



[2016-6-RP-002]

# 환경 에너지 정책변화에 따른 풍력발전 연계형 건축물 사례연구

김성열<sup>1)</sup> · 최호순<sup>2)</sup> · 엄정희<sup>3)\*</sup>

## An Analysis of Building-connected Wind Turbines according to Changes of Environmental and Energy Policy

Sung-Yul Kim<sup>1)</sup> · Ho-Soon Choi<sup>2)</sup> · Jeong-Hee Eum<sup>3)\*</sup>

Received 23 January 2016 Revised 23 March 2016 Accepted 28 May 2016

**ABSTRACT** Wind turbines are attracting increasing attention around the world as a promising renewable energy sources. Large-scale offshore wind turbines, in particular, are expected to generate more electricity than onshore wind turbines. Small-scale onshore wind turbines, however, are moving from outside downtown to the center of the cities. In this respect, this study examined the precedent cases of building-connected wind turbines according to the changes in environmental and energy policies. 20 cases of building-connected wind turbines in North America, Europe, Asia, etc. were surveyed, and they were categorized into types of building connections and turbine axis: building-mounted wind turbines (BMWT), building-integrated wind turbines (BIWT), vertical axis wind turbines (VAWT), and horizontal axis wind turbines (HAWT). As a result, it was found that environmental and energy policies of each country affect the construction of building-connected wind turbines. In particular, the Directive of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings as well as strategical means of a renewable energy obligation in the early 2000s have affected the increasing establishment of building-connected wind turbines since 2006.

**Key words** Building-Mounted Wind Turbine(건물탑재형 풍력발전), Building-Integrated Wind Turbine(건물일체형 풍력발전), Horizontal-Axis Wind Turbine(수평축 풍력발전), Vertical-Axis Wind Turbine(수직축 풍력발전), Environmental and Energy Policy(환경에너지 정책)

### 1. 서론

최근 우리사회는 매년 달라지는 기후변화와 환경오염을

접하고 있다. 이러한 환경문제에 대응하기 위하여 전 세계적으로 에너지 절약에 많은 노력을 하고 있고, 1997년 교토 의정서(Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change)를 필두로 특히 유럽, 미국, 일본 그리고 중국 등 선진국들은 친환경 에너지 생산에 적극적으로 나서고 있다. 각 나라들은 환경문제에 적극적으로 대응하기 위하여 국가 정책 시스템을 오래전부터 구축해 오고 있으며 가시적인 성과물도 얻고 있는 상황이다.

특히 건축분야는 전세계적으로 에너지 소비의 36%를 차

1) Department of Electrical Energy Engineering, Keimyung University

2) Department of Architecture, Keimyung University

3) Department of Landscape Architecture, Keimyung University

E-mail: eumjh99@kmu.ac.kr

Tel: +82-53-580-5646

지하고 건축물이 한번 지어지면 30년 이상 장기간 영향을 미치기 때문에, 건축물의 에너지 활용계획 및 설계는 매우 중요하다. 따라서 건축분야의 에너지 소비량을 줄이려는 다양한 시도가 이루어지고 있으며, 이러한 방안 중 하나로 신재생에너지를 활용한 건축물 내 에너지의 자립도 향상에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>[1]</sup>

건축분야의 청정에너지 생산은 태양열, 태양광, 지열, 연료전지, 풍력 등 다양한 에너지를 활용하여 적용되고 있다. 특히 풍력발전이 접목된 건축물은 풍력터빈(wind turbine)을 이용해서 바람(풍력)을 전력으로 바꾸는 것으로, 현재 많은 국가에서 풍력을 이용하여 상대적으로 값이 싸고 탄소배출이 거의 없는 에너지를 생산하고 있다. 최근 전세계적으로 건축분야에서는 풍력발전이 연계된 건축물의 사례가 늘어나고 있는데 이는 풍력발전을 통한 청정에너지 생산 효과뿐만 아니라 풍력터빈이 건축물의 친환경적 디자인 요소로도 사용되기 때문이다.

