

# 초고층 공동주택의 배기점용 소형풍력발전 적용을 위한 기초연구(1)

박정하\*, 김진우\*\*, 장호진\*\*\*, 박진철\*\*\*\*, 황정하\*\*\*\*\*

\*중앙대학교 대학원 건축학부(jhmlb@hanmail.net), \*\*중앙대학교 대학원 건축학부(kjw1226@nate.com),  
\*\*\*중앙대학교 대학원 건축학부(yellowsky794@naver.com), \*\*\*\*중앙대학교 건축학부(jincpark@cau.ac.kr)  
\*\*\*경북대학교 건축도시환경공학부(peter@knu.ac.kr)

## A Basic Study on Application of Small Wind Power System Combined Ventilator in Super High-rise Apartment (1)

Park, Jung-Ha\* Kim, Jin-Woo\*\* Jang, Ho-Jin\*\*\* Park, Jin-Chul\*\*\*\* Hwang, Jung-Ha\*\*\*\*\*

\*Dept. of Architecture, Graduate School, Chung Ang University(jhmlb@hanmail.net),  
\*Dept. of Architecture, Graduate School, Chung Ang University(kjw1226@nate.com),  
\*Dept. of Architecture, Graduate School, Chung Ang University(yellowsky794@naver.com),  
\*\*School of Architecture and Building Science, Chung Ang University(jincpark@cau.ac.kr),  
\*\*\*School of Architectural Eng. Kyungpook University(ccc@kses.re.kr)

### Abstract

Recently, high-rise apartment is being briskly built but there are problems such as lack of ventilation, stack effect and much energy consumption. Therefore It is recommended to develop a Small Wind Power System Combined Ventilator as a solution to solve these problems. The purpose of this study is to provide basis for Small Wind Power System Combined Ventilator in super high-rise apartment. This study conducted CFD simulation (Star-CCM) according to the shape of structures, building height and distance of two structures to identify the effect of wind speed increase when the structure is installed. As a result, pyramidal type was best suited for increase of wind speed. The best place was the front of the roof to main wind direction, and the best building height was 200m rather than 300m. If two or more small wind turbines combined ventilator are installed closely, vertical position to main wind direction is recommended. Horizontal position must necessarily be avoided, but height difference between two blades more than 3m showed good performance.

Keywords : 초고층 공동주택(High-rise Apartment), 소형 풍력 발전(Small Wind Power System), 신재생 에너지(Renewable Energy), CFD

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

최근 도시의 과밀화 등으로 초고층 건축물의 건축이 활발해지고 있다. 특히 우리나라에서는 주거형 초고층 건물의 건축이 활발하며, 2007년 현재 서울의 초고층 공동주택은 66개로서 현재 지어지고 있거나 계획 중인 건물을 포함하면 그 수는 더욱 늘어날 전망이다.<sup>1)</sup> 그러나 초고층 공동주택은 중·저층형의 주거용 건물에 비해 1인 혹은 세대당 2배 가까이 에너지 소비<sup>2)</sup>를 하게 되어 에너지 절약에 대한 대책이 필요한 실정이다. 또한 초고층 공동주택은 고층화에 따른 풍압 증가와 안전 등의 이유로 자연 환기를 할 수 없어 실내 환기의 대부분을 기계환기에 의존하여 환기 부족 등의 문제점 또한 발생하고 있다.

이에 따라 초고층 공동주택의 문제점을 해결하기 위한 방안으로서 많은 연구들이 수행되고 있으며, 최근에는 초고층 공동주택의 옥상 배기구에 풍력 발전 시스템을 설치하여 풍력발전으로 인한 에너지 절약효과를 얻고자 하는 방안이 건설 시공사와 풍력 발전기 설계 업체 등을 통해 시도되고 있다. 그러나 이는 아직 기초적 연구 단계에 머무르고 있으며, 특히 기존 배기풍만으로는 소형 풍력 발전을 위한 풍력을 충분히 얻을 수 없다. 따라서 자연풍을 최대한 이용한 소형풍력발전기를 설치하여 블레이드의 회전시키고, 이 회전에 의한 배기를 유도하고자 하는 배기 겸용 소형풍력발전 시스템의 개발이 필요하다.

