

초고층건물에서의 풍력발전 적용을 위한 건물형태별 기류분석

장호진*, 이동윤**, 박진철*** 이언구 ***

*중앙대학교 대학원 건축학과(yellowsky794@naver.com), **중앙대학교 대학원 건축학과(qqmen@naver.com),
***중앙대학교 건축학부(jincpark@cau.ac.kr, ekrhee@cau.ac.kr)

A Study on Analysis of Air Flow for Wind Power System by Shape of Super High-rise building

Jang, Ho Jin*, Lee, Dong Yun**, Park, Jin Chul***, Rhee, Eon Ku ***

*Dept. of Architecture, Graduate School, Chung-Ang University(yellowsky794@naver.com),

**Dept. of Architecture, Graduate School, Chung-Ang University(qqmen@naver.com),

***School of Architecture & Building Science, Chung-Ang University(jincpark@cau.ac.kr)

Abstract

This study aims to choose installation location of wind power system and analyze influence factors of wind power system by shape of super high-rise building by using CFD simulation.

As a result of this study, wind power system is more applicable to streamlined building than normal building. Round openings are seemed to be the most efficient shape for building integrated wind power system in types applying venturi effect. Safety and vibration should be considered in the case of application of wind power system between the buildings.

Keywords : 초고층 건물(Super high-rise building), 풍력발전(Wind turbine), 기류 시뮬레이션(CFD air flow Simulation)

1. 서 론

전 세계적으로 에너지 절약이 중요해지고 있는 가운데, 전체 에너지 소비의 40%를 차지하고 있는 건축물에서 그 중요성은 매우 크다. 이에 반해 도시의 확장과 도심지역의 고밀화에 따라 수요가 급증하고 있는 초고층 건물은 일반 건물에 비해 에너지 소비량과 CO₂배출량

이 높은 에너지 다 소비형 건물로, 초고층 건물의 에너지 절약을 위한 대책이 시급한 실정이다. 이를 해결하기 위한 방안으로는 온실가스 감축과 화석연료 고갈의 에너지 문제를 동시에 해결할 수 있는 신재생에너지가 있다. 그 중에서도 풍력에너지는 매우 큰 잠재력과 경제성 및 기술의 성숙도가 가장 뛰어나며 초고층건물의 특성을 가장 유

용하게 활용할 수 있는 에너지원으로 각광 받고 있다. 하지만 국내의 경우 아직까지 초고층 건물에서의 풍력발전 적용에 관한 연구가 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 초고층건물의 형태에 따른 풍력발전의 적용위치를 선정하고 CFD 시뮬레이션을 통하여 형태별 기류를 분석함으로써 초고층건물에 풍력발전을 적용하기 위한 기초자료를 제시하고자 하였다.

2. 초고층건물에서 풍력발전 시스템 적용 유형

초고층 건물의 풍력발전 적용 방안은 적용 지역에 대한 기후적인 특성, 주변 건물과 지형의 영향 여부, 건물과의 조화, 구조적인 안전성, 건물의 규모 및 배치 등 매우 다양한 요인들에 의해 결정된다. 지금까지의 문헌조사 및 사례분석을 통한 초고층건물에서의 풍력발전 적용을 위한 유형은 다음과 같이 크게 3가지로 도출할 수 있다.¹⁾

첫 번째로 건물 지붕이나 측면에 설치하여 일체화 시키는 방법과 두 번째 건물 내부의 상·하부의 기압 차이를 이용하여 적용하는 방법, 마지막으로 벤츄리 효과를 이용하여 적용하는 방법이다.

즉, 먼저 건물지붕이나 측면에 설치하는 방법은 초고층 건물에 설계 초기단계에서부터 풍력발전이 고려되지 않았거나 일반적인 건물에 적용할 수 있는 방법으로 초고층 건물의 높이와 건물의 형태에 따라 발생하는 강한 바람을 이용하여 풍력발전을 적용하는 방법이다.

또한, 건물 내부의 상·하부의 기압 차이를 이용하는 방법은 건물의 높이 차에 의해 내부에 발생하는 연돌효과에 의해 풍력발전을 적용하는 방법이다.

그리고 벤츄리 효과를 이용하여 풍력발전을 적용하는 방법은 바레인 세계무역센터에도

적용된 방법으로 바람이 통과하는 공간을 좁게 만들어 바람을 가속시킴으로써 풍력발전의 발전 성능을 향상시킬 수 있는 방법으로 탁월한 주풍향이 존재할 경우 풍력발전 효율은 높아진다.