본 연구에서는 전세계적으로 건설되고 있는 풍력발전 연계형 건축물에 대한 사례를 고찰하고자 한다. 특히, 국제 환경에너지 정책 및 그에 대응하는 각국의 환경에너지 정책의 변화에 따른 풍력발전 연계형 건축물의 도입에 초점을 맞추고자 한다. 또한, 환경 에너지 정책변화와 풍력발전 연계형 건축물 도입의 관계를 고찰하고자, 본 연구에서는 문헌, 논문, 인터넷 검색을 통하여 최근까지 지어진 풍력발전이 연계된 건축물들의 자료 및 각국의 환경 에너지 정책 변화를 조사하였다. 우선 건축물에 적용되는 풍력발전의 유형을 풍력터빈의 회전축 방향 및 건물 연계 형태에 따라 분류하였다. 또한, 전세계적으로 건설된 풍력발전 연계형 건축물의 사례를 연도별, 국가별로 분석하였다. 마지막으로 유럽연합, 영국, 독일 그리고 미국의 환경 에너지 정책변화를 조사하여, 정책변화에 따른 풍력발전 연계형 건축물 도입현황을 고찰하였다.

## 2. 건축물에서 풍력발전의 설치 유형

### 2.1 회전축 방향에 따른 풍력발전 분류

풍력발전은 바람의 운동에너지를 회전자의 공기역학적 특성을 이용하여 회전동력으로 변환하고, 이 동력을 통해 발전

축을 회전시켜 전력을 생산하는 설비를 지칭한다. 일반적인 시간  $t$ 에서 풍력발전에 대한 출력식은 다음과 같다.<sup>[2-5]</sup>

$$P(t) = \frac{1}{2} C_p \rho A v(t)^3 \tag{1}$$

여기서,  $C_p$ 는 풍력발전기의 출력계수로서 A. Betz에 의하면 이론상 0.5926(Betz limit)을 넘을 수 없으며, 최근 풍력발전기의 출력계수는 대략적으로 0.5 수준이다. 또한,  $\rho$ 는 공기밀도( $[kg/m^3]$ ),  $A$ 는 회전자 블레이드의 면적( $[m^2]$ ),  $v(t)$ 는 시간  $t$ 에서의 공기속도( $[m/s]$ )를 나타낸다.

풍력발전은 회전축 방향에 따라 수직축 풍력발전(VAWT: Vertical Axis Wind Turbine)과 수평축 풍력발전(HAWT: Horizontal Axis Wind Turbine)으로 구분된다. VAWT와 HAWT는 각각 회전자 블레이드의 면적( $A$ )이 다르며, 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$A_{VA} = \frac{2}{3} ab \tag{2}$$

$$A_{HA} = \frac{\pi}{4} D^2 \tag{3}$$

VAWT는 HAWT에 비해 바람의 방향에 관계없이 저속운전이 가능하다는 장점을 가지고 있으나, 비교적 발전효율이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 또한, HAWT는 바람으로부터 최대한의 운동에너지를 기계동력으로 변환하기 위해 블레이드의 피치 제어, 요제어, 회전자의 가변 최적 회전속도를 제어해야 한다. 이에 따라 높은 발전효율을 확보할 수 있으나, 시스템 설계가 복잡해진다는 단점이 있다.<sup>[6,7]</sup>

### 2.2 건축물 연계 형태에 따른 풍력발전 분류

건축물에서 풍력에너지는 이미 오래전부터 풍차의 형태

Table 1. The Characteristics of VAWT and HAWT

	Generating Efficiency	Cut-in Speed [m/s]	O & M	Noise	Structure
VAWT	0.15~0.35	2.0~4.0	Easy	Low	Simple
HAWT	0.48~0.52	3.0~4.0	Difficult	High	Complex

를 통해 제재, 양수 등의 목적으로 활용되어 왔다. 최근 들어 풍력에너지는 도시공간이나 주거공간 또는 초고층 빌딩 내부에서 소비되는 전력을 충당하려는 목적으로 설치되고 있다.

