

건물 사이에 풍력발전기를 설치하기 위한 기류특성분석

Analysis of Air Current Characteristics for Installing Wind Turbines Between Buildings

박민우*
Park, Min-Woo

유장열**
You, Jang-Youl

손영무***
Sohn, Young-Moo

유기표****
You, Ki-Pyo

Abstract

Recently, various building integrated wind power (BIWP) approaches have been used to produce energy by installing wind power generators in high-rise buildings constructed in urban areas. BIWP has advantages in that it does not require support to position the turbine up to the installation height, and the energy produced by the wind turbine can be applied directly to the building. The accurate evaluation of wind speed is important in urban wind power generation. In this study, a wind tunnel test and computational fluid dynamics (CFD) analysis were conducted to evaluate the wind speed for installing wind turbines between buildings. The analysis results showed that the longer the length of the buildings, which had the same height, the larger the wind speed between the two buildings. Furthermore, the narrower the building's width, the higher the wind velocity; these outcomes are due to the increase in the Venturi effect. In addition, the correlation coefficient between the results of the wind tunnel test and the CFD analysis was higher than 0.8, which is a very high value.

Keywords : Wind power, Building integrated wind power, Wind tunnel test, Computational fluid dynamics

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

최근 전 세계적으로 에너지 사용량의 증가로 인해 화석 연료의 가격 상승과 탄소 배출로 인한 지구 온난화 문제에 당면하였다. 이를 위해 많은 국가들은 신·재생에너지에 대해 관심을 가지기 시작하였고, 이를 활용하기 위해 노력하고 있다. 실제로 국내에서는 2007년 기준 신·재생에너지 공급 비중은 전력량 2.4%에 달하며, 2015년에는 약 2배인 4.6%를 달성하면서, 신·재생에너지에 대한 활용이 높아

지고 있음을 알 수 있다. 증가하고 있는 에너지 소비량 중 40%는 건물에서의 에너지 소비량이 차지하고 있으며, 전체 탄소 배출량의 21%를 차지하고 있다. 에너지 소비량을 감축하기 위해 최근에는 건축물을 에너지 소비자에서 에너지 생산자로서의 역할을 할 수 있도록 건축물에서 신·재생에너지를 활용하기 시작하였다. 건축물에서 활용되어지는 신·재생에너지는 주로 태양광, 풍력에너지이다. 태양광 에너지는 가동 시간이 제한되어있다는 단점이 있는 반면 풍력에너지는 바람이 불지 않을 때를 제외하면 항상 가동시킬 수 있다. 높이에 따라 풍속의 특성을 고려하여 도심지에서 건설되는 고층 건물의 옥상층과 건물 사이의 빌딩풍에 의한 높은 풍속으로 효율성이 증대될 수 있다는 장점이 있어 풍력발전이 더욱 선호되고 있다. 최근 건물에 풍력발전기를 설치하여 에너지를 생산하는 건물 통합형 풍력발전(Building Integrated Wind Power, BIWP)이 다양하게 시도되고 있다. 건물 통합형 풍력발전(BIWP)은 터빈을 설치 높이까지 위치시키기 위한 지지대가 필요 없으며, 풍력터빈에서 생산된 에너지

* 학생회원, 전북대학교 건축공학과 대학원, 석사과정
College of Architecture Engrg., Chonbuk National Univ.
** 정회원, 송원대학교 건축공학과 교수, 공학박사
College of Architecture Engineering, Songwon Univ.
*** Central Connecticut State Univ., School of Engineering & Technology Department of Engineering
**** 교신저자, 정회원, 전북대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 장경간철골구조농촌시설물연구센터
College of Architecture Engrg., Chonbuk National Univ., Long-span Steel Frame System Research Center
Tel: 063-270-4057 Fax: 063-270-2285
E-mail: youkp@jbnu.ac.kr

를 바로 건물에 적용시켜 사용한다는 장점이 있는 반면 초기 투자 비용이 높으며, 터빈으로 인한 소음과 진동이 발생할 수 있다는 단점이 있다. 바레인 세계 무역센터(Bahrain World Trade Center)는 건물 통합형 풍력발전(BIWP)이 적용된 가장 대표적인 건물이다. 바레인 세계 무역센터는 약 240m 높이의 두 타워 사이에 직경 29m의 대형 풍력터빈이 3개가 설치되었다. 건물 사이에 설치된 3개의 풍력터빈은 두 건물 전체 에너지 소비량의 10~15%를 공급할 수 있다. <Fig. 1>은 바레인 세계 무역센터와 설치된 풍력터빈의 모습이다. 또한 중국의 펄 리버 타워(Pearl River Tower)는 높이 303m, 71층의 초고층 건물로써, 건물의 층 사이에 개구부를 형성하고 수직축형 풍력터빈(VERTICAL Axis Wind Turbin, VAWT) 4개를 설치하여 건물 통합형 풍력발전(BIWP)을 적용하였다. 개구부는 풍속을 증대시켜 풍력터빈의 효율을 극대화 시킬 수 있도록 계획하였다. <Fig. 2>는 펄 리버 타워와 설치된 수직축형 풍력터빈의 모습이다. 도심지에서의 기류 흐름은 인접 건물의 형태, 크기, 위치 등 주변 건물과의 관계와 불어오는 바람의 각도나 속도 등 여러 요인들이 복합적으로 작용하기 때문에, 건물 통합형 풍력발전(BIWP)을 적용하기 위해선 최적의 기류 조건과 설치 위치에 대한 연구가 필요하다. 현재까지 이에 대한 많은 연구가 진행되어져 왔다. Campbell et al.(2001)은 도시 지역에서의 풍력발전기에 의한 에너지 영향을 예측하고 평가하는 방법을 연구하고, 풍력터빈을 지원하기 위한 구조시스템과 최적의 건물 형태를 분류하고 제안하였다¹⁾. Smith & Killa(2007)는 CFD를 통한 Bahrain World Trade Center에서 풍향각의 변화에 따른 기류 흐름의 해석과 설치된 풍력터빈의 효율성에 대하여 연구하였다²⁾. Denoon et al.(2008)은 풍력발전 시 효율적인 건물 형태와 배치에 대한 연구를 CFD와 풍동실험을 통하여 연구하였다³⁾. Lu & Ip(2009)는 두 건물 사이의 풍속에 대한 연구와 건물의 높이와 지붕 형태에 따른 풍속을 CFD를 통하여 연구를 진행하여 건물의 높이와 지붕의 형태에 따라 풍력 밀도가 3~8배 증가하며, 풍력발전 이용률의 증가에 대해서 연구를 하였다⁴⁾. Khayrullina et al.(2013)는 건물 사이에 설치되는