본 연구는 자연풍을 최대한 이용하여 초고층 공동주택의 배기겸용 풍력발전 시스템이 설치되는 부분의 풍속을 증폭시킬 수 있는 구조체의 적합한 형태를 도출하고, 초고층 공동주택에 설치될 경우 건물 높이와 옥상 및 인

접배기구로부터의 위치, 주풍향으로부터의 방향에 따른 적용 가능성과 설치 방안을 고찰하여 초고층 공동주택의 배기 겸용 풍력발전 시스템 적용을 위한 연구의 기초자료로 활용하고자 한다.

### 1.2 연구 방법

본 연구는 초고층 공동주택에 배기겸용 소형 풍력발전 시스템의 적용을 위한 기초연구로서, 내용 및 방법을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 초고층 공동주택 옥상에 위치한 배기구 상단의 블레이드 설치부분의 풍속을 최대화할 수 있는 구조체의 형태를 파악하고자 CFD 시뮬레이션을 수행하였다.
- (2) 앞서 도출된 최적안을 건물에 적용하고자 건물 높이별, 설치위치별로 CFD 시뮬레이션을 실시하여 적용 가능성을 평가하였다.
- (3) 인접한 두 개이상의 배기구에 설치될 때의 상호간 간섭을 파악하고 이에 따른 설치 방안을 제시하고자 CFD 시뮬레이션을 실시하였다.

## 2. 이론적 고찰

초고층 공동주택의 정의와 배기겸용 소형 풍력발전 시스템에 대해 고찰하였으며, 각 내용은 다음과 같다.

### 2.1 초고층 공동주택

초고층 건물은 관점에 따라 상대적으로 정의되는 개념으로서, 지금까지 전 세계 공통으로 사용되는 정의는 없다. 초고층 도시주거협의회(CTBUH : Council on Tall Buildings and Urban Habitat)의 정의에 따르면 초고층 건물이란 높이 50층 이상, 세장비가 최소 5:1 이상인 건축물을 말하며, 우리나라에서도 건축법 시행령 제2조 15항에서 초고층 건물을 “층수가 50층 이상이거나 높이가 200m 이상

1) 김자경 외, 서울시 초고층 주거 건축의 특성 및 개선 방향에 관한 연구, 2008

2) The Sidney Morning Herald, 2006

인 건물”로 규정하고 있다. 따라서 일반적으로 초고층 건물은 50층 이상의 건물을 의미한다고 볼 수 있다.

그러나 이 정의는 주거용 건물이 아닌 모든 초고층 건물에 대한 정의로, 본 연구의 대상인 주거용 초고층 건물에 대해서는 정의를 다르게 할 필요가 있다. 2010년까지 우리나라에서 완공된 공동주택 중 50층 이상의 건물은 17개 동으로, 30층 이상의 주상복합 공동주택 87동 중에서 19.5%에 불과하다.

따라서 본 연구에서는 일반적으로 쓰이는 초고층 건물에 대한 정의와는 달리 초고층 공동주택의 범위를 30층 이상으로 정의하고 이에 해당하는 건물의 높이는 주거용 건물의 층고를 고려하여 100m 이상으로 선정 하였다.

## 2.2 배기겸용 소형풍력발전시스템

배기겸용 소형 풍력 발전시스템은 초고층 공동주택의 옥상에 위치하는 배기구 단부에 300W~1kW 급의 소형풍력 발전기를 설치하여 전력을 생산함과 동시에 소형풍력발전기의 블레이드의 회전이 배기구 내에 부압을 일으켜 배기 효과까지 얻을 수 있는 장치이다. (그림 1 참조)

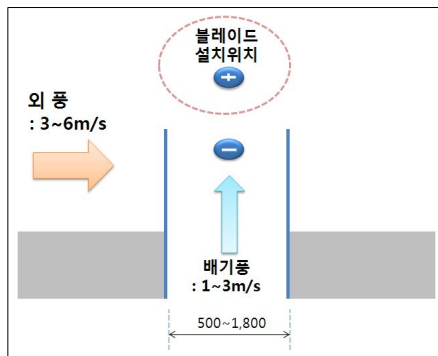


그림 1. 배기겸용 소형풍력발전의 개념

초고층 건물의 배기를 위한 수직 샤프트 공간은 크게 공용덕트 (주방, 욕실)와 연도(보일러, 발전기) 등이 있으며, 배기용 수직 공간의

종류나 용도에 따라 다양한 크기와 다른 특징을 갖는다.

