한국신·재생에너지학회 2008년도 추계학술대회논문집 pp.324~327

건물 지붕 구조를 활용한 건물일체형 풍력발전시스템의 성능 예측

*최 형식[1], **장 호남[2]

Pitched Roof-Building Integrated Wind Turbine System Performance Estimation

*HyungSik Choi, **HoNam Chang

Key words : Building Integrated Wind Turbine(건물 일체형 풍력발전기), Pitched Roof-Building (경사형 건물 지붕), Wind Guide(바람 유도장치)

Abstract : We simulated the performance improvement of a wind turbine installed on the pitched roof-building(apartment in urban area, 50m height). A nozzle shape wind guide is added on the roof of a model apartment. The nozzle-diifuser structure effects for the free stream wind (average 4m/s, 50m height in Incheon) is studied by a basic CFD analysis. This paper examines the effects of roof structure on the wind velocity and the wind distortion effects by a front building. The possible wind power generation capacity on building roof in urban is calculated.

Nomenclature

V : wind speed, m/s
V_a : reference wind speed, m/s
V_x : wind speed at height x, m/s
d : displacement length, m
$\overline{h}$: average height of buildings, m
H_x : wind height, m
H_a : reference wind height, m
P : power , j/s
C_p : power coefficient
ρ : air density, kg/m^3
A : frontal area between building and guide, m^2
U_c : Characteristic wind velocity, m/s
U : wind velocity, m/s

1. 서 론

건물에너지는 최종 에너지 소비의 23%, 온실가스 배출 13%를 차지한다.[1] 이에 대응하기 위해서는 건물에서 직접 에너지를 생산하여 원거리 전력 전송에 따른 손실을 줄이고 에너지 효율을 높이는 그린홈과 그린빌딩이 필요하다. 미래 공동주택에는 태양광, 풍력 발전으로 전력을 생산하고 음식물쓰레기를 통해 바이오에너지를 얻으며 연료전지 시스템이 결합한 복합 시스템이 제안되고 있다. [2]

지역에서 전력에너지를 생산할 수 있는 수단은 크게 태양광, 풍력 발전이 있다. 현재 태양에너지는 높은 공간 활용성으로 차세대 지역 발전 수단으로 유력하지만 상대적으로 낮은 효율과 고비용으로 아직 널리 보급되지 못하고 있다. 풍력에너지는 대형화를 추구하면서 경제성을 확보하고 있지만 바람이 잘 부는 산간, 해안가에서만 보급이 추진되고 있다. 하지만 건물, 가정의 전력에너지의 20% 정도를 충당 할 수 있는 재생에너지 개발을 위해서는 결국 태양광, 풍력에너지가 대안이며 상호보완적인 역할을 하는 태양에너지, 풍력에너지 하이브리드 시스템이 유력하다. [3]

바람이 적게 불며 풍향의 변화와 난류의 영향이 심한 도심지역에서 풍력발전을 하기 위해서는

1) 한국과학기술원 생명화학공학과 석사
E-mail : hschoi08@kaist.ac.kr
Tel : (042)350-5952 Fax : (042)350-3910
2) 한국과학기술원 생명화학공학과 교수
E-mail : hnchang@kaist.ac.kr
Tel : (042)350-3912 Fax : (042)350-3910

이를 극복할 수 있는 도심형 풍력발전 시스템에 대한 연구가 필요하다. 도심에서 풍력발전의 경제성을 확보하기 위해서는 단독형 지상 풍력발전이 아니라 높은 속도의 바람을 얻을 수 있는 건물 옥상에서 건물일체형 풍력발전 시스템을 설치해야 한다. 본 연구에서는 인천광역시의 풍속데이터를 바탕으로, 바람 유도장치를 설치한 경사형 지붕의 20층 아파트건물(고도50m)을 가정하고 이를 모델로 삼아 지붕구조에서 발생하는 바람의 영향, 건물 배치가 후방 풍력 발전기에 미치는 영향 그리고 풍력발전을 통해 얻을 수 있는 전력량을 시뮬레이션 하여 바람이 잘 부는 도심지역에서의 풍력발전 가능성에 대해서 알아보았다.

