풍향과 동 배치에 따른 아파트 단지의 풍압계수 및 자연환기성능 비교 연구

최재솔¹ · 김의중² · 윤성훈^{3†}

¹인하대학교 스마트시티공학과, 박사과정

²인하대학교 건축학부, 부교수

³남서울대학교 건축공학과, 부교수

Study on the Wind Pressure Coefficients and Natural Ventilation Performance of Apartment Complexes Considering Wind Direction and Building Layout

Choi Jae-Sol¹ · Kim Eui-Jong² · Yoon Seong-Hoon^{3†}

¹Ph.D. Candidate, Department of SmartCity Engineering, Graduate School of Inha University

²Associate Professor, Department of Architectural Engineering, Inha University

³Associate Professor, Department of Architectural Engineering, Namseoul University

[†]Corresponding author: aquila@nsu.ac.kr

Abstract

This study aimed to provide basic data and serve as a reference for the planning of natural ventilation in apartment complexes. To analyze the characteristics of the wind pressure coefficients and natural ventilation performance, six cases were selected. The cases were differentiated according to the building layout and height, and CFD (Computational Fluid Dynamics) analysis was conducted under three wind conditions. The results of natural ventilation performance based on wind pressure coefficients showed that a two-line layout provided better ventilation performance than a four-line layout under the same conditions. From the above results, the wind pressure coefficients and ventilation performance can be roughly categorized according to the building arrangement.

Keywords: 풍압계수(Wind pressure coefficient), 자연환기(Natural Ventilation), 전산유체 역학(Computational Fluid Dynamics)

기호설명

U : 풍속(m/s)

H : 건물 높이(m)

δ : 경도풍 높이(m)

β : 지형보정계수

Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.41, No.2, pp.39-49, April 2021
<https://doi.org/10.7836/kjes.2021.41.2.039>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 21 December 2020

Revised: 26 February 2021

Accepted: 3 March 2021

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 연구 배경 및 목적

공동주택 단지와 같은 대규모 건물군의 배치계획은 에너지 효율 및 재실자의 쾌적성과도 관련이 있으며, 특히 풍향 및 풍속에 의해 형성되는 복잡한 기류의 영향으로 인해 세대의 위치에 따라서 자연환기량에 차이가 발생할 수 있다. 아파트가 주거시설의 약 50%를 차지하는 국내에서는 신축 공동주택에 자연환기설비를 설치할 경우 환기량 기준의 충족 여부에 대해 지방건축위원회의 심의를 받거나 규정에 따른 성능기준을 충족하는 설비를 적용해야 한다¹⁾. 다만, 전자의 경우 풍동시험이나 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, 이하 CFD) 등을 통해 환기성능을 입증해야 하는 부담이 있고, 후자의 경우 선행 자연환기설비에만 제한적으로 적용 가능하다. CONTAMW, TRNFlow, COMIS와 같은 기류 네트워크 모델링 프로그램을 활용하여 비교적 간단하게 자연환기성능을 예측할 수도 있으나, 모델링의 경계조건으로 필요한 건물 입면의 풍압계수와 관련해서 현재까지는 AIVC (Air Infiltration and Ventilation Centre)에서 제공하는 저층형 단일 건물 관련 자료²⁾ 외에 고층 아파트 단지의 모델링에 활용할 수 있는 자료는 없는 실정이다.

단지 규모의 건물군에 대한 풍압계수 및 환기성능과 관련하여, Huh 등은 등간격으로 배치한 아파트 9개 동의 CFD 해석을 통하여 건물 입면에 작용하는 압력차를 경계조건으로 이용함으로써 실측치에 근접한 환기량을 산출할 수 있음을 확인하였다. 또한, 이러한 CFD 결과와 CONTAMW를 이용한 시뮬레이션 결과가 11.8%의 평균 오차를 나타내, 기류 네트워크 모델을 이용한 환기성능평가가 비용 경제적인 대안이 될 수 있음을 제시하였다³⁾. Tong 등은 대상 건물을 둘러싼 주변 건물의 layer 수, 대상 건물과 주변 건물의 높이비 및 인동간격, 풍향각 등이 자연환기 성능에 미치는 영향에 대한 CFD 해석을 실시하고, 대상 건물의 높이와 인접 건물간의 간격에 따라서 적절한 정밀 해석구간을 설정해야 함을 제시하였다. 특히 풍상측에 위치한 인접 건물의 layer수에 따라서 대상 건물의 환기성능이 크게 달라짐을 확인할 수 있다⁴⁾.