다양한 풍력발전기의 효율성에 대해 연구를 하였으며, 연구 내용은 CFD를 통해 풍향각 및 난류와 건물의 형태에 따른 풍력발전기의 설치 위치와 이에 따른 에너지 효율성에 대한 것이다⁵⁾. 국내에서는 풍력터빈이 건축물에 적용된 사례를 조사하는 연구가 진행되어 왔으며, 풍력터빈이 설치되는 개구부의 형태 변화에 따른 풍속 변화가 CFD와 풍동실험을 통하여 연구 되었으며, 이에 따른 풍진동에 대한 연구가 수행되었다^{6),7)}. 본 논문에서는 건축물에 풍력발전을 설치하기 위해 2개 건물 사이의 간격에 따른 기류 분석과 풍속 분포를 알아보기 위해 풍동실험과 CFD 분석을 하였다.



<Fig. 1> Bahrain World Trade Center and wind turbine



<Fig. 2> Pearl River Tower and wind turbine

2. 풍동실험

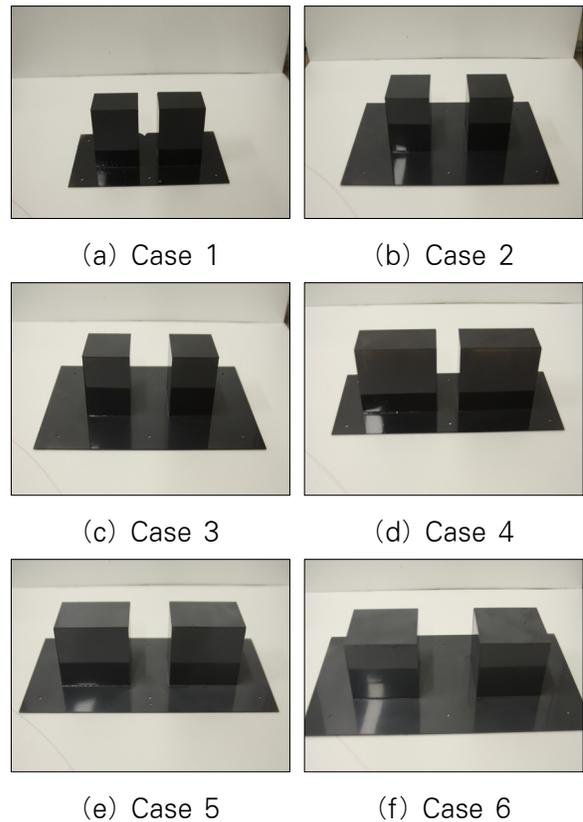
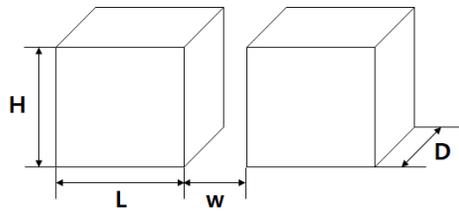
2.1 실험 모형 및 측정

