

초고층건물 주변의 풍환경에 대한 수치 해석 및 적용

Computational Analysis and an Application of Wind Environmental Effects
for High-rise Buildings

*정 영 배¹⁾, 라 선 옥²⁾

*Yungbea Chung, Seonuk Na

This paper presents the results of numerical simulation of wind environment and wind coefficient around super high-rise building. The analysis of aerodynamic response due to wind-induced forces and wind effect to surrounding buildings is important to high-rise building. This paper simulates the wind force to the high-rise building and wind flow pattern around the high-rise building, and shows the usability of CFD analysis to design process of high-rise building. A Navier-Stokes-Solver (FLUENT) with Quick spatial discretization scheme and RNG $k-\epsilon$ turbulence model has been applied to the computation of the three dimensional turbulent flow.

1. 서론

바람에 의한 초고층 건물의 주변 풍환경의 예측과 초고층건물의 풍압분포 예측을 전산유체해석으로 예측함으로써, IT(Information Technology)산업의 혁신적 발전과 더불어 풍공학(Wind Engineering)의 미래 지향적인 중요한 도구로 인식되고 있다. 본 연구에서는 운동하는 유체(기류) 속에 있는 물체는 그 주위의 유체와 풍공학의 실험적 연구도 중요하지만, 기획설계 단계에서 고층 및 초고층 건물의 형상을 디자인할 경우, 다양한 형태의 건물에 대한 기류 흐름을 예측하는데 쓰이게 된다. 현재 풍 환경 예측과 건물 형상에 의한 기류의 흐름을

파악하여 설계에 반영하는 것이다. 앞으로 풍 하중 예측과 진동에 관한 예측도 가능하다고 보며, 본 연구는 그 초기 단계로서 기류의 흐름과 풍 환경 예측에 목적을 둔다.

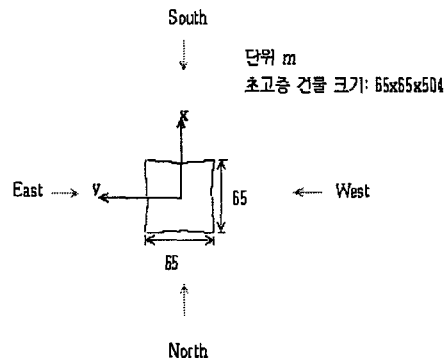


그림1. Millennium Tower 130 프로젝트 초고층 건물

1) 삼성건설기술연구소, R&D팀, 건축구조

2) ATES, Consulting 사업부



2. 대상 초고층 건물 모형

해석에 사용된 Millennium Tower 130 프로젝트 초고층 건물에 대한 크기를 그림1에 나타낸다.

$$R = \frac{C_{\mu} \rho \eta^3 \left(1 - \frac{\eta}{\eta_0}\right) \varepsilon^3}{1 + \beta \eta^3} k \tag{4}$$

where, $\eta = \frac{Sk}{\varepsilon}$, $\eta_0 = 4.38$, $\beta = 0.012$

3. 수치 해석 방법

지배 방정식은 연속 방정식, 운동량 보존 방정식을 풀고, 이러한 대수 방정식을 이산화하는 방법은 유한 체적법을 이용하였다. 지배 방정식의 해석은 SIMPLE 방법을 적용하였다. 난류 모델은 표준 k-ε 모델을 기본으로 환기계산법 (renormalization group method)을 이용하여 풀이한 모델로 다음과 같다.[1]

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + G_k + G_b + \rho \varepsilon - Y_M \tag{1}$$

$$\rho \frac{D\varepsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\alpha_{\varepsilon} \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R \tag{2}$$

G_k : 평균 속도 기울기에 의한 난류 운동에너지의 생성

G_b : 부력에 의한 난류 운동에너지 생성

Y_M : 압축성 난류의 fluctuation dilatation의 분포

$$d \left(\frac{\rho^2 k}{\sqrt{\varepsilon \mu}} \right) = 1.72 \frac{\hat{v}}{\sqrt{\hat{v}^3 - 1 + C_v}} d\hat{v} \tag{3}$$

where, $\hat{v} = \frac{\mu_{eff}}{\mu}$, $C_v = 100$

RNG k-ε 모델은 레이놀즈 수에 따라 난류 전달량이 달라진다. 식 (3)에서와 같이 낮은 레이놀즈 수의 유동이나 벽 근처의 유동에서 표준 k-ε 모델보다 더 잘 예측함을 알 수 있다. 높은 레이놀즈 수에서는 표준 k-ε 모델과 같이 $\mu_t = \rho C_{\mu} \frac{k^2}{\varepsilon}$ 를 이용한다. 표준 k-ε 모델과 주된 차이는 식 (2)에서의 R항이다.