풍력발전을 건축물에 연계하는 방식에 따라 구분하면 다음과 같다.<sup>[8]</sup>

① 건물 탑재형 풍력발전(Building Mounted Wind Turbine; BMWT)

기존 건물의 외형 및 구조 변경을 최소화하여 소형 풍력발전 설비를 설치

② 건물 일체형 풍력발전(Building Integrated Wind Turbine; BIWT)

건물의 설계 단계에서부터 풍력발전 설비 연계를 고려하여 풍력발전 설비를 설치

건축물에 풍력발전을 연계할 경우에는 다음과 같은 사항들을 고려해야 한다.

- ① 건축물 주변의 풍속과 풍향 분석
- ② 풍력발전의 설치 위치와 높이에 따른 바람 특성 및 풍력발전 출력 예측
- ③ 풍력발전 연계 시 건물에 미치는 소음·진동 및 풍하중 분석
- ④ 풍력발전 설비 연계에 따른 추가비용 및 유지보수 비용

건축물에 연계할 풍력발전기는 건축물을 포함한 그 주변 환경을 고려하여 풍력발전의 회전축 방향(VA/HA)을 설정하여야 하며, 기동풍속이 낮은 고효율 발전 설비여야 한다. 또한, 최근 2008년 완공된 바레인 세계 무역센터의 경우, HAWT 타입의 Building Integrated Wind Turbine 형태의 풍력발전 3기를 통해 건축물 전체 에너지 사용량의 15%에 해당하는 전력을 생산하고 있으나, 블레이드의 심한 소음과 블레이드 회전에 따른 재실자의 불안감이 문제가 되고 있다. 따라서, 건축물에 연계할 풍력발전설비는 소음과 진동, 그리고 이로 인한 재실자의 심리적 불안감을 보다 면밀히 고려하여 설치할 필요가 있다.

Table 2는 전 세계적으로 건설된 풍력발전 연계형 건축물의 대표사례를 분류한 것이다. 2000년부터 2013년까지 건설된 20개 사례를 조사하였으며, 건설년도, 위치, 풍력터빈 회전축의 유형 및 건축물 연계 형태를 고찰하였다.

### 3. 정책변화와 풍력발전 연계형 건축물의 상관관계

#### 3.1 연도별 건설 현황

Fig. 1은 2000년부터 현재까지 건설된 풍력발전 연계형 건축물의 대표사례를 연도별로 나타낸 것이다. 2000년 독일에서 건물 탑재형 풍력발전(Building Mounted Wind Turbine: BMWT)이 소개된 이후 2006년부터 전 세계적으로 BMWT의 본격적인 건설이 시작되었다. 이후 2010년까지 영국, 호주, 캐나다와 더불어 특히 미국에서 집중적인 건설이 진행되었다. 건물 일체형 풍력발전(Building Integrated Wind Turbine; BIWT)은 BMWT 보다 늦은 2008년도에 처음 도입되었다. BIWT형의 대표적인 사례인 바레인 월드 트레이드센터의 풍력발전 연계형 건축물을 시작으로 2012년까지 미국과 영국에서 주로 건설되었으며, 중국에도 2012년에 BIWT형 건물이 건설되었다. 한편, 2010년까지 활발히 건설되던 BMWT형 건축물은 BIWT형을 중심으로한 풍력 연계형 건축물의 건설로 인해 더 이상 건설되지 않았으나, 2013년 독일 함부르크 Hafen City에서 BMWT형 건축물이 다시 등장하였다.

풍력터빈의 회전축 유형에 따라 구분되는 수직형 풍력터빈(Vertical Axis Wind Turbine; VAWT)과 수평형 풍력터빈(Horizontal Axis Wind Turbine; HAWT)은 건설 초기부터 양립하였지만, BMWT에서는 수평형이, BIWT에서는 수직형이 우세하였다. 이는, 건축물의 지붕 및 구조물에 탑재하는 유형인 BMWT는 기존 건축물에 추가적으로 설치가 용이한 수평형 풍력터빈을 주로 활용한 것으로 판단된다. 반대로 낮은 풍속에도 기동이 가능하여 난류가 많은 도심에서 유리한 수직형 풍력터빈은 풍력발전 연계형 건축물 건설이 활발해지면서 디자인 측면을 고려하여 건축물의 설계부터 통합시킬 수 있는 BIWT형에서 주로 도입된 것으로 판단된다.

