

공동주택에서 풍력발전시스템의 적용 사례에 관한 연구

강소연*, 박진철**, 경남호***

* (주) 한일엠이씨 (soyeon.kang@himec.co.kr)

** 경민대학 건축과 부교수(jcpark@kyungmin.ac.kr)

*** 한국에너지기술연구원 선임연구원(nhkyong@kier.re.kr)

A Case Study on the Application of Wind Power System in Apartment Housing

So-Yeon Kang*, Jin-Chul Park**, Nam-Ho Kyung***

* Hanil MEC. CO.(soyeon.kang@himec.co.kr)

** Kyungmin College(jcpark@kyungmin.ac.kr)

*** Korea Institute of Energy Research(nhkyong@kier.re.kr)

Abstract

This study aims to present the applicability of wind turbine generator system to urban buildings for the utilization of clean renewable energy. The results are as follows; According to the wind resource analysis, it has been found that small sized wind power system can be viable for buildings application due to the amplification of wind velocity around buildings or building clusters, in spite of low mean velocity of 2-3m/s in Seoul and Kyunggi urban areas. But planners must perform micrositing analysis around building so that wind turbine can be located at high velocity zones. The system must be designed to avoid obstacles preventing prevailing wind in buildings. It should be recognized that wind speeds are changing depending on the height and length from buildings. The wind power system can be used as a symbol of landmark which shows a sustainable architecture from the scenery itself. A case study for apartment building in urban showed that wind power systems can be applicable in two kinds of place, rooftops and ground levels. Especially, the wind power systems must be carefully positioned so that wind resources do not decrease when it is installed at ground levels.

기호설명

V_x : 높이 x m로 보정된 풍속, V_a : 각 측후소에서 관측된 풍속, H_x : 보정높이인 x m

H_a : 각 측후소의 풍속 관측높이, \bar{V} : 평균풍속

V' : 변동율(perturbation from the mean)

σ^2 : 12 개월동안의 월평균풍속의 표준편차

ρ : 그 지역의 공기밀도(1.225kg/m³)

1. 서론

최근 우리 사회는 지구에너지의 고갈 및 환경오염 등의 문제에 직면해 있다. 대체에너지 중 풍력에너지는 무공해, 무한정의 바람을 이용하므로 환경에 미치는 영향이 거의 없어 청정에너지로서 각광을 받고 있어 유럽, 미국 등 선진국을 중심으로 전력을 생산하는 발전에너지로 널리 이용되고 있다. 대부분의 풍력발전은 바람의 자원이 풍부한 해안지대 등을 중심으로 대형화에 편중되어 있었지만, 최근에는 기기성능의 향상으로 도심건축물에 적용 가능한 소형 풍력발전시스템의 사용이 선진국을 중심으로 점차 증가하고 있는 추세이다.

따라서, 본 연구는 대체에너지이며 청정에너지인 풍력을 이용한 발전시스템을 공동주택에 적용시키고자 하는 것으로 다음과 같은 단계적 연구를 수행하였다. 즉, 먼저 풍력발전적용

의 전제조건으로 건물 주변의 국지적 풍황과 풍력자원을 분석하였다. 그리고 풍력발전시스템을 공동주택에 적용하는데 있어 여러 장애요소들을 검토하였다. 또한, 공동주택에서 풍력발전의 사용 방안을 Case Study를 통하여 제안하였다. 따라서, 이 연구의 목적은 궁극적으로 에너지절약 뿐만 아니라 지구환경오염으로부터 벗어난 쾌적하고 청정한 환경을 창출하고자 하였다.