식 (2)에서 R항을 포함하여 정리하면 $C_{2\varepsilon}$ 항은 식(5)와 같다.

$$C_{2\varepsilon}^* = C_{2\varepsilon} + \frac{C_{\mu} \rho \eta^3 \left(1 - \frac{\eta}{\eta_0}\right)}{1 + \beta \eta^3} \tag{5}$$

식 (5)에서 약하고 부드럽게 신장되는 유동영역(logarithmic layer)과 빠르게 회전되고 변형되는 흐름에서는 표준 k-ε 모델보다 더 높은 응답성을 보인다. Choudhury, Sung-Eun Kim [1]이 RNG k-ε 모델의 광범위한 적용을 시도 하였다.

4. 계산 격자와 경계조건

CFD에 의한 풍환경 해석을 하는 과정은 크게 3가지 절차로 수행하였다. 첫 번째는 해석 대상 초고층 건물의 형상과 그리고 해석에 적합한 격자계를 만들어 내는 전처리 과정 (Preprocessing), 두 번째는 만들어진 격자계를 이용하여 적합한 물리적 모델과 경계치 및 물성치를 주고 수치적으로 계산을 해 나가는 해석과정(Solving), 세 번째는 계산하고 나온 결과를 이용하여 해석에 적합한 데이터를 추출하는 후처리 과정(Post processing)으로 나누게 된다. 격자 생성은 FLUENT package의 일부인 GAMBIT이라는 FLUENT 전용 격자 생성 프로그램을 사용하였다.[1] 본 논문에서는 대상 건물과 주변 건물을 상정하였으며, 대상 건물

주위의 산을 모두 고려하여 해석 영역을 정하였다. 해석 영역의 크기는 초고층 건물의 Ground level에서의 단면길이를 D라고 했을 때 흐름 방향으로 50D, 높이 방향으로 20D, 그리고 깊이 방향으로 40D로 주위 산과 대상 건물을 모두 포함하도록 하고, 이에 대해 해석이 가능하도록 하였다.(그림2) 빌딩의 형상이 복잡하기 때문에 주로 사면체 격자를 이용하여 해석 영역의 격자계를 구성하였고 100 만개 정도의 격자를 사용하였다. 전체 해석 영역을 그림2에 나타내었다. 해석 모델은 1/700의 축소 모델에 대하여 해석하고 풍향 방향은 $\theta = 180^\circ$ (북측면에서의 풍속 입력) 일 때에 대해서 수행하였다.

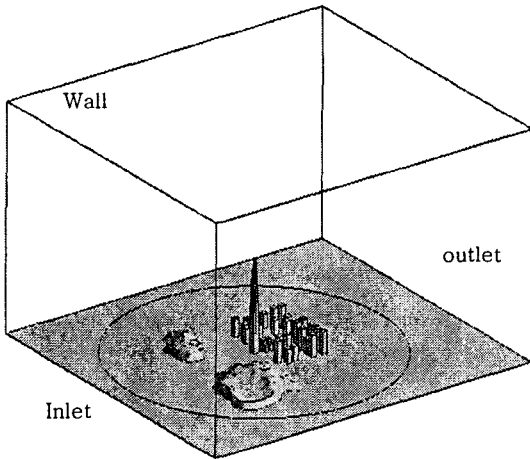


그림 2. 해석 영역

입구의 경계 조건은 풍동 내의 실험조건과 일치 하도록 하기 위해 그림3과 같은 경계층 연직분포를 가진 풍속으로 모델링 하였다. 출구는 압력 조건으로 대기압을 주었다. 나머지 외부 경계면은 벽 경계조건을 적용하여 해석하였다.

