

건물 내 공기유동 해석에 외부 바람이 미치는 영향의 분석

A Simulation Method for Considering the Outdoor Wind-Pressure in Calculation of Indoor Air-Flow in High-Rise Buildings

김대영(Dae-Young Kim)¹, 송두삼(Doo-Sam Song)^{2*}

¹성균관대학교 글로벌건설엔지니어링학과, ²성균관대학교 건축토목공학부

¹Department of Global Construction Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 16419, Korea

²School of Architectural, Civil and Environmental Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 16419, Korea

(Received November 23, 2015; revision received December 29, 2015; Accepted: December 30, 2015)

Abstract The air flows in building caused by thermal buoyancy, known as the stack effect, have a pronounced influence on both the indoor environment (thermal environment, noise, draught and contaminant diffusion) and energy needs in high-rise buildings. Prior studies for airflow in high-rise buildings were focused on the degree of stack effect and countermeasures. The wind pressure was neglected during the calculation of the indoor airflow in high-rise buildings to clarify the effect of thermal buoyancy in previous studies. However, wind is an important driving force of indoor airflows in buildings with the stack effect. In this study, the effect of wind pressure on indoor airflow in high-rise building when the stack effect is dominant in winter was analyzed. In this paper, methods that involved considering the wind pressure in airflow network simulation were analyzed.

Key words Stack effect(연돌효과), High-rise building(초고층빌딩), Wind-pressure(풍압)

* Corresponding author, E-mail: dssong@skku.edu

기호설명

| | |
|------------|--|
| P_s | : Pressure difference by stack effect [Pa] |
| P_j | : Pressure at Zone j [Pa] |
| P_i | : Pressure at Zone i [Pa] |
| g | : acceleration due to gravity [9.8 m/s ²] |
| P_w | : Pressure difference by wind [Pa] |
| H_{NPL} | : height at neutral pressure [m] |
| C_p | : local wind pressure coefficient for building surface |
| P_v | : wind velocity pressure at roof level [Pa] |
| U_H | : approach wind speed at upwind wall height [H] |
| ρ_a | : ambient (outdoor) air density [kg/m ³] |
| ΔP | : Pressure difference [Pa] |
| P_1 | : Static Pressure at point 1 [Pa] |
| P_2 | : Static Pressure at point 2 [Pa] |
| V_1 | : Flow rates at point 1 [m/s] |
| V_2 | : Flow rates at point 2 [m/s] |
| z_1 | : Height of point 1 [m] |
| z_2 | : Height of point 2 [m] |

1. 서론

건물 내 공기유동은 실내 온열환경, 소음, 오염물질의 이동, 환기성능 및 에너지 소비량에도 영향을 미친다.⁽¹⁾ 최근 국내에도 고층건물들이 많이 건설되면서 연돌효과라는 종래의 저층건물에서는 경험하지 못했던 문제들이 발생하고 있다.⁽²⁾

건물 내 공기유동은 연돌효과라고 하는 건물 내외부 공기의 온도차(밀도차), 건물 내 공기의 밀도차에 의한 부력효과 뿐 아니라 외부 바람의 영향을 받는다. 건물 내 공기유동을 유발하는 존 또는 공간사이의 밀도차 또는 압력차(ΔP)는 다음 식(1)과 같이 정의할 수 있다.

$$\Delta P = (P_1 + \frac{\rho V_1^2}{2}) - (P_2 + \frac{\rho V_2^2}{2}) + \rho g(z_1 - z_2) \quad (1)$$

위 식(1)을 간단히 정리하면 식(2)와 같다.

$$\Delta P = P_j - P_i + P_s + P_w \quad (2)$$

즉, 건물 내 공기유동을 유발하는 압력차는 각 지점의

정압(P_i, P_j), 부력효과(연돌효과)에 의한 압력(P_s), 풍압(P_w)으로 정의할 수 있다.

기존의 건물 내 공기유동에 대한 연구로 Song et al.⁽¹⁾은 고층 주거건물에서 수직적 공기유동에 따른 실내 오염농도 형성에 관한 연구를 진행하였다. 그러나 이 연구에서는 외부 바람에 의한 영향을 고려하지 않아 좀더 실제 현상에 가까운 공기유동 해석이 이루어지지 못한 한계점이 있다. Cho et al.⁽²⁾은 고층 사무소 건물에서의 연돌효과로 인한 압력분포 실측 및 문제점 분석에 관한 연구를 진행하여 실측을 통해 실제 현상에 가까운 연구를 진행하고자 하였다. 그러나 역시 바람이 거의 불지 않는 새벽에 실측이 이루어졌다.

건물의 높이가 낮고 주변 건물에 의한 영향이 적은 건물을 대상으로 실시하는 공기유동 해석의 경우, 실내 외 온도차에 의한 해석만 실시해도 큰 오차 없이 해석이 가능하지만, 건물이 점점 고층화됨에 따라 건물에 작용하는 바람의 영향이 증가하게 되어 외부 바람의 영향을 고려한 건물 내 공기유동 해석이 필요해졌다.

