

# 수치해석을 이용한 초고층 주거건물에서 외풍영향에 의한 외벽 압력 분포 분석

김 치 완, 양 순 창\*, 안 영 철\*\*

LG전자, \*부산대학교 건축공학과

## A Numerical Analysis on the Outside Pressure Distribution by Outdoor Wind Effect in a High-rise Residential Building

Chiwan Kim, Soonchang Yang\*, Youngchull Ahn\*\*

CAC Laboratory, LG Electronics, Changwon, 641-713, Korea

\*Department of Architectural Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

(Received March 25, 2011; revision received August 30, 2011)

**ABSTRACT:** The object of this study is to analyze and evaluate outdoor wind pressure effect in a high-rise residential building when seasonal wind blow on coast area. The target building consists of 3 tower buildings over 250m in height. For the evaluation of the outdoor wind effect, CFD simulation was performed. The results of the simulations are as follows : 1) In that case of high-rise building, horizontal stream is more affected than vertical stream. 2) In case of summer season northeasterly wind, building pressure distributions are unstable and surface pressures of outside are effected respectively. 3) In case of winter season westerly wind, building pressure differentiations are not so much because of screening effects of the B, and the C buildings. 4) In case of winter season northwesterly wind, front wind affects on the A building directly because of no obstacles.

**Key words:** High-rise building(초고층 건물), Stack effect(굴뚝효과), Outdoor wind effect(외풍 영향), Airflow analysis(공기유동 분석)

### 기 호 설 명

### 그리스 문자

$C1, C2, C\mu$  : Std k- $\epsilon$  모델 상수  
 $D_h$  : 수력직경, 4A/P [m]  
 $h$  : 열전달계수 [W/m<sup>2</sup>K]  
 $k$  : 난류 운동에너지  
 $u, v, w$  : 속도 성분

$\nu$  : 동점성 계수  
 $\epsilon$  : 난류 소산에너지  
 $\mu$  : 점성 계수 [kg/m · s]  
 $\eta$  : Kinematic viscosity [mm<sup>2</sup>/s]  
 $\rho$  : 밀도 [kg/m<sup>3</sup>]  
 $\sigma$  : 모델 상수

† Corresponding author

Tel.: +82-51-510-2492; fax: +82-51-514-2230

E-mail address: ycahn@pusan.ac.kr

### 1. 서 론

외풍에 의한 건물 외부의 압력 분포는 환기, 개구

부 및 틈새 풍량을 좌우하여 건물 환기에 큰 영향을 미치며, 태풍과 같은 극단적 외풍 및 와류형성(Vortex shedding)에 의한 진동은 건물의 붕괴를 초래할 만큼 건축물 설계에 중요한 고려 사항이다. 이러한 외풍은 건축물 정면부에서의 충돌(Impinging), 측면부, 후면부 및 상단부에서의 박리(Separating), 후면부의 와류 진동(Vortex shedding) 등 유체 역학적으로 다양하고 복잡한 현상을 초래한다. 따라서 건축물에서의 외풍은 높은 Reynolds 수, 정면부의 충돌, 건축물의 복잡한 기하학적 형상, 건축물의 방해에 의한 출구 경계 조건 영향 등에 의해 수치 해석에 많은 어려움이 따른다.