2.1 초고층 건물의 풍력발전 적용유형

일반적으로 초고층 건물은 도심지에 건설이 되기 때문에 인접 건물 등의 영향을 최소화하며, 풍력발전성능을 최대화하기 위해 건물의 고층부분을 활용하는 것이 적합하다고 판단하여 본 연구에서는 초고층 건물에 풍력발전을 적용할 수 있는 방안을 문헌조사를 통하여 건물의 지붕과 측면에 설치하는 유형과 벤츄리 효과를 적용하는 유형을 그림 1²⁾과 같이 도출하였다.

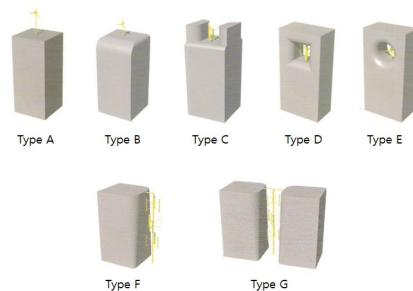


그림 1. 초고층 건물의 풍력발전 적용유형

Type A와 Type B는 건물의 지붕면에 풍력발전을 적용하는 유형으로 Type A는 가장 일반적인 초고층 건물의 형태이며, 풍력발전을 적용하기 위해 건물의 형태에 변화가 필요 없어 이미 시공된 건물에도 적용할 수 있는 유형이다. Type B는 건물 최상층의 입면이 유선형인 형태이며, 지붕면으로 들어오는 바람을 자연스럽게 흘러가도록 유도함으로써 풍속이 증가될 수 있는 유형이다.

Type C, Type D, Type E는 건물의 최상부 부분을 변형하여 벤츄리 효과를 적용한

1) 이동운, 초고층 건물에서의 하이브리드 파워시스템 적용방안에 관한 연구, 석사학위논문, 2011

2) Sinisa Stankovic, Neil Campbell, Alan Harries, Urban Wind Energy, Earthscan Publications Ltd, 2009.8, pp.144-153

유형으로 초고층 건물의 설계 초기단계에서부터 풍력발전의 적용을 고려하여야만 가능한 유형이다. 또한 이 유형들에 풍력발전을 적용하기 위해서는 적용지역의 뚜렷한 주풍향이 존재할 때에 가장 효율적이다.

Type F와 Type G는 건물의 측면에 풍력발전을 설치하는 유형으로 Type F는 일반적인 건물의 직각인 모서리를 유선형으로 하여 벽면 가까운 부분에서도 높은 풍속을 유도하는 방법이며, Type G는 2개의 건물 사이에 공간이 벤츄리 효과로 인해 풍속이 증가되는 유형이다. 표 1은 유형에 따른 풍력발전 적용 위치를 선정한 것이다.

표 1. 초고층 건물 유형에 따른 풍력발전 적용위치 선정

| 풍력발전 적용 위치 | | 유형(Type) |
|------------|--------|----------|
| 건물 지붕면 적용 | | A, B |
| 건물 측면 적용 | | F |
| 벤츄리 효과 적용 | 건물 지붕면 | C, D, E |
| | 건물 측면 | G |

3. 초고층건물 형태별 기류분석

3.1 시뮬레이션 개요 및 해석모델 설정

본 연구에서는 초고층 건물의 풍력발전 적용방안을 검토하기 위해 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD)프로그램을 사용하였으며 설정 값은 표 2와 같다.

표 2. 전산유체역학(CFD Simulation) 설정 값

| 항목 | CFD조건 | 비고 | |
|----------|-----------------------|------------------|-----------|
| 분석내용 | 3-D Steady State 유동해석 | STAR-CD CCM+4.02 | |
| 분석조건 | Space | Three Dimension | 3차원 공간 분석 |
| | Motion | Stationary | - |
| | Time | Air | 균일 밀도 |
| | Vicous Regime | Steady | - |
| | Equation | Turbulent | 난류 |
| | Number of cells | K-ε Turbulence | RAN방정식 적용 |
| velocity | 5.91m/s (500~550m 기준) | 기류속도 | |

시뮬레이션을 위한 해석모델(그림 2 참조)은 앞에서 언급한 Type A~Type G의 총 7가지 유형을 대상으로 설정하였으며, 건물 높이가 100층 이상, 500m를 넘는 규모의 초고층 건물이 국내·외 계획안으로 적용될 것으로 조사되고, 또한 도심지역에 500m 이상의 높이에서 풍속이 일정해지는 결과를 확인하여 해석모델의 건물높이를 500m로 설정하였다.