건물 사이의 기류 분석을 위한 풍동실험을 실시하였다. 실험 모형은 건물의 길이(L), 높이(H), 폭(D), 2개 건물의 사이 간격(w)에 따라 총 6개의 케이스로 나누어진다. <Table 1>은 풍동실험 모형의 치수를 나타낸다. 실험 모형은 스케일 1/500으로 제작되었다. 모형의 높이(H)는 60m로 20층 규모의 건물을 대상으로 하였으며 건물의 길이(L)는 45m, 70m를 기준으로 하여 건물 폭(D)은 30m, 45m, 60m의 3종류로 하였다. 2개 건물 사이 간격(w)은 20m, 40m, 60m로 하였다. 그리고 건물에 바람이 작용하는 건물 면적과 2개 건물 사이의 간격을 w/S로 표현을 하였다. 여기서 S는 건물의 풍방향면에 대해서 긴 변(B_L)과 짧은 변(B_S)을 기준으로 $S = (B_L B_S^2)^{1/3}$ 정의하였다. <Fig. 3>은 실제 제작된 모형 사진이며, <Fig. 4>는 풍동 내에 설치된 모형 사진이다. 풍동실험은 전북대학교 풍동연구실의 측정부 2.1m(폭)×1.7m(높이)×18m(길이)의 OPEN형 풍동 장치에서 실시되었다. 실험 모형 스케일은 1/500이며, 풍속 측정 장치인 코브라 프로브(Cobra probe)는 TFI사의 Series 100을 이용하였다. 코브라 프로브는 다중 홀 압력 프로브로써 실시간으로 3차원 속도 및 국부 정압을 측정할 수 있고, 측정된 3차원 풍속은 각각의 X, Y, Z 풍속 성분으로 나타낼 수 있다. 측정된 풍속 데이터의 오차율은 난류에 따라 차이가 있지만 일반적으로 $\pm 0.5\text{m/s}$ 이내이다. 난류 측정 주파수 범위는 0~2kHz이며, 측정 풍속 범위 2~100m/s에서 측정이 가능하다. 풍속 측정을 위한 코브라 프로브의 측정 주파수는 150Hz로 60초씩 측정을 하였다. 경계층 기류는 중·저층건물이 산재해 있는 지역에 해당되는 지표면 조도 구분 $B(\alpha=0.22)$ 를 재현하였다. <Fig. 5>는 풍동 내에 재현된 기류의 평균 풍속과 난류 강도의 수직 분포를 나타내고 있다. 그래프 상의 실선은 지수법칙(Power law)으로 재현된 이론식이며, 점선은 풍동 내에서 재현된 경계층이다. <Table 2>는 풍동실험 조건과 측정 방법에 대해 나타내었다. 풍속 측정점은 실험 영역인 건물 사이의 중앙 수직단면에서 수직·수평으로 균등하게 배치하였다. 풍속 측정점 개수는 Case 1, 4가 24개, Case 2, 5가 30개, Case 3, 6이 42개이다. <Fig. 6>은 측정 위치에 대한 개념도와 케이스별

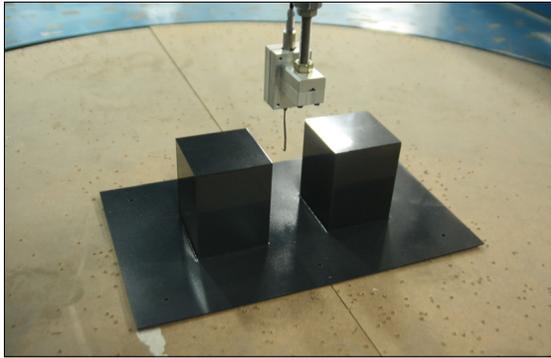
실험 측정점 위치와 풍방향을 나타내고 있다.

<Table 1> Case size

	L(m)	H(m)	D(m)	w(m)	S(m)	w/S
Case 1			30	20	49.53	0.40
Case 2	45	60	45	40	49.53	0.81
Case 3			60	60	49.53	1.21
Case 4			30	20	63.16	0.32
Case 5	70	60	45	40	63.16	0.63
Case 6			60	60	63.16	0.95



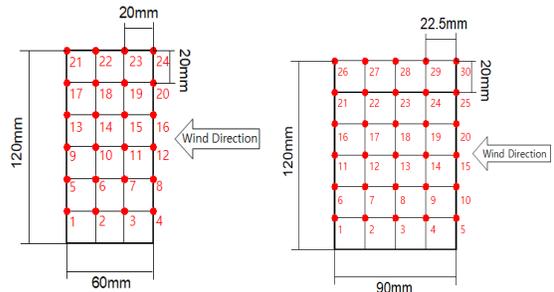
<Fig. 3> Test models



〈Fig. 4〉 Model in wind tunnel (Case 2)

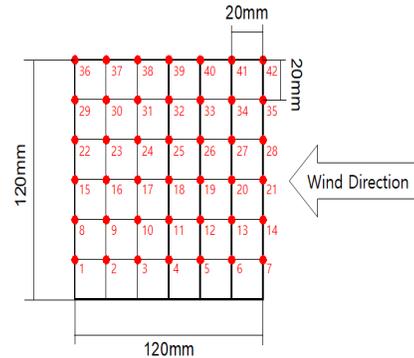
〈Table 2〉 Test condition

Device	Series 100 Cobra Probe
Terrain category	B($\alpha=0.22$)
Velocity	7m/s
Scale	1/500
Frequency	150Hz (60sec)



