

건물 일체형 풍력시스템 디자인 고찰

김용이*

A Review on Building-Integrated Wind Turbine Design

Yong-Yee Kim*

Key Words : *Building-integrated wind turbine*(건물 일체형 풍력터빈), *building design*(건물 설계), *wind speed-up effect*(풍속할증효과), *concentrator effect*(집풍효과)

ABSTRACT

Integrating wind energy systems into building design is a small but growing trend, and high rise with their elevated wind speeds seem particularly suited to the technology. This paper deal with building-integrated wind turbine design. It thus contains two topics: wind energy and building design. Several building-integrated wind turbine design have been categorized and reviewed.

1. 서론

건축물의 형태는 사회경제학적 측면과 역사적이고 이론적인 맥락에 의해서 항상 강하게 영향을 받아왔다. 최근에는 친환경적인 추세와 복합학제적인 협력으로 건축물의 디자인이 새로운 혁신의 기회를 얻고 있다. 그 중의 하나가 건축물이 풍력과 접목이 된 건물 일체형 풍력 시스템이다.

건물일체형 풍력 시스템(building-integrated wind turbine, BIWT 또는 building-augmented wind turbine, BAWT)은 인조환경 안으로 통합된 풍력 터빈을 가리키는 용어로서 건물에 부착되거나 건물과 하나가 되는 경우를 모두 포함한다.¹⁾²⁾

건물과 풍력을 통합하는 생각은 새로운 것이 아니며, 역사적으로 많은 풍차, 풍력에 의한 수차 등이 있었다. 그러나, 이런 풍차들은 주로 농촌 지역에 주로 위치했으며 풍차의 높이를 늘리는 것 외에는 다른 풍속할증 기술을 포함하고 있지 않았다.

또한 건물일체형 풍력터빈은 건물 설계와 불가분의 관계이므로, 건축가가 설계 초기 단계인 개념 설계(schematic design or conceptual design)부터 고려하지 않으면 건축물에 풍력터빈을 추가하기가 어렵다. 이는 풍력터빈의 효율뿐만 아니라 건축의 기능, 구조, 미에 부합되어야 함을 의미한다.

따라서, 본 연구에서는 건물과 풍력터빈을 일체화시킨 기존 디자인에 대하여 건축적 관점에서 검토하고 분석하고자 한다.

2. 건물 일체형 풍력발전 시스템

2.1 풍력 발전의 기초 이론

바람으로부터 추출하여 이용할 수 있는 일률 또는 출력(power)은 식 (1)과 같다.

$$P_e = C_p \times \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (1)$$

여기서,

P_e 는 풍력 터빈의 일률(또는 출력) [W]

C_p 는 풍력 터빈의 출력계수 [무차원]

ρ 는 공기의 밀도 [kg/m³]

A 는 풍력터빈의 수평면적 [m²]

v 는 풍속 [m/s]

식 (1)이 시사하는 점은, 풍력터빈의 출력은 터빈의 출력계수와 크기에 선형적으로 비례하지만 풍속에 대해서는 제곱에 비례한다는 것이다. 이는 또한 터빈의 외부 환경으로서의 풍속이 매우 중요함을 의미한다.

건물 주변의 풍속은 여러 가지에 의해서 변하지만 기본적으로 질량 보존의 법칙에 의해서 바람의 질량유량은 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$\rho A v = \rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 \quad (2)$$

* 국립군산대학교 건축공학과
E-mail : solarview@kunsan.ac.kr

여기서, 첨자 1은 터빈의 풍상측을, 첨자 2는 터빈의 풍하측을 가리킨다.

식 (2)에 의하면, 터빈의 전후로 바람이 통과하는 단면적이 변하면 풍속이 변하는 것을 알 수 있다. 이것은 건물의 형상 설계에 있어서 단면적의 변화를 주면 풍속의 변화를 가져올 수 있다. 만약, 건물 설계에 의해서 단면적이 25% 감소되면 풍속이 25%정도 증가하게 되고 식 (1)에 의해서 동일한 터빈에 대하여 약 2배의 출력 증가가 이루어진다.