Table 1 Renewable Energy Application Range and Economic feasibility[3] (● : 높음, △: 낮음)

항목	적용범위			경제성
	도시	단지	건물	
태양광	●	●	●	△
태양열	●	●	●	●
풍력	●	●	●	●
소수력	△	△	△	△
지열	△	△	●	●
바이오	●	●	●	●

2. 도심의 풍력량

기상청에서 발간한 풍력자원지도 보고서에 따르면 주요 도시에서의 고도 10 m, 50 m,80 m에서 풍속은 다음과 같다.[4]

Table 2 Average wind velocity in major cities

고도 / 도시	10m	50m	80m	주풍향
서울	2.5	3.7	4.2	북서
인천	2.6	4.0	4.5	북
수원	2.1	3.3	3.7	북
대전	2.0	3.2	3.6	북
군산	2.6	3.8	4.2	북서
부산	3.0	4.4	4.8	북동
목포	3.7	4.9	5.4	남동

풍속 측정이 이루어진 지상 10 m에서는 풍속이 작지만 Fig.1에서 볼 수 있듯이 고도가 증가함에 따라 저항이 감소하여 높은 풍속을 보인다. 내륙 지역보다 해상에 가까운 인천, 군산, 부산, 목포 등에서는 아파트 한 층을 2.5 m로 잡았을 때 아파트 20층 높이인 50 m에서 평균 4 m/s이상의 높은 바람이 불고 있으며 경제성 있는 도심형 소형 풍력발전 시스템의 입지로 보다 적합하다.

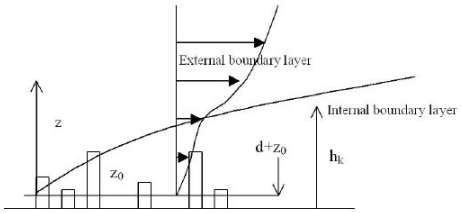

Fig. 1 Wind profile in urban environment [5]

3. 건물 옥상에서의 풍력 시뮬레이션

3.1 시뮬레이션 모델

지상 50 m 높이(20층 아파트, 1층 2.5 m)의 경사 지붕의 아파트형 건물을 모델로 삼았다. 풍력발전의 효율을 높이기 위해 지붕 위에 바람 유도장치(풍력 가이드)가 있는 구조를 선정했다.[5]

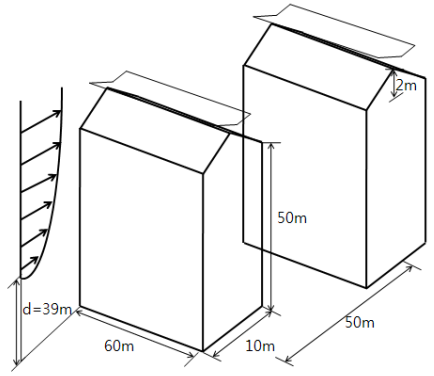

Fig. 2 Simulation model building

바람의 모델은 지상 50 m에서 평균 풍속을 4 m/s를 유지하고 Fig.1에서 보듯이 건물 평균 높이의 0.75 배 이하의 구간에서는 건물의 영향에 의해 바람이 거의 불지 않는 것으로 본다.[7] 고도에 따른 바람은 속도의 증가는 power law를 적용하여 구했고 마찰지수 n은 시가지형을 가정하여 0.4로 잡았다.

$$d = 0.75\ \bar{h} \quad [\mathrm{m}] \qquad (1)$$

$$V_x = V_a\left(\frac{H_x}{H_a}\right)^n \quad [\mathrm{m/s}] \qquad (2)$$

3.2 수치해석기법

경사형 건물 지붕위에서의 풍속 변화 효과를 알아보기 위하여 전산해석 방법으로 FLUENT를 사용하였다. 경계조건으로는 입구 경계조건으로는 속도유입조건(velocity_inlet)을 출구 조건으로는 대기압력조건(pressure outlet)을 지정하고 난류해석으로 $k-\varepsilon$모델을 사용하였다. 모델링에 사용된 전체 격자는 약 4만 8천개이며 외부에서는 1 m 간격의 삼각형 메쉬를 적용했으며 건물지

붕과 가이드 안에서는 0.5 m 간격의 메쉬를 적용했다. 바람유도 장치는 건물 지붕에서 2 m 위에 설치된다. 전체 길이는 2 m이며 경사각도는 45도이다. UDF PROFILE MACRO를 이용하여 power law에 따른 입력 속도의 구배를 표현했다.