건축물의 외풍에 의한 영향에 대해 연구한 기존 연구들은 수치 해석 모델 방법에 따라 크게 DNS(Direct numerical simulation) 모델, RANS(Reynolds averaged Navier-Stokes) 모델, LES(Large eddy simulation) 모델로 나눌 수 있다. DNS 모델의 경우 정확도는 가장 높으나 과도한 계산 시간 및 메모리를 요구하므로 높은 Reynolds 수를 갖는 건물 외풍 문제에 적용하기 어렵다.<sup>(1)</sup> LES 모델의 경우 정확도도 높고 DNS모델에 비해 경제적이다.<sup>(1)</sup> Murakami<sup>(1)</sup>는 LES 모델이 기존 RANS 모델에 비해 기류해석에서 더 정확도가 높음을 보였으며, Young et al.<sup>(2)</sup>은 원통에서 LES 모델에 관하여 기술하였다. 또한 Huang et al.<sup>(3)</sup>은 고층 건물에서 LES를 이용하여 기류를 분석하였다. 그러나 위의 DNS나 LES 모델의 경우 본 연구와 같이 형상이 복잡하고 높이가 매우 높으며, 세 건물이 인접하여 간섭 효과에 의해 유동이 복잡한 경우 매우 많은 계산 시간 및 메모리를 요구하기 때문에 비효율적이다.<sup>(3)</sup> RANS 모델의 경우 위의 모델 중에 정확성이 가장 떨어지거나 계산 시간 및 메모리 요구가 세 모델 중 가장 적기 때문에 효율적이다.<sup>(4)</sup> 또한 외풍 해석이 주가 아닌 외풍 해석을 통하여 내부 유동 해석을 위한 경계 조건 데이터를 얻기 위해서는 가장 적합하다. Launder and Kato,<sup>(4)</sup> Kawamoto<sup>(5)</sup> 등이 기존 Standard k- $\epsilon$  모델을 수정한 모델을 제안하였으나 그 정확도는 기존 Standard k- $\epsilon$  모델이나 SST(Shear stress transport) k- $\omega$  모델과 유사하다. 또한 이들의 연구는 형상이 단순한 원통형이나 사각형의 건물에 한정되고 건물 높이도 높지 않은 하나의 건물에만 제한하여 본 논문과 같이 십자형 건물이나 세 건물이 인접하고 있는 경우에는 적용이 어렵다.

따라서 본 연구에서는 SST k- $\omega$  난류 모델을 이

용하여 건물 외기 해석을 수행하였으며, 세 건물이 인접한 십자형 건물에서의 유동을 분석하고, 가장 문제시되는 80층 외벽에서의 압력 데이터를 산출하여 내부 유동 해석을 위한 경계 조건으로 설정하고자 한다.

## 2. 해석 대상 및 수치해석 방법

본 연구에서의 해석 대상 건물 형상은 Fig. 1(a)와 같으며, 본 연구 대상 건물의 평면상 최장거리  $D$ 는 약 66 m이고, 건물의 높이  $H$ 는 298.2 m이다. 해석 대상이 되는 80층 높이에서는 주위 건축물의 높이가 낮아 유동에 직접적인 영향을 미치는 인자가 없으므로 Fig. 1(b), Fig. 1(c)와 같이 충분히 넓은 영역을 대상으로 해석 영역을 설정하였다.

### 2.1 해석조건 및 지배방정식

본 연구에서 해석모델 내의 유동 특성을 수치적으로 조사하기 위하여 유체의 흐름은 3차원 비압축성 난류 유동이고 작동 유체는 단상이며 물성치는 일정하다고 가정하였다.

해석하고자 하는 건물 외부 유동을 해석하기 위해서 SST k- $\omega$  모델을 사용하였으며 지배 방정식으로 연속방정식, 운동량 방정식, 난류 운동량 에너지 방정식, 난류 운동량 에너지 소산율 방정식을 사용하였다.

#### 2.1.1 유체 입구 및 출구 조건

유체 입구 및 출구에서의 경계 조건은 다음과 같다.

$$u_{in}(z) = 0.35u_m z^{0.25} \quad (1)$$

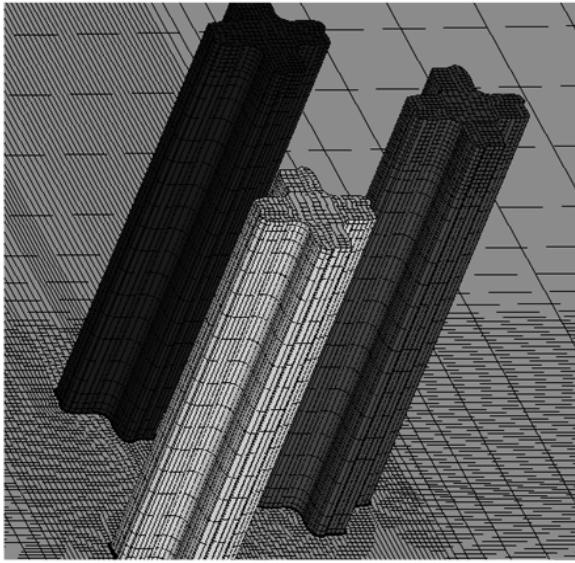
$$\dot{m}_{out} = \dot{m}_{in}, \quad \frac{\partial p}{\partial n} = 0 \quad (2)$$

