

수치풍동 기법을 이용한 정사각형 건물 주위의 풍압계수에 관한 연구

여재현,¹ 허남건,² 원찬식,² 김사랑,³ 최창근⁴

A NUMERICAL SIMULATION OF THE PRESSURE COEFFICIENT AROUND A CUBIC BUILDING MODEL

Jac Hyun Yeo,¹ Nahmkeon Hur,² Chan-Shik Won,² Sa Ryang Kim³ and Chang-Koon Choi⁴

In the present study, the pressure coefficient of a cubic building model is numerically simulated. Three turbulence models of standard k-ε, RNG k-ε and LES are adopted and the results are compared with the available experimental data. From the results, it has been found that RNG k-ε turbulence model and LES turbulence model were shown to predict fairly well the experimental pressure coefficient. In contrast, the results of the standard k-ε turbulence model showed large discrepancies in pressure coefficient on the side and top surfaces of the cubic building, which limits the applicability of the standard k-ε turbulence model on wind engineering.

Key Words : 풍압계수(Pressure Coefficient), 유동해석(Flow Analysis), 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics), 정사각형 건물(Cubic Building), 난류모델(Turbulence Model), 대와동모사(LES)

1. 서 론

최근 건설기술의 발달과 재료적 특성의 발전으로 대부분의 건물들은 고층화, 대형화가 이루어져 왔으며, 현재는 각 건물들의 특색을 살려 일정한 형태로 건설되기보다 다양한 형태의 건물들이 건설되고 있다. 구조물이 장대화 될수록 구조강성은 작아지게 되며 풍하중에 의한 진동에 매우 취약하게 된다. 따라서 건축물 설계 시에는 풍하중에 대하여 구조물의 거동 및 안정성을 면밀히 고찰해야 한다.

현재 바람에 의하여 발생하는 건축물의 풍압은 해석하는 방법은 크게 실제적인 형상을 측정하는 실험과 풍동실험을 이용한 모형실험 측정 및 수치해석적인 방법으로 나눌 수 있다. 그리고 건축물의 바람에 관한 영향을 많은 연구자들에 의해 수행되었다. Castro와 Ronbini[1]는 풍동실험을 통한 정육면체 건축물 주위의 유동에 대해서 압력분포를 측정하였다. 또

한 Banks등[2]은 풍향에 따라 압력분포를 측정하여 유동가시화기법으로 나타내었으며 접근하는 유동에 대하여 지붕에 발생하는 와의 공기역학적 특성을 제시하였고, Franchini등[3]은 풍동실험을 이용한 건축물 지붕위에 다양한 난간 벽을 설치하여 난간 벽의 유무와 지붕의 높이에 따른 최대풍압계수, 평균풍압계수 및 음압계수 등을 선행연구와 비교 분석하였다. Richards등[4]은 6m 정육면체 건축물에 실질적인 풍압계수를 실측하고 이를 풍동실험과 비교 검증하였다.

건축물의 내풍특성 관한 연구는 상당부분 풍동실험에 의존해 왔으나 최근 전산유체역학(CFD)의 발전으로 수치시뮬레이션의 이용이 늘어남으로서 복잡한 유동현상을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 해석하고 설계를 개선하는 사례들이 많이 보고되고 있다. Gomes등[5]은 다양한 건축물에서 풍향 각에 따른 유동패턴을 나타내었다. 이러한 수치시뮬레이션의 이용이 늘어나고 있는 것은 시간 단축, 경비의 최소화가 주된 이유라 할 수 있다. 그러나 수치시뮬레이션은 어떠한 방법으로 얼마나 정확하게 재현하는 것이 중요하다.