Table 2. Classification of wind turbine system in building

Name	Photo*	Location	Year	Axis <sup>1)</sup>	Type <sup>2)</sup>	Name	Photo*	Location	Year	Axis <sup>1)</sup>	Type <sup>2)</sup>
Neues Technisches Rathaus		Munich, Germany	2000	VAWT	BMWT	Greenway Self Park		Chicago, USA	2009	VAWT	BIWT
Expo 2000 Pavilion for the Netherlands		Hannover, Germany	2000	HAWT	BMWT	Kinetica		London, UK	2009	VAWT	BIWT
City of Melbourne Council House 2		Melbourne, Australia	2006	VAWT	BMWT	Twelve West		Portland, USA	2009	HAWT	BMWT
The Green Building		Manchester, UK	2006	HAWT	BMWT	Adobe Headquarters		California, USA	2009	VAWT	BMWT
Near North Apartments		Chicago, USA	2007	HAWT	BMWT	Halifax Seaport Farmers' Market		Halifax, Canada	2010	HAWT	BMWT
Adventure Aquarium		New Jersey, USA	2007	HAWT	BMWT	Hess Tower		Houston, USA	2010	VAWT	BIWT
Kettle Food		Wisconsin, USA	2007	HAWT	BMWT	Public Utility Commission Headquarters		California, USA	2012	HAWT	BIWT
Global Institute of Sustainability		Arizona, USA	2008	HAWT	BMWT	Pearl River Tower		Guangzhou, China	2012	VAWT	BIWT
Bahrain World Trade Center		Manama, Bahrain	2008	HAWT	BIWT	Oklahoma Medical Research Foundation		Oklahoma, USA	2012	VAWT	BIWT
Croydon City House		Croydon, UK	2009	VAWT	BMWT	HafenCity Hamburg		Hafencity, Germany	2013	VAWT	BMWT

1) HAWT: Horizontal Axis Wind Turbine / VAWT: Vertical Axis Wind Turbine

2) BMWT: Building Mounted Wind Turbine / BIWT: Building Integrated Wind Turbine

\* Source: <http://www.wind.psu.edu/buildings/>

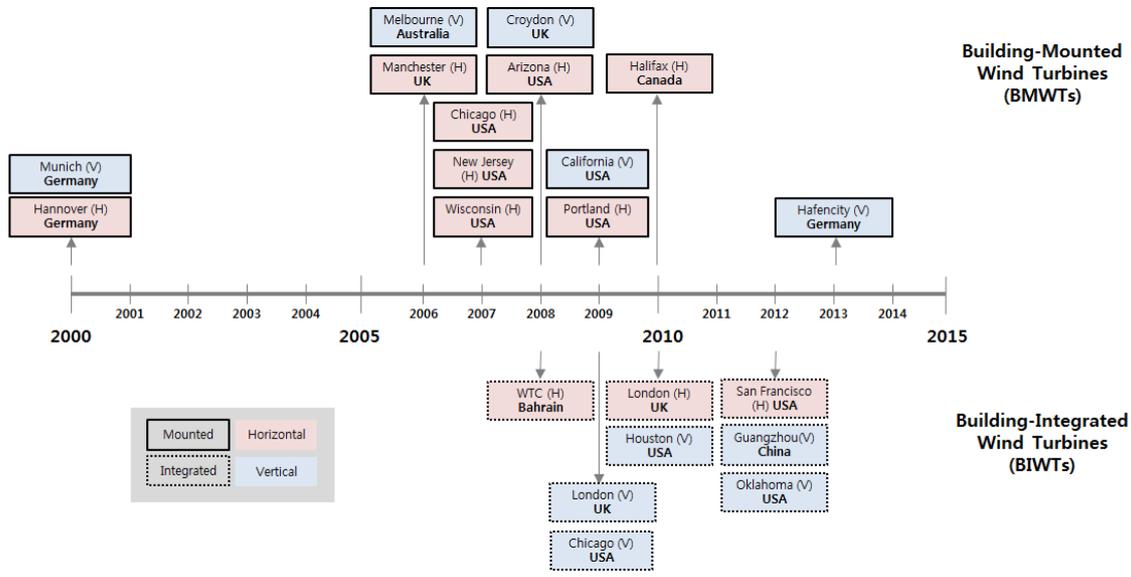


Fig. 1. Cases of building-connected wind turbines (2000–2015)

