비량에는 일반기기 및 조명기기 사용량이 포함되어 있다.

Case1(판상 일자형)의 경우, 가스 소비량은 외측에 배치된 2개 세대가 내측 배치 2개 세대에 비하여 약 12% 높은 값을 나타냈는데 이는 외벽면적이 더 크기 때문으로 판단된다. 반면에 전기 소비량은 그 반대의 양상을 나타냈는데 이는 일사획득의 차에서 기인한 것으로 판단된다.

Case 2(판상 ㄴ자형)의 경우 세대간 편차가 매우 큰 편으로, 가스 소비량은 남향배치의 1개세대(101B_4)보다 남동향 배치의 3개세대 중 내측 배치인 114A_2에서 최소값을, 외측 배치인 114A_1에서 최대값을 각각 나타냈다. 5) 전기소비량은 가스 소비량과 유사한 양상을 보이고 있다.

5) 최소값은 case 1의 내측배치 세대의 값과 유사하지만, 외측배치의 114A_1에서는 case 1의 외측배치 세대에 비해서 매우 높은 값을 나타냈다. 이는 평면형태 등 다른 요인에서 기인하는 것으로 판단되며 평면의 상이성에 따른 영향은 향후 연구에서 검토가 필요할 것으로 사료된다.

Case 3(탑상 ㄴ자형)에서는 각 세대간 가스 소비량의 차이가 일사획득에서 직접적으로 기인함을 알 수 있다. 즉, 표 4의 각 세대의 방위와 표 9의 일사 획득량을 참조하면 남동향의 1개 세대를 제외하고는 북서향과 북동향의 배치는 일사획득에 불리할 수밖에 없기 때문이다. 냉방부하와 관련된 전기 소비량은 반대의 양상을 나타내고 있지만 가스소비량에 비하여 상대적으로 큰 차이를 보이지 않았다.

Case 4(탑상 Y자형)은 2개 세대를 남향배치하고 나머지 2개 세대를 남동과 남서에 배치한 유형으로 가스 소비량과 전기 소비량 모두 전체 Case 가운데 가장 적은 값을 나타냈다. 이는 선행연구에서 검토한 탑상 Y자형에 비하여 각 세대의 방위 및 배치가 상이한 것으로 시뮬레이션 결과도 매우 개선된 양상을 나타냈다.

Table. 10 Energy consumption

		Energy consumption(kWh/m ²)	
		Gas	Electricity
Case 1	84A_1	102.32	49.75
	84A_2	88.31	50.22
	84A_3	90.31	51.4
	84A_4	98.19	48.52
	avg.	94.78	49.97
Case 2	114A_1	136.21	62.85
	114A_2	87.84	49.6
	84A_3	95.17	54.65
	101B_4	104.9	53.04
	avg.	106.03	55.04
Case 3	84B_1	113.74	49.85
	84B_2	141.19	44.9
	84B_3	99.17	49.79
	avg.	118.03	48.18
Case 4	114B_1	70.13	42.19
	114B_2	55.81	42.25
	114C_3	83.91	41.58
	114C_4	73.59	38.12
	avg.	70.86	41.04

그림 2,3에 Case 4(탑상 Y자형)에 대한 각 세대의 단위 면적당 월별 가스 및 전기 소비량을 나타냈다. 가스 소비량은 주로 11월~4월에 발생하며(5월과 10월에도 매우 적은 양이 발생) 1월에 최대치를 나타내고 있다. 전기 소비량은 5월부터 증가하기 시작하여 9월까지 냉방으로 인한 증가량을 보이고 있다.

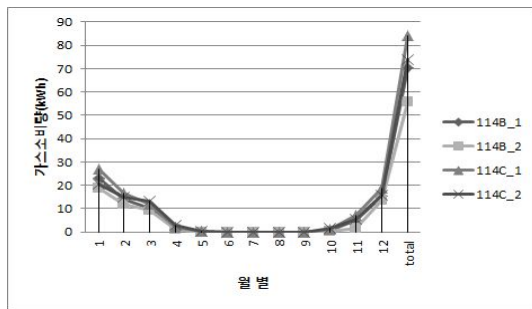


Fig. 2 Monthly gas consumption(Case 4-1)

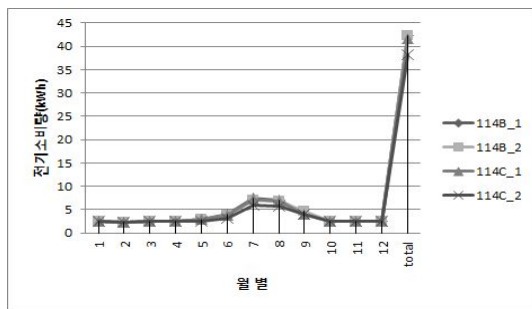


Fig. 3 Monthly electricity consumption(Case 4-1)