2. 풍력발전시스템 특성

풍력발전이란 공기의 유동을 가진 운동에너지의 공기역학적특성을 이용하여 회전자를 회전시켜 기계적 에너지로 변환시키고 이 기계적 에너지로 전기를 얻는 기술이다. 이와 같은 풍력 발전은 무공해와 무한정의 자원으로 특히, 그 차지하는 면적 비율은 전체면적의 1%정도로 국토를 매우 효율적으로 이용할 수

있고 대체에너지 중 가장 저렴한 비용으로 전기를 얻는다는 장점 때문에 현재 전 세계적으로 가장 각광받는 에너지원 중 하나로서 사용되고 있다. 또한, 발전단가도 가장 적어 다른 발전 방식과 경쟁이 충분히 가능하다고 한다 .

3. 건축물 주위의 국지적 풍황 분석

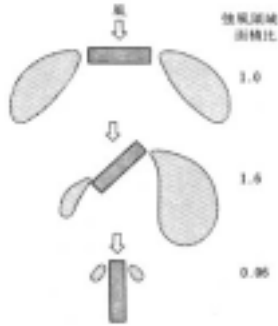


그림 1 강풍영역 면적비

그림 1은 각도에 따른 강풍영역의 크기를 나타낸 것으로 정면보다 경사 방향으로 바람이 불 때 바람의 편향으로 인하여 더욱 큰 강풍영역이 형성되고 있으며, 하단의 경우에는 강풍 영역은 큰폭으로 줄어드는 것을 보여주고 있다.

가장 간단한 정육면체의 단독 건물에 정면으로 바람이 불어 올 경우, 건물의 모든 면에서 재순환 영역이 발생하는데 후면의 재순환 영역은 측면을 포함하여 크기가 가장 크고 전면에는 별도의 재순환 영역이 발생한다. 그리고, 건물의 높이가 높을수록 상부의 강한 풍속을 가진 유선은 하부로 강하하여 건물의 측면에 강풍 영역을 형성한다.

그림 2, 3은 건물의 높이와 폭이 같은 건물 형태에 대해 바람의 방향에 따라서 건물 주변 지역의 풍속분포를 풍동에서 모형 실험한 결과를 도시한 것이다. 그림 1과 마찬가지로 건물측면의 타원형 모양의 강풍지역이 발생하고 있었고 풍속 증가율은 건물이 없을 때에 비해 10%-20%(풍력 에너지는 30%-70%)정도 상승되어 있다. 특히, 그림 3의 45도 경사각으로 바람이 불어 올 때로 건물 우측부에는 대단히 큰 강풍지역이 발생하며 20%이상 풍속이 증가하는 영역도 그림 1에 비해 대단히 크다. 반면에 좌측부분에는 강풍 지역이 감소하고 있다. 한편, 그림 4는 건물측면으로 불어오는 바람형태를 나타낸 것으로 유선형에 가까운 형태를 가지고 있어서 강풍지역을 발견하기 어렵다.

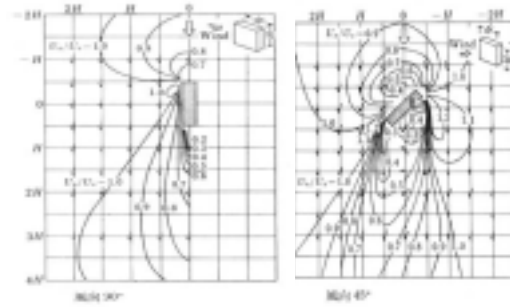


그림 2. 일반 건물에서 측면으로 바람이 불어 올 때의 풍속분포
그림 3. 일반 건물에서 경사면으로 바람이 불어 올 때의 풍속분포

4. 풍력자원분석

풍력발전시스템을 적용하기 위해서는 지역별 풍속과 풍향 등의 풍력자원 분석이 먼저 필수적으로 수행되어야 하므로 본 연구에서는 서울지역을 포함하여 전국 측/관측소에서 측정된 풍속·풍향 자료를 수집 분석하였다.

즉, 우리나라는 지리적으로 대륙과 대양의 사이에 위치하고 있어 계절풍의 영향을 받고 있는데, 여름과 초 가을 사이에 태풍이 불어오지만 이 기간동안 월평균풍속은 가장 작게 그러나 겨울과 초 봄에 이르기까지 가장 크게 나타나고 있었다.