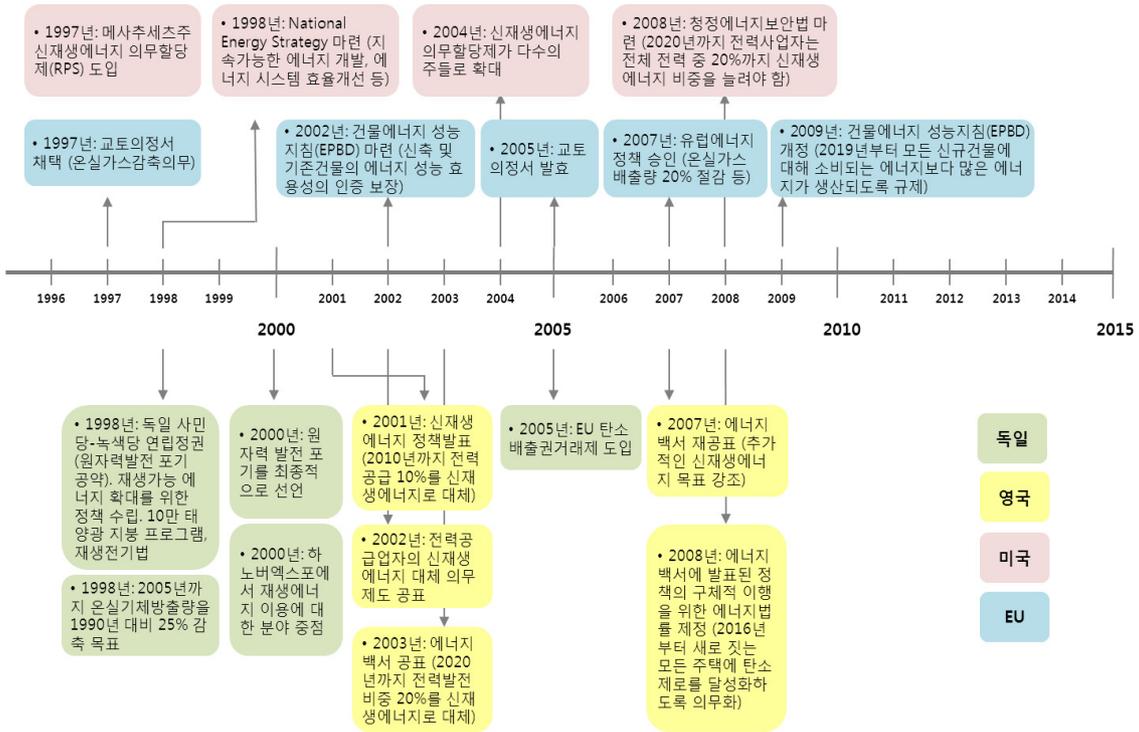


Fig. 2. Changes of environmental and energy policies in EU, UK, Germany and USA (2000–2015)

### 3.2 환경에너지 정책 변화에 따른 풍력발전 연계형 건축물 도입 현황

#### 3.2.1 유럽지역

유럽의회(European Council)와 의회(European Parliament)는 2002년 건물에너지성능지침(Energy Performance of

Building Directives, EPBD)을 마련하여 1992년 기후협약에 대응을 시작하였고 2007년 3월에는 유럽에너지 정책을 승인하였다. 이 정책의 핵심은 2020년 까지 신재생에너지 소비 비율을 최종 소비 에너지의 20%까지 높이고 반면에 온실가스 배출량은 20% 절감 그리고 에너지 효율을 20%

올리는 것이다. 2009년 4월에는 건물에너지 성능지침을 개정하여 2019년부터 EU내에 지어지는 모든 신규건물은 소비되는 에너지보다 더 많은 에너지를 생산하도록 하였다.