풍속은 또한 지표면과의 마찰에 의해서 감소되며, 식 (3)과 같이 지표면으로부터의 높이에 따라 달라진다.

$$v_z = v_h \left(\frac{z}{h} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (3)$$

여기서,

v_z 는 지상으로부터의 높이 z 에서의 풍속 [m/s]

v_h 는 지상으로부터의 높이 h 에서의 풍속 [m/s]

n 은 멱지수 [무차원]

식 (3)은 지상으로부터의 높이가 높을수록 풍속이 커진다는 것을 의미하므로, 건물이 높을수록 또는 동일 건물 내에서도 지붕과 같이 높은 곳일수록 풍속이 커져 터빈의 출력에 유리하다는 것을 의미한다. 이는 많은 사례가 고층 건물 혹은 초고층 건물 설계라는 점과 건물의 옥상을 활용한다는 점에서 쉽게 입증된다.

2.2 건물 일체형 풍력 터빈의 분류

건물일체형 풍력 터빈에 관한 연구는 건물과 터빈과의 관계를 중심으로, 그 관계가 어떻게 설정되었느냐에 따라 풍력 터빈의 효율이 얼마나 증가하는지에 집중되어 있다. 건물과 풍력 터빈과의 관계 설정에 있어서는 연구자에 따라 다르며, 그 차이는 분류의 관점 차이이다.

Mertens²⁾는 Fig. 1과 같이 공역학적인 운전 원리에 따라서 건물일체형 풍력터빈을 건물부착형, 익형건물 사이 설치형, 건물 관통형 등 3가지 유형으로 분류하여 성능을 분석하였다.

Stankovic et al³⁾은 Fig. 2와 같이 풍력터빈의 설치 위치에 따라 옥상 설치형, 원형 옥상 설치형, 원형 옥상의 집풍장치형, 건물 정면의 각형 집풍장치형, 건물 정면의 원형 집풍장치형, 건물측면 설치형, 건물사이 설치형 등 6가지 유형으로 분류하였다.

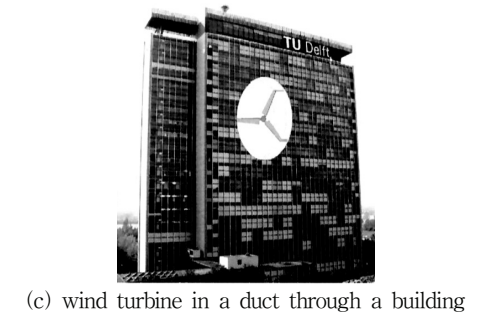
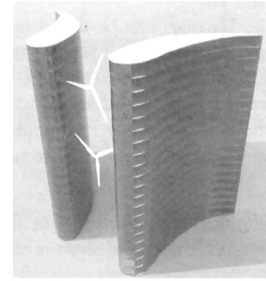
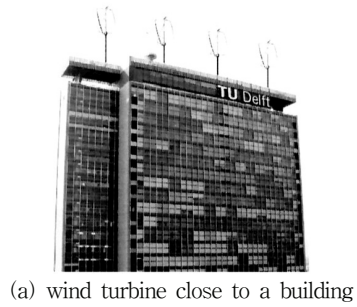
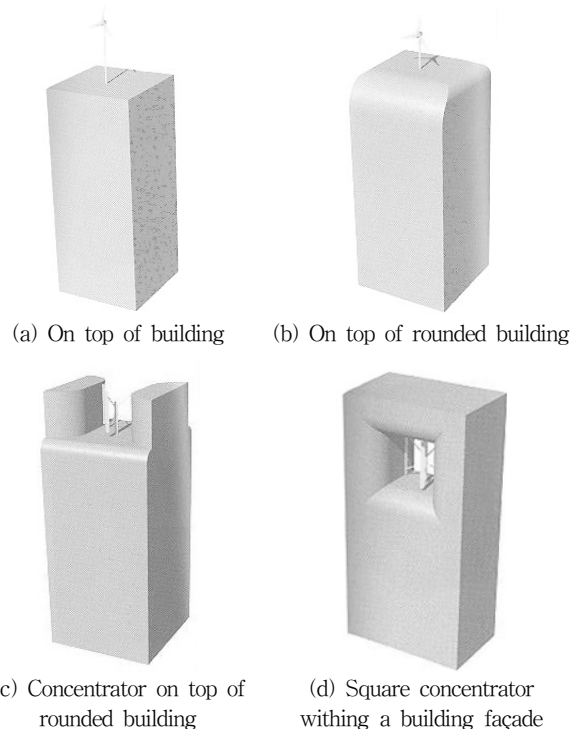