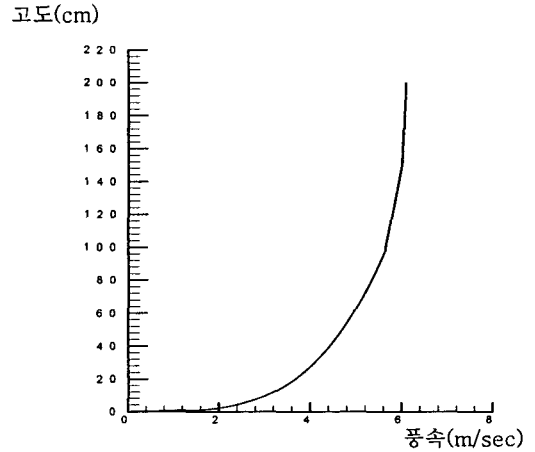


그림 3. 입구에서의 유속 분포

그림4에 대상 초고층 건물 주변의 모델 결과 및 격자를 나타낸다.

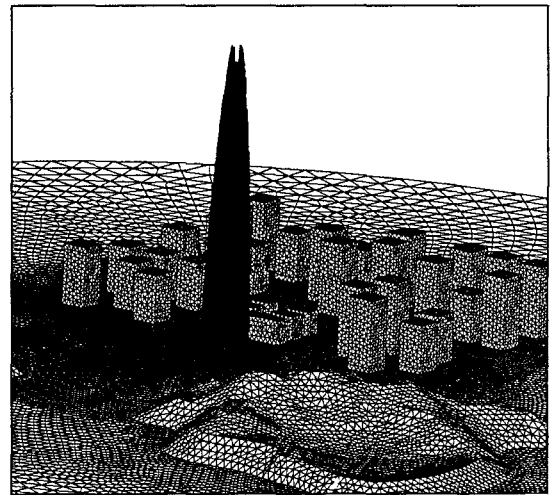


그림 4. 빌딩 주변의 표면 격자

4. 해석 결과

빌딩에 의한 주위의 풍환경 변화를 예측하기 위해서 빌딩 주위의 풍속의 분포를 해석하였다. 그림 5는 빌딩 주위 지면에 평행한 단면의 7m 높이에서 바람의 속도 분포 및 풍압계수를



나타내었다. 지면 근처 높이에서는 빌딩과 주위 건물의 영향이 크게 나타나서 빌딩 옆과 후방에는 빌딩의 영향으로 흐름의 박리가 일어나서 소용돌이 영역이 생기고 박리영역 바깥은 풍속이 빨라진다. 건물과 건물의 사이는 이러한 영향이 겹쳐져서 빠른 바람이 불게 된다. 그림 6은 300m 단면에서의 바람의 속도 분포 및 풍압 분포를 나타낸다. 고도가 높아 질수록 지면 효과에 의한 풍속의 감소가 없고 빌딩의 단면적도 작기 때문에 빌딩 주변 근처에만 자유류의 교란이 일어난다. 그림 7은 빌딩 벽면의 압력 분포를 나타내고 있다. 빌딩 상부에서 자유류의 속도가 빠르기 때문에 높은 압력이 걸리고 앞쪽 벽면이 정체 영역이므로 박리 영역에 있는 뒤쪽 벽면 보다 높은 압력이 걸린다. 풍압계수 산출은 다음과 같이 정의하였다.

$$C_p = \frac{P_{face}}{0.5 \times \rho V_{ref}^2} \quad (6)$$

여기서 ρ 는 공기밀도를 나타낸다.

빌딩 표면 가해지는 압력을 적분하여 양력, 항력 계수와 모멘트 계수를 계산하면 다음과 같다.

