

풍력발전기가 설치된 고층빌딩에 대한 전산유체역학적 고찰

*전 완호, **윤 성욱, 김 욱, 조 장형

CFD Analysis on a Tall Building Augmented Wind Turbine

*Wan-Ho Jeon, **Seong-Wook Yoon, Wook Kim, Jang-hyung Cho

Abstract : Renewable energy or green energy is a hot issue in these days. Since wind resource can be endlessly supplied by nature, researchers and common people are interested in study how to use that resource at home or company. Especially, many architects have tried to integrate wind power generator for a part of building. So in this paper, three buildings installed wind power turbine are targeted to CFD analysis and these buildings are Bahrain trade center, Discovery tower, and Pearl river tower. Bahrain trade center is the first building installed real wind turbine, Discovery tower is constructing at Texas, and Pearl river tower is designed and proved by china researchers. These buildings have very different type of wind power turbine and each turbine has different conditions for best power generation. Therefore this paper will focus on characteristic shape of buildings, wind power turbine type, and expected purpose of construction. Moreover, CFD analysis will show wind flow pattern and wind speed while wind is passing through wind turbine of three tall buildings. CFD analysis for three buildings make comparison the wind flow patterns with experimental result.

Key words : CFD (Computational Fluid Dynamics), BAWT (Building-Augmented Wind Turbine), Tall building

1. 서론

신재생에너지에 대한 관심이 높아지고 있는데 특히 풍력발전은 무한한 풍력자원을 이용한 재생 에너지라는 점에서 의미가 크다. 현재의 추세는 예전의 대규모 풍력 발전 단지에서 소규모의 작은 풍력발전기가 건물에 설치되는 경향이 있다.

일례로 가정집이나 아파트 빌딩에서도 소형 수직 풍력 발전기를 이용하여 최대 전력사용량의 20% 까지 자가발전을 목표로 한 에너지 절약을 들 수 있다. 그림 1은 건물 옥상에 설치된 수직축 풍력발전기의 예를 보여 주고 있다.^{1,2)}

최근에는 건물 옥상이나 가정집에 설치하는 소형 풍력발전기가 아니라 풍력발전기를 초고층 빌딩의 한 부분으로 흡수하여 보다 효율적으로 전력을 생산할 수 있는 방법을 많은 건축가들이 찾고 있다. 이는 초고층 빌딩이 더 이상 단순한 높이의 랜드마크 경쟁에서 벗어나 환경 친화적이라는 상징성까지 제공해야 한다는 패러다임이 생겨나기 시작한 것이라고 생각된다.

우리나라도 제 2 롯데월드, 상암 월드컵 경기장 인

근의 고층 빌딩, 그리고 한강변을 따라서 세워질 고층 아파트들은 단지 보기 좋은 고층 건축물이 아닌 스스로 에너지를 자급할 수 있도록 풍력발전기 설치를 적극적으로 고려하고 있다.

해외에서는 2008년 건설된 두바이 무역센터(그림 2)가 풍력발전기와 융합된 대표적인 상징 건물로 자리매김 하였으며 이는 풍력발전 초고층 건물의 효시라고 할 수 있다. 풍력발전은 단순히 상징성 뿐만이 아니라 초고층 빌딩에서 요구하는 엄청난 전력사용량을 일부 자급하기 위한 실용적인 대안이기도 하다.

건물 일체형 풍력발전이란 100 m 이상의 높이에서의 지상보다 월등한 풍력자원을 이용하여 수직축 또는 수평축 풍력발전기를 건물의 외벽이나 또는 옥상에 배치하여 전력을 생산한다는 것이다.³⁾

Corresponding Author : Seong-Wook Yoon, CEDIC
Technical Research Center, Seoul, Republic of Korea
Phone: +82-2-2113-0093
E-mail: swyoon@cedic.biz



Fig. 1 Vertical wind turbine installed on top of a building.