### 3.2.2 영국

영국은 유럽국가 중에서도 적극적으로 환경에너지 정책을 마련하고 있다. 2001년 1월에 신재생에너지 정책을 시작으로 2002년에는 신재생에너지 의무제도(RO\_Renewable Obligation)를 통해 전력 공급업자에게 발전량의 일정 비율을 신재생에너지로 대체할 것을 의무화 하였다. 2003년에는 에너지 백서(Meeting the Energy Challenge)를 통해 2020년까지 전력발전비 중 20%를 신재생에너지로 대체하도록 발표하였다. 에너지 백서에 발표된 정책의 구체적 이행을 위하여 2008년에 에너지 법률(Energy Bill)이 제정되었고 이 정책의 목표는 2016년부터 새로 짓는 모든 주택에서 이산화탄소 배출을 제로화하는 것이다.<sup>[1]</sup> 2002년 신재생에너지 의무제도가 발효되면서 본 정책에 대응하기 위해 풍력발전이 연계된 건축물이 설계된 것으로 판단된다. 이는 2002년부터 4년이 지난 2006년을 시작으로 영국 내에 풍력발전이 연계된 건축물이 등장한 사실이 증명한다.

한편, 건물에 적용된 풍력터빈 설치 유형은 건물 탑재형(BMWT)과 건물 일체형(BIWT)으로 다양하며, 특히 도심 주거건물에 적용된 것이 특징이다. 이는 도심지 내에 풍력터빈을 노출시킴으로서 풍력발전을 통한 재생에너지 생산 효과뿐만 아니라 신재생에너지 정책 홍보를 극대화 하려는 것으로 판단된다.

### 3.2.3 독일

독일은 풍력발전 연계형 건축물이 가장 먼저 도입된 나라이다. 전 세계적으로 본격적인 도입이 시작되었던 2006년보다 앞선 2000년에 하노버 박람회 및 뮌헨시청건물에 건물 탑재형(BMWT)으로 두 개의 건축물이 소개되었다. 이러한 배경에는 친환경에너지 기술의 선도적 개발뿐만 아니라 독일 정부의 환경정책에 있어서의 변화가 작용하였다. 재생가능한 에너지 확대를 달성하기 위해 독일정부는 1990년에 '1000개의 태양광 지붕 프로그램'을 도입하고, 1991년에는 재생가능한 에너지로부터 생산된 전기를 의무적으로 구매하는 내용을 담고 있는 '전기매입법'을 제정하

였다. 특히, 전기매입법으로 인해 풍력발전은 1990년대 중반까지 해마다 거의 두배씩 성장하였으며, 독일은 1999년 말에 원자력 발전소 4기에 해당하는 4,072MW의 풍력발전 용량을 지닌 세계최대의 풍력 발전국으로 성장하였다.

이처럼 풍력발전에 대한 기술의 확보와 풍력발전으로 인한 에너지 사용에 대한 시민들의 인식이 확대되어 있는 상황에서 1998년 독일 사민당-녹색당 연립정권이 들어서면서 재생가능 에너지 확대를 위한 환경정책이 수립되었다. 특히, 2000년 6월에 원자력 발전소 포기를 최종적으로 선언하였고, 2005년까지 온실기체 배출량을 1990년 대비 25% 감축하는 목표를 수립하였다.<sup>[9]</sup>

이러한 환경정책의 추진에 따라 2000년 하노버 엑스포에서는 모든 종류의 재생가능한 에너지를 이용한 프로젝트가 소개되었으며, 네덜란드 전시관(Expo 2000 Pavilion for the Netherlands)은 건물지붕에 대형 수평형 풍력터빈이 설치된 건축물을 건설하였다. 또한 같은 해에 독일 대표도시인 뮌헨시청 건물에 연계된 풍력발전이 소개되었다.