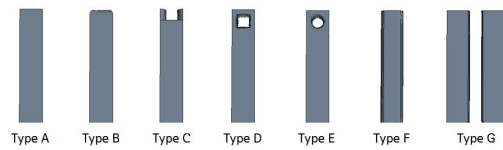


그림 2. 시뮬레이션 해석 모델

시뮬레이션 상의 풍속 입력조건은 서울지역의 30년간의 평년값자료인 표준 기상 데이터를 바탕으로 높이에 따른 풍속을 50m를 기준으로 보정³⁾하여 적용하였다. 시뮬레이션 입력 풍속값은 표 3과 같다.

표 3. 시뮬레이션 입력 풍속값

| Boundary name | Height (m) | Wind Speed (m/s) |
|---------------|------------|------------------|
| Inlet 1 | 0~50 | 3.82 |
| Inlet 2 | 50~100 | 4.45 |
| Inlet 3 | 100~150 | 4.81 |
| Inlet 4 | 150~200 | 5.06 |
| Inlet 5 | 200~250 | 5.25 |
| Inlet 6 | 250~300 | 5.41 |
| Inlet 7 | 300~350 | 5.54 |
| Inlet 8 | 350~400 | 5.65 |
| Inlet 9 | 400~450 | 5.75 |
| Inlet 10 | 450~500 | 5.83 |
| Inlet 11 | 500~550 | 5.91 |
| Inlet 12 | 550~600 | 5.98 |

3.2 초고층 건물의 풍력발전 기류분석 결과

(1) Type A 기류분석 결과

Type A(그림 3 참조)는 건물의 정면에서는 바람이 건물에 부딪쳐 벽면으로 바람이

3) 보정식은 일반적으로 가장 오차가 적고 비교적 보정이 용이한 Deacon식을 이용하였다. $\frac{U(z)}{U(z_a)} = \left(\frac{z}{z_a}\right)^p$

흘러가면서 건물 양측면에 난류층이 일정한 간격으로 발생하며, 난류층 위로 박리류가 흐르는 모습과 하강류가 작용하는 것으로 나타났다. 건물의 측면에서는 건물의 앞쪽에 높은 압력이 작용하고 건물의 뒤쪽은 낮은 압력대를 형성하여 와류 및 난류가 발생하는 것을 확인할 수 있다. Type A와 같은 건물에서 건물 측면에 풍력발전을 설치하는 것은 에너지 생산효율이 현저히 낮아질 것으로 사료되며, 건물의 지붕부분에 풍력발전을 설치하는 것이 유리한 것으로 보인다.

(2) Type B 기류분석 결과

Type B(그림 3 참조)는 정면과 측면에 바람의 유동현상이 Type A와 비슷한 패턴을 보여주고 있으며, 지붕 모서리가 유선형으로 이루어져 있기 때문에 바람이 건물 뒤쪽으로 자연스럽게 넘어가 난류영역이 감소되는 것을 확인할 수 있다. Type B의 지붕에서 기류 흐름은 Type A와는 다르게 지붕에서 상부로 올라갈수록 풍속이 저하되는 것으로 나타났다. 이는 앞서 기술한 것과 같이 난류영역이 감소했기 때문에 Type A보다 낮은 고도에서 풍력발전 설치가 용이한 것으로 보인다.

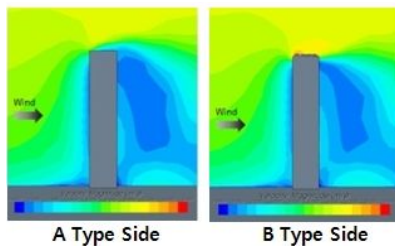


그림 3. Type A, B 풍속 분석 결과

(3) Type C 기류분석 결과

Type C(그림 4 참조)는 벤츄리 효과가 적용된 모델로 건물의 지붕부분에 있는 구조물의 형태가 건물 내측면을 유선형으로 하여 바람을 원활하게 흐를 수 있도록 하였다. 그 결과 바람이 구조물을 통과 시 최대 7.5m/s의 풍속이 나타나 평균 풍속 7m/s 대비 풍속

이 20.1% 증가되는 결과를 보였다. 지붕부분에서 구조물 사이 옆면에 접한 곳에 풍력발전기의 블레이드가 면하도록 하는 것이 유리한 것으로 보인다.