5. 풍력발전시스템의 건물적용시 검토사항

5.1 건물의 주동배치형태에 따른 풍황분석

풍력발전시스템의 건물 설치방식은 크게 옥상설치와 단지 외부공간설치로 두 가지로 분류할 수 있는데 옥상에 설치시에는 풍속이 층수가 높아질수록 상승되는 바람의 지수법칙을 적용시킬 수 있지만 단지외부공간에는 다음과 같이 주동의 배치형태를 일렬배치, L 형배치, 평행배치 등으로 분류 하여 각 배치형태에 따른 풍력발전의 설치지역을 찾아야 할 것이다.

(1) 일렬배치시

일렬배치시는 전면에서 바람이 불어오는 경우 측면부에 1.2배로 풍속이 상승하는 구역이 발생하며 이 구역에 풍력발전시스템의 적용이 가능하다. 건물후면부의 경우 0.3-0.4배로 유입 풍속에 비해 풍속이 현격히 저하되므로 풍력발전시스템의 설치가 불가능하다.

(2) 평행배치시

건물의 평행배치시 바람의 유입방향에 따른 풍속분포는 건물측면의 2H 까지는 바람의 유입속도의 1.2배까지 풍속이 상승하고 건물후면부의 경우 0.5배이하로 저하되므로 이 지역의 설치는 불가능할것으로 분석되었다.

(3) L 형배치시

L형배치는 직각배치형태로서 바람이 전면으로 유입되는 경우와 45°로 유입되는 경우로 나눌 수 있는데 전면으로 유입되는 경우 건물 주변에서 유입속도의 1.1-1.2배의 풍속을 나타내어 설치가능하지만 건물후면과 전면부, 건물과 건물사이부분은 풍속저하역으로 나타났다. 45°로 유입되는 경우 또한 건물말단부의 2H까지 1.2배로 풍속상승구역이 나타나고 있어 이 부분을 제외한 나머지부분은 설치가 불가능한 풍속저하역으로 분석되었다.

5.2 장애물

건물이나 나무 그밖의 구조물과 같은 장애물은 downstream 방향으로 바람을 감소시키고 주위에 turbulence를 일으키는데 turbulence는 물체의 앞쪽보다 뒤쪽에 현저히 나타나므로 풍력발전설치시 주풍향방향 앞쪽의 장애물은 피해야 한다. 특히 장애물에 의한 풍속의 감소는 그 높이와 길이에 따라 증가하므로 이에 대한 고려가 뒤따라야 할 것이다.

5.3 언덕 및 터널효과

일반적으로 풍력발전의 설치는 주변환경이 한눈에 내려다 보이는 언덕에 위치하는데 이는 주풍향방향에 대하여 넓게 보이는 이점 때문이다. 그러나, 바람이 언덕에 도달하게 되면 표면거칠기가 고르지 못하고 많은 turbulence가 발생하므로 언덕정상에 설치할 경우에는 이러한 점을 고려하여야한다. 한편, 큰산이나 빌딩사이의 바람은 공기가 압축되어 바람이 현저하게 증가한다.

5.4 소음 및 진동

풍력발전의 소음은 크게 공기역학적 소음과 기계적소음으로 나눌수 있다. 공기역학적 소음은 바람이 블레이드를 통과하면서 발생한다. 보통 대형풍력발전단지는 교외의 소음과 관계없는 지역에 위치하므로 큰 문제가 되지 않지만 거주영역과 가까운 곳에 위치한 소형풍력발전기의 소음은 검토의 대상이 되었다. 그러나, 최근 기술의 급격한 발달로 풍력발전기의 소음은 크게 감소하여 블레이드의 소음은 5dB 이하이고 현재 상용화되어있는 일반적인 소형 풍력발전기는 약 53-55dB정도로 공동주택내 소음기준과 비슷한 수준을 나타내고 있어 주변지역에 큰 소음장해를 일으키지는 않는 것으로 나타났다.