한편, 2000년 이후 13년동안 풍력발전 연계형 건축물이 건설되지 않았는데, 이는 독일 사민당-녹색당 정권이 집권하면서 시행한 '10만 태양광 지붕 프로그램' 및 2000년에 제정된 '재생가능한 에너지법(EEG)'으로 인해 태양광이 급속하게 발전하면서, 건축물과 연계해서는 풍력발전보다 태양광발전이 더욱 활용된 것으로 판단된다.

### 3.2.4 미국

미국의 기후변화 및 신재생에너지 정책은 시장경쟁체제를 근간으로 최소한의 정책적 개입을 통한 지속적인 신재생에너지 보급 확산을 그 정책지향점으로 삼고 있다.

미국은 2000년대 중반까지 세계 최대 온실가스 배출국이었으며, 지난 20년간 미국에서 배출된 이산화탄소의 약 38%는 전력생산에서 비롯되었다. 이러한 상황은 국제 유가변동 및 국제 기후변화협약의 진전과 맞물려 환경·에너지 차원에서의 다양한 정책으로 이어졌다. 1997년 신재생에너지의무할당제(RPS)가 매사추세츠주를 시작으로 각 주별로 도입되기 시작했으며, 1998년 클린턴 정부는 National Energy Strategy를 통해 높은 원유 의존에 따른 미국경제의 취약성 감소, 지속가능한 에너지 선택 확대를 위한 기술 개발, 에너지 시스템 효율 개선 등을 국가 에너지 정책의

목표로 제시한다. 이에 따라 1999년 에너지부는 현 대비 2005년과 2010년에 각각 2배, 4배까지 풍력발전 설비용량을 확대 보급하고, 2020년에는 미국 전체 전력의 5%를 풍력을 통해 공급하겠다는 계획을 발표한다. 그러나 2000년 부시 정부는 임기 초기부터 교토의정서를 거부하면서, 강제성보다는 자발적인 시장 형성에 기초한 기후변화 정책 맥락에서의 대체 에너지 개발뿐 아니라 전통적인 에너지원 개발 역시 강조한다. 한편 2004년 이후 신재생에너지의무할당제는 다수의 주들로 확대되었으며 주별로 다양한 목표를 설정하여 시행 중이다. 미국의 신재생에너지의무할당제는 대부분의 주에서 법적 구속력이 없으나, 재생에너지인 증(Renewable Energy Certificate: REC)과의 병행 시행을 통해, 26개 중 평균 목표 달성률이 94%에 이른다. 2008년 오바마 정부에 들어서면서 청정에너지안보법안(American Clean Energy and Security Act) 통과에 따라 전력 사업자는 2012년, 2020년 각각 전체 전력 중 6%, 20%까지 신재생에너지원의 비중을 상향 조정해야 한다. 또한, New Energy Policy for America에서는 연방 차원의 신재생에너지의무할당제 신설을 통해 2025년까지 신재생에너지 전력 비중을 25%까지로 상향하겠다는 목표를 설정하였다. 이와 같은 맥락에서 2009년 의회를 통과한 경기부양법은 청정에너지 산업에의 투자 확대와 이를 통한 일자리 창출을 목표로 하고 있다.<sup>[10],[11]</sup>

#### 4. 결론

본 연구에서는 전 세계적으로 건설되고 있는 풍력발전 연계형 건축물에 대한 사례를 고찰하였다. 특히, 국제 환경에너지 정책 및 그에 대응하는 각국의 환경에너지 정책의 변화에 따른 풍력발전 연계형 건축물의 도입 현상에 초점을 맞추었다.

2000년부터 건설된 20개의 대표사례를 연도별, 국가별로 고찰하였으며, 이러한 사례들은 독일, 영국을 중심으로 한 유럽지역 및 미국을 중심으로 한 북미지역에 대부분 집중되어있음을 알 수 있었다. 또한, 건물과의 연계형태 및 풍력터빈 회전축에 따라 건물 탑재형 풍력터빈, 건물 일체형 풍력터빈, 수평축 풍력터빈 및 수직축 풍력터빈으로 구

분할 수 있었다.