한편, 필자 등은 선행연구를 통해 정면풍 조건에서 아파트 단지의 세대의 위치에 따른 풍압계수 차를 개략적으로 유형화하였고, 이러한 풍압계수 차가 환기성능의 결정인자가 됨을 제시한 바 있다⁵⁾. 본 연구에서는 아파트 단지의 배치 유형, 건물 형태 및 인동간격과 더불어 풍향의 변화를 추가로 고려함으로써 단위 동 및 세대의 위치에 따른 풍압계수 차(자연환기성능)의 특성을 고찰하여 대규모 단지의 자연환기 계획 시 참고할 수 있는 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 대상 건물

본 연구에서는 단지 규모의 건물군을 대상으로 동 배치 및 형태, 풍향에 따른 풍압계수 변화를 검토하기 위해 800세대 규모의 아파트 단지를 대상으로 유한요소법 기반의 해석프로그램인 Star CCM+를 이용하여 CFD 해석을 실시하였다.

Fig. 1, Table 1은 각각 대상 건물의 배치 조건에 대한 개념도 및 상세정보를 나타내는 것으로, 동 개수(8개) 및 세대 규모(30평형)가 동일한 조건에서 2열 횡대(Two lines) 또는 2열 종대(Four lines)로 총 6개의 Case를 설정하였다. 각 단위동의 기준층에 배치되는 세대수에 따라 건물의 높이 및 전후면 동의 간격이 달라지도록 모델링하였으며, 전후면 인동간격(l_2)은 건축물의 에너지절약기준의 에너지성능지표에서 인동간격비의 최소배점 조건인 1.0 H로 설정하였다⁶⁾.

Fig. 1 Layout of apartment complex (left), Unit household layout and number of houses per floor (right)

Table 1 Classification of apartment complex cases

Category	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6
Building layout type	Two line			Four Line		
Number of households per floor	8	6	4	8	6	4
Building Height (m)	35	50	70	35	50	70
Building Spacing l_1 (m)	50	50	50	50	50	50
Building Spacing l_2 (m)	35	50	70	35	50	70

2.2 풍향, 풍속 조건의 검토

Fig. 2, Table 2는 국내 3개 도시에 대한 최근 5년간의 기상관측 데이터⁷⁾에서 추출한 Wind Rose, 풍향각과 풍속의 최빈값을 각각 나타낸다. 도시별로 주풍향(서울 : 서풍, 대전 : 북서풍, 부산 : 북동풍)이 다르게 나타났으며, 모든 지역에서 3 m/s 이하의 풍속이 상대적으로 자주 관측되었다. 풍향각의 차이가 단지 내 건물의 자연환기성능에 미치는 영향을 종합적으로 비교하기 위해, 본 연구에서는 풍향각 0°, 45°, 90° 조건에 대하여 분석을 실시하였다.