여기서,  $u_m$ 은 건물 위치 지역의 해발 10 m에서의 평균 풍속이며, 본 연구에서는 10 m/s를 사용하였다.

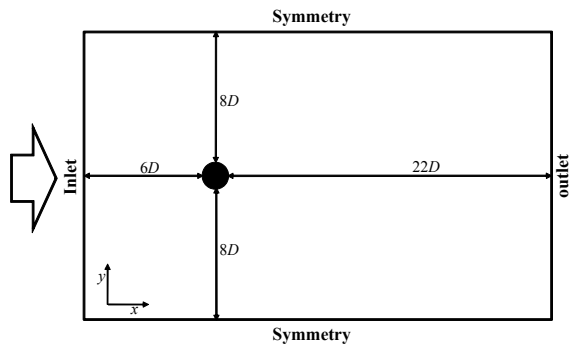
#### 2.1.2 유체와 고체의 경계면

빌딩 외벽과 지표에서는 다음과 같은 점성 조건을 사용하였다.

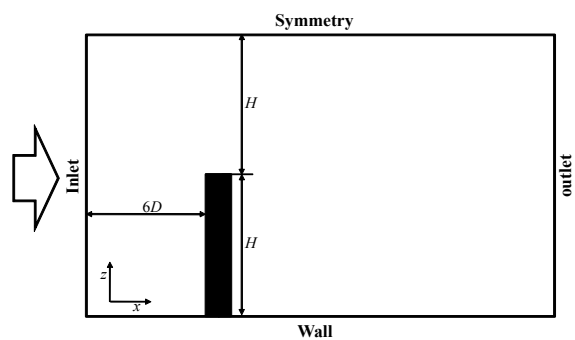
$$u_{wall} = v_{wall} = w_{wall} = 0 \quad (3)$$



(a) Shape and grid of the building



(b) Plan view of analysis domain



(c) Side view of analysis domain

Fig. 1 Shape and analysis domain of the building.

2.1.3 대칭 조건

해석 영역의 좌, 우, 상단에서는 대칭 조건을 사용하였다.

$$\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial w}{\partial z} = v = w = 0 \quad (4)$$

2.2 수치 해석 방법

수치 해석 시 압력과 속도를 결합하여 유동장을 풀기 위해 SIMPLE 알고리즘을 선택하였으며, 비정상 상태 해석을 위하여 시간은 2계 암시적 방법(2nd order implicit scheme)을 사용하였다. 각 지배방정식의 대류항(Convective term)은 Bounded central difference scheme을 이용하여 이산화 하였다. 반복 계산 시 종속 변수들의 수렴 정도는 종속 변수의 상대 오차의 최대값이 연속 방정식, 운동량 방정식, 난류 방정식 및 에너지 방정식의 경우  $10^{-5}$ 이하일 때 수렴된 것으로 판정하였다. 격자 의존성 검사를 실시하여 해의 정확성, 수렴성 및 계산 시간을 고려하여 격자수를 선택하였고 계산의 정확도를 높이기 위해 경계면 부근의 격자를 조밀하게 하였다.

3. 결과 및 고찰

수치해석을 통해 D건설사의 초고층 주거 건물 3개 동에서의 유동을 분석하였으며, 가장 문제 시 되는 최상층인 80층의 외벽에서의 압력 데이터를 산출하여 내부 유동을 위한 경계 조건을 얻고자 하였다.