Fig. 1 Three basic BAWT configuration



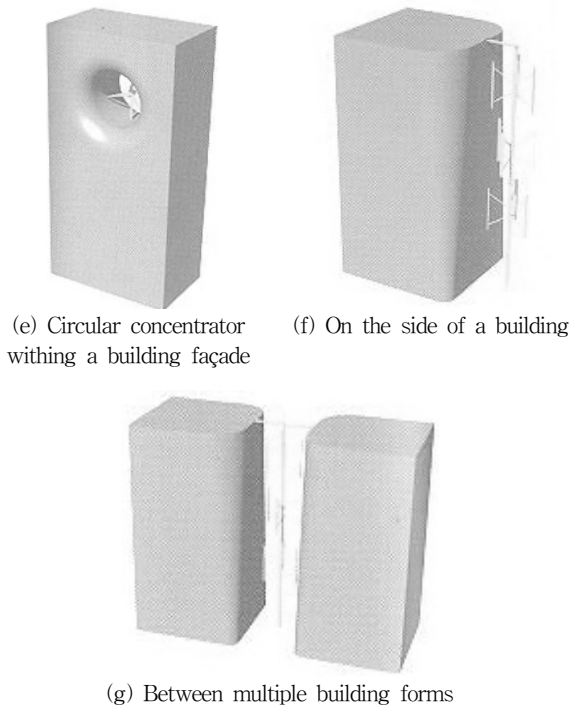


Fig. 2 Generic options for building-integrated wind turbines

이 분류는 Stankovic의 분류보다 건물 모서리 부분의 곡면 처리 여부에 따라 더 세분하였다. 즉, 건물 부착형의 풍력 터빈을 건물의 옥상 설치형과 측면 설치형으로 나누었으며, 여기에서 모서리 부분을 곡면 처리 여부에 따라 원형 옥상 설치형으로 세분하였다. 또한 건물 관통형 풍력터빈을 각형의 집풍장치형 터빈과 원형의 집풍장치형 터빈으로 형상에 따라 세분하였다.

모서리의 곡면 처리는 공역학적으로 난류의 발생을 억제하며 풍속을 증가시키는 장점이 있으나, 건축적 측면에서는 활용할 수 없는 공간(dead space)이 많아지며, 시공상의 어려움이 증가하여, 공사비가 증가하는 단점이 되기도 한다. 또한 풍속이 증가한 곳은 강제 대류에 의한 열손실이 증가할 수 있으므로, 건축물의 단열이 더 필요하게 된다.

건물 관통형 풍력 터빈은 풍속 할증이 가장 많은 측면이 있으나, 건축적으로 활용할 수 없는 공간이 많아지게 되고, 임대면적이 감소하게 된다. 터빈이 있는 공간은 외기에 노출되므로 열손실 면적이 획기적으로 증가하게 된다.