Fig. 2 Wind Rose of major cities in Korea for last 5 years (2015 to 2019)

Table 2 Main wind direction and speed of major cities

City	Wind direction		Wind speed	
	Direction (°)	Frequency rate (%)	Speed (m/s)	Frequency rate (%)
Seoul	265° to 275°	23.59	1.9	6.41
Daejeon	315° to 325°	14.01	1.2	8.12
Busan	45° to 55°	26.39	2.8	4.90

Fig. 3 Domain size of CFD model (left) and Wind velocity profile (right)

2.3 CFD 해석 조건

Fig. 3은 CFD 해석의 도메인 크기와 풍속 프로파일을 나타낸다. 도메인은 선행연구^{8,9)}를 참고하여 건물 높이 (H)를 기준으로 풍상측 $6H$, 풍하측 $10H$, 높이 $6H$ 로 설정하였으며, 난류모델은 $k-\varepsilon$ 모델(난류강도 0.1%, 난류길이 0.1 m)을 적용하였다. 풍속 프로파일은 식(1)¹⁰⁾을 이용하여 산출하였다. 여기서 U_{met} , H_{met} 는 각각 기상관측점의 풍속(3 m/s) 및 높이(10 m)를 의미하며, 지형보정계수 β_{met} , $\beta=0.14$ (open terrain), 경도풍 높이 δ_{met} , $\delta=250$ m로 적용하였다.

$$U_H = U_{met} \left(\frac{\delta_{met}}{H_{met}} \right)^{\beta_{met}} \left(\frac{H}{\delta} \right)^{\beta} \quad (1)$$

3. 분석 결과

3.1 기류 및 압력 분포

Fig. 4, Fig. 5는 각각 Case 1과 Case 4의 기류 속도 및 압력 분포를 나타내는 것으로, 풍향각 0° 및 45° 조건에서는 대체적으로 풍상측에 가장 가까운 건물(제1열)의 전면부에 양압(+)이 형성되며, 그 뒤에 배치된 풍하측의

Fig. 4 Air velocity and pressure distribution at 10 m above ground (Case 1)

Fig. 5 Air velocity and pressure distribution at 10 m above ground (Case 4)

건물 주변에는 음압(-)이 형성되었다. 다만, 풍향각 90° 조건의 경우 건물 주변의 압력분포가 전체적으로 균일하여, 통상 단위세대에서 개구부가 위치하는 건물 전면과 후면의 풍압계수 차가 0에 가까울 것으로 예상할 수 있다.

3.2 Case별 전·후면 풍압계수 차(풍향각 0°)

Fig. 6, Fig. 7은 건물 전면부와 기류가 이루는 각도가 0°인 조건의 전후면 풍압계수 차로, 각각 2열 횡대와 종대 배치의 결과를 나타낸다. Fig. 6에서 풍상 측에 가까운 제1열 4개 동(BD 1 ~ 4)의 경우 풍압계수 차가 모두 양(+)의 값을 나타내었고, 건물의 높이에 따라 좌우가 반전된 'S'자와 같은 패턴을 보였다. 이러한 결과는 단위 동의 높이가 다른 Case 1 ~ 3에서 모두 유사하게 나타났으며, 건물 높이의 약 70 ~ 80%에 해당하는 부위에서 전후면 풍압계수 차가 최댓값을 보이다가 최상부로 갈수록 급격하게 줄어들었다. 반면, 제2열에 위치한 4개동(BD 5 ~ 8)에서는 풍압계수 차가 전체적으로 음(-)의 값을 나타내었으며, 높이에 따른 풍압계수 차가 크지 않았다.

Fig. 7(Case 4 ~ 6)에서 풍상측에 위치한 제1열 2개 동(BD1, BD5)의 경우 Case1 ~ 3과 유사한 S자 패턴을 보였다. 한편, 제2열부터 제4열의 건물에서는 높이에 따른 풍압계수 차가 크지 않았으며, 풍하측으로 갈수록 풍압계수 차의 절댓값이 순차적으로 감소하는 경향을 보였다. 이는 제1열과 제2열의 건물 사이에서 다른 동에 비해 상대적으로 강한 음압이 형성되었기 때문으로 판단된다(Fig. 5(b)의 풍향각 0°참조).