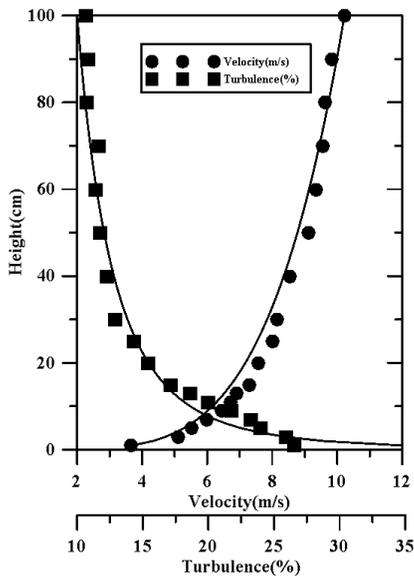
(b) Case 1, 4

(c) Case 2, 5

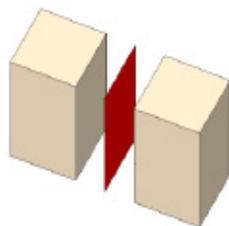


(d) Case 3, 6

〈Fig. 6〉 Measurement location and wind direction



〈Fig. 5〉 Mean velocity and turbulence intensity

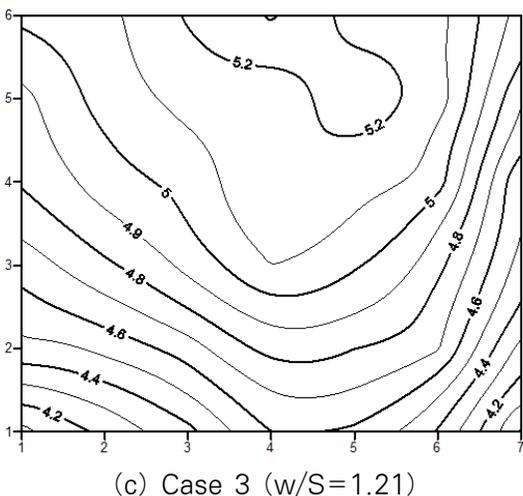
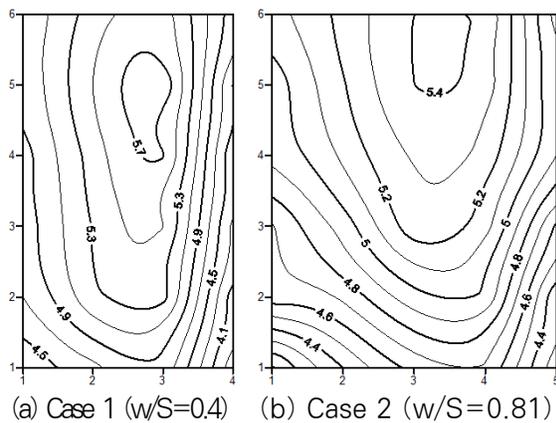


(a) Layout

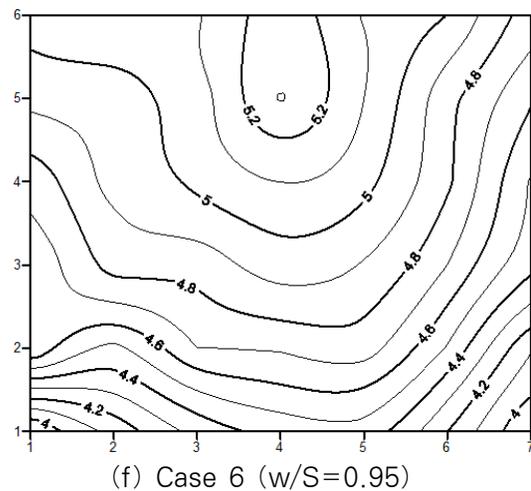
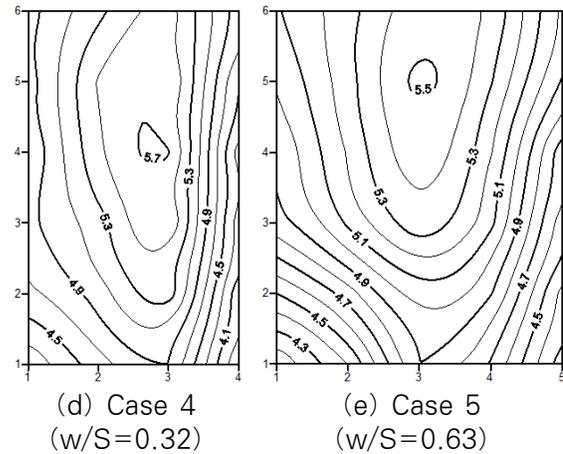
2.2 풍속 분포

건물의 길이와 건물 사이의 간격 변화에 따른 수직단면 풍속 변화에 대해 분석하였다. 〈Fig. 7〉은 실험 종류별 풍속의 분포를 나타내고 있다. 풍속은 하부에서 상부로 증가를 하였다. 그리고 건물 사이 통로 중앙부 지점에서 풍속이 증가하고 있었다. 최대 풍속의 크기는 Case 1 > 4 > 5 > 2 > 3 > 6 순으로 측정되었다. 동일한 높이(H)에서는 건물의 길이(L)가 짧을수록 건물 사이에서 발생하는 풍속이 크게 나타나고 있었다. 동일한 건물의 길이(L)에서는 건물 폭이 좁을수록 벤츄리 효과의 증대로 상대적으로 높은 풍속이 나타나고 있었다. 건물 사이의 폭이 넓어지면 최대풍속분포도 상부로 넓게 나타나고 있었다. 그리고 상부에서 발생하는 최대풍속분포 영역 범위는 건물 폭(D), 길이(L)에 따라 다양하게 나타나고 있었다. 건물 폭(D)이 넓어지면 최대풍속분포 영역도 넓어지고 있었다. 그러나 건물 길이(L)가 길어지면 동일한 건물 폭(D)보다 최대풍속분포 영역은 좁아지고 있었다. 〈Fig. 8〉은 w/S의 변화에 따른 최대 풍속비 그래프를 나타낸다. 6개의 실험