5.5 하중

풍력발전시스템은 적재하중으로 분류될 수 있는데 기초면적 1㎡당 하중을 고려하여 시스템의 선정이 이루어져야 한다. 일반적으로 소

형인 경우 약 20kW급인 경우 기초면적 7.5㎡, 2ton이며 266kg/㎡으로 나타나, 공동주택의 적재하중 산정시 가장 큰 하중부담을 갖는 냉각탑 1.5ton과도 비슷한 수준을 나타냄으로써 공동주택 옥상에 풍력발전을 적용시 기둥과 보 또는 슬라브의 보강 등은 필요치 않는 것으로 판단되었다.

5.6 전파장해

풍력발전기의 금속로터블레이드는 전파에 영향을 미쳐 주변의 전자기신호가 블레이드의 통과주파수에 장해를 일으킬 수 있다. 그러나, 주로 대형풍력발전기인 경우 금속재질의 블레이드로 인하여 전파장해를 초래할 수 있는데 반하여 소형인 경우, 최근 개발된 목재, fiberglass로 제작된 블레이드를 사용할 경우 전파장해 측면에서 문제가 없는 것으로 조사되었다.

5.7 경관

풍력발전기를 건물에 적용시 건물의 입면형상과 연계된 디자인전략이 필요하며 특히, 랜드마크적 역할도 할 수 있다. 최근, 풍력발전기는 그 형상만으로도 환경친화적인 이미지를 연상시켜 친 환경주거단지로서의 성격부여에 큰 역할을 할수 있으며 특히, 건물내 거주자들에게 환경친화에 관한 교육 및 홍보 등의 효과를 발휘할 수 있다.

6. Case Study

본 연구에서는 풍력발전시스템을 건축물에 적용시키기 위하여 특히, 공동주택단지를 대상으로 Case study를 실시하였다. Case study의 공동주택 단지는 풍력발전의 입지 조건이 비교적 양호한 경사지에 위치한 경기도에 위치한 24평형의 단위세대로 구성되는 17-20층형의 11개동 1000세대를 선정하였다.

6.1 대지현황분석

최근 환경문제에 대한 관심이 고조됨에 따라 친환경설계적 접근방법이 중요한 요소로 적용된다. 본 공동주택은 주변의 자연경사지를 그대로 유지하여 남고북저로 배치함으로써 주풍향인 북서풍을 최대한 단지내로 도입하고 있는 상황이다(그림 4. 참조). 그림 5의 단지내 주동배치는 일렬배치 형태로 특히 중심부분에 난류가 발생할 수 있는 와류형성지역임을 알 수 있다.



그림 4. 대지 형상도



그림 5. 단지내 주동 배치 형태

6.2 풍력자원분석

풍력발전시스템을 적용하기 위해서는 지역별 풍속과 풍향 등의 풍력자원분석이 필수적으로 수행되어야 하므로 본 연구에서는 1991년부터 2001년까지 11년간의 기상대 측후소의 풍속관측 데이터를 적용하였다.

(1) 풍속분석

표 1. 대상지역 월평균 풍속

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
풍속 m/s	3.08	3.33	3.52	3.46	3.14	2.63	2.74	2.36	2.21	2.31	2.57	2.73

표 1.에서 알 수 있듯이 대상 공동주택의 월평균 풍속은 2.84m/s 크기로 특히, 1월부터 5월까지 평균 3.3m/s의 분포를 보이고 있었다. 이와 같은 값을 건물높이에 따라 상승하는 풍속의 보정법칙을 사용하여 계산하면 다음과 같다. 즉, 바람이 높이에 따라 그 속도가 달라지고 있음에 높은고도에서 보다 정확한 값을 얻기 위하여 가장 많이 사용되고 있는 power law의 식 1을 이용하였다.

$$V_x = V_a \left(\frac{H_x}{H_a} \right)^n \quad (\text{식 1})$$

여기에서 n 은 지표면의 형상에 따라 결정되는 지수로서 일반적으로 평원이나 해안에서는 0.1~0.14, 전원에서는 0.17-0.25, 시가지에서는 0.25-0.5의 값을 갖는다. 본 연구에서는 각 건물의 층고를 2.6m로 하였고 총 높이에 10m를 가산하여 계산하였고, n 을 0.30로 입력하여 풍속데이터를 보정하였다.