3.1 부산지역 풍향 및 풍속

해석대상 건물이 있는 부산지역의 지난 30년 간의 풍속 및 풍향자료를 분석하여 시뮬레이션에 이용할 기준 풍속 및 풍향을 결정하였다. Fig. 2는 기상청

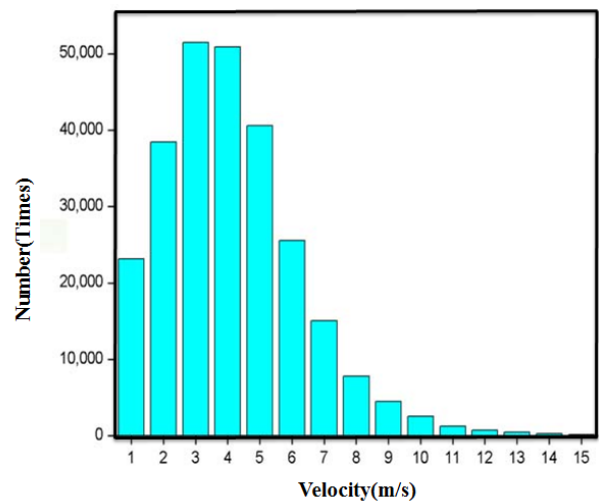


Fig. 2 Frequency of wind velocity for the past 30 years in Busan.

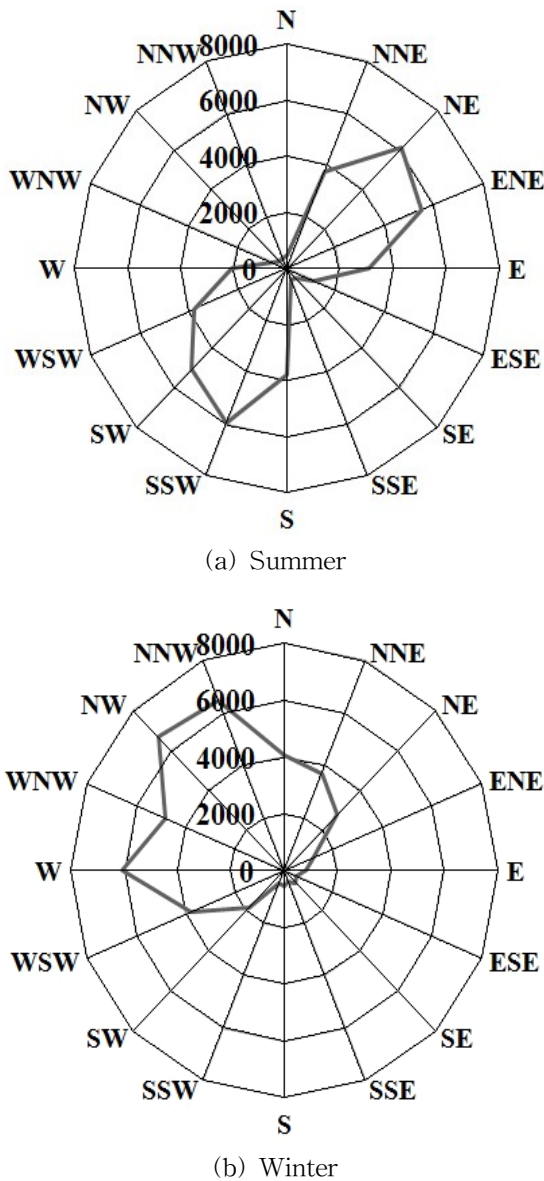


Fig. 3 Frequency of wind direction for the past 30 years in Busan.

에서 측정된 풍속데이터로서, 지난 30년간 부산지역의 최대 풍속은 3 m/s이며 최대 풍속은 14 m/s를 넘지 않았다. 그리고 전체 풍속중 10 m/s 이하가 전체 풍속의 95% 이상을 차지하고 있으므로 해석을 위한 기준풍속은 10 m/s로 선정하였다. 또한 Fig. 3과 같이 여름철에는 북동(NE), 남남서(SSW)방향의 바람이 영향을 미치고, 겨울철에는 시베리아 기단에 의한 북서계절풍의 영향을 받아 북서(NW), 서(W) 방향의 바람이 주로 부산지역에 영향을 미친다. 따라서 본 연구에서는 여름철은 북동풍과 남남서풍을, 겨울철은 북서풍과 서풍의 조건에 대해 해석을 실시하였다.