Fig. 6 Wind pressure coefficient difference between front and back surface (Case 1 ~ 3)

Fig. 7 Wind pressure coefficient difference between front and back surface (Case 4 ~ 6)

3.3 Case별 전·후면 풍압계수 차(풍향각 45°)

Fig. 8, Fig. 9는 풍향각 45° 조건에서의 결과로, 풍상측에 가장 가까운 제1열의 건물(Fig. 8 : BD4, BD8, Fig. 9 : BD1, BD5)에서는 높이에 따른 풍압계수 차가 반전된 S자 패턴을 보였다. 반면에 제1열을 제외한 나머지 동에서는 전면과 측면에 있는 건물의 영향으로 복잡한 기류가 형성되면서 풍압계수 차에 일정한 패턴이 나타나지 않는 것을 확인하였다.

Fig. 8 Wind pressure coefficient difference between front and back surface (Case 1 ~ 3)

Fig. 9 Wind pressure coefficient difference between front and back surface (Case 4 ~ 6)

3.4 Case별 전·후면 풍압계수 차(풍향각 90°)

Fig. 10, Fig. 11은 풍향각 90° 조건에서의 결과로, 건물의 높이 및 배치 조건과 상관없이 모든 Case에서 전후면 풍압계수 차가 0에 가까운 값을 나타내었다. 이는 앞서 3.1절에서 살펴본 것처럼 건물 주변의 압력이 전체적으로 균일하게 형성되었기 때문으로 사료된다. 따라서, 공동주택 단지의 계획 시 건물의 개구부가 위치하는 전후면이 해당 지역의 주풍향에 대해 90°에 가깝게 배치될 경우 자연환기 측면에서 상대적으로 불리해질 것으로 추정해볼 수 있다.

Fig. 10 Wind pressure coefficient difference between front and back surface (Case 1 ~ 3)

Fig. 11 Wind pressure coefficient difference between front and back surface (Case 4 ~ 6)

4. 풍압계수 차에 따른 자연환기성능 비교

Table 3, Fig. 12(좌)는 각각 전체 Case에서 산출된 풍압계수 차(절댓값)에 대한 평균과 박스 플롯을 나타내는 것으로, 단지 전체적인 풍압계수 차의 특성을 비교하였다. 풍향각 90° 조건을 제외하면 Case 1 ~ 3에서 Case 4 ~ 6에 비해 상대적으로 풍압계수 차의 평균값이 크게 나타났으며, Case 1 ~ 3에서는 건물 높이가 낮아질수록, 반대로 Case 4 ~ 6에서는 건물 높이가 높아질수록 값이 증가하는 경향을 보였다.

Table 3 Mean of wind pressure coefficient difference between front and back

Wind direction	Wind pressure coefficient difference (ΔC_p)					
	Two line			Four line		
	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6
0°	0.565	0.562	0.472	0.222	0.225	0.231
45°	0.558	0.671	0.671	0.368	0.518	0.584
90°	0.005	0.004	0.005	0.002	0.004	0.005

Fig. 12(우)는 식(2) ~ (3)에 풍압계수 차를 대입하여 산출되는 자연환기량을 예시적으로 보여주는 것으로, 세대별로 전후면에 동일한 유효개구면적($\alpha A = 0.2 \text{ m}^2$)을 적용하고, 풍속(U_H)을 1.7 m/s로 가정한 조건에서의 환기회수를 나타낸다. 다른 조건이 동일할 경우 환기량은 풍압계수 차에 비례하기 때문에 기본적으로 Fig. 12(좌)와 동일한 패턴을 보이며, 풍향각 90° 조건에서는 모든 Case에서 공동주택의 최소 환기량 기준인 0.5회/h를 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

Fig. 12 Absolute value of wind pressure coefficient difference (left), Results of natural ventilation (right)

$$Q = \alpha A \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (2)$$

여기서, Q : 환기량(m^3/s), αA : 유효개구면적(m^2), ΔP : 전후면 압력차(Pa), ρ : 공기 밀도(kg/m^3)

$$\Delta P = P_1 - P_2 = (C_{p1} - C_{p2}) \times \frac{1}{2} \rho U_H^2 \quad (3)$$

여기서, $C_{p1} - C_{p2}$: 전후면 풍압계수 차, U_H : 건물 높이에서의 풍속(m/s)

5. 결론

단위 동의 형태 및 인동간격, 배치 조건이 다른 아파트 단지 6 Case를 대상으로 CFD 해석을 통해 3가지 풍향 조건에서의 풍압계수 차와 자연환기성능을 분석한 결과는 다음과 같다.