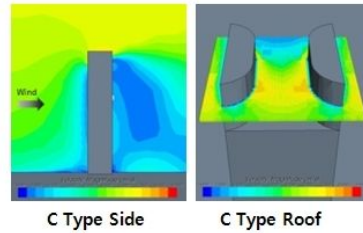


그림 4. Type C 풍속 분석 결과

(4) Type D 기류분석 결과

Type D와 E는 건물에 작용하는 풍속을 증가시키기 위한 목적으로 건물의 최상부 부분에 개구부를 만들어 Type C와 같이 벤츄리 효과를 적용하여 풍력발전을 효과적으로 이용할 수 있도록 만든 건물 형태이며, 그림 5와 같이 개구부의 크기는 50×50m로 설정하였다. 바람이 건물의 개구부를 통과하면서 개구부 상부에서 9.8m/s의 높은 풍속이 나타났으며, 개구부의 평균 풍속 또한 8.9m/s로 설정 풍속 대비 52.7%가 증속되는 결과를 보여 개구부 중앙 양옆으로 풍력발전 블레이드가 면하도록 설치하는 것이 유리한 것으로 보인다.

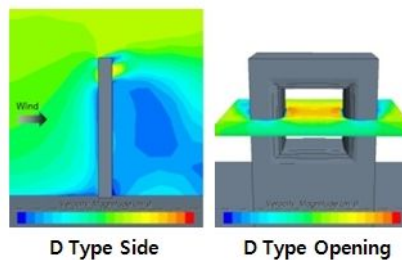


그림 5. Type D 풍속 분석 결과

(5) Type E 기류분석 결과

Type E(그림 6 참조)의 건물은 지름 50m의 원형 개구부를 건물의 최상부에 적용한 형태이다. 원형의 개구부는 주변의 바람을

유도하는 작용을 하여, Type D보다 더 높은 풍속이 개구부의 상부에서 나타났다. 개구부의 최고풍속은 10.3m/s이며, 평균풍속은 9.7m/s로 개구부 내에서는 크게 풍속의 변화가 발생하지 않아 풍력발전을 적용하기에 적절한 형태로 판단된다. 그러나 Type D와 E는 건물에 작용하는 뚜렷한 주풍향이 존재할 때 적용이 가능하며, 풍력발전의 설치에 대한 많은 기초조사를 통해 건물의 초기설계단계에서부터 적용되어야 한다.

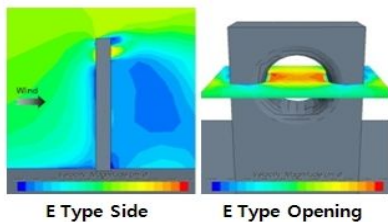


그림 6. Type E 풍속 분석 결과

(6) Type F 기류분석 결과

Type F(그림 7 참조)는 건물의 입면모서리를 유선형으로 만들어 벽면에 흐르는 바람을 자연스럽게 유도하여 앞에서 언급된 건물들에서 발생되는 난류층을 감소시킴으로써 건물의 측면에 풍력발전을 적용하고자 한다. 건물 측면에 작용하는 풍속을 건물 높이에 따라 분석한 결과 건물 최상부 측면에서는 7.7m/s의 풍속이 넓은 면적으로 분포하고 있으며, 건물 하부로 내려갈수록 설정 풍속에 비해 건물의 측면에 작용하는 풍속이 더 빠르다는 것을 알 수 있었다. 이것은 건물의 모서리에 부딪친 바람이 난류층을 형성하지 않고 건물의 벽면을 흘러 풍속이 증가하는 것으로 판단된다. 이러한 이유로 풍력발전 설치 시 최상부 보다는 건물 높이의 약 2/3 지점에 설치하는 것이 유리한 것으로 보인다. 하지만 건물의 측면에 풍력발전을 설치할 경우에는 구조적인 안전성과 소음 유발 등의 문제에 대한 해결책이 필수적이며, 적절한 크기의 풍력발전을 적용하는 것이 바람직하다.