이와 관련된 선행 연구로서 Swami et al.⁽³⁾은 실험을 통해 각 면의 평균 풍압계수를 구하여 풍향이 건물외피에 미치는 영향에 대해 연구하였다. 각 면의 평균으로 공기의 침기를 예측하는 것은 불충분하다고 생각한 Persily et al.⁽⁴⁾은 실측과 풍동실험을 통해 각 지점에서의 풍압계수 값을 산출하는 방식으로 외부 바람의 영향에 대해 고려하였다.

하지만, 실제 측정과 풍동실험은 시간이 오래 걸리고, 비용이 많이 발생하며 기술적으로 어렵다는 단점이 있다. 이에 Gao et al.⁽⁵⁾과 Jiang et al.⁽⁶⁾은 CFD 시뮬레이션을 통해 풍압을 구하는 방안을 제안하였다. Wang et al.⁽⁷⁾은 공기유동 시뮬레이션인 CONTAMW와 CONTAM에서 제공하는 CFD0 EDITOR를 이용하여 풍압을 계산하는 방법을 제안하였으나 구체적인 방법론은 보고되지 않고 있다. 또한, COMIS에서는 CpCalc+⁽⁸⁾를 개발하여 주변 건물에 의한 Sheltering Effect를 고려한 연구를 진행하였다. 네덜란드의 연구기관인 TNO(Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek)에서는 Cp Generator⁽⁹⁾를 개발하여 외피/지붕의 한점에서의 Cp값을 예측하여 프로파일을 통해 전체 값을 구하는 연구를 진행하였다. 그러나 실제 도시 형태에서의 디테일한 Cp값에 대한 해석까지는 진행되지 못했다.

따라서 본 논문에서는 공기유동 시뮬레이션에서 외부 바람을 고려하는 방법들과 그에 따른 건물 공기유입, 유출 결과의 차이를 분석하였다. 분석은 건물 공기유동 시뮬레이션 프로그램인 CONTAMW와 CFD 해석 프로그램인 STAR-CCM+를 이용하여 분석하였다.

2. 해석 방법

풍압은 건물에서 공기유동에 영향을 미치는 중요한

요소이며, 건물 외피의 풍압은 풍압계수(Cp)로 표현된다. 풍압계수는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$C_p = \frac{P_x - P_0}{P_v}, P_v = \frac{\rho \cdot U_h^2}{2} \quad (3)$$

여기서, 건물외피에 작용하는 정압(static pressure)은 $P_x - P_0 = P_w$ 이다. 따라서 외부 바람이 건물 내 공기유동에 미치는 영향(P_w)은 식(4)와 같이 정의할 수 있으며 이는 외피에 대한 풍압계수(C_p)와 지붕 높이에서의 풍속에 의한 압력(P_v)의 곱으로 나타낼 수 있다.

$$P_w = C_p P_v \quad (4)$$

외피에 대한 풍압계수(C_p)는 CFD 시뮬레이션 또는 Fig. 1과 같이 ASHRAE에서 제공하는 Atkins 모델을 통해 얻어낼 수 있으며 지붕 높이에서의 풍속에 의한 압력(P_v) 값은 다음 식(5)와 같이 정의할 수 있다.

$$P_v = \frac{\rho_a U_H^2}{2} \quad (5)$$

P_v 값은 도시의 규모, 일정거리 이내에서 일정 높이 이상의 건물의 비율 등에 의해 결정되는 지역계수 α 값에 따라 결정되는 높이 H에서의 평균 풍속값인 U_H 값에 따라 결정되며 식(6)과 같이 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 지표면 조도(roughness)조건 중 Large Urban 조건에 대한 α 값인 0.33 값을 적용하였다.⁽¹⁰⁾

$$U_H = U_{met} \left(\frac{H}{H_{met}} \right)^\alpha \quad (6)$$

이러한 계산방법을 통해 외부 풍압(P_w) 값을 구하는 방법에는 CONTAMW 프로그램 자체적으로 계산하는 방법과 CFD 시뮬레이션을 통해 산출하는 방법, 실측

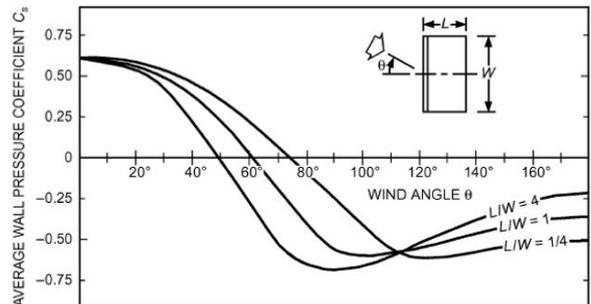


Fig. 1 Surface-averaged wall pressure coefficients.

또는 풍동실험을 통해 구하는 방법이 있다.