WEB(Wind Energy for the Built Environment)이란 건축가들로 구성된 단체의 프로젝트로 최근의 핫 이슈인 신재생에너지를 모든 방법을 동원하여 건축물에 도입함으로써 건축물의 실용성을 극대화함을 목적으로 하고 있다.

이런 목적을 달성하기 위해서는 가장 먼저 건물 주위의 대기유동장에 대한 정확한 이해가 필수적이며 복잡한 도시 건물군 및 건물형상의 복잡성을 고려할 때 가장 효과적인 예측방법은 전산유체역학(CFD; Computational Fluid Dynamics)일 것이다. 현재에도 고층 빌딩의 설계평가 시 풍동실험과 아울러 CFD에 의한 풍환경 평가는 필수적인 과정이다. 단, 기존의 풍공학측면에서 정적/동적 풍하중의 파악에 초점을 두고 있는 건축물 풍환경 평가와 풍력발전기 설치위치 및 운영조건을 파악하기 위한 풍력자원평가는 비록 CFD라는 동일한 해석수단을 사용하지만 그 해석방법이 매우 상이하게 된다.

2. 전산유체역학 해석법

건물 주변의 대기유동 현상을 실제와 같은 차원에서 해석하기 위해서는 건물의 급격한 형상변화에 따른 유동박리의 정확한 해석을 위해 난류모델(turbulence model)의 사용이 필수적이며, 본 해석에서는 RNG k-ε 난류모델을 사용하였다.

이번 해석에 사용된 전산유체역학 프로그램은 사용툴은 STREAM으로 건축, 산업지역, 대도시 등과 같이 대공간, 대용량의 해석 분야에 대한 전문적인 전산유체역학 프로그램이다. 난류모델은 6가지 이상의 모델을 가지고 있으며, 이번 해석을 위해서는 건물에 의한 박리 현상을 가장 정화하게 해석 할 수 있는 RNG k-ε 난류모델을 선택하여 해석을 수행하였다.



Fig. 2 Bahrain World Trade Center. (50 stories, 240 m height)

3. 초고층 빌딩의 전산유동해석

본 연구에서는 건물일체형 풍력발전기(BAWT; Building-Augmented Wind Turbine)를 장착한 고층 건축물 3개를 대상으로 설정하였다. 그 중 바레인의 국제무역센터(World Trade Center)는 완공된 유일한 건물이며, 미국 디스커버리 타워(Discovery Tower)는 건축 중에 있으며 중국의 펄리버 타워(Pearl River Tower)는 아직 설계단계에 있는 건물이다.

3.1 텍사스 디스커버리 타워

미국의 디스커버리 타워는 건물의 옥상에 수직축 풍력발전기를 설치하여 전력생산을 하는 총 31층, 147 m 높이의 건물이다. 풍황조건이 우수한 텍사스에서는 풍력발전의 효과가 클 것이다.

디스커버리 타워에 대한 풍동실험은 미국 콜로라도의 CPP Wind Engineering Consultant에서 수행하였다. 그림 4는 그림 3과 거의 비슷한 형상을 가진 디스커버리 타워의 CFD 해석결과로, 바람이 건물을 만나면서 사방으로 갈라지는 현상을 유선(streamline)으로 표현하였으며 그 형태는 그림 3의 일반적인 유동형



Fig. 3 Discovery Tower in Houston.

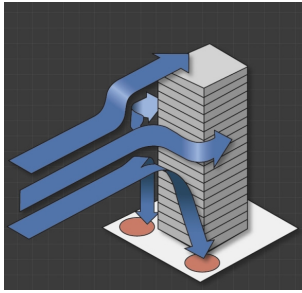


Fig. 3 Wind flow around a tall building.

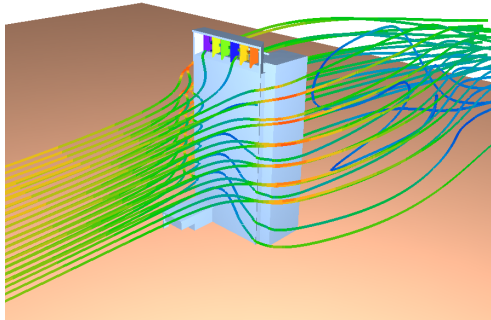


Fig. 4 Streamlines around a tall building predicted by CFD.