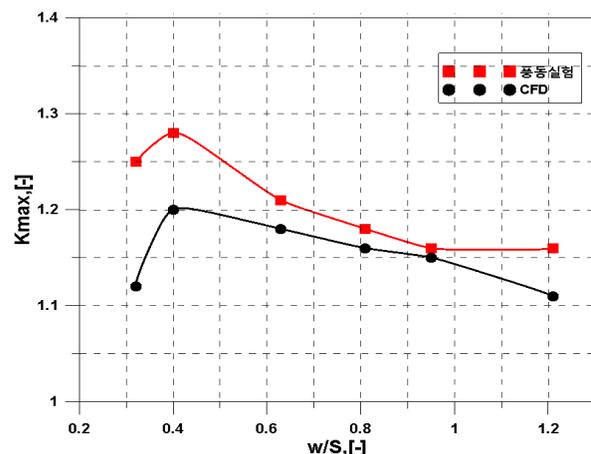
종류별로 측정된 데이터를 최대 풍속비(K_{max})로 나타내었다. 여기서 $K_{max} = U_{max}/U_0$ 이며, U_{max} 는 Case 별 최대풍속이다. U_0 는 건물 높이에서 모형이 없을 때 모형 높이에서 측정된 풍속값으로 4.56m/s이다. 6개의 케이스에 대한 최대 풍속비는 $w/S=0.4$ (Case 1) 일 때 1.28로 나타나고 있었다. 그리고 w/S 가 증가하면서 최대 풍속비는 감소하는 것을 알 수 있다. 하지만 풍동실험 풍속비와 CFD 해석 풍속비 그래프에서 0.1 내외의 차이가 발생하였다. 이것은 풍동 실험의 복합적으로 작용하는 현실적인 조건을 CFD 내에 구현하기 힘들기 때문에 발생하는 차이로 생각된다. 하지만 대체적으로 CFD 해석데이터의 풍속비 그래프도 풍동실험과 비슷한 경향성을 나타낸다. 건물 사이의 풍속은 바람이 받는 모형의 크기와 2개 건물 사이의 간격에 영향을 받고 있었으며 풍속의 증가는 추후에 건물 사이에 건설되는 풍력발전기의 발전량에도 영향을 주기 때문에 매우 중요하다.



바람 받는 면이 크거나 건물 사이의 간격이 넓으면 풍속은 증가폭은 크게 나타나고 있지 않았다. 건물의 길이가 짧고 건물 사이폭이 좁으면 풍속의 증가율이 높아지고 있었다.



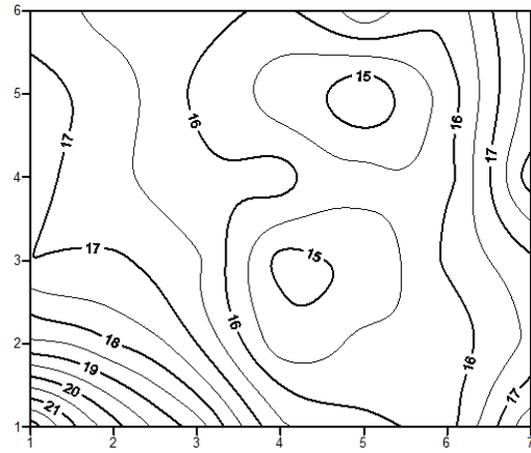
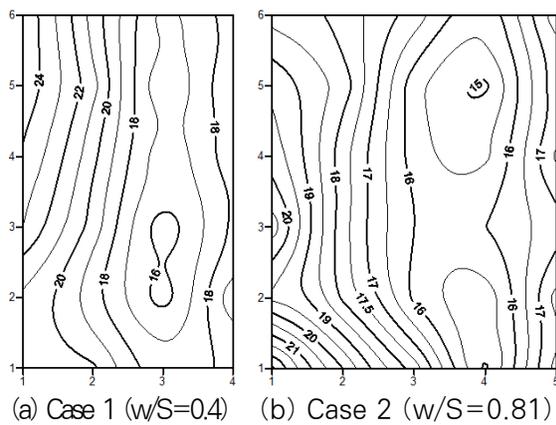
(Fig. 7) Distribution of wind velocity(m/s)



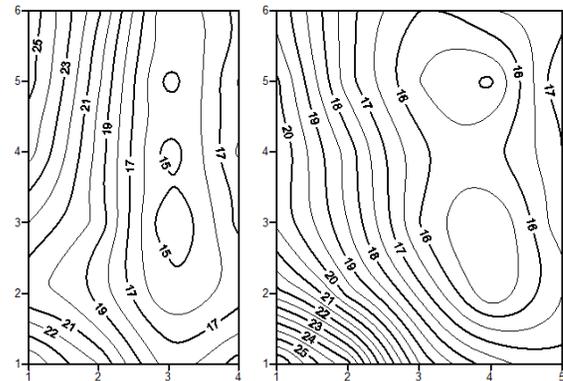
(Fig. 8) Wind velocity ratio(K_{max}) graph