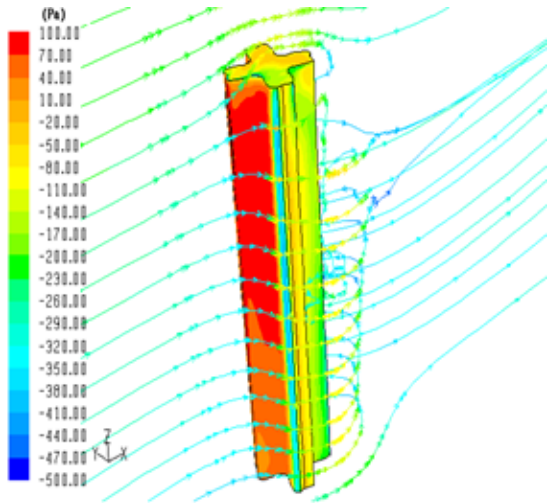
### 3.2 건물 주위 기류 해석

본 연구의 해석 대상 건물은 3개동 모두 높이가 250 m를 넘는 초고층이다. 따라서 종횡비가 매우 크기 때문에 와류의 축이 높이 방향으로 늘어난 2차원 흐름 구조를 갖는 와류가 생성된다. 건물 주위에서는 크게 수직류와 수평류로 나눌 수 있으며 모든 풍향에 대해 이런 수직류와 수평류는 동일한 특성을 보인다. Fig. 4는 여름철 북동풍일 때, 수직류 및 수평류의 기류이다. 건물을 향해 들어온 바람은 건물 정면부와 부딪쳐서 벽을 따라 상하로 이동한다. 또한 건물 최상층에서 건물을 타고 넘어 유체는 유동 박리를 일으키고 건물 상부에서 와류를 일으킨다. 건물 측면에서는 벽을 따라 흐르던 유체가 유동 박리를 일으키고 후면부에서 와류를 생성한다. 측면부 유동 박리에 의한 말발굽(Horseshoe) 와류의 경우, 건물의 모양이 각이 지지 않고 매끄럽기 때문에 미미하며, 건물 배면에서는 후류에 의한 von Karman 와류가 생성되어 와류 진동(Vortex shedding)이 일어난다. Fig. 4를 통해 전체적인 기류 특성은 파악할 수 있으나 세 건물이 인접함에 의한 영향과 특히 분석 대상인 A동에 미치는 영향은 파악하기 어렵다. 따라서 각 풍향별로 건물의 인접에 따른 영향을 알아보고 그에 따른 A동 80층의 외벽에서의 압력 분포를 추출하고자 한다.