양력 계수 ($C_D = \frac{F_D}{0.5 \times \rho V_{ref}^2 BH}$) : 0.4995

양력 계수 ($C_L = \frac{F_L}{0.5 \times \rho V_{ref}^2 BH}$) : 0.0064

풍 방향 전도 모멘트 계수

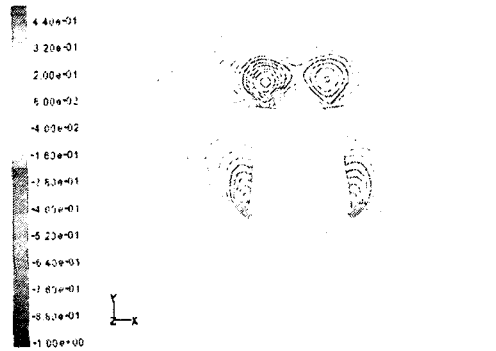
($C_{MD} = \frac{M_D}{0.5 \times \rho V_{ref}^2 B^2 H}$) : 1.8698

풍 직각 방향 전도 모멘트 계수

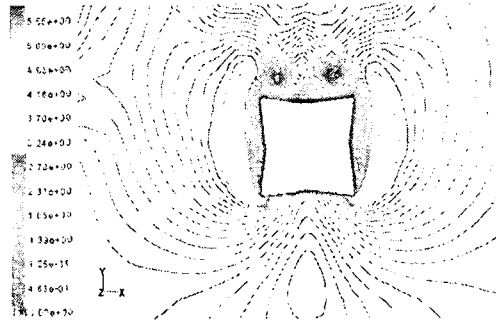
($C_{ML} = \frac{M_L}{0.5 \times \rho V_{ref}^2 B H^2}$) : 0.0174

여기서 B는 건물 최 하단 폭이고 H는 건물 높이.

F_D 는 건물 표면에 가해지는 흐름 방향 전체 힘, F_L 는 건물 표면에 가해지는 흐름 수직 방향 전체 힘, M_D 은 풍 방향 전도 모멘트, M_L 은 풍 직각 방향 전도 모멘트이다.



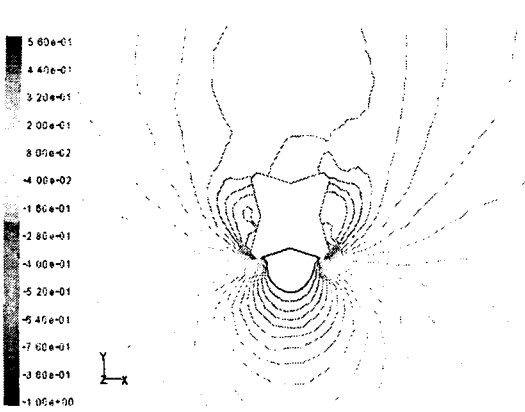
(a) 풍압계수 분포



(b) 풍속 크기 분포

그림 5. 빌딩 주위의 풍속 및 풍압계수 분포(7m위치)

그림 8은 빌딩 수직 단면에서 수직 방향 속도 성분의 분포를 나타내었다. 빌딩 앞면 상부의 높은 압력 분포로 인해서 빌딩 바로 앞쪽에서는 바람의 방향이 지면으로 향하는 하강풍이 나타난다. 그림9는 지면근처(50m) 단면에서의 풍속 분포를 나타낸다. 초고층 건물에 의해서 발생한 재순환영역과 주위 건물 사이에서 풍속 증가하는 것을 볼 수 있다.



(a) 풍압계수 분포

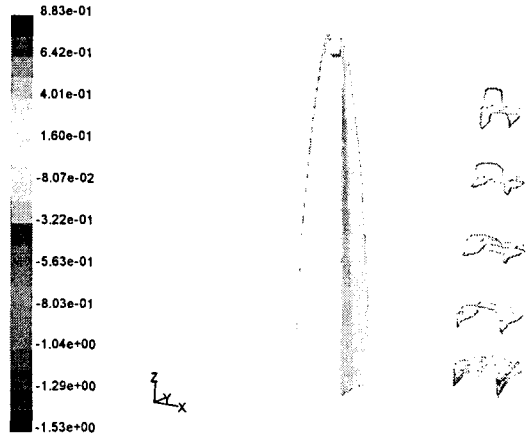
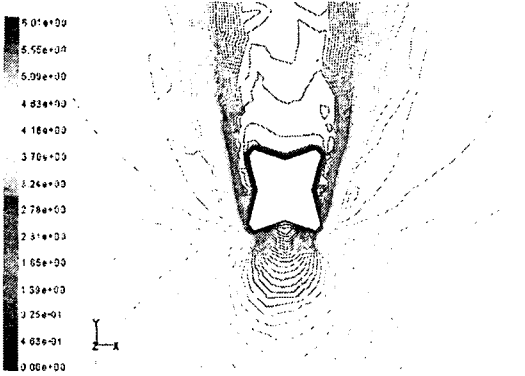