태와 잘 일치함을 알 수 있다.^{4,5)}

풍동 실험과 CFD 결과에서 보면 디스커버리 타워는 풍력 발전을 위해서 건물 정면에서 불어오는 주풍에 대해서만 효과적인 발전이 이루어지는 특징이 있다. 사계절 다양한 방향에서 바람이 불어오는 우리나라의 경우는 적합하지 않은 경우이다. 그림 5는 CFD 속도 분포 사진이며 건물의 정면에서 바람이 불 때 풍력발전기부분의 속도가 가장 높은 것을 알 수 있다.

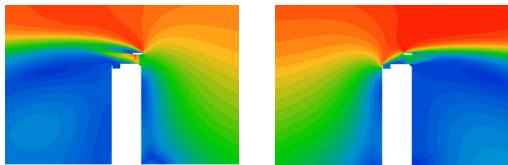


Fig. 5 (a) SW direction, frontal (b) NW direction, rear wind direction.

3.2 바레인 국제무역센터

바레인 마나마에 건설된 국제무역센터는 세계 최초로 건물 사이에 수평축 풍력발전기가 설치된 효시적 건물로 그 높이는 240m이다. 그림 2에서 보면 두 동의 대칭을 이루는 직각 삼각형 건물의 상,

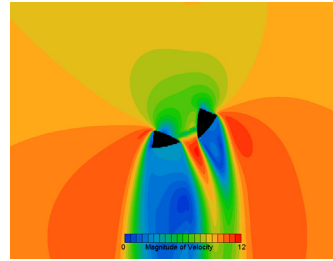


Fig. 6 Venturi effect at 143m above ground effect

중, 하층에 세 개의 다리가 건물을 연결하며, 그 각각의 다리에 블레이드 지름이 29m인 225 kW 수평축 풍력발전기를 설치한 구조이다. 따라서 총 설비용량은 675 kW며 이로부터 연간 1.3 MWh의 전력을 생산할 수 있다

국제무역센터는 그림 6의 풍속분포 평면도에서 볼 수 있듯이 대칭형상의 건물 사이 공간이 벤츄리(Venturi) 효과를 낼 수 있도록 설계되었기 때문에 바람을 보다 효과적으로 모아서 풍력발전에 유리하도록 인공적인 풍속강화를 하는 원리가 적용되었다 하지만 이경우에도 주풍향에 대해서만 효과적인 벤츄리 효과가 발생되어 풍력 발전에 제한을 가한다. 그림 6은 건물 정면의 주풍에 대하여 바레인 센터의 벤츄리 효과를 보여 준다.

3.3 광저우 펄리버 타워

중국 광저우에 세워질 또 하나의 건물은 풍력발전기가 건물 내부에 설치되는 형태의 건축물이다. 펄리버 타워는 71층에 310 m 높이며 그림 7의 개념도에서 잘 설명되었듯이 건물 중앙 두 부분에 건물을 관통하는 노즐형태의 수평유로를 설치하여 풍속을 가속 시킴으로써 풍력발전에 유리한 풍환경을 만드는 아이디어가 적용되었다.

펄리버 타워에 대한 CFD 해석결과를 정면풍과 후면풍에 대해 수직단면에서의 풍속분포를 그림 8에 제시하였다. 설계풍향인 정면풍의 경우에는 노즐형 유로에 의하여 내부 유로에서 풍속이 가속되

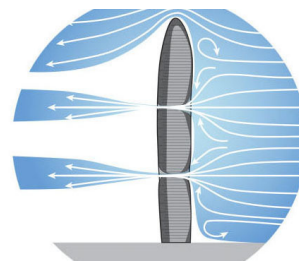


Fig. 7 Wind power generation concept of the Pearl River Tower.