따라서 건축물 해석에 타당한 난류모델 및 해석격자의 영향에 따른 연구가 필요하다. 본 연구에서는 단순화된 건물에 관해 난류모델의 영향을 연구하기 위하여 일반적으로 수렴성이 좋고 가장 많이 쓰이고 있는 Standard k-ε 난류모델과 일

1 서강대학교 대학원 기계공학과

2 서강대학교 기계공학과

3 강릉대학교 정밀기계공학과

4 KAIST 건설 및 환경공학과

* Corresponding author, E-mail: nhur@sogang.ac.kr

부 문헌[6]에서 경계층 박리 및 재부착 등을 잘 예측한다고 알려진 RNG $k-\epsilon$ 난류모델, 작은 유동성분은 모델링을 이용하고 큰 에디만 직접계산을 수행하는 LES(Large Eddy Simulation) 난류모델에 대해 비교 분석하고자 한다. 따라서 건축물 주변의 유동에 정확한 예측을 위한 난류모델 선택 및 평균 풍압계수, 공기역학적 특성을 가지적으로 확인하고 분석하여 좀 더 효율적인 건축물의 수치해석의 방향을 제시하고자 한다. 아울러 본 연구에 사용되어진 해석격자의 타당성을 검토하였다.

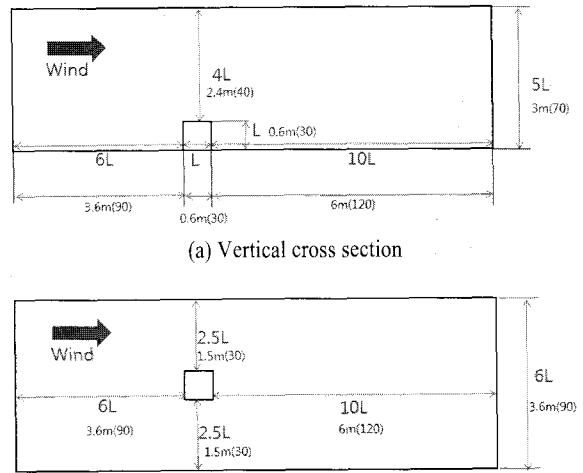
2. 해석 조건 및 방법

2.1 해석 모델과 격자 생성

본 연구의 해석모델은 일반적인 건축물 주위의 바람에 의해서 생기는 평균 풍압계수 및 박리, 재부착, 재순환 유동 등 복잡한 공기역학적 특성을 보다 적절히 예측하기 위하여 풍동실험을 이용한 모형실험의 건축물을 모델링 하였다. 해석 모형에 적용된 건축물은 정사각형 건축물로서 크기는 $0.6m \times 0.6m \times 0.6m$ (가로×세로×높이)이며 건물의 위치는 건물의 높이를 L로 했을 때 Fig. 1의 (a), (b)와 같이 입구부분에서 6L, 벽면에서 2.5L이며 출구방향으로 10L로 설정하였다. 사용된 해석격자의 크기는 Fig. 2(a)에 나타난 모델($30 \times 30 \times 30$)과 건축물 주변의 1/3L 영역의 격자를 가로, 세로, 높이방향으로 2배로 조밀하게 구성한 모델로($60 \times 60 \times 60$, Fig. 2(b)) 설정하였으며 사용된 총 해석격자는 약 1,510,000개와 2,160,900개이다. 경계조건으로는 입구면과 출구면을 대기 압력조건으로 양단의 끝에 적용하였고 입구면과 출구면을 제외한 모든 면에는 벽조건을 부여하였다. 경계조건에서 입구조건에 입력되는 속도는 균일유동으로 10m/s로 설정하였으며 난류강도는 0.5%로 설정하였다.