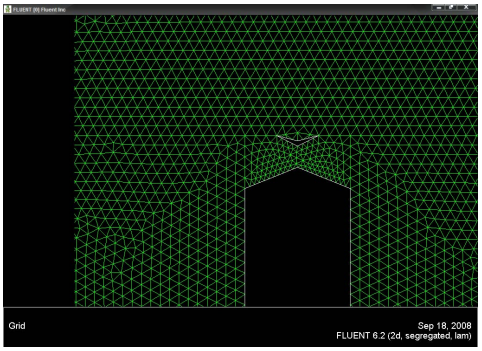

Fig. 3 Grid configuration around building roof and wind guide by Gambit

3.3 시뮬레이션 결과

Fig.4에서 4 m/s 바람이 불었을 경우 첫 건물에서는 외벽의 영향으로 건물 앞 부분과 가이드 안에서 풍속이 증가하는 모습을 볼 수 있다. 가이드 안에서는 약 7 m/s로 속도가 향상되는 것을 확인했다.

하지만 Fig.5에서 보이는 후방 건물에서는 앞 건물이 바람을 가리는 역할을 하여 오히려 가이드 안에서의 풍속이 평균보다 떨어지는 효과를 가져왔다. 후방 건물 지붕 위에서 바람 속도는 1.8 m/s 이다.

바람의 입력 속도를 1 m/s ~8 m/s까지 변화시켜 가면서 지붕 위에서의 풍속 변화를 확인하였다. 건물 지붕과 가이드 사이 2 m 간격을 세 부분으로 나누어 각 지점에서 속도를 확인했다. 상단과 하단에서 속도차가 나는 것을 확인할 수 있다. 하단은 상단보다 약 40% 속도가 작다. 경사형 건물구조와 바람유도장치의 효과에 의해 약 1.8배의 속도 상승효과를 확인 했다. 이러한 효과로 인해 도심지역에서 낮은 속도의 바람에서도 발전을 할 수 있고 발전기의 이용률을 높일 수 있다.

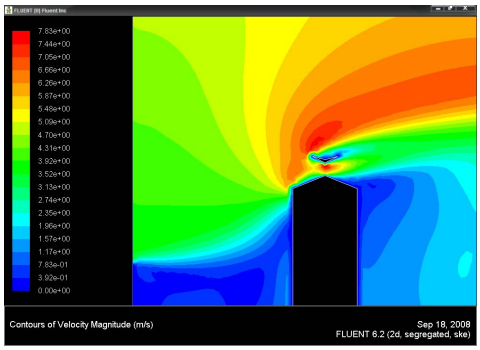

Fig. 4 Contour of velocity magnitude of the front building, $\overline{v}$ = 4m/s