2.3 난류강도 분포

<Fig. 9>는 실험 종류별 난류강도 분포를 나타내고 있다. 건물의 길이(L)와 관계없이 건물 사이의 간격(w)이 좁을수록 난류강도는 증가를 하고 있었다. 그리고 간격 사이의 간격이 넓어지면 난류강도는 최대 10% 이상 감소를 하고 있었다. 그러나 난류강도의 전체적인 분포에서는 건물 사이의 간격이 넓어질수록 난류의 분포가 일정하지 않고 흐트러짐이 크게 나타나고 있었다. 그리고 바람이 유입되는 유입구보다 유출구 부분이 난류강도가 작아지고 있었다. 전체적인 난류강도 분포는 건물 사이의 중앙 수직단면에서 Case 1, 2, 4, 5는 바람이 들어오는 입구로부터 측정 위치 2번째 열까지 난류 강도가 줄어들다가 후류로 갈수록 증가하는 것을 나타내었다. Case 3, 6은 3번째 열까지 감소하며, 이후 점점 증가하는 것을 나타내었다. 건물 사이의 거리가 좁을수록 실험 영역에서 후류로 갈수록 난류강도는 더욱 커지는 것을 나타내었다. 건물 사이의 거리가 큰 Case 3, 6은 측정높이 60~120mm에서는 후류로 갈수록 난류강도가 커지는 정도가 작은 것을 알 수 있었다. 건물의 입면 치수가 큰 Case 4, 5, 6에서 후류에서의 난류강도 값이 입면치수가 작은 Case 1, 2, 3보다 큰 값을 나타내었다. 하지만 입면 형태에 따른 최소 난류강도 분포 위치는 비슷한 위치를 나타내었다.

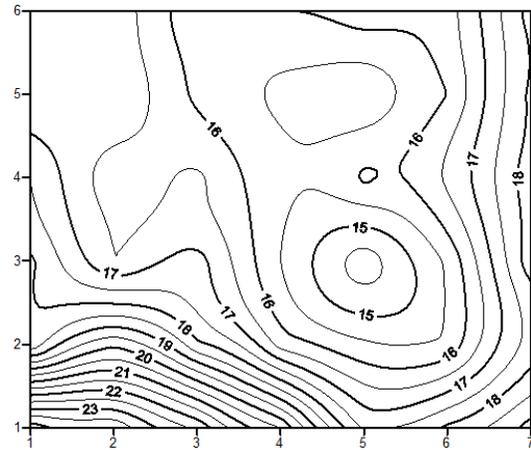


(c) Case 3 (w/S=1.21)



(d) Case 4 (w/S=0.32)

(e) Case 5 (w/S=0.63)



(f) Case 6 (w/S=0.95)

<Fig. 9> Distribution of turbulence(%)

3. CFD 해석

3.1. CFD 해석 조건

CFD는 ANSYS Fluent R16.1을 이용하였다. 입력

된 기류 조건은 풍속 분포와 난류강도의 실험치를 입력하였다. 그리고 CFD 해석에 사용된 난류 모델은 Standard k-ε을 이용하였다. CFD 해석을 위한 전체 도메인의 크기는 1.74m×2.1m×1.7m이다. 해석매쉬 수는 약 100만개이다. 해석 결과를 풍동실험과 상호비교하기 위하여 풍동실험에서 사용된 모형과 동일한 것을 사용하였다. <Table 3>은 CFD 해석에 사용된 해석 조건을 나타낸다. 해석 결과를 풍동실험과 상호비교하기 위하여 풍동실험에서 사용한 실험 풍속을 동일하게 건물 최상층 높이에서 4.56m/s가 되도록 풍속을 설정하였다.

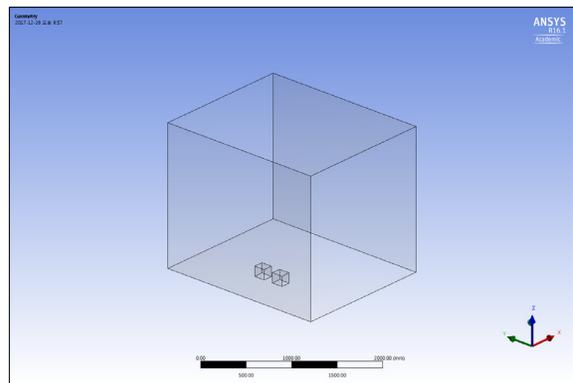
<Table 3> Input condition at Inlet

Turbulent kinetic energy(k)	$k = (IV)^2$
Turbulence dissipation ratio(ε)	$\epsilon = \sqrt{C_\mu} k \frac{\partial \langle V(z) \rangle}{\partial z}$ $= \sqrt{C_\mu} k \left(\frac{V_{ref}}{z_{ref}} \right) \alpha \left(\frac{z}{z_{ref}} \right)^{(\alpha-1)}$