그러나 초고층 공동주택의 수직 샤프트 공간 내 풍속은 공용 덕트의 경우 세대 내 후드 가동률에 따라 다소 차이는 있으나 0.5m/s~1.5m/s로 수직 배기 덕트내에서의 바람만을 이용한 소형 풍력 발전은 어려울 것으로 판단 된다. 따라서 배기겸용 소형풍력발전의 기동 및 운전을 위해서는 초고층 공동주택 옥상부의 자연풍을 구조체나 장치 등으로 유도하여 최대한 블레이드가 설치되는 부분에 이용할 수 있도록 해야 한다.

## 3. 풍속 증폭을 위한 구조체 CFD 시뮬레이션

### 3.1 구조체 모델링 및 시뮬레이션 개요

앞서 논의한 바와 같이, 초고층 공동주택의 배기겸용 소형풍력발전 시스템을 적용하기 위해서 배기 덕트 내에서의 바람을 이용하여 풍력 발전을 하는 것은 어려우므로 초고층 공동주택의 옥상면에서 부는 자연풍을 이용하여야 한다. 따라서 블레이드가 설치될 공간인 배기구 윗부분에 소형풍력 발전시스템의 블레이드가 기동할 수 있는 풍환경을 만들어 주어야 하며, 동력을 사용하지 않고 외부의 바람을 최대한으로 모을 수 있는 장치 혹은 구조체가 필요하다.

따라서 배기겸용 소형 풍력발전 시스템의 설치 위치 등을 고려하여 풍속 증폭에 필요한 디퓨저 설치 및 구조체의 형상을 6가지의 경우로 선정하였고 가장 풍속 증폭에 유리한 모델을 찾기 위한 CFD 시뮬레이션을 실시하였다.(표 1 참조)

CFD 해석은 비선형 미분방정식인 나비에-스톡스 방적식(Navier-Stoke Equation)을 사용하였으며, 구조물 주변의 대기유동 현상을 실제와 같은 차원에서 해석하기 위해서 구조물의 급격한 형상변화에 따라 유동박리의 정확한

해석을 위해 난류모델(turbulence model)의 사용이 필수적이므로 본 해석에서는 K-ε 난류 모델을 사용하였다. 시뮬레이션 해석 조건을 표 2에 나타내었다.

표 1. 풍속 증폭을 위한 구조체 모델링

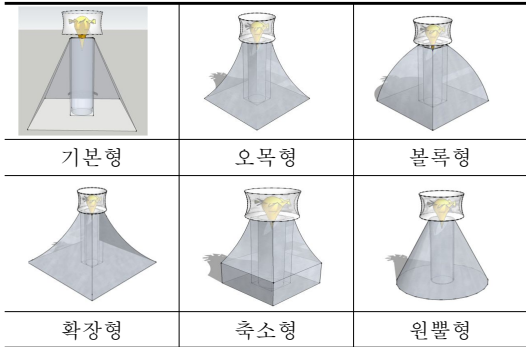


표 2. 시뮬레이션 해석 조건

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	배기구 : 1 m/s 외부 기류 : 3 m/s	기류속도

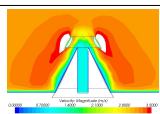
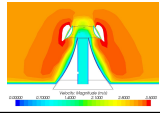
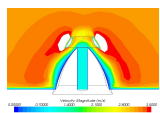
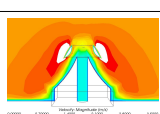
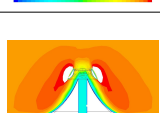
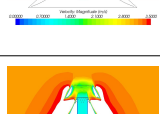
### 3.2 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과는 표 3과 같다.

시뮬레이션 결과, 원뿔형의 경우 곡면을 타고 바람이 흘러나가 가장 적합하지 않은 형태이며 구조체의 각도가 완만할수록 블레이드 부분의 풍속이 가장 많이 증폭되는 것으로 나타났다. 시속 3m/s의 바람이 불 때 가장 증폭량이 큰 형태는 기본형, 확장형, 축소형으로서 블레이드 설치부분의 풍속은 3.5m/s였다. 그러나 기본형의 경우 다소 불안정한 난

류층이 구조체 주변에 형성되는 문제점이 있었으며, 확장형의 경우 가장 안정적인 기류흐름을 보였으나 설치면적이 너무 넓다는 단점이 있었다. 따라서 풍속 증폭을 위한 구조체로서 풍속이 양호하며 안정된 기류층이 형성되는 축소형이 가장 적합하다고 판단된다.