- (1) 풍상측 제1열에 위치한 건물의 경우, 풍향각 0° 및 45° 조건에서 건물의 높이에 따라 전후면 풍압계수 차가 반전된 'S'자와 같은 패턴을 보였다. 또한, 2열 종대로 건물을 배치한 Case 4 ~ 6의 경우 풍향각 0° 조건 일 때 풍상측에서 멀어질수록 풍압계수 차의 절댓값이 작아졌으며, 건물의 높이와 상관없이 풍압계수 차는 거의 일정하였다.
- (2) 풍향각 45° 조건에서는 제1열의 건물을 제외하면 전체적으로 풍압계수 차에서 일정한 패턴이 나타나지 않았으며, 90° 조건에서는 모든 Case에서 풍압계수 차가 0에 가까운 값을 보여 자연환기 측면에서 불리함을 확인하였다.

(3) 단지 전체의 풍압계수 평균값은 풍향각 90° 조건을 제외하면 2열 횡대 배치인 Case 1 ~ 3에서 2열 종대 배치인 Case 4 ~ 6에 비해 상대적으로 큰 값을 보였으며, Case 1 ~ 3에서는 건물 높이가 낮아질수록, 반대로 Case 4 ~ 6에서는 건물 높이가 높아질수록 값이 풍압계수 차의 평균이 증가하는 경향을 보였다. 향후에는 탑상형 아파트를 포함하여 보다 다양한 동 평면 및 배치 유형을 고려한 단지 단위의 풍압계수 특성을 종합적으로 분석함으로써, 단지 내 건물의 환기성능에 대한 기류 네트워크 모델링 시 참고할 수 있는 풍압계수 유형화 관련 연구를 진행하고자 한다.

후 기

이 논문은 2020년도 남서울대학교 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

REFERENCES

1. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Regulations for Equipment Standard of Building, 2020.
2. Orme, M., Liddament, M. W., and Wilson, A., Numerical Data for Air Infiltration & Natural Ventilation Calculations, AIVC, 1998.
3. Huh, Y., No, S. T., and Kim, K. S., A Study about Natural Ventilation Analysis Methods for Apartment Buildings Using CFD, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 25, No. 6, pp. 221-228, 2009.
4. Tong, Z., Chen, Y., and Malkawi, A., Defining the Influence Region in Neighborhood-scale CFD Simulations for Natural Ventilation Design, Applied Energy, Vol. 182, pp. 625-633, 2016.
5. Choi, J. S., Kim, E. J., and Yoon, S. H., A Study on the Comparison of Wind Pressure Coefficient and Natural Ventilation Performance According to the Layout of Apartment Complex, Journal of Korean institute of Architectural Sustainable Environment and Building System, Vol. 13, No. 5, pp. 315-324, 2019.
6. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Energy Saving Design Standard for Building, Annex 1, 2017.
7. Korea Official Meteorological Agency, <http://www.kma.go.kr/>, Accessed 2020.7.1.
8. Tominaga, Y., Mochida, A., Yoshie, R., Kataoka, H., Nozu, T., Yoshikawa, M., and Shirasawa, T., AIJ Guidelines for Practical Applications of CFD to Pedestrian Wind Environment Around Buildings, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 96, No. 10-11, pp. 1749-1761, 2008.
9. Choi, D. and Cho, K., A Study on the Planning of Multi-family Residential Buildings Considering Daylight, View and Natural Ventilation, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 30, No. 3, pp. 55-64, 2010.
10. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE Fundamentals (SI Edition), Chapter 24, 2017.