CONTAMW 자체적으로 계산하는 방법에서는 CONTAMW 내부에 있는 Wind Pressure Modifier를 통해 ASHRAE에서 제안하는 Atkins 모델에 따라 건물 장단 면비에 따른 풍압계수(C_p)를 산출한다. 그 결과를 CONTAMW에 입력하고 내장된 식(4)를 통해 풍압(P_w)를 자동 계산하여 각각의 면에 적용한다. 하지만, CONTAMW 자체방식으로 외부 바람의 영향을 고려할 경우, 건물의 형상이 장방형이 아니고 높이에 따라 형상이 다를 경우와 주변건물이 있는 경우의 풍압의 차이를 해석하기 어렵다는 한계점이 있다.

CFD 시뮬레이션을 이용하는 방법은 CFD 시뮬레이션을 통해 각 층별, 각 면별 풍압계수(C_p)를 추출하고 그에 따른 풍압(P_w) 값을 식(4)를 통해 계산한다. 그리고 그 결과를 CONTAMW에 각각의 면에 직접 풍압 값을 입력하여 해석하는 방식이다.

이 방법을 적용하면 CONTAMW만 이용하는 방식과 달리 다양한 형태의 건물, 각각 다른 주변 건물의 배치 형태에 대응하는 해석을 진행할 수 있다는 장점이 있지만, CFD 시뮬레이션과 수계산, CONTAMW를 병행하는 과정이 필요하기 때문에 많은 시간이 소요된다.

실측과 풍동실험을 통해 외부바람을 고려하는 방법은 건물을 짓기 전에 분석이 어렵고 많은 시간과 비용이 드는 단점이 있다.

본 논문에서는 앞서 언급한 CONTAMW 자체적으로 외부 바람을 고려하는 방법과 CFD를 이용하는 방법으로 진행하고자 한다.

3. 시뮬레이션

시뮬레이션은 Fig. 2, Table 1과 같이 정방형의 30층, 높이 90 m의 SIMPLE 모델을 가정하였으며, 실내온도 24°C 실외온도 -10°C로 가정하여 진행하였다.

3.1 CASE 선정

분석 케이스는 Table 2와 같이 총 5가지의 경우로 설정하여 Fig. 2에서 단독건물인 경우와 주변건물이 있는 경우로 나누어서 시뮬레이션을 진행하였다.

CASE 1은 기본케이스로서 외부 바람을 고려하지 않고 CONTAMW 프로그램을 통해 실내의 온도차에 의한 공기유동만을 해석하였으며, 주변 건물이 없는 상황이다.

CASE 2-1은 Fig. 1과 같이 외부 바람을 CONTAMW 자체적으로 계산하여 공기유동에 미치는 영향을 해석하는 방식이다. 풍향 및 풍속은 2015년 1월 1일~31일 오전 09시~오후 16시의 기상청(과천) DATA를 활용

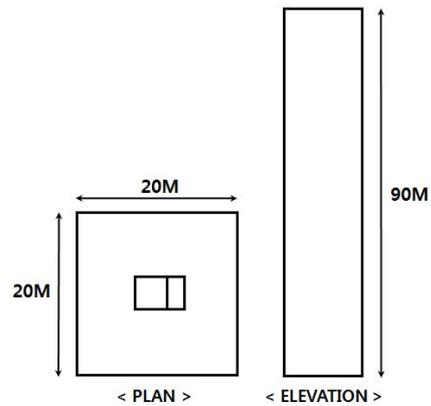


Fig. 2 Analyzed simple model.

Table 1 Analyzed building information

| Index | Contents |
|---------------|------------------|
| Building Type | Square |
| Core | Center Core |
| Size | 30 stories(90 m) |
| Outdoor Temp. | -10°C |
| Indoor Temp. | 24°C |
| City Type | Urban |

Table 2 Analysis cases

| | C_p | P_w | Indoor Air-flow | Sheltering Effects |
|----------|---------------------|------------|-----------------|--------------------|
| CASE 1 | X | X | CONTAMW | X |
| CASE 2-1 | ASHRAE Atkins model | CONTAMW | CONTAMW | X |
| CASE 2-2 | ASHRAE Atkins model | CONTAMW | CONTAMW | O |
| CASE 3-1 | CFD Simulation | CALCULATED | CONTAMW | X |
| CASE 3-2 | CFD Simulation | CALCULATED | CONTAMW | O |

하여 Fig. 4와 같이 Wind Rose Analysis를 통해 약 40%의 데이터가 NW 315° 방향에서 2.1~5.7 m/s의 풍속으로 불어오는 것을 알 수 있었다. 따라서 주 풍향을 NW 315° 방향으로, 풍속은 5 m/s로 설정하였다.

CASE 2-2는 Fig. 3과 같이 대상건물 주변에 같은 규모의 건물들이 20 m 간격으로 배치된 경우이며, 계산 방법은 CASE 2-1과 같다.

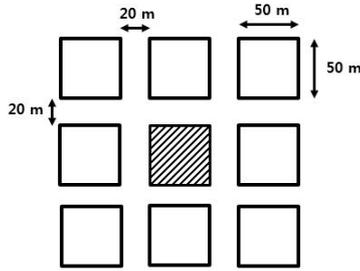


Fig. 3 CASE 3-2(plan).