2.2 해석방법

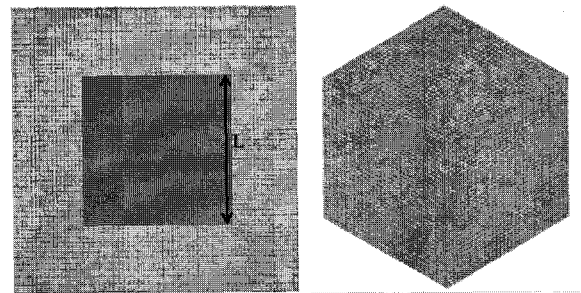
수치해석은 상용 유동해석 프로그램인 STAR-CD V3.24[7]와 본 연구실에서 보유하고 있는 옵테론 2.4 GHz 리눅스 클러스터를 사용하였다. Standard $k-\epsilon$ 난류모델과 RNG $k-\epsilon$ 난류모델은 정상상태, 비압축성 유동으로 가정하였다. LES 난류모델의 경우 시간의 이산화 방법은 Crank-Nicolson Method를 적용하였으며 결과는 이에 대한 시간평균을 수행하였다. 수치해석시 계산시간은 Standard $k-\epsilon$ 난류모델의 기본모델은 약 18시간, RNG $k-\epsilon$ 난류모델의 기본모델은 24시간이 소요되었으며 격자 조밀 모델의 Standard $k-\epsilon$ 난류모델이 약 26시간, RNG $k-\epsilon$ 난류모델이 50시간 소요되었다. LES 난류모델의 기본모델은 약 96시간, 격자 집중 모델은 약 242시간의 해석 시간이 소요되었다.



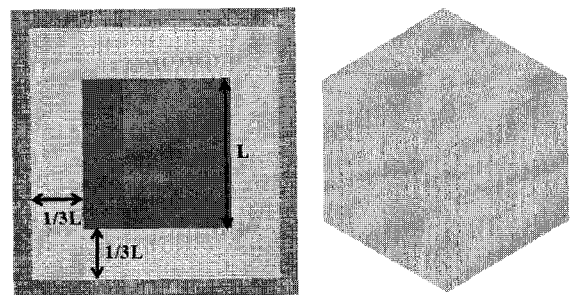
(a) Vertical cross section

(b) Horizontal cross section

Fig. 1 Calculation domain



(a) basic model(1/30L : $30 \times 30 \times 30$)



(b) refine model(1/60L : $60 \times 60 \times 60$)

Fig. 2 Computational model of around cubic

3. 결과 및 고찰

단순화된 건물 표면의 풍압계수 분포도를 난류모델과 해석격자의 조밀도에 따라 Fig. 3에 나타내었다. 아울러 Fig. 4는 건축면에 작용하는 평균 풍압계수의 분포를 건물 중심 수직방향과 수평방향으로 나누어 실험결과와 비교하여 나타내었다.