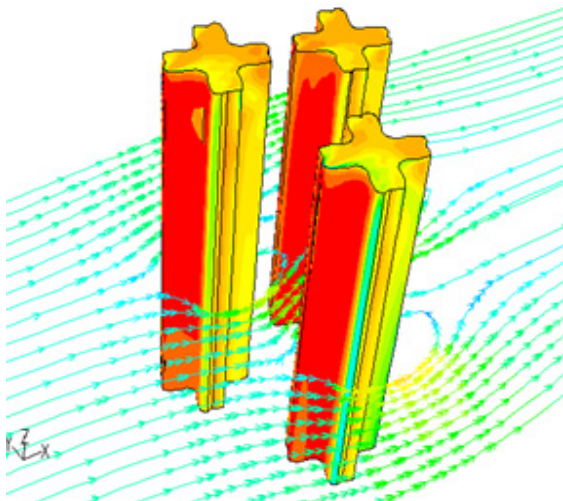
### 3.3 풍향에 따른 A동 영향

본 연구와 같은 종횡비가 큰 초고층 건물의 경우 와류가 기둥 높이가 큰 2차원와류 형태를 보이기 때문에 수평류에 의한 각 건물의 간섭을 알아보는 것이 매우 중요하다. 따라서 각 풍향에 따른 A동에서의 기류를 조사하였다. 여름철 북동풍일 때 수평류는 Fig. 5와 같다. A동과 B동은 정면에서 바람을 받고 있으며, 충돌로 인해 전면 압력이 매우 높다. 또한 충돌부에서 정면으로 받지 않고 약 5°정도의 경사를 이루어 비스듬히 바람을 받기 때문에 측면부 및 정면부에서 기류가 매우 불안정하다. B동의 경우 배면부에 인접 건물이 없으므로 배면부의 von Karman 와류의 모습이 잘 나타나지만 A동의 경우 배면부에 C동과의 인접으로 von Karman 와류의 끝이 C동에 의해 압축된다. 북동풍일 경우 이런 C동과의 인접 및 비스듬한 기류 충돌로 A동의 외벽에서의 압력 분포는 매우 불안정하며 따라서 A동 80층의 각 세대의 외벽에 걸리는 압력은 제각각이

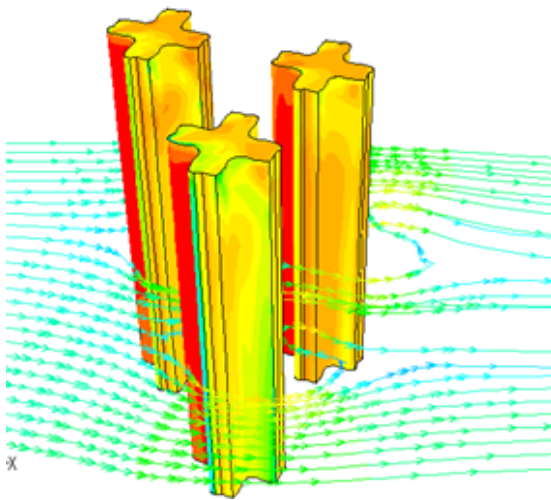




(a) Vertical air flow



(b) Horizontal air flow(Front)



(c) Horizontal air flow(Side)

Fig. 4 Vertical and horizontal air flows during northeasterly wind in summer.

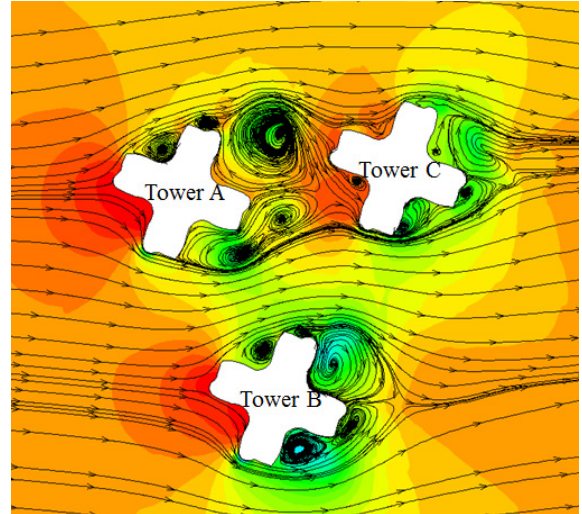


Fig. 5 Northeasterly wind flow in summer.

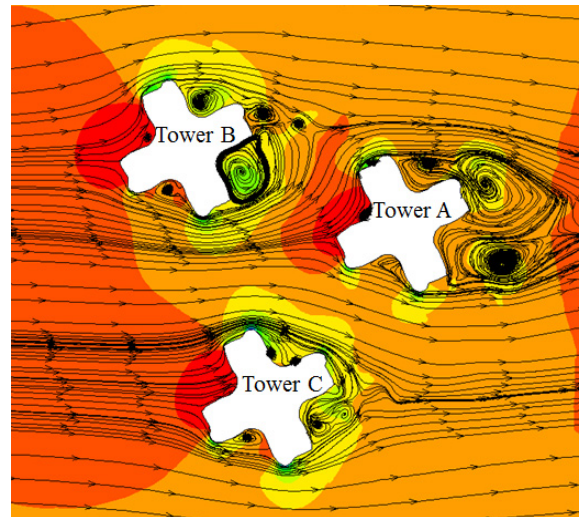


Fig. 6 Westerly wind flow in winter.