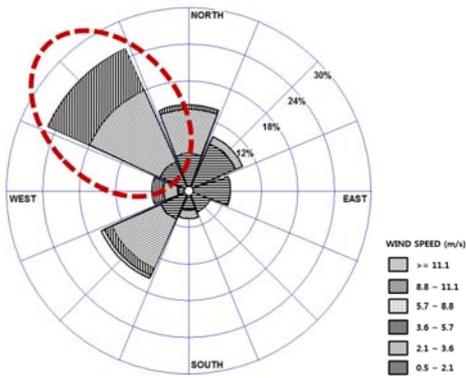


Fig. 4 Wind profile.

CASE 3-1은 CFD 시뮬레이션을 통해 외부 풍압을 산출하는 방법이다. CASE 3-2는 주변 건물이 있는 경우를 가정하여 CFD 시뮬레이션을 통해 풍압을 산출하는 방법이다.

3.2 CFD SIMULATION

CASE 3-1과 CASE 3-2에 필요한 풍압(P_w)을 계산하기 위해 Table 1의 대상 건물 모델로 CFD 시뮬레이션을 실시하였으며 경계조건은 Table 3과 같다. 난류 유동을 고려한 표준 k-epsilon 모델을 사용하였으며 압력 보정은 SIMPLE 법을 사용하였다.

도메인 사이즈는 안정적인 해석을 위해 Hu et al.⁽¹¹⁾의 연구에서 제안하는 도메인 사이즈를 적용하여 단일 건물인 경우에는 268×402×270, 주변 건물의 영향을 고려하는 Shielding 효과가 적용되는 경우에는 536×804×276 격자사이즈로 구성하였다.

외부 바람은 Pressure Inlet을 통해 NW 5 m/s의 바람이 불어와서 Flow-Split Outlet을 통해 모두 빠져나가는 조건을 적용하였다. Bottom은 Non-slip Wall로 벽면의 거칠기는 0.9로, Top은 Free-slip Wall로 설정하였고 양 Side는 Symmetry Plane을 적용하였다. Mesh 구성은 Fig. 5, Fig. 6(Shielding 효과 고려)과 같다.

Table 3 Boundary conditions for CFD

| Index | Contents |
|--------------------|--|
| Turbulence model | Standard k-ε model |
| State | Steady State |
| Pressure | SIMPLE |
| Wind Direction | NW |
| Inlet Wind Profile | Ur : 5 m/s |
| Domain Setting | ◦ Size : 268×402×270(Single) 536×804×276(Shielding) |
| | ◦ Inlet : Pressure Inlet |
| | ◦ Outlet : Flow-Split Outlet |
| | ◦ Bottom : Non-slip(Rough) |
| | ◦ Top : Free slip ◦ Side : Symmetry Plane |
| Mesh Type | Trimmer, Prism Layer |
| Discretization | Second-order upwind scheme |

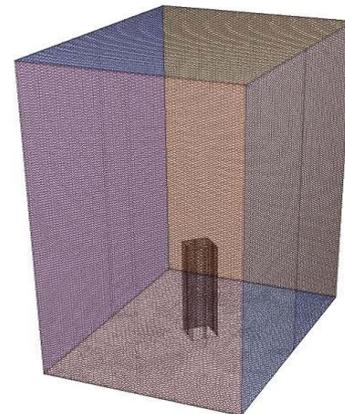


Fig. 5 Mesh of single building.

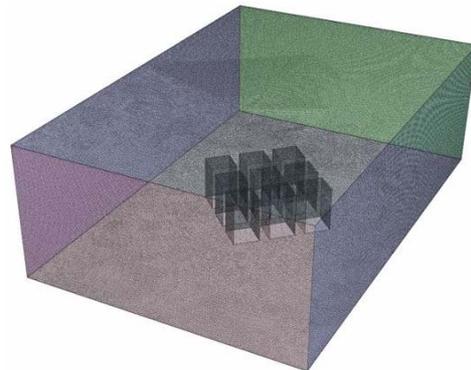


Fig. 6 Mesh system(CASE 3-2).

CASE 3-1과 CASE 3-2에 대한 CFD 시뮬레이션 결과는 Fig. 7, Fig. 8과 같다. 각각 Single Building과 주변 건물

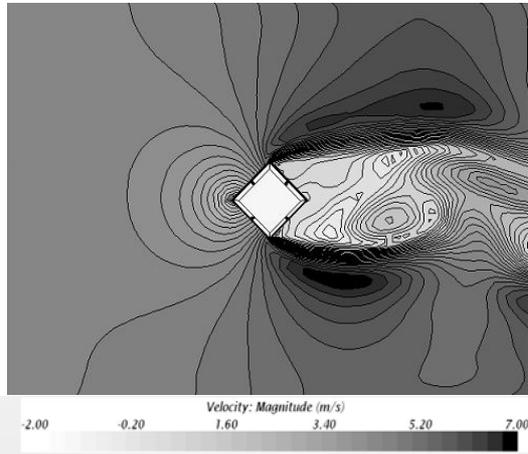


Fig. 7 CFD result(CASE 3-1).