3. 건물 일체형 풍력터빈 디자인 사례 분석

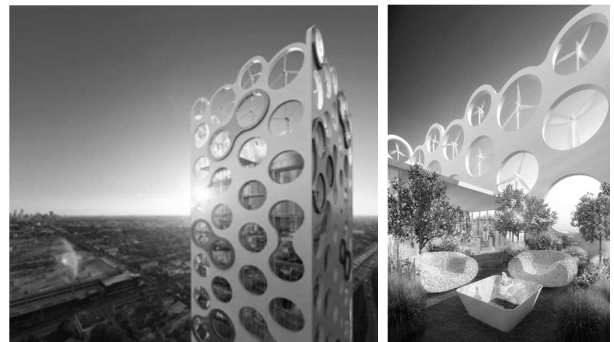
최근 친환경 건축의 일환으로 풍력을 이용한 건축물의 설계가 늘어나고 있으나, 다른 건축물에 비하여 상대적으로 그 사례가 많지 않아 일반화할 수 없으나, 공역학적 관점에 분류하고 건축 디자인 관점에서 분석하고자 한다.

3.1 건물 부착형 풍력터빈

건물 부착형 풍력터빈은 Fig. 3과 같이 건물의 옥상 또는 측면에 설치한 것으로, Fig. 3(a)과 3(c)처럼 단순히 풍력터빈을 건물의 옥상에 설치한 것으로부터 Fig. 3(b)과 3(d)처럼 터빈의 지지를 건축적으로 디자인하여 설치한 것도 있다. 특히 Fig. 3(b)는 터빈의 지지대가 원형으로 건물 전체 외관 디자인에도 동일하게 반복 적용하고 있다. Fig. 3(c)는 건물 옥상에 풍력터빈뿐만 아니라, 옥상의 경사를 이용하여 태양 열도 활용한 사례이다.



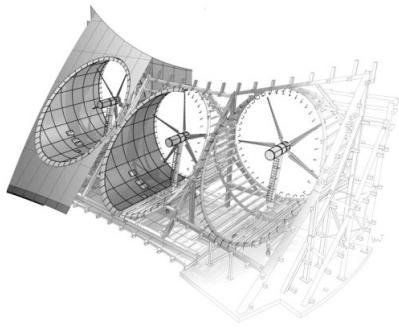
(a) Logan airport, Boston



(b) COR Tower, Miami



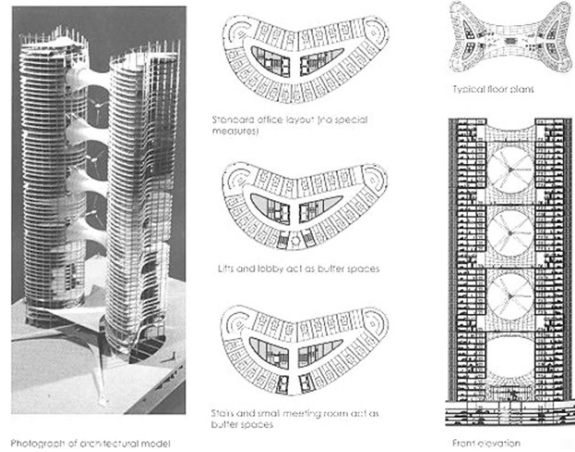
(c) The Green Building, Macintosh Village, Manchester



(d) Strata EL, London



(a) The Bahrain World Trade Centre



(b) Project WEB-ibk2

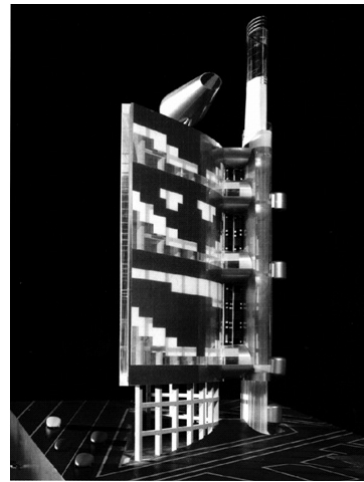
Fig. 3 Wind turbines close to a building

3.2 건물 사이 설치형 풍력터빈

건물 사이에 설치형 풍력터빈은 Fig. 4와 같이 두 동(棟)의 건물 혹은 건물 자체에 의한 집풍효과를 이용한 것으로 Fig. 4(a)는 세계 최초의 건물일체형 풍력터빈으로 알려져 있다. 이 터빈은 연간 1100~1300MWh를 생산하여 건물에서 필요한 에너지의 약 11~15%를 공급한다.