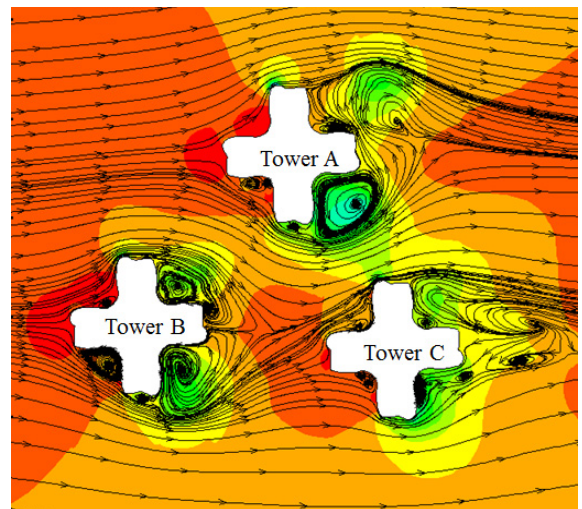


Fig. 7 Northwesterly wind flow in winter.

다. 여름철 남남서풍의 경우 북동풍과 반대이기 때문에 A동 외벽에 걸리는 압력은 북동풍과 반대이나 C동이 바람막이 역할을 하기 때문에 정압은 북동풍에 비해 작다.

겨울철 서풍일 때 수평류는 Fig. 6과 같다. 서풍일 때 B동과 C동은 정면에서 바람을 받고 있으며, A동의 일부 면적도 B동과 C동 사이에 위치하여 정면풍을 받고 있다. 그러나 B동의 후류를 간섭하고 있기 때문에 정면에서의 압력은 B동과 C동에 비해 크진 않다. 특히, 바람이 불어오는 방향을 바라 봤을 때 오른쪽 측면부에서 후류가 발생하고 배면부에서 von Karman 와류의 모습이 나타난다. B동의 바람막이 역할로 인하여 서풍일 경우 B동과 C동에 비해 외벽에서의 압력 편차가 크지 않다.

겨울철 북서풍일 때 수평류는 Fig. 7과 같다. 북서풍일때 A동의 경우 다른 동이 바람막이 역할을 하지 않기 때문에 정면풍을 받는다. 그러나 A동과 B, C동 사이 골에서 유속이 빠르기 때문에 A동의 배면의 와류는 대칭 형태가 되지 못하고 골쪽과 가까운 배면에서만 후류 영향이 매우 크게 나타난다. 따라서 정면부의 압력은 층돌에 의해 매우 높고 배면부는 골과 가까운 곳에서 부압이 더 크다.

3.4 A동 80층에서의 외벽 압력분포

전술한 바와 같이 수평류에 의해 건물의 전면부는 양압이, 배면부는 음압이 걸린다. 그러나 각 풍향별 건물의 바람막이 효과와 골에서의 빠른 유속으로 인하여 A동 80층의 각 세대별 압력 분포는 일정한 대칭성을 보이지 않고 임의적이다. 따라서 A동 80층의 내부 유동 해석을 위해 Fig. 8과 같이 각 외벽에서의 압력을 8곳으로 구분하여 분석하였으며 Table 1에 압력분포 값을 나타내었다.

4. 결 론

부산 해운대 우동에 건설될 D건설사 A동의 외풍 영향을 분석하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 중회비가 큰 분석대상 건축물의 경우, 와류의 축이 높이 방향으로 늘어나서 2차원 흐름 구조를 갖는 와류를 형성하며, 이에 따라 수직류의 영향보다는 수평류의 영향이 더 크게 작용하였다.