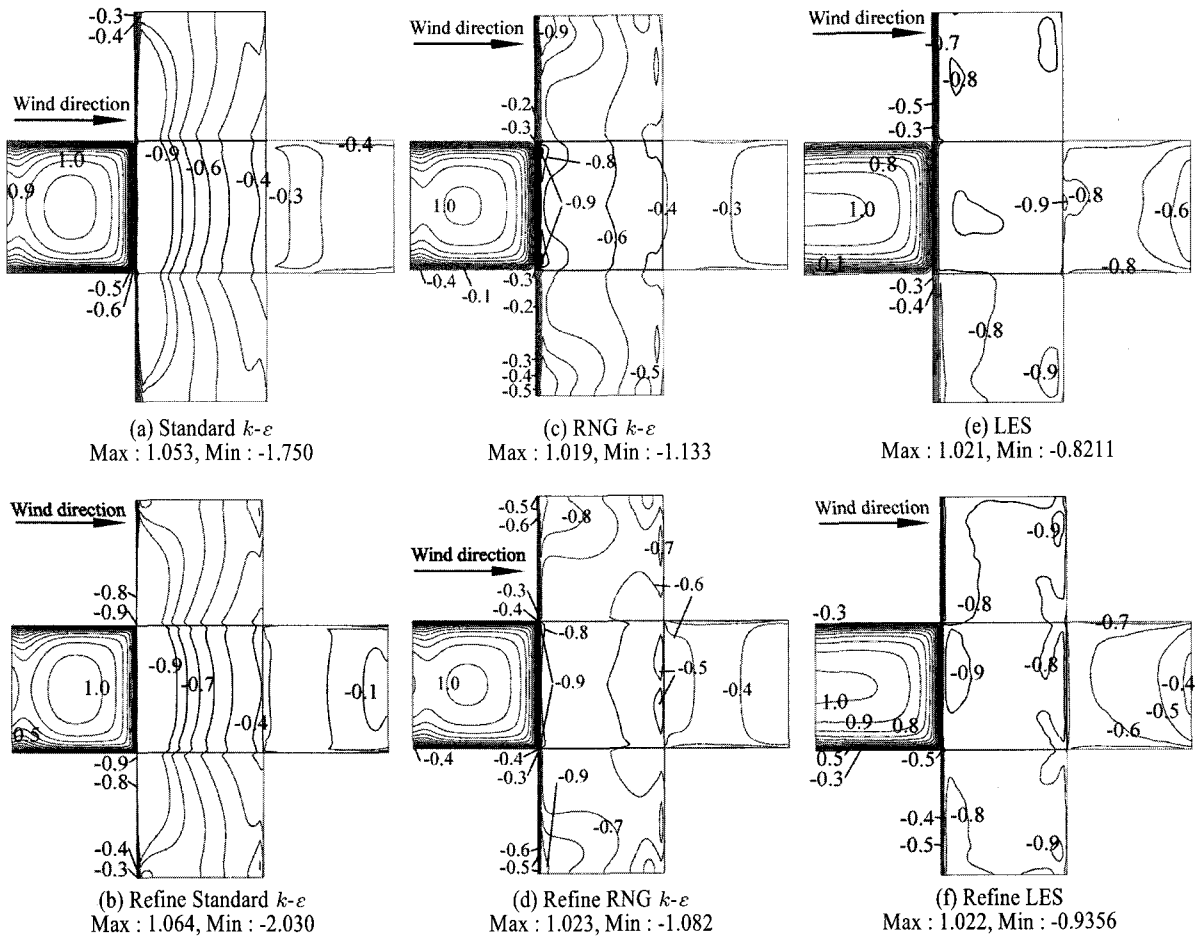


Fig. 3 Comparison of wind pressure coefficient distribution

3.1 난류모델에 따른 비교

Standard $k-\epsilon$, RNG $k-\epsilon$ 그리고 LES 난류모델 해석결과를 보면 Fig. 3에서 보이는 것과 같이 건물의 상류면에서 가장 큰 부압을 가지며 상류면 중앙 지점에 정체점(Stagnation point)이 생긴다. 이 정체점을 중심으로 멀어질수록 풍압계수가 점차 감소하는 것을 확인 할 수 있다. 이 경우 3가지 난류모델 모두 상류면(그림 좌측, Fig. 3,4)에서 모든 난류모델에 수직방향과 수평방향으로 풍압계수를 매우 잘 예측하였다.

건물의 윗면과 측면에서는 Standard $k-\epsilon$ 난류모델의 경우 실험 결과와 가장 큰 차이를 보이는 압력이 예측된다. 이는 정체점 주위에서 난류 생성량의 과도한 예측으로 말미암아 재부착 및 와열 생성의 정확한 예측이 불가능한 문제점[8]임을 알 수 있으며 건물 표면에 발생하는 평균 풍압계수는 난류에너지를 크게 예측하기 때문이다.

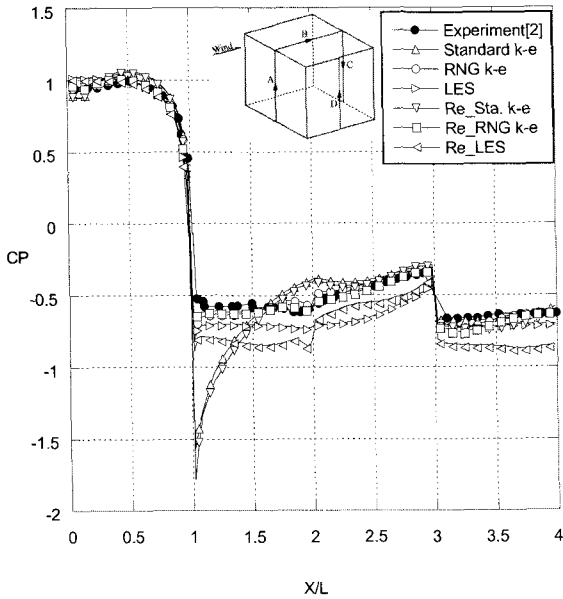
RNG $k-\epsilon$ 과 LES 난류모델의 경우 풍압계수의 차가 실험값과 일치하는 결과를 보여주었다. 그러나 LES 난류모델의 경우