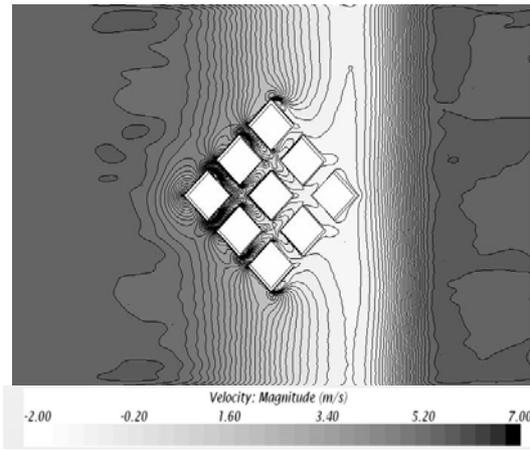


Fig. 8 CFD result(CASE 3-2).

이 있는 경우의 풍속분포로 바람이 불 때 건물 주변에서 공기흐름이 어떻게 형성되는지 볼 수 있다. CFD 해석을 통해 바람이 건물에 직접적으로 가해지는 풍압과 대상건물 표면을 타고 올라가면서 생기는 영향, 풍하면에서의 와류현상, 주변건물에 의해 변형된 바람의 영향을 고려하고 있다. 그 결과인 각 층별 각 면의 풍압 계수 값은 Table 4와 같다.

3.2 CONTAMW SIMULATION

시뮬레이션 Input Data는 Table 1의 Simple model을 대상으로 하였으며 CASE 2와 CASE 2-1의 경우 Fig. 1과 같이 Atkins 모델의 Cp값을 CONTAMW에 입력하여 자체계산 방식으로 해석하였고, CASE 3-1과 CASE 3-2의 경우 CFD 시뮬레이션에서 얻은 풍압 값(Table 4)을 CONTAMW의 대상건물 모델링 각면에 층별로 직접 입력하여 해석을 진행하였으며 그 결과는 Fig. 9와 같다.

Table 4 C_p Results for Case 3-1 and Case 3-2

| Floor | C_p | | | | | | | |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 45° | | 135° | | 225° | | 315° | |
| | CASE 3-1 | CASE 3-2 |
| 30 | -0.82 | 0.02 | 0.11 | 0.33 | 0.05 | 0.33 | -1.01 | 0.02 |
| 29 | -0.81 | 0.03 | 0.44 | 0.28 | 0.38 | 0.28 | -0.97 | 0.03 |
| 28 | -0.83 | 0.03 | 0.53 | 0.23 | 0.50 | 0.24 | -0.97 | 0.03 |
| 27 | -0.85 | 0.04 | 0.59 | 0.20 | 0.55 | 0.20 | -0.97 | 0.04 |
| 26 | -0.85 | 0.04 | 0.64 | 0.18 | 0.60 | 0.18 | -0.96 | 0.04 |
| 25 | -0.85 | 0.04 | 0.66 | 0.17 | 0.62 | 0.17 | -0.95 | 0.04 |
| 24 | -0.84 | 0.04 | 0.69 | 0.16 | 0.65 | 0.16 | -0.92 | 0.04 |
| 23 | -0.82 | 0.04 | 0.71 | 0.15 | 0.67 | 0.15 | -0.89 | 0.04 |
| 22 | -0.78 | 0.04 | 0.72 | 0.14 | 0.68 | 0.15 | -0.86 | 0.04 |
| 21 | -0.76 | 0.04 | 0.74 | 0.14 | 0.70 | 0.14 | -0.83 | 0.04 |
| 20 | -0.73 | 0.04 | 0.76 | 0.13 | 0.71 | 0.14 | -0.79 | 0.04 |
| 19 | -0.71 | 0.04 | 0.77 | 0.13 | 0.72 | 0.13 | -0.7 | 0.04 |
| 18 | -0.68 | 0.04 | 0.78 | 0.13 | 0.73 | 0.13 | -0.76 | 0.04 |
| 17 | -0.65 | 0.04 | 0.79 | 0.12 | 0.74 | 0.12 | -0.72 | 0.04 |
| 16 | -0.62 | 0.04 | 0.80 | 0.12 | 0.75 | 0.12 | -0.71 | 0.04 |
| 15 | -0.59 | 0.04 | 0.81 | 0.11 | 0.76 | 0.11 | -0.70 | 0.04 |
| 14 | -0.56 | 0.04 | 0.82 | 0.11 | 0.76 | 0.11 | -0.69 | 0.04 |
| 13 | -0.54 | 0.04 | 0.83 | 0.11 | 0.77 | 0.11 | -0.68 | 0.04 |
| 12 | -0.51 | 0.03 | 0.84 | 0.10 | 0.77 | 0.11 | -0.68 | 0.03 |
| 11 | -0.49 | 0.03 | 0.84 | 0.10 | 0.77 | 0.10 | -0.69 | 0.03 |
| 10 | -0.47 | 0.03 | 0.85 | 0.10 | 0.77 | 0.10 | -0.69 | 0.03 |
| 9 | -0.45 | 0.03 | 0.85 | 0.10 | 0.77 | 0.10 | -0.68 | 0.03 |
| 8 | -0.44 | 0.03 | 0.86 | 0.09 | 0.78 | 0.10 | -0.68 | 0.03 |
| 7 | -0.43 | 0.03 | 0.87 | 0.09 | 0.78 | 0.09 | -0.69 | 0.03 |
| 6 | -0.42 | 0.03 | 0.88 | 0.09 | 0.78 | 0.09 | -0.70 | 0.03 |
| 5 | -0.42 | 0.03 | 0.88 | 0.09 | 0.78 | 0.09 | -0.71 | 0.03 |
| 4 | -0.42 | 0.03 | 0.88 | 0.09 | 0.79 | 0.09 | -0.72 | 0.03 |
| 3 | -0.42 | 0.03 | 0.89 | 0.09 | 0.78 | 0.09 | -0.72 | 0.03 |
| 2 | -0.43 | 0.03 | 0.88 | 0.08 | 0.77 | 0.09 | -0.73 | 0.03 |
| 1 | -0.44 | 0.03 | 0.88 | 0.08 | 0.76 | 0.09 | -0.73 | 0.03 |