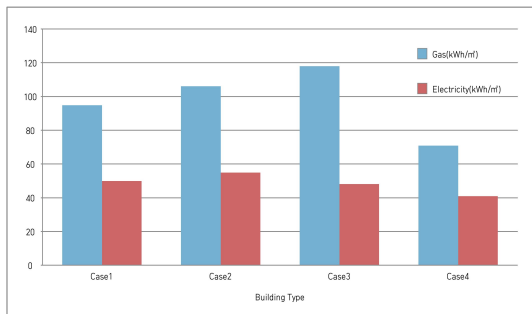


Fig. 4 Energy Consumption

4.3 외기냉방에 따른 에너지 소비량의 변화

전기를 주로 이용하는 냉방에너지 비용은 도시가스나 지역난방을 이용하는 난방 비용에 비해 단가가 높으며 일정시간에 집중되는 특징을 갖고 있다. 본 연구에서는 일정 온도조건에서 외부 창을 개방한다는 조건으로 냉방에 따른 전기 소비량의 감소를 각 주동유형과 그 구성세대별로 알아보았다(표 11 참조)

Table. 11 Electricity consumption reduction

		Energy consumption	
		reduction (kWh/m ²)	percentage (%)
Case 1	84A_1	11.1	22.3
	84A_2	10.4	20.8
	84A_3	11.9	23.1
	84A_4	10.6	21.8
	avg.	11.0	22.0
Case 2	114A_1	14.1	22.4
	114A_2	10.8	21.8
	84A_3	12.4	22.7
	101B_4	9.2	17.3
	avg.	11.6	21.1
Case 3	84B_1	10.6	21.2
	84B_2	7.7	17.2
	84B_3	8.9	17.8
	avg.	9.1	18.7
	Case 4	114B_1	3.1
114B_2		3.5	8.9
114C_3		2.8	7.3
114C_4		2.1	5.8
avg.		2.9	7.3

맞통풍이 원활히 발생할 것으로 예상되는 Case 1(관상 일자형)은 모든 세대에서 20% 이상의 절감이 가능한 것으로 나타났다.

Case 2(관상 ㄷ자형)의 경우에는 남동향의 3개 세대에 비하여 남향 배치의 1개 세대(101B_4)에서 절감효과가 약간 떨어지는 결과를 보였다. 상세한 분석을 위해서는 CFD 시

물레이션과 같은 Micro 해석이 추가적으로 필요할 것으로 사료된다.

Case 3(탑상 ㄴ자형)은 당초 Case 1,2에 비하여 맞통풍이 불리할 것으로 예상되어 외기냉방 효과가 떨어질 것으로 예상했지만 해석결과 비교적 양호한 것으로 나타났다.

Case 4(탑상 Y자형)는 금번에 검토한 4개 Case 가운데 가장 외기냉방의 효과가 적은 것으로 나타났다. 그러나, 동일 주동형식이라도 세대의 배치와 평면형식의 차이에 따라 다른 결과가 나타날 수 있을 것으로 사료된다.

5. 결 론

최근에 조성된 약 4000세대 규모의 3개 공동주택 단지를 대상으로 대표적인 주동형식을 도출하여 각 구성세대의 에너지 소비량과 외기냉방 효과 등을 분석하였다. 주요결과는 다음과 같다.

- (1) 금번 조사대상의 공동주택 단지에 대한 검토를 통하여 과거에 비하여 다양한 유형의 주동형식을 혼용하고 있으며 구성세대의 평면과 방위 등이 매우 다양한 것으로 확인되었다..
- (2) 4가지 대표적인 주동형식에 대한 각 세대별 에너지 소비량을 분석한 결과, 일사확득열 이외에도 배치된 세대위치, 조합된 방위와 평면 형태 등이 복합적으로 영향을 미치는 것으로 확인되었다.
- (3) 탑상형의 경우 외기냉방의 효과가 판상형에 비해 떨어지지만 적절한 세대 조합을 통하여 개선할 수 있을 것으로 판단된다.
- (4) 보다 효과적인 결론을 도출하기 위하여 향후 CFD 시물레이션과 같은 Micro 해석이 병행되어야 할 것으로 사료된다.

Reference

1. Song, K. B., et al, A Study on the Planning Methods for Residential Building Block Layout of Newtown Housing Complex in the Metropolitan Area, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning and Design, 2007
2. Lee, J. H., et al, A study on the age of air and pressure difference according to the layouts of tower-shape apartment buildings, Proceedings of the SAREK 2005 summer annual conference, 2005
3. Lee, B. H., et al, A comparative study of building energy simulations for building types in multiple stock housing based on BIM, Journal of the korea institute of ecological architecture and environment Vol. 10, No. 4, 2010
4. Lee, J. H., et al, A study on the modeling methods of tower type apartment house, Journal of the korean solar energy society, Vol. 30 No. 3, 2010
5. Lee, J. B., Study on the application methods of the various types of apartment buildings based on the sun shade layout and possibility of the advanced application to PUD planning, Journal of the architectural institute of Korea planning and design, Vol. 27, No. 2, 2011
6. Lee, M. J., et al, A study about reduction rates of building energy demand for a detached house according to building energy efficient methods, Journal of the architectural institute of Korea planning and design, Vol. 28, No. 5, 2012
7. Song, S. Y., et al, Cost efficiency analysis of design elements for a zero energy apartment building, Journal of the architectural institute of Korea planning and design Vol. 28, No. 8, 2012
8. Roh, J. W., An analysis of heating and cooling energy cost according to building type of apartment complex, Journal of the korean solar energy society, Vol. 33, No. 1, 2013