(2) 삼각형 형태로 세 개의 타워가 배치되어 있을 경우 여름철 북동풍일 때 가장 전면부에 위치한 타워(A동)에서의 기류는 후위에 설치된 타워(C동)와

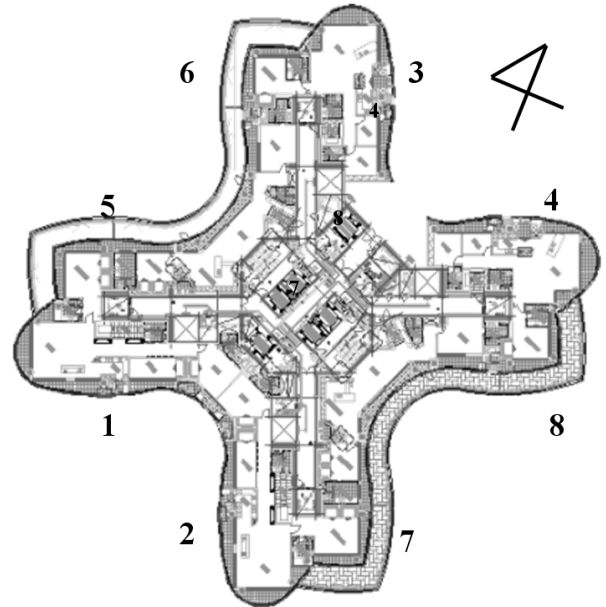


Fig. 8 Pressure measurement points of exterior wall at 80th floor of tower A.

Table 1 Pressure distributions at 80th floor of tower A

No.	Summer(Pa)		Winter(Pa)	
	NE	SSW	NW	W
1	-50.05	97.50	-175.45	5.08
2	-61.51	98.70	-237.85	21.83
3	99.00	-33.15	85.13	-122.65
4	97.83	-41.85	67.10	-87.04
5	-202.25	-188.30	-119.00	93.98
6	-245.18	-119.13	99.35	-201.00
7	-156.96	-197.50	-165.05	-47.20
8	96.03	-135.95	-484.55	-85.04

의 인접 및 비스듬한 기류 층돌로 외벽에서의 압력 분포는 매우 불안정하고 80층 각 세대의 외벽에 걸리는 압력또한 일정치 않다. 여름철 남남서풍의 경우 북동풍과 반대이기 때문에 가장 전면부 타워(A동) 외벽에 걸리는 압력은 북동풍과 반대이나 후위의 타워(C동)가 바람막이 역할을 하기 때문에 정압은 북동풍에 비해 작다.

(3) 겨울철 서풍일 경우 가장 전면에 위치하는 타워(B동)의 바람막이 역할로 인하여 후면에 위치하고 있는 타워(A동)는 다른 두 개의 타워(B동과 C동)에 비해 외벽에서의 압력 편차가 크지 않다.

(4) 겨울철 북서풍일때 주위 영향을 받지 않고 단독으로 존재하게 되는 타워(A동)의 경우 다른 두 개의 타워(B동과 C동)가 바람막이 역할을 하지 않

기 때문에 정면풍을 그대로 받으며, 각 타워 사이의 골에서 유속이 빠르게 흐르기 때문에 A동의 배면의 와류는 대칭 형태가 되지 못하고 골쪽과 가까운 배면에서만 후류의 영향이 매우 크게 나타난다.

D건설사 A동의 외풍 영향을 분석하여 Table 1과 같은 80층 외벽에서의 압력 분포를 얻었으며, 이를 경계조건으로 하여 추후 실내 기류 해석을 실시하고자 한다.

### 참고문헌

1. Murakami, S., 1998, Overview of turbulence models applied in CWE-1997, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 74, pp. 1-24.
2. Young, D. L., Eldho, T. I., and Chang, J. T., 2006, Large eddy simulation of turbulent flows in external flow field using three-step FEM-BEM model, *Engineering Analysis with Boundary Elements*, Vol. 30, pp. 564-576.
3. Huang, S., Li, Q. S. and Shengli, X., 2007, Numerical evaluation of wind effects on a tall steel building by CFD, *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 63, pp. 612-627.
4. Launder, B. E. and Kato, M., 1993, Modeling flow-induced oscillations in turbulent flow around a square cylinder, *ASME Fluid Eng. Conf.*
5. Kawamoto, S., 1995, An improved  $k-\epsilon-\varphi$  turbulence model for wind load estimation, Reproduction of Conical vortices on the roof of 1 : 1 : 0.5 building, 9th Symp. on Numerical Fluid Dynamics, pp. 197-198.