지표면에 가까운 곳의 풍속은 높은 곳의 풍속에 비하여 느리나, 두 동의 형상에 있어서 아래가 넓고 위가 좁은 것은 삼각형 형태로 설계함으로써 세 개의 터빈이 거의 동일한 풍속을 얻도록 하였다. 그러나, 하나의 건물이 두 동으로 분리되어 수평적으로 이동할 방법이 없다.

Fig. 4(b)²⁾는 풍향이 변화하는 것까지 고려하여 설계한 것으로 두 동의 형상이 콩팥처럼 되어 있으며, 방향이 거의 90도에 가까워도 터빈이 회전할 수 있게 설계하였다. 또한 두 동 사이를 수평적으로 왕래할 수 있도록 터빈의 지지대를 통로로 설계하였음을 알 수 있다. 건물의 외관이 둥근 콩팥 모양이나, 건물의 규모가 커서 건물 외주부에 배치한 각 실들에는 사공간이 적다. 또한 수직 동선을 위한 승강기와 계단실 그리고 파이프샤프트 등이 집약된 코어부분은 복잡한 평면 안에서 소화함으로써 쓸모없는 공간을 최소화하였다.



(c) wind turbine in a duct through a building

Fig. 4 Wind turbine between airfoil-shaped buildings

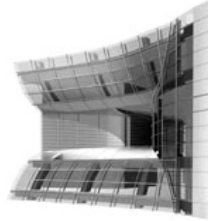
Fig. 4(c)는 본동과 수직 동선을 분리하여 그 사이에 풍력터빈을 설치한 예이다. 본동의 형상은 풍속을 할증할 수 있도록 곡면으로 설계되었다. 건물의 규모가 크지 않음에도 불구하고 풍력터빈을 활용할 수 있도록 설계된 것이 특기할만하다.

3.3 건물 관통형 풍력터빈

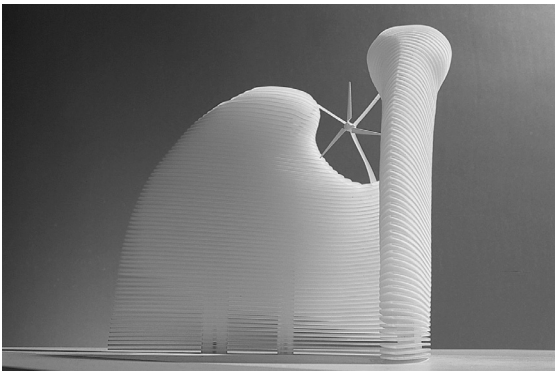
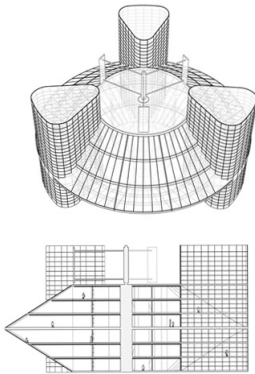
건물 관통형 풍력터빈(wind turbine in a duct through



(a) Pearl River tower



(b) High-Rise Integration, Syracuse University



(c) Ventiform

Fig. 5 wind turbine in a duct through a building

a building)은, 바람을 맞는 건물의 정면부와 그렇지 않는 건물 후면부 사이의 압력차와 건물을 관통하는 곳의 면적이 작아서 생기는 집풍효과로 동작하게 된다.