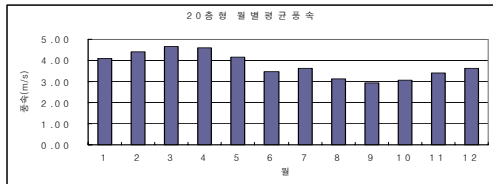


그림 6. 20층 건물높이에서의 월평균 풍속

따라서, 본 대상 공동 주택이 17층부터 20층까지 구성된 점을 고려하여 건물높이는 20층을 기준으로 산정한 풍속값은 그림 7과 같다. 즉, 그림 6.은 20층 건물높이의 월별 평균 풍속변화는 나타낸 것으로 9월을 제외한 모든 기간에 3m/s를 초과하고 있었으며 특히, 1월부터 5월까지 평균 4.4m/s 높은 풍속값을 나

타내고 있음을 알 수 있었다.

(2) 풍력에너지밀도분석결과

풍력에너지 밀도도 마찬가지로 지상 고도가 증가함에 따라 다음과 같이 산정되었다. 즉, 합계에 기초한 식 2를 사용하였다.

$$P_a = \frac{1}{2} \rho (\bar{V}^3 + 3\bar{V}\sigma^2) \quad (\text{식 2})$$

여기서 실제 풍속 $V = \bar{V} + V'$ 로 표현되고 $V' = 3\bar{V}\sigma^2$ 이며, 표 2는 20층 공동주택 높이에서 풍력에너지밀도 분석결과를 나타낸 것으로 평균 52.61W/m²이상의 비교적 높은분포도를 나타냈고 특히 3월과 4월에 약 80W/m² 이상의 높은 분포도를 보였다.

표 2. 풍력에너지밀도

	최대 (m/s)	평균 (m/s)	표준 편차	분산	변동율 (%)	풍력에너지 밀도(W/m ²)
1월	20.07	4.08	2.60	6.78	63.80	61.19
2월	17.15	4.41	2.77	7.65	62.73	74.94
3월	19.21	4.67	2.76	7.62	59.10	86.06
4월	22.29	4.59	2.91	8.45	63.33	83.77
5월	17.15	4.16	2.67	7.12	64.12	64.55
6월	15.95	3.48	2.31	5.33	66.31	40.64
7월	16.29	3.64	2.54	6.43	69.74	46.37
8월	20.07	3.13	2.26	5.12	72.26	31.86
9월	19.21	2.93	2.13	4.52	72.69	26.79
10월	15.78	3.07	2.33	5.44	76.06	30.80
11월	17.15	3.41	2.39	5.70	70.07	39.15
12월	17.66	3.62	2.45	6.02	67.80	45.31
평균		3.77				52.61

6.3 풍력발전시스템의 공동주택 단지내 설치 계획

본 연구에서는 공동주택 단지 내에 풍력발전시스템 설치계획은 다음의 두 가지 방법으로 고려하였다. 즉, 한 가지는 풍력발전의 전제 조건 중 풍력에너지가 주변건물에 크게 영향을 받지 않고 풍력에너지 밀도 값도 우수한 20층 높이의 옥상에 설치하고자 하였다. 그리고 나머지 한 가지는 공동주택 단지 내 건물 배치 및 주위의 국지적 풍황에 따라 영향을 받는 단지 내 지상의 녹지공간에 설치하는 방법이다.

따라서, 이와같은 두가지 방식을 적용시키기 위하여 풍력발전시스템을 다음과 같이 선정하였다.