4. 결과 및 고찰

외부 바람에 의한 영향을 고려하는 경우, 바람이 불어오는 향에 따라 각 면에 양압과 음압이 작용하게 되어 연돌효과로 인한 공기유동과 상쇄 또는 보강이 되어 건물 내의 공기유동 결과에 영향을 미치게 된다.

외부 바람을 고려하게 되면 바람이 불어오는 풍상(風上)면에 양압이 작용하고 바람이 불어 나가는 풍하(風下)면에는 음압이 작용하게 되어 바람이 불어오는

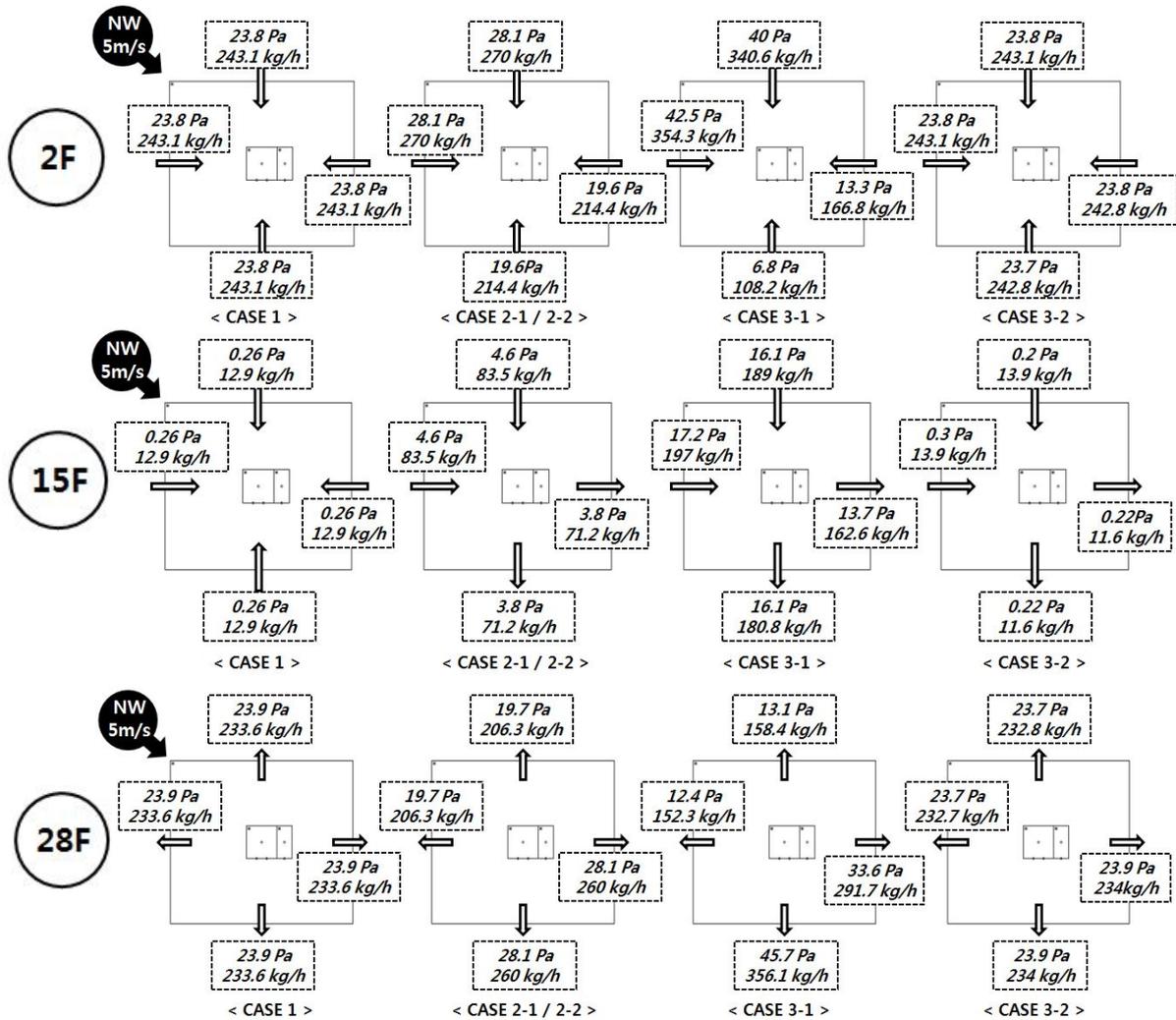


Fig. 9 Pressure difference, airflow rates at each sides of the building (low, mid, high floor).