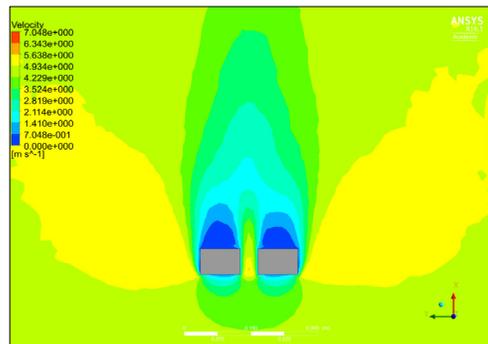
3.2. 해석 결과

CFD 해석은 건물 주변의 기류 분석을 위하여 실행되었다. 또한 풍동실험과 동일한 측정점 위치에서의 CFD 해석 풍속비와 풍동실험의 데이터의 비교는 상관계수를 구하여 이후에 있을 해석 결과 비교에 나타내었다. <Fig. 10>은 CFD의 해석 모델링을 나타내고 있다. <Fig. 11>는 실험 모형별 풍속 분포도를 나타내고 있다. 해석 위치는 풍동실험에서 가장 큰 풍속값이 측정되고 있는 측정 높이 100mm 지점을 중심으로 해석을 실시하였다. 2개 건물 사이의 간격 전체를 따라서 풍속은 증가하고 있었다. 전체적으로 유속이 유입되는 유입구에서 풍속이 가장 크게 증가를 하면서 후면으로 갈수록 풍속의 증가율은 감소를 하고 있었다. 풍속의 증가는 건물 사이의 간격이 좁을수록 크게 나타나고, 간격이 넓어질수록 감소하지만 건물 후면으로 더 넓은 영역에서 풍속이 증가하고 있었다. 두 건물의 길이는 건물 사이의 풍속 변화에 큰 영향을 주지 않았다. 그러나 건물 길이가 긴 경우 건물 후면에서 형성되는 풍속

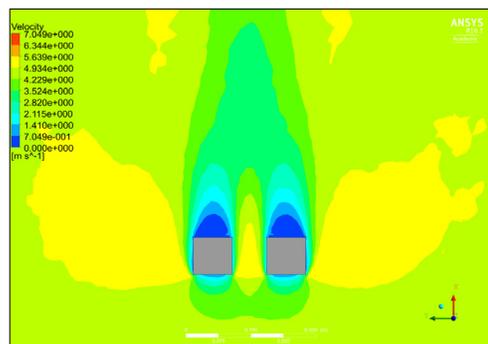
의 변화가 더 복잡하게 형성되었다. 건물 길이가 길어지면 건물 사이에 만들어진 바람이 후면으로 빠져나가면서 건물 후면 넓은 영역의 풍속에 영향을 주고 있는 것을 알 수 있었다. 건물 후면에서 형성되는 후류는 건물의 길이와 건물 사이의 간격에 의해 영향을 받고 있었다. 이러한 후류는 추후 후면에 배치되는 건물에 풍하중과 풍진동 등에 영향을 줄 수 있기 때문에 충분한 고려가 필요한 것으로 판단된다.



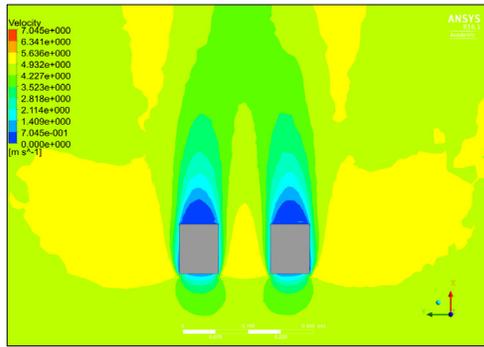
<Fig. 10> CFD modeling



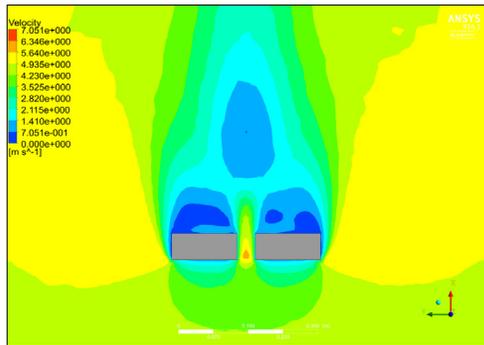
(a) Case 1 (w/S=0.4)



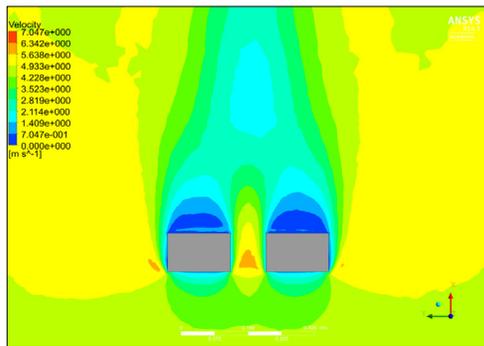
(b) Case 2 (w/S=0.81)



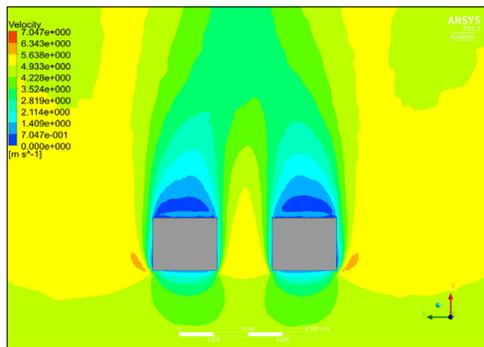
(c) Case 3 (w/S=1.21)



(d) Case 4 (w/S=0.32)



(e) Case 5 (w/S=0.63)



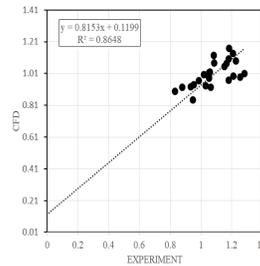
(f) Case 6 (w/S=0.95)