Fig. 5(a)는 건물의 정면부에 앞뒤로 관통하는 바람길을 만들고, 그 사이에 풍력터빈을 설치한 사례이다. 풍속할증 효과를 높이기 위해서 건물 입면을 수직으로 설계하지 않고 바람길 쪽으로 굽어 들어가는 형태로 설계가 되었다.

Fig. 5(b)는 단면이 주판알처럼 바깥쪽은 좁고 가늘고 안쪽은 넓고 굽은 형태이며, 세 개의 주각에 의해서 지지되는 모양이다. 이는 바깥쪽의 수풍면적이 안쪽의 수풍면적보다

넓어서 바람이 안쪽을 통과할 때 많은 풍속할증효과를 얻을 수 있다. 반면에 바닥 면적은 좁아지고, 활용할 수 없는 공간도 증가한다. 주각은 단순히 지지대의 역할만 수행하는 것이 아니라, 수직 동선을 담당하도록 되어있다.

Fig. 5(c)는 양 팔을 벌려 바람을 안는 형상으로 되어 있으며 그 정점에 바람길이 위치하고 그 곳에 풍력 터빈이 설치된 설계안이다. 건물 사이 설치형 풍력 터빈의 성격을 많이 가지고 있다.

4. 결 론

건축물과 풍력 터빈이 통합된 사례 분석을 통한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 풍력발전 기초 이론식의 고찰로부터 풍력터빈의 효율의 관점에서 보면 고층건물 또는 초고층 건물에 풍력터빈을 디자인하는 것이 공역학적으로 유리할 것으로 판단된다. 많은 건물일체형 풍력시스템이 고층건물 위주로 설계되고 있음을 설계사례를 통하여 확인할 수 있었다.
- 2) 여러 건물일체형 풍력시스템에 대하여 분류하고 고찰되었다. 실제 설계안에 있어서는 특정 유형에 속한다고 규정할 수 없으며 공역학적인 요구와 건축적 요구가 결합되어 새로 디자인이 나오는 경우도 있다.
- 3) 바닥면적의 최대화, 활용할 수 없는 공간의 최소화, 수직 동선과 수평 동선의 확보와 같은 건축적인 요구 사항이 풍속할증 효과를 위해서 제한될 수 있으며, 그 반대의 경우도 발생한다.
- 4) 실제 건축물의 설계와 시공의 사례가 많이 발생한다면, 복합학제적인 검토와 분석이 수행되어야 할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다 (No. 2009T100100576).

참고문헌

- (1) Duttonm A. G. et al, 2005, "The Feasibility of Building-Mounted/Integrated Wind Turbines," CCLRC, pp. 22~25.
- (2) Stankovic, S. et al, 2009, Urban Wind Energy, earthscan, pp. 144~179.
- (3) Mertens S., 2006, "Wind Energy in the Built Environment," Multi-Science, Brentwood, pp. 65~138.
- (4) Pelken, P. M. et al, "Vertical Axis Wind Turbines integrated in High-Rise Structures," <http://soa.syr.edu/>

index.php?id=3385.

- (5) Bianchi, F. D. et al, 2007, "Wind Turbine Control Systems," Springer, pp. 1~45.
- (6) Hansen, M.O.L., 2008, "Aerodynamics of Wind Turbines," 2nd Ed., Earthscan, pp. 18~44.
- (7) Lu, L. and Ip, K.Y., 2009, "Investigation on the feasibility and enhancement methods of wind power utilization in high-rise buildings of Hong Kong," *Renewable & Sustainable Energy Reiviews*, pp. 450~461.
- (8) Cochran, B.C. and Damiani, R. R., 2008, "Harvesting Wind Power from Tall Buildings," *WindPower 2008*, Houston, June 2-4.
- (9) Muller, R. et al, 2009, "Vertical axis resistance type wind turbines for use in buildings," *Renewable Energy*, v. 34, pp. 1407~1412.