NW 방향의 유입 풍량은 증가하고 바람이 불어나가는 SE 방향에서의 유입 풍량은 감소하게 되는 경향을 보이게 된다.

각 케이스 별 저층부(2층), 중층부(15층), 고층부(28층)에서의 차압 값과 유입/유출 풍량 값은 Fig. 9와 같다. CONTAMW 자체방식으로 해석한 CASE 2-1과 CASE 2-2는 주변건물에 대한 영향을 디테일하게 고려하여 계산하지 못하기 때문에 같은 값을 나타내고 있다.

CASE 2-1과 CASE 2-2는 바람의 영향을 고려하지 않는 CASE 1 대비 주 풍향인 NW 방향의 차압과 유입 풍량은 저층부와 중층부에서 증가하는 결과를, 고층부에서는 감소하는 경향을 보였다. 반대로 풍하측인 SE 방향의 차압과 유입 풍량은 저층부에서는 감소하였고 중층부와 고층부에서는 증가하는 경향을 보였다.

CFD와 CONTAMW를 커플링하여 해석한 CASE 3-1

의 경우에는 CASE 1 대비 주 풍향(NW) 방향의 차압과 유입 풍량은 저층부와 중층부에서 증가하였고, 고층부에서는 감소하는 경향을 보였다. 반대로 SE 방향의 차압과 유입 풍량은 저층부에서는 감소하였고 중층부에서는 유출 증가하였으며 고층부에서는 증가하는 경향을 보였다.

주변 건물의 영향까지 고려하여 CFD와 CONTAMW를 병행하여 해석한 CASE 3-2의 경우에는 외부 바람의 영향이 없는 CASE 1과 거의 유사한 결과를 나타내었다. 이는 같은 높이의 건물들로 근접거리에 둘러싸여 있는 Shielding Effect로 인해 바람이 직접 분석 대상 건물에 미치는 영향이 약화되었기 때문이다.

Table 5에 CONTAMW에서 외부바람의 영향을 고려하는 각 방법에 따른 분석 대상 건물 각 면의 유입 및 유출 풍량의 결과를 나타내고 있다.

Table 5 Inflow and outflow rate of each side in building according to the wind pressure calculation methods (flow rate : kg/h)

| | North | | West | | South | | East | |
|--------------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| | in | out | in | out | in | out | in | out |
| CASE 1 | 2193 | 2193 | 2193 | 2193 | 2193 | 2193 | 2193 | 2193 |
| CASE 2-1/2-2 | 2836 | 1890 | 2836 | 1890 | 1619 | 3063 | 1619 | 3063 |
| CASE 3-1 | 4761 | 993 | 5038 | 993 | 336 | 5422 | 901 | 4528 |
| CASE 3-2 | 2211 | 2071 | 2234 | 2065 | 2069 | 2069 | 2059 | 2312 |

외부 바람의 영향을 전혀 고려하지 않은 CASE 1은 각 면에서의 유입, 유출 풍량이 동일한 결과를 보였다.

이에 반해 CONTAMW 자체의 건물 벽면 풍압 산출 모델을 사용한 경우는 주 풍향인 건물 북측면 저층부에서 유입풍량이 CASE 1 대비 약간 증가, 상층부에서 감소하는 경향을 보였다. 즉 풍압의 영향이 어느 정도는 고려되는 것으로 나타났다. 그러나 CASE 2-1과 CASE 2-2 사이의 결과 차이가 없는 것을 통해 이 방법에서는 주변 건물의 영향을 고려하지 못하는 것으로 나타났다.

CFD 시뮬레이션을 통해 건물 각 면의 풍압을 산출하는 CASE 3-1의 경우는 건물 북측면 저층부에서 CASE 1 대비 가장 많은 풍량이 유입되는 결과를 보였으며 건물 상층부에서 유입되는 풍량은 대폭 감소하는 결과를 보였다. 마찬가지로 CFD 시뮬레이션을 통해 건물 각 면의 풍압을 산출하며 추가적으로 주변 건물의 영향을 고려하는 CASE 3-2는 주변 건물의 영향으로 바람의 영향을 고려하지 않은 CASE 1의 결과와 유사한 결과를 보였다.

바람의 유출방향인 남쪽면은 북측면의 결과와 정반대의 경향을 보였다.

위 결과를 통해 CONTAMW 자체의 건물 벽면 풍압 산출모델을 사용할 경우, 주변 건물의 영향에 따른 외부 바람의 변동을 제대로 표현하지 못한다는 사실을 확인하였다.