〈Fig. 11〉 Wind flow at location of max. velocity

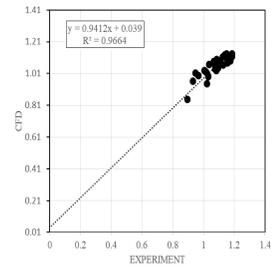
4. 해석 결과 비교

다양한 배치 형태에 따른 건물 사이의 풍력발전을 설치하기 위해서는 풍속을 정확하게 평가를 해야 한다. 풍속을 정확하게 예측하기 위해서는 풍동실험을 이용하여 검증하고 있다. 그러나 다양한 형태와 외관변화별 실험을 모두 진행하기에는 시간과 비용의 문제 때문에 CFD를 이용하여 풍속변화를 정확하게 예측하고자 한다. 풍동실험 결과와 CFD 해석 결과를 비교하기 위해 풍동실험에서의 측정점 위치와 동일한 위치에서 CFD 해석 데이터와 풍동실험 데이터의 상관계수를 구하여 나타내었다. 아래의 식 (1)은 상관계수를 구하는 식을 나타낸다. \bar{x}, \bar{y} 는 각각 x, y의 평균값이며, s_x, s_y 는 각각 x, y의 표준편차이다. <Fig. 12>는 실험 모형별 풍동실험과 CFD의 풍속비에 대한 상관계수를 나타내고 있다. 풍동실험과 CFD 해석 결과의 상관계수가 0.8 이상으로 상당히 높게 나타나고 있었다. CFD 해석을 이용한 건물 사이의 풍력에너지 평가에 적용이 가능할 것으로 판단이 된다.

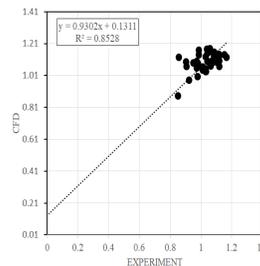
$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)s_x s_y} \dots\dots\dots(1)$$



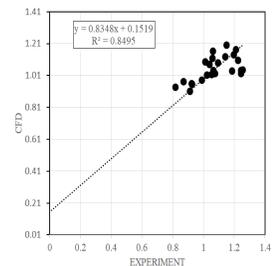
(a) Case 1



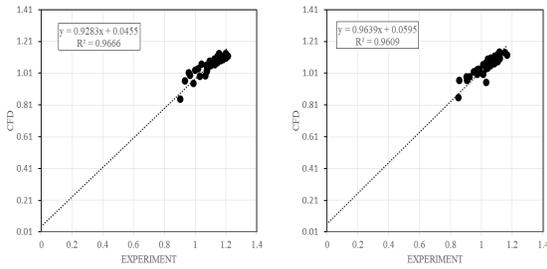
(b) Case 2



(c) Case 3



(d) Case 4



(e) Case 5

(f) Case 6

〈Fig. 12〉 Correlation of wind-tunnel and CFD

5. 결론

건물 사이에 풍력발전기가 설치되었을 때 주변 기류 분석과 풍력에너지 평가를 위한 선행 연구로써 건물 사이에 풍력발전기를 설치하기 위한 기류 특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 2개 건물이 동일한 높이(H)에서는 건물의 길이(L)가 짧을수록 건물 사이에서 발생하는 풍속이 크게 나타나고 있었다. 그리고 건물 폭(w)이 좁을수록 벤츄리 효과의 증대로 상대적으로 높은 풍속이 나타나고 있었다. 건물 사이의 난류강도는 바람이 들어오는 입구에서 후류 방향으로 갈수록 커지는 것을 알 수 있었다. 건물 사이의 거리와 건물의 폭(w)이 작을수록 후류에서의 난류강도는 더욱 큰 값을 나타내는 것을 알 수 있었다.

2) 풍동실험과 CFD 해석 결과의 상호비교를 위한 상관계수가 0.8 이상으로 상당히 높게 나타나고 있었다. CFD 해석을 이용한 건물 사이의 풍력에너지 평가에 적용이 가능할 것으로 판단이 된다.

감사의 글

이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다.(NRF-2016R1A2B4015364)

References

1. Campbell, N., Stankovic, S., Graham, M., Parkin, P., van Duijvendijk, M., de Gruiter, T., ... Blanch, M., "Wind Energy for the Built

Environment (Project WEB)", European Wind Energy Conference & Exhibition, 2001

2. Smith R. F., & Killa, S., "Bahrain World Trade Center(BWTC): The First Large-scale Integration of Wind Turbines in a Building", The Structural Design of Tall and Special Buildings, Vol.16, No.4, pp.429~439, 2007

3. Denoon, R., Cochran, B., Banks, D., & Wood, G., "Harvesting Wind Power from Tall Buildings", CTBUH 8th World Congress, 2008

4. Lu, L., & Ip, K. Y., "Investigation on the feasibility and enhancement methods of wind power utilization in high-rise buildings of Hong Kong", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.13, No.2, pp.450~461, 2009

5. Khayrullina, A., van Hooff, T., & Blocken, B., "A study on the wind energy potential in passages between parallel buildings", Proceedings of the 6th European and African Conference on Wind Engineering (EACWE), pp.1~8, 2013

6. You, K. P., & Kim, Y. M., "Fluctuations Response of Tall Building to Change of Aspect Ratio in Interference Building", Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, Vol.19, No.5, pp.61~70, 2003

7. Jo, H. J., You, J. Y., You, K. P., & Kim, Y. M., "A Study of Wind energy Assessment according to number and geometry of inlet to top floor of Tall Building", Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, Vol.31, No.2, pp.107~108, 2011

- Received : January 05, 2018
- Revised : January 15, 2018
- Accepted : January 16, 2018