그림 7. 빌딩 표면의 압력 분포



(b) 풍속 크기 분포

그림 6. 빌딩 주위의 풍속 및 풍압계수 분포(300m 위치)

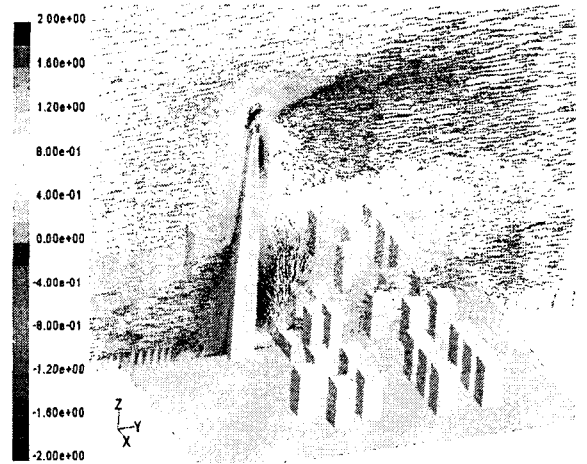


그림 8. 빌딩 주위 단면의 수직방향 속도 분포

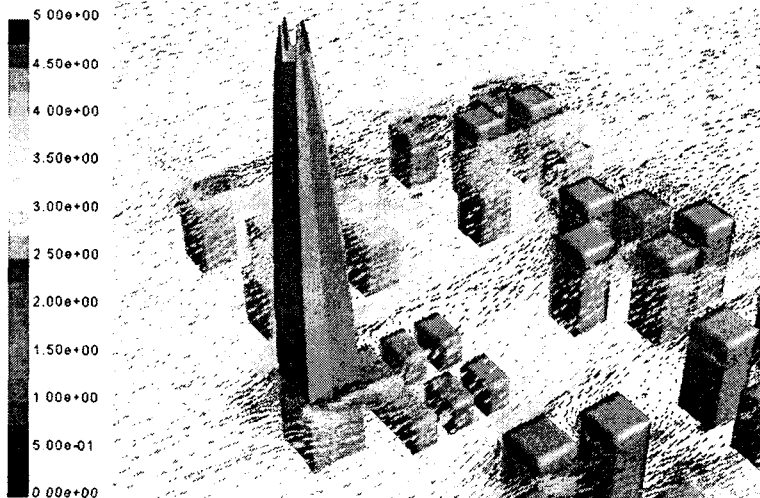


그림 9. 지면 근처 단면에서의 풍속 분포(50m 위치)



5. 결론

Millennium Tower 130 프로젝트 건물을 대상으로 건물 및 주변의 풍 환경에 대하여 풍동 실험 조건을 토대로 수치 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과에 따르면, 바람에 의한 건물 주변 기류의 흐름을 파악 할 수 있음을 알 수 있다. 따라서, 전산 해석에 의한 풍 환경 및 풍 하중 등의 연구를 통해서 고층 및 초고층 건물의 기획 및 설계 단계에서부터 바람에 대한 영향을 파악하고 설계에 반영하기 위한 수단으로서 적용할 수 있다. 앞으로, 전산 유체 해석에 의한 바람과 건물간의 거동에 관한 수치 시뮬레이션 기법에 관해서도 많은 관심을 가지고 있으며, 본 연구에 의한 수치 시뮬레이션 기법을 시공 전후의 고층 건물 주변의 유동의 흐름에 대한 예측에 적용 할 예정이다.

참고 문헌

- [1] FLUENT version 5 MANUAL
- [2] R. M. AYNSLEY "Wind effects around buildings", Architectural Science Review, Vol. 15, No. 1, PP. 8-11, 1972
- [3] 정영배, 고도별 설계용 풍속 예측 (서울지역), 삼성물산(주) 건설부문, 기술연구소, 종기연 (건축/보고) -98-04, 1998.2
- [4] "초대형 건축건물의 건축 계획·구조·설비 및 시공 기술 개발" 연구보고서, 구조분야 #3/5, 건설교통부 한국건설기술연구원, 2001