표 3. 시뮬레이션 결과

구분	단면	블레이드 위치 풍속 및 특징
기본형		최대 풍속 3.5m/s로 증폭되나 다소 두껍고 불안정한 난류층 형성
오목형		기류 흐름은 자연스러우나 증폭량이 적어 최대 풍속 3.2m/s에 불과
볼록형		기류의 증폭량은 다른 모델에 비해 크나 후면부에 큰 난류층이 형성되고 배기구에 역류 발생
축소형		블레이드 설치 위치의 풍속이 3.5m/s로 양호하며 안정된 기류층을 형성
확장형		기류의 흐름이 안정적이며 블레이드 설치위치에서의 풍속도 3.5m/s 정도로 양호하나 설치면적이 너무 넓다는 단점
원뿔형		가장 얇은 난류층을 발생시키지만 블레이드 설치 위치로 바람을 응집시키는 증폭량은 적음

### 4. 건물 적용을 위한 CFD 시뮬레이션

앞장에서 최적 디자인으로 도출된 구조체를 초고층 공동주택에 적용하였을 경우 공동주택의 높이와 설치 위치, 인접 배기구간 이격 거리에 따른 적용성을 판단하기 위해 시뮬레이션을 실시하였다. 구조체의 형태 및 모양은 그림 2와 같다.

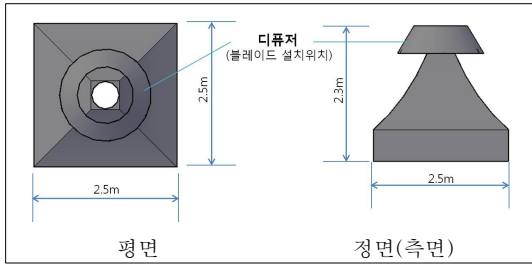


그림 2. 구조체의 형상 및 규격

#### 4.1 건물 높이와 옥상면 설치위치에 따른 CFD 시뮬레이션

##### 4.1.1 시뮬레이션 개요

배기 겸용 소형 풍력 발전 시스템은 초고층 공동주택의 옥상에 설치되므로 초고층 공동주택의 높이와 옥상면의 설치 위치에 따른 적용 가능성을 판단하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 초고층 공동주택이 가장 많이 지어지는 높이대인 100m, 200m, 300m 세 가지의 높이를, 그리고 소형풍력 발전 시스템의 설치 위치는 바람이 불어오는 방향을 기준으로 건물의 앞, 중간, 뒤 세 군데를 선정하였다. (표 4 참조)

표 4. 구조체의 건물 적용을 위한 건물 TYPE별 모델링

높이			
	100m	200m	300m
위치			
	↑ ↑ ↑ (바람방향) 앞	↑ ↑ ↑ (바람방향) 가운데	↑ ↑ ↑ (바람방향) 뒤

시뮬레이션 해석 조건은 3장의 표 2와 같으며, 다만 건물 높이에 따른 풍속값을 보정하기 위하여 Deacon 방정식에 의한 풍속값을 입력하였다.

표 5. Deacon 방정식에 의한 풍속 보정값 (서울지역, 거칠기정도=0.8)

보정된 풍속(U)	보정된 고도(Z)	입력값	입력값
		실측된 풍속(Ua)	실측된 고도(Za)
2.20	10	2.2	10
3.68	50	2.2	10
4.30	100	2.2	10
4.65	150	2.2	10
4.90	200	2.2	10
5.09	250	2.2	10
5.24	300	2.2	10

##### 4.1.2 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 수행 결과는 표 6과 같다.

표 6. 건물 높이, 위치별 구조체 설치 후 시뮬레이션 결과

100M	최대(m/s)	최소(m/s)	평균(m/s)
앞	3.1763	3.0507	3.1135
가운데	1.6963	1.6677	1.6820
뒤	2.3032	2.1712	2.2372
200M	최대(m/s)	최소(m/s)	평균(m/s)
앞	3.9592	3.4863	3.72275
가운데	1.3952	1.0902	1.2427
뒤	1.3362	1.1219	1.22905
300M	최대(m/s)	최소(m/s)	평균(m/s)
앞	3.5190	3.3603	3.43965
가운데	0.96580	0.62523	0.795515
뒤	1.9284	1.8155	1.87195