(1) 시스템 기종선택

풍력시스템의 기종선택은 공동주택 단지내 지상의 녹지공간에는 2m/s의 기동풍속에 적용할 수 있는 5kW급을 선정하였으며(표 3참조). 20층 높이의 공동주택옥상에는 풍속 및 에너지밀도 분석결과 지상보다 풍속이 높게 예측되어 10kW급의 제품을 각각 선정하였다(표 4.

참조).

표 3. 지상층 녹지지역의 적용시스템 사양(5 KW)

specification	5 kW
Start Up Wind Speed	3.5 m/s
Rated Wind Speed	14 m/s
Rated Power	5kW
Rotor Diameter	5.1 m
Weight	250kg
Blade Material	Pultruded Fibreglass





표 4. 공동주택 옥상 20층 높이의 적용 시스템 사양

specification	10kW
Start Up Wind Speed	4.0 m/s
Rated Wind Speed	14 m/s
Rated Power	10kW
Rotor Diameter	7 m
Weight	500kg
Blade Material	Pultruded Fibreglass



(2) 풍력시스템 설치계획

가) 공동주택 단지 내 옥상설치

바람은 건물높이가 높을 수록 상부에 강한 풍속을 가지므로 공동주택 단지의 20층 건물 높이에서의 풍속 및 에너지밀도는 평균풍속 3.77m/s, 최대풍속 22.29m/s로 산정되었고, 이에 따라 비교적 기동풍속과 정격풍속이 높은 10kW급을 선정(표 4.참조) 하여 다음과 같이 설치하였다(그림 7, 8.참조).



그림 7. 단지내옥상풍력발전배치계획(10KW)

즉, 공동주택 단지내 20층 옥상에서의 풍력발전시스템 설치는 10kW급 기기의 로터길이는 주풍향에 대한 종열 이격거리 5-9RD(Rotor Diameter)를 고려하여 산정한 결과 7m 이므로 총 약 35-49m정도의 이격거리를 유지해야 한

다. 따라서, 이와같은 이격거리를 고려하여 본 연구의 대상인 공동주택 단지내 옥상 전체의 최대설치가능대수 약 15대로 산정되었다. 이때, 풍력발전을 이용한 연간최대 전력량은 89499.3kWh(5966.62 * 15)이다.



그림 8. 20층 옥상에 설치된 풍력발전기 입면(10 KW)

나) 공동주택 단지내 지상 녹지지역 설치

① Zoning

공동주택 단지의 지상층 녹지지역의 풍력발전 설치는 앞절의 옥상과는 달리 여러 가지 변수 등 국지적 풍황에 따라 장애현상이 발생할 수 있으므로 다음과 같이 쥬닝(Zone 1과 Zone 2로 구분)을 하였다. 즉, 공동주택 단지의 중심축부분은 난류가 심하게 발생할 수 있는 와류형성지역으로서 풍속을 저해 할 수 있어 이 지역을 중심으로 두개의 Zone으로 구분하였다(그림 9. 참조).



그림 9. 두 개의 Zone으로 분할

② 설치 가능지역 분석

본 연구의 공동주택 단지의 배치는 일렬 배치형태를 띄고 있으며 특히, 주동길이의 1/2배 내외에서 풍속이 1.2배까지 상승이 가능함을 고려하여 주동길이(H)의 1/2배 지역을 설치 가능지역으로 분석하였다.

③ 설치

앞절의 ①, ②의 항목을 고려하고 풍력발전시스템의 이격거리에 의하여 즉, 5 KW인 경우 Rotor Diameter 5.1m 을 적용하면 ZONE1

은 8대, ZONE 2는 6대로 총 14대가 예측되었다(그림 10. 참조).



그림 10. 공동주택 지상층 녹지지역의 풍력발전 배치도(5 KW)

이 때, 5kW급은 20층형 옥상에 설치한 10 KW급 보다는 풍속이 저하되고 전력량도 줄어들어 월별 전력생산량은 다음과 같다.