건물의 윗면과 측면에서 RNG $k-\epsilon$ 난류모델보다 풍압계수의 변화가 없음을 보이고 있다. 일반적으로, LES 난류모델이 2-방정식 난류 모델보다 더 정확한 값을 예측한다고 알려져 있으나 Fig. 4와 (a),(b)와 같이 상류면을 제외한 다른 면에서 RNG $k-\epsilon$ 난류모델보다 풍압계수가 작게 나타났다. 이는 해석 시간 및 격자에 대한 검토가 지속적으로 더 이루어져야 할 것으로 생각된다.

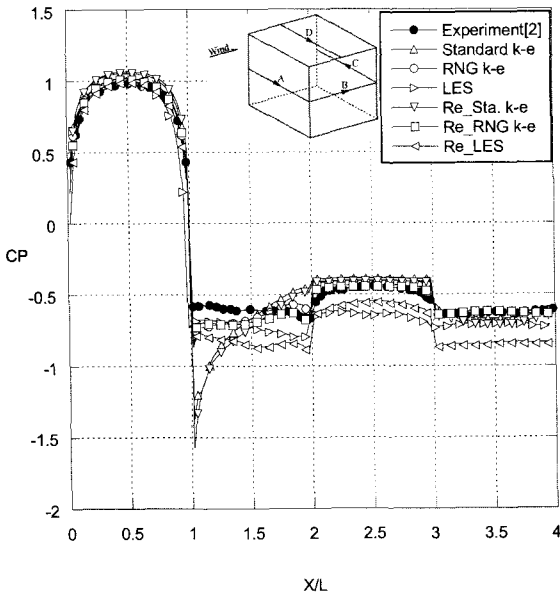
Fig. 5에는 중앙단면에서 종단면과 횡단면의 평균속도 벡터를 나타내었다. Standard $k-\epsilon$ 난류모델의 경우 타 난류 모델보다 재부착 지점이 짧게 나타난다. 이는 윗면과 측면에서 압력에 영향을 준다. LES 난류모델 경우 비정상적 유동 특성을 잘 보여준다.

3.2 해석격자 조밀도에 따른 비교

Fig. 3에서 기본 격자 모델(a),(c),(e)과 격자 조밀 모델(b),(d),(f)를 해석한 것이다. 해석결과는 두 격자 모두 비슷한



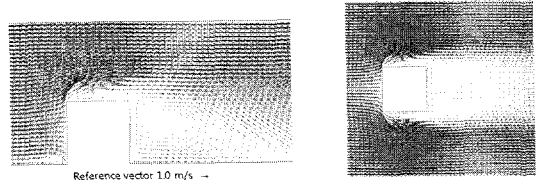
(a) Vertical cross section



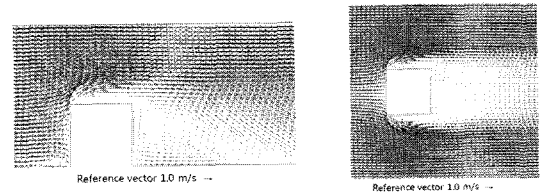
(b) Horizontal cross section

Fig. 4 Comparison of the surface pressure coefficients for the cube when different to the turbulent flow with Castro and Robins' experiments

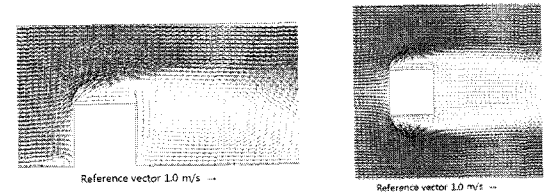
결과를 보여준다. 그러나 LES의 경우 두 격자에서 다소 민감한 변화를 보여주고 있다. 전체적으로 현재 계산에 사용된 모델은 적절하다고 할 수 있다.