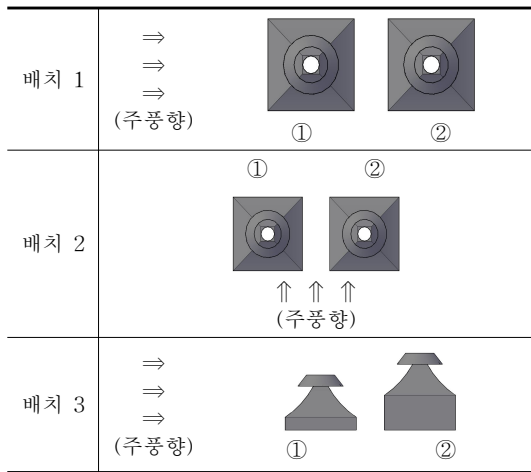
시뮬레이션 결과, 바람이 불어오는 방향에 대해서 구조물은 앞쪽에 설치되는 것이 상대적으로 좋은 풍속을 얻을 수 있었으며 가운데 설치하는 경우 풍속이 좋지 않아 풍력발전에 적합하지 않은 것으로 나타났다. 입력풍속은 고도가 높아질수록 풍속값이 높아지지만 구조체가 설치되는 옥상면에서는 풍속이 강해지면 벽면에 부딪혀 상승하는 바람이 강해지므로 200m 높이의 앞쪽에 설치된 경우가 가장 좋은 풍속을 얻을 수 있었으며, 가운데와 뒤쪽면의 경우 오히려 300m높이 보다 100m 높이의 건물에 설치된 경우가 풍속이 더 강한 것으로 나타났다.

### 4.2 인접 배기구의 배치에 따른 CFD 시뮬레이션

#### 4.2.1 시뮬레이션 개요

초고층 공동주택의 옥상면에 설치되는 배기겸용 소형풍력발전기는 배기구의 상부에 위치하며, 배기구는 평면의 형태나 설비 시스템 등에 따라 위치와 크기 등이 결정된다. 또한 초고층 공동주택의 옥상 배기구는 2개 이상의 배기구가 연속하여 설치되므로, 배기구에 소형풍력발전 시스템을 적용시 인접한 배기구끼리 상호 바람에 의한 간섭을 최소화 할수 있어야 한다. 따라서 본 연구에서는 인접한 배기구의 상호 간섭을 최소화하기 위해서 인접한 2개 배기구의 이격 거리와 풍향별 CFD 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션 해석 조건은 3장의 표 2와 같으며, 주풍향의 풍속값은 3m/s를 입력하였다. 시뮬레이션을 위한 배기구의 배치는 표 7과 같다.

표 7. 인접 배기구의 배치



#### 4.2.2 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 수행 후 주풍향으로부터 두 번째에 위치하는 배기구의 블레이드 설치위치에서의 풍속값을 정리하였다. 결과는 표 8과 같다.

표 8. 시뮬레이션 결과

구분	간격	①번 배기구		②번 배기구	
		풍속 (m/s)	풍속 증감율 (%)	풍속 (m/s)	풍속 증감율 (%)
배치 1	1m	3.52	+17.3	1.11	-63.0
	2m	3.45	+15.0	1.21	-59.7
	3m	3.47	+15.7	1.17	-61.0
배치 2	1m	3.71	+23.7	3.62	+20.7
	2m	3.79	+26.3	3.76	+25.3
	3m	3.61	+20.3	3.59	+19.7
배치 3	1m	3.39	+13.0	2.09	-30.3
	2m	3.30	+11.0	2.72	-9.3
	3m	3.12	+ 4.0	3.71	+23.7

시뮬레이션 결과, 주풍향으로부터 앞 뒤로 배기구가 배치되고 앞뒤 간격을 각각 1,2,3m로 늘린 배치 1에서 외부 구조물의 간섭을 받지 않는 ①번 배기구의 경우, 블레이드 설치위치의 풍속이 15~17% 정도 증가하고 있었으나 ①번 배기구의 뒤에 위치하는 ②번 배기구의 경우 1~3m 간격일 때 모두 ①번 배기구의 영향으로 풍속이 60% 가량 감소하여 소형풍력 발전기를 설치하기에 부적당한 것으로 나타났다. 반면 주풍향으로부터 나란히 배치한 배치 2의 경우는 간격에 상관없이 두 배기구내의 풍속이 19~26% 가량 증가하여 인접한 배기구끼리의 영향이 거의 없어 소형풍력발전기를 설치하기에 적합한 것으로 판단된다. 주풍향으로부터 앞 뒤로 배기구가 배치되고 배기구에 설치되는 소형풍력발전 시스템을 높이에 따라 이격시킨 배치 3의 경우, 1m 이격 거리에서는 뒤쪽에 위치한 ②번 배기구의 블레이드 설치위치의 풍속이 앞의 배기구의 영향을 받아 감소하였으나 3m정도 높이의 이격거리를 둘 때 오히려 앞의 배기구내 풍속보다 더 증가한 것을 볼 수 있었다. 이는 앞에서 나온 바람이 자연스럽게 상승하면서 뒤에 위치한 구조물내의 풍속을 증폭시키는 효과를 가져온 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