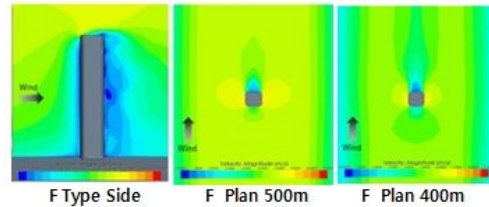


그림 7. Type F 풍속 분석 결과

(7) Type G 기류분석 결과

Type G(그림 8 참조)는 건물 사이에서 풍속이 강해지는 것을 확인할 수 있으며 Type F와 같이 최상부 보다는 건물 높이의 약 2/3 지점에 풍력발전을 설치하는 것이 유리한 것으로 보인다. 그러나 단일건물과는 다르게 건물 뒤쪽의 난류영역이 멀리까지 분포되어 있어 인접 건물에 대한 영향이 고려되어야 한다. Type G와 같은 2개의 건물 사이에 풍력발전 설치를 고려할 때, 건물에 작용하는 주풍향을 분석하여 초기 설계단계에서 적용되어야 하며, 구조적인 안전성과 진동에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

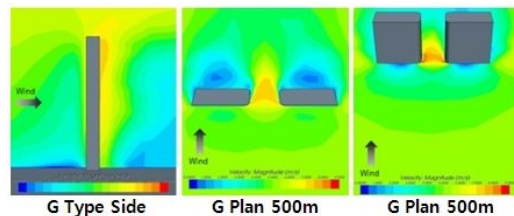


그림 8. Type G 풍속 분석 결과

4. 결 론

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) Type A는 건물 측면에 풍력발전을 설치하는 것 보다 건물의 지붕부분에 풍력발전을 설치하는 것이 유리한 것으로 나타났다.
- (2) Type B는 지붕에서 상부로 올라갈수록 풍속이 저하되는 것으로 나타났다. 이는 앞의 난류영역이 감소했기 때문에 Type

A보다 낮은 고도에서 풍력발전 설치가 용이한 것으로 보인다.

- (3) Type C는 벤츄리 효과가 적용된 모델로 지붕부분에서 구조물 사이 중앙의 옆면에 풍력발전기의 블레이드가 면하도록 하는 것이 유리한 것으로 보인다.
- (4) Type D는 개구부 중앙 양옆으로 풍력발전기의 블레이드가 면하도록 설치하는 것이 유리한 것으로 보인다.
- (5) Type E는 지름 50m의 원형 개구부를 건물의 최상부에 적용한 형태로 개구부내에서 크게 풍속의 변화가 발생하지 않아 풍력발전을 적용하기에 적절한 형태로 판단된다.
- (6) Type F는 건물의 입면모서리를 유선형으로 만들어 벽면에 흐르는 바람을 자연스럽게 유도하여 앞에서 언급된 건물들에서 발생하는 난류층을 감소시킴으로써 건물의 측면에 풍력발전을 적용하고자 하였다. 그 결과 건물 하부로 내려갈수록 설정 풍속에 비해 건물에 측면에 작용하는 풍속이 더 빠르다는 것을 알 수 있다.
- (7) Type G는 건물 사이에서 풍속이 강해지는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같이 2개의 건물 사이에 풍력발전 설치를 고려할 때, 건물에 작용하는 주풍향을 분석하여 초기 설계단계에서 적용되어야 하며, 구조적인 안전성과 진동에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

따라서, 지금까지의 연구결과를 종합하면 풍력발전 설치가 유리한 초고층 건물의 형태는 유선형 형태가 일반 건물보다 유리하며, 벤츄리 효과를 적용하는 유형에서는 원형 개구부 형태가 유리한 것으로 보인다. 건물 사이의 적용 유형은 최상부 보다는 건물 높이의 약 2/3 지점에 풍력발전을 설치하는 것이 유리한 것으로 보인다.

후 기

이 논문은 교육과학기술부가 출자하고 한국연구재단이 시행한 2010년도 중견연구자 지원사업(과제번호 : 2010-027393)의 지원으로 수행되었기에 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 문창호 외, 도시의 건축 디자인에서 풍력 터빈의 이용에 대한 사례연구, 대한건축학회연합논문집, 12권4호(통권44호),2010.12
2. 이동윤, 초고층 건물에서의 하이브리드 파워시스템 적용방안에 관한 연구, 석사학위논문, 2011
3. 선우원일 외, 초고층 건물에서 바람의 영향, 대한건축학회지, 제48권 제7호 통권 제302호,2004
4. Sinisa Stankovic, Neil Campbell, Alan Harries, Urban Wind Energy, Earthscan Publications Ltd, 2009.8, pp.144-153