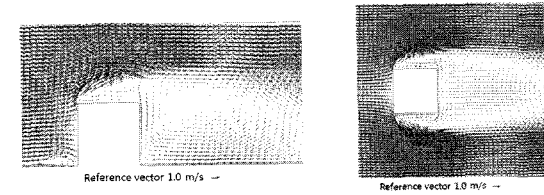
(a) Standard $k-\epsilon$



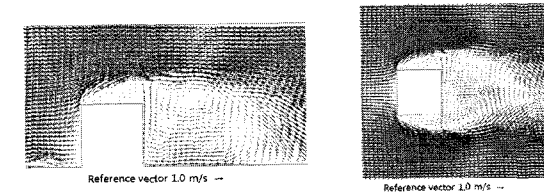
(b) Refine Standard $k-\epsilon$



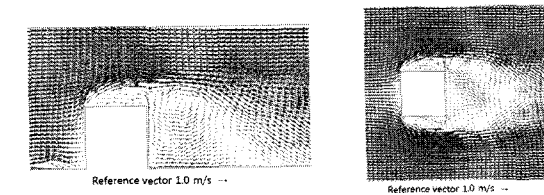
(c) RNG $k-\epsilon$



(d) Refine RNG $k-\epsilon$



(e) LES



(f) Refine LES

Fig. 5 Velocity vector plot around cubic building

4. 결 론

본 연구에서는 단순화된 건물면에 작용하는 풍압계수 해석을 위하여 해석격자의 조밀도와 난류모델의 영향을 검토하였다. 적용된 난류모델은 Standard $k-\epsilon$, RNG $k-\epsilon$, LES 이며 해석격자는 $0.6m \times 0.6m \times 0.6m$ 크기의 모델을 사용하였다. 해석 결과, RNG $k-\epsilon$ 난류모델과 LES 난류모델을 이용하여 계산한 풍압계수는 실험결과와 유사한 결과를 나타낸다. 하지만, Standard $k-\epsilon$ 난류모델을 해석에서는 유동의 박리가 일어나는 건물의 윗면과 측면에서 난류에너지를 과도하게 예측하여 풍압계수가 실험결과와 큰 차이를 보였다. 따라서, 풍공학적 문제를 해석하는 조건은 RNG $k-\epsilon$ 난류모델 및 LES 난류모델이 보다 효과적일 것으로 생각된다.

5. 후 기

본 연구는 건설교통부가 건설기술기반구축사업의 지원으로 수행중인 이상기상 대비 구조물의 내풍설계기준 정비 및 개발사업의 일환으로 진행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 1977, Castro I.P. and Robins A.G., "The flow around a surface-mounted cube in uniform and turbulent streams," *J. Fluid Mech.*, Vol.79(2), pp.307-335.
- [2] 1999, Bankds D., Meroney R.N., Sarkar P.P., Zhao Z. and Wu F., "Flow visualization of conical vortices on flat roofs with simultaneous surface pressure measurement," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol.84, pp.65-85.
- [3] 2005, Frabchini S., Pindado S., Meseguer J. and Sanz-Andres A., "A parametric, experimental analysis of conical vortices on curved roofs of low-rise buildings," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol.93, pp.639-650.
- [4] 2001, Richards P.J., Hoxey R.P. and Short L.J., "Wind pressures on a 6m cube," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol.89, pp.1553-1564.
- [5] 2005, Gomes M.G., Rodrigues A.M. and Mendes P., "Experimental and numerical study of wind pressures on irregular-plan shapes," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol.93, pp.741-756.
- [6] 2005, Zhang Aish, Gao Cuilan and Zhang Ling, "Numerical simulation of the wind field around different building arrangements," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol.93, pp.891-904.
- [7] 2004, STAR-CD Methodology Version 3.24, Computational Dynamics Ltd.
- [8] 1999, 이용, 명현국, " $k-\epsilon$ 난류 모델을 이용한 건물 주위의 난류 유동 예측" 대한기계학회 1999년도 춘계학술대회 논문집 B, pp.112-117