본 연구는 초고층 공동주택 옥상의 배기구에 소형 배기 풍력 발전 적용을 위한 기초 연구로서, 블레이드 설치위치의 풍속을 증가시키기 위한 구조체의 디자인을 결정하고 건물의 높이와 설치 위치에 따라 적용가능성을 판단하기 위하여 CFD 시뮬레이션을 수행하였다. 본 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 풍력발전을 위해 풍속을 증가시키기 위한 구조체의 디자인은 원뿔형이 가장 부적합한 형태였으며, 경사가 완만한 사면의 사각뿔 형태가 풍속 증폭에 있어 적합한 것으로 나타났다. 설치면적과 기류의 안정성 등을 고려할 경우, 완만한 사각뿔 형태에서 끝부분을 잘라낸 축소형 모델이 가장 적합한 것으로 판단된다.
- (2) 풍속 증폭을 위한 최적 디자인으로 도출된 구조체를 초고층 공동주택의 옥상에 적용할 경우, 배기구는 옥상의 앞쪽에 위치할수록 풍속 증폭에 유리하며, 100m, 300m 높이의 건물보다 200m 높이의 옥상면이 가장 적합한 것으로 나타났다. 건물 옥상의 가운데는 높이에 상관없이 반드시 피해야할 것으로 판단된다.
- (3) 2개 이상의 인접한 배기구에 소형풍력발전기가 적용될 경우, 배기구는 주풍향에 대해 나란히 위치하는 것이 좋으며 앞뒤로 위치할 경우 뒤쪽에 위치한 배기구의 풍속이 간섭에 의해 낮아져 풍력발전에 적합하지 않은 것으로 나타났다. 그러나 높이차를 3m 이상으로 이격시킬 경우 오히려 앞의 배기구에 의한 간섭보다 풍속 증폭 효과가 더 큰 것으로 나타났다.
- (4) 초고층 공동주택의 옥상부분 형상, 평면에 따른 배기구의 형태 및 위치는 건물에 따라 다양하며, 실제 풍환경은 시뮬레이션에서 가정된 상태와 달리 풍향과 풍속에 있어 복잡하고, 블레이드가 실제로 설

치될 경우와 건물 내 배기 팬등의 가동율에 따라 블레이드 설치위치에서의 풍속이 많은 영향을 받을 수 있으므로 향후 추가적으로 다양한 변수들을 고려한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 후 기

본 연구는 2010년도 한국연구재단 연구비 지원으로 수행되었음. (과제번호 2010-0279393)

## 참 고 문 헌

1. 강소연, 공동주택단지내 풍력발전시스템의 적용방안에 관한 연구, 중앙대학교 대학원 석사학위 논문, 2006
2. 김무원 외, 에너지와 생태환경 측면에서 본 초고층 주거 건물 평가, 대한국토도시계획학회 논문집, 2007
3. 기상청, “풍력자원지도 개발 연구보고서”, 2007
4. 박진철, 공동주택에서의 소형풍력발전시스템 적용에 관한 연구, 한국태양에너지학회, 2003
5. 이동윤, 초고층건물에서 풍력발전 적용을 위한 기류분석 연구, 대한설비공학회 2010년 하계학술대회 논문집, 2010
6. 임보람 외, 현대 초고층 건축물의 형태적 경향에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, v24 n12, 2008
7. 전현도, 초고층 건물의 풍력발전시스템 적용방안에 관한 연구, 중앙대학교 대학원 석사학위 논문, 2010
8. 김은일, 풍력발전기술 개요, 태양에너지학회지 제3권 3호, 2004
9. 정해상, 소형풍력발전기 설계와 제작, 일진사 단행본, 2011
10. A G Dutton, J A Halliday, M J Blanch, The Feasibility of Building / Integrated Wind Turbines : Archiving their potential for carbon emission reduction, 2002