즉, ZONE 1의 연간 전력생산량 = $8 \times 1684.23 \text{ kW} = 13,473.82 \text{ kW}$

ZONE 2의 연간 전력생산량 = $6 \times 4409 \text{ kW} = 10,105.37 \text{ kW}$



그림 11. 공동주택 지상층 녹지지역에 설치된 풍력발전의 입면도(5 KW)

제 7장 결론

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 지역별 풍력자원 분석 결과, 우리나라의 경우 계절별 월평균 풍속은 여름과 초가을 사이가 가장 작게 그리고 겨울과 초봄에 이르기까지 가장 크게 나타났다. 이 때, 주풍향은 서풍향으로 밝혀졌고 특히, 서울 및 경기지역의 도심지역에서는 약 2-3m/s가 넘는 비교적 높은 평균풍속을 가지고 있어 소형풍력발전의 적용이 가능한 것을 확인하였다.

둘째, 건축물 주변의 국지적 풍황 분석 결과, 정면보다는 경사 방향으로 큰 강풍영역이 형성되는 것 등을 고려하여 풍력발전기의 배치

를 가급적 풍속상승이 높은 곳에 오도록 계획해야 한다.

셋째, 풍력발전설치시 주 풍향방향 앞쪽의 장애물은 가급적 피해야 하며 특히, 장애물에 의한 풍속의 감소는 건물높이와 길이에 따라 증가하므로 이에 대한 고려가 뒤따라야 할 것이다.

넷째, 풍력발전시스템은 최근 그 형상만으로도 환경친화적인 이미지를 연상시키고 랜드마크적 역할이 가능하여 건물에 적용시 건물의 입면형상과 연계된 디자인 전략이 필요함을 제시하였다.

다섯째, 1000세대 20층 규모의 공동주택단지내 풍력발전시스템을 적용시키기 위한 Case study 결과, 먼저 단지내 옥상에는 저층보다 풍속이 우수하여 소형 중에서도 10kW급의 설치를 제안하였다. 이 때, 설치댓수는 이격거리를 고려하여 단지내 전체에 총 15대가 설치되어 연간최대전력량 89,499.3kWh을 생산하는 것으로 나타났다. 그리고 단지의 지상층인 경우에는 옥상보다 풍속이 저하되어 5KW급의 소형을 설치하는데 특히, 앞절에서 수행한 풍황자료를 분석하여 단지내 풍력이 우수한 지역을 두개의 ZONE으로 구분하였다. 즉, 중앙의 난류발생 지역을 피하여 두개의 zone으로 나누어 마찬가지로 이격거리를 고려하면 ZONE-1은 8대, ZONE-2는 6대의 총 14대의 5 KW급 소형풍력발전이 설치될 수 있고 이 때 연별최대전력량은 23,579.19kW를 생산하는 것으로 나타났다.

따라서, 본 연구에서 수행한 풍력발전시스템의 건물적용과제는 오늘날, 우리에게 주어진 에너지보존과 지구환경오염 문제 해결, 더 나아가 우리의 생존과 직결되어 있음을 고려할 때 이에 대한 지속적인 연구개발 그리고 정책적, 제도적 장치 등의 뒷받침으로 계속 확대되어 21C 쾌적하고 건강한 주거환경을 창출하도록 해야 할 것이다.

참고문헌

1. 강소연, "공동주택단지내 풍력발전시스템의 적용방안에 관한연구", 중앙대학교 대학원, 석사학위 논문, 2002.
2. 박경호 외 2인, "국내의 풍력자원 특성 분석", 태양에너지학회지 제10권 2호, 1990.
3. 산업자원부, "풍력발전단지 건설 타당성 분석 연구", 1999.
4. Corbus, D., "Small Wind Turbine Testing and Applicatins Development", Wind Power '99, NREL, 1999.6
5. 木村建一 編. 建築環境學1, 2. 東京: 丸善株式會社, 1993.
6. 木村建一 編. 新建築學大系. 東京: 丸善株式會社, 1993.