한편, 풍력발전 연계형 건축물의 사례가 많은 유럽지역(유럽연합, 영국, 독일)과 북미지역(미국)의 환경에너지 정책 변화를 살펴본 결과, 최초의 건축물이 도입된 2000년 이전부터 신재생에너지와 관련한 정책이 마련되었으며, 2000년 초반 유럽연합의 건물에너지 성능지침 마련, 각국의 신재생에너지 의무제도 도입과 확대로 인해 2006년부터 완공된 풍력발전 연계형 건축물이 전세계적으로 소개되기 시작한 것으로 판단된다.

건축부문에서의 신재생에너지의 활용은 여전히 활발히 논의되고 있다. 특히, 현재 대용량 풍력발전은 육상을 떠나 해상으로 이동하고 있으나, 역으로 소형 풍력발전은 건축물 연계를 통해 도심 밖에서부터 도심 안으로 이동하고 있다. 기존에 풍력발전이 연계된 건축물의 개념이 신재생에너지를 통한 에너지 자립도 향상에 대한 상징성에 그 무게를 두었다면, 현시점에서는 실질적인 건물 내 에너지 자립도 향상과 재실자의 불편을 최소화하는 건물설계에 초점을 맞추어야 한다. 이를 위해서는 에너지, 환경, 건축의 융복합적인 연구가 지속적으로 추진되어야 할 것이다. 신재생에너지 보급 확산 지원 정책 측면에서는 태양광, 태양열, 지열, 연료전지에 국한된 기존의 신재생에너지 건물지원 사업을 건물연계형 풍력발전으로까지 확대할 필요성이 있으며, 또한 건축물에 태양광발전 연계 시 공급인증서 가중치로 1.5를 부여하는 것과 같이 풍력발전의 건물 연계 또한 공급인증서 가중치를 1.5 이상으로 부여할 필요성이 있을 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2015R1C1A1A02037544, NRF-2015R1C1A2A01052513).

#### References

- [1] 도은진, 2009, “에너지 먹는 하마, 건물을 바꾸자”, LG Business Insight, 36-50.

- [2] Mukund R. Patel, 2005, "Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis, and Operation", CRC Press.
- [3] Leon Freris, David Infield, 2008, "Renewable Energy in Power Systems", WILEY.
- [4] 김용이, 2011, "건물 일체형 풍력시스템 디자인 고찰", 유택기계저널, Vol. 14, No. 4, 64-69.
- [5] 최형식, 장호남, 2008, "건물 지붕구조를 활용한 건물일체형 풍력발전시스템의 성능 예측", 한국 신재생에너지학회 학술대회논문집, 324-327.
- [6] 최형식, 장호남, 2009, "도심 고층건물 지붕에서의 소형 풍력발전기 발전량 예측", 한국신재생에너지학회, Vol. 5, No. 4, 21-27.
- [7] 정태영, 문석준, 임채환, 2012, "풍력발전기의 에너지 비용 산출에 대한 고찰", 한국신재생에너지학회, Vol. 8, No. 4, 3-12.
- [8] Dutton, A. G., Halliday, J. A., Blanch, M. J., 2005, "The Feasibility of Building-Mounted / Integrated Wind Turbines", CCLRC.
- [9] FEES\_Forum für Energiemodelle und Energiewirtschaftsliche Systemanalysen in Deutschland (Ed.), 2002, "Energiemodelle zum Kernenergieausstieg in Deutschland: Effekte und Wirkungen eines Verzichts auf Strom aus Kernkraftwerken", Heidelberg: Physica-Verlag, p. 398.
- [10] 정하윤, 이재승, 2012, "미국의 기후변화 및 신재생에너지 정책의 전개과정 분석", 국제관계연구, Vol. 17, No. 2, 5-45.
- [11] 문진영, 이성희, 2014, "최근 주요국의 온실가스 감축 노력과 시사점", KIEP오늘의세계경제, Vol. 14, No. 6.