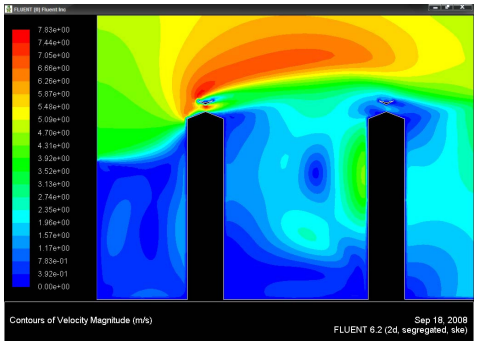

Fig. 5 Contour of velocity magnitude on a general view, $\overline{v}$ = 4m/s

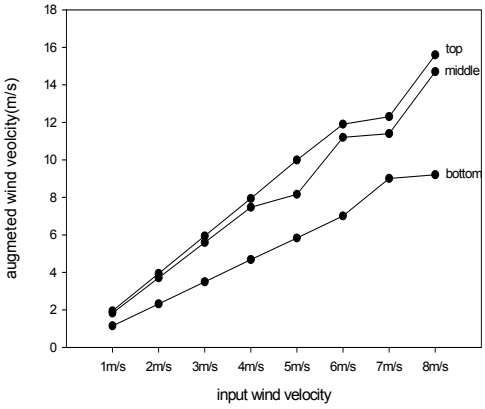

Fig. 6 Augmented wind velocity graph according to various input wind velocity

3.4 전력 발전량 예측

모델로 삼은 아파트 건물 위에서 아파트 물탱크의 공간을 제외한 60 m×2 m 공간의 1/2의 면적에 C_p = 0.32 인 수직형 사보니우스 풍력 시스템을[8] 설치하고 이상적인 기계효율과 바람의 Rayleigh distribution을 가정하면 (3)식에 의해 평균 파워을 구할 수 있다. 평균 4 m/s 속도에서 1.8배 속도가 상승하여 $\overline{V}$ = 7.2 m/s가 됨을 가정하고 계산을 수행했다. C_p = 0.32, ρ = 1.205 kg/m^3 , A= 60 m^2 에서 발전할 수 있는 평균 파워는 8.175 kW 이다.

$$\overline{P} = \frac{1}{2}\rho A U_c^3 C_p \qquad (w) \qquad (3)$$
$$\times \int_0^{\infty} (\frac{U}{U_c})^3 \frac{2U}{U_c} exp[-(\frac{U}{U_c})^2] dU/U_c$$
$$(U_c = 2\overline{U}/\sqrt{\pi})^{9)}$$

4. 결론 및 토론

본 연구는 인천 지역의 고도 50 m의 평균 바람 속도 4 m/s를 기초로 하여 도심 아파트 건물 위에서의 풍속 상승 효과와 건물 배치의 영향 그리고 풍력발전량을 예측하였다.

1. FLUENT 해석을 수행하여 아파트 옥상에 설치된 바람 유도장치를 통하여 약 1.8 배의 풍속 상승 효과를 확인하였다.
2. 아파트 단지에서 바람이 불어오는 후방에 위치한 건물에서는 앞 건물에 의한 바람의 상승효과에 의해 풍속이 감소하는 효과를 확인하였다. 아파트 건물 옥상에서의 풍력 발전을 위해서는 아파트의 단지 배치나 간격에 있어서 이를 고려해야 한다.
3. 모델로 삼은 바람 유도 장치가 있는 경사형 아파트 건물 옥상에서는 $\overline{v}$=4 m/s일 지붕 위에서$\overline{v}$=7.2 m/s로 향상하고 평균 8.175 kW 전력 생산이 가능하다.
4. 풍력발전 효율을 높이기 위해서는 건물 위에서의 바람유도장치의 최적화가 필요하고 가이드와 수직형 사보니우스 발전기 사이의 효율 향상 관계에 대하여 연구되어야 한다.

References

[1] 이승복, 2008, “기후변화대응을 위한 선진형 건물에너지 정책” 기후변화대응 건물에너지 정책포럼 , pp.11

[2] 이기홍, 2008, “미래주택과 도시 에너지 시스템 모델” HURI FOCUS, 제28호, pp.14, 주택도시연구원

[3] 강소연, 이언구, 2007, “Zero Emission Building의 요소기술에 관한 연구” 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제27권 제1호

[4] 기상청 자료관리 서비스팀, 2007.9, 풍력자원지도연구개발보고서, 기상청

[5] A. G. Dotton, J. A. Halliday, 2005, "The Feasibility of Building-Mounted/Integrated Wind Turbines : Achieving their potential for carbon emission reductions, Final Report", pp.16, Energy research unit, CCLRC

[6] C. J. Lawn, 2003, "Optimization of the power output from ducted turbines" Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: journal of Power and Energy, vol 217, pp.107

[7] S. Mertens, 2003, "The energy yield of roof mounted wind turbines," Wind engineering, Vo1. 27, No. 6, pp. 507

[8] U.K. Saha, 2008, "Optimum design configuration of Savonius rotor through wind tunnel experiments" Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol. 96, Issue 8-9, pp. 1359-1375

[9] J.F. Manwell, J.G. Mcgowan, A.L.Rogers, 2006, Wind Energy Explained theory, design and application, pp. 61, John Wilely& Sons,LTD