비교적 정교하게 외부 바람의 영향을 고려한다고 할 수 있는 CFD 방법의 경우, 건물 내 공기 유입 및 유출의 계산에서 외부 바람의 영향을 고려하지 않는 CASE 1과 비교하여 많은 차이를 보였다.

5. 결 론

본 논문에서는 공기유동 시뮬레이션에서 외부 바람을 고려하는 방법들과 그 방법들이 결과에 미치는 영향에 대해서 공기유동 시뮬레이션 프로그램인 CONTAMW와 CFD를 이용하여 분석하였다.

본 논문에서 검토한 결과, 기존 연돌효과에 의한 건물 내 공기유동 해석에서 일반적으로 많이 채용하고 있

는 외부 바람의 영향을 무시하는 CASE 1 대비 CONTAMW에서 제시하는 풍압을 고려하는 ASHRAE 방법(CASE 2-1), 그리고 CFD를 통해 대상 건물의 풍압을 상세히 해석하여 CONTAMW의 설정 조건으로 공기유동을 해석하는 방법(CASE 3-1)은 그 결과에 많은 차이가 있었다.

CASE 1과 비교하여 외부 풍압을 고려하는 경우(CASE 2-1, CASE 3-1)에는 대상 건물의 바람이 불어오는 풍상측면에서 유입 풍량이 저층부, 중층부에서 증가하는 결과를 고층부에서는 감소하는 결과를 보였다.

ASHRAE에서 제안한 풍압 모델을 사용하는 CASE 2-1과 CFD로 직접 계산하는 CASE 3-1의 차이는 CASE 3-1이 좀 더 풍압의 영향이 CASE 2-1과 비교하여 크게 나타났다.

주변 건물의 영향에 대한 고려(CASE 2-2, CASE 3-2)는 기존 ASHRAE에서 제안한 풍압 모델을 사용하는 CASE 2-2는 주변 건물에 의한 풍압의 감소를 표현하지 못하여, 단일 대상 건물인 경우와 동일한 결과를 나타냈다. 그러나 CFD로 풍압을 직접 계산하는 CASE 3-2의 경우는 주변 건물의 영향으로 단일 건물인 경우보다 각 면에 작용하는 풍압이 감소하는 결과를 보였다.

본 결과를 통해 고층 건물에 대한 건물 내 공기유동을 정확히 해석하기 위해서는 연돌효과와 같은 건물 내 공기온도차, 밀도차 뿐 아니라 풍압을 반드시 고려해야 한다. 그리고 풍압을 고려하기 위해서는 기존 CONTAMW에서 제공하는 ASHRAE 모델을 사용하기 보다는 CFD 시뮬레이션을 통해 풍압을 산출하는 것이 보다 더 건물 내 공기유동을 잘 표현할 수 있다는 결론을 도출하였다.

후 기

본 연구는 국토교통부 도시건축연구사업의 연구비 지원(15AUDP-B100343-01)에 의해 수행되었습니다.

References

1. Song, D. S., 2012, A Study on the Formation of In-

- door Contaminant Concentration by Vertical Airflow in High-Rise Residential Buildings, The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea, Vol. 2012, No. 11, pp. 129-136.
2. Jo, J. H., 2010, Evaluation of Problems and Field Measurement of Stack Pressure Profiles in the high-rise Office Building, Architectural Institute of Korea, Vol. 26, No. 7, pp. 330-340.
 3. Swami, M. V. and Chandra, S., 1988, Correlations for pressure distributions on buildings and calculation of natural-ventilation airflow, ASHRAE Transactions, Vol. 94, No. 1, pp. 243-266.
 4. Persily, A. K. and Ivy, E. M., 2001, Input data for multizone airflow and IAQ analysis, Gaithersburg, MD., National Institute of Standard and Technology.
 5. Gao, Y., 2002, Coupling of computational fluid dynamics and a multizone airflow analysis program for indoor environmental design, Cambridge, MA., Massachusetts Institute of Technology.
 6. Jiang, Y., Alexander, D., Jenkins, H., Arthur, R., and Chen, Q., 2003, Natural ventilation in buildings : measurement in a wind tunnel and numerical simulation with large eddy simulation, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 91, No. 3, pp. 331-353.
 7. Wang, L., 2007, Coupling of multizone and CFD programs for building airflow and contaminant transport simulations. Mechanical Engineering, West Lafayette, IN, Purdue University. Ph.D Thesis.
 8. Feustel, H. E., 2005, COMIS 3.2-user guide, Dubendorf : Empa.
 9. Eldin, A. S., 2007, A parametric model for predicting wind-induced pressures on low rise vertical surfaces in shielded environments, Solar Energy, Vol. 81, No. 1, pp. 52-61.
 10. ASHRAE, 2005, ASHRAE Handbook-Fundamentals (SI), American Society of Heating, Refrigeration, and Air-conditioning Engineers, Inc., Chapter 16.
 11. Hu, C. H. and Wang, F., 2005, Using a CFD approach for the study of street-level winds in a built area, Building and Environment Vol. 40, No. 5, pp. 617-631.