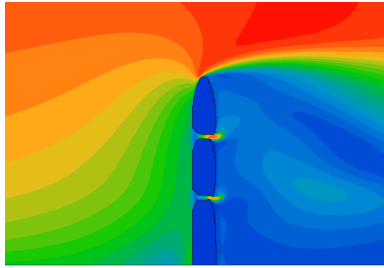


Fig. 8 Frontal wind case

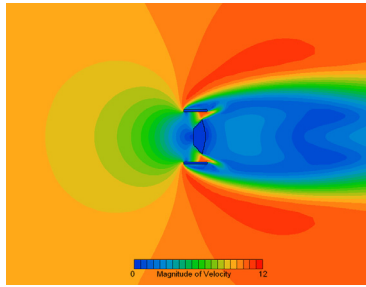


Fig. 9 Nozzle effect in wind power turbine part at 210 m height.

지만 그 반대의 경우인 후면풍에서는 반대로 감속이 될 것임을 예상할 수 있다.

노즐형 유로가 설치될 높이는 지상 105 m와 210 m 높이이다. 불행히도 건축물의 노즐형 유로 형상에 대한 자세한 도면이 없는 관계로 본 해석에서는 정성적 풍환경 특성을 개략적으로 고찰함이 바람직 하다고 사료된다. 당연한 이야기지만 건물 측면에서 불어오는 바람은 건물을 관통하는 유로로 유동이 형성되지 못하므로 풍력발전이 될 수 없다.

그림 9는 높이 210 m 지점에서 지표면과 수평한 단면에서의 풍속분포도로 건물 내부에서 노즐효과에 의해 풍속이 가속되는 특성을 잘 보여주고 있다. 건물 내부 공간은 노즐효과의 극대화 및 지지구조를 위한 공간 확보를 위해 그림 9와 같이 설계되어 있다.

4. 결론

최근 새로운 패러다임으로 급부상하고 있는 친환경 경 건물일체형 풍력발전에 대하여 전산유체해석적 고찰을 하였다. 대표적인 건물로 바레인 국제무역센터, 텍사스 디스커버리 타워 그리고 광저우 펄리버 타워에 대해 CFD 해석을 수행하고 이 중 디스커버리 타워에 대해서는 풍동실험과 정량적 비교를 하였으며 나머지 두 건물에 대해서는 풍향별 풍력발전 효율성을 정성적으로 고찰하였다.

서로 상이한 세 가지의 건물일체형 풍력발전 디자인 모두가 탁월한 주풍향에 적합한 설계라는 점에

서 아직은 건물일체형 풍력발전의 제약성을 확인할 수 있었다. 다만 디스커버리 타워와 같이 건물 옥상의 모서리 부근에 설치한 풍력발전기는 나머지 두 경우에 비하여 풍력발전이 가능한 풍향범위가 넓은 것으로 확인되었다.

우리나라와 같이 주풍향이 탁월하게 나타나지 않거나 계절에 따라 주풍향이 변화하는 경우에는 상기 설계들은 적합하지 않다고 판단되며 따라서 우리나라의 풍환경에 적합한 건물일체형 풍력발전 아이디어의 개발이 필요하다고 사료된다.

References

- 1) Park, J. C., Kyung, N. H., 2003, "A Study on the Application of Small Wind Power System in Apartment Housing," J. of the Korean Solar Energy Society, Vol. 23, No. 2. 2003
- 2) Kim E. I., 2006, "A National Strategy for Wind Power Dissemination," J. of the Korean Society for New and Renewable Energy, Vol. 2, No. 4, pp. 1739~3935. 2006.
- 3) Roy D., Brad C., David B., Graeme W., 2008, "Harvesting Wind Power from Tall Buildings," CTBUH 8th World Congress. 2003.
- 4) Brad C. C., Rick R. D., 2008, "Integrating Wind Energy into the Design of Tall Buildings - A Case Study of the Houston Discovery Tower," WindPower 2008, Houston, Texas. 2003.
- 5) Cermak, J. E., 1975, "Aerodynamics of Buildings," Annual Review of Fluid Mechanics, Vol. 8, pp. 75 - 106. 1975.