



그린도시를 위한 소형풍력발전시스템 기술동향

홍원표 <한밭대학교 설비공학과 교수>

1 서론

최근 화석에너지의 고갈에 대비 한 친환경적인 대체에너지원으로 풍력발전이 주목을 받고 있다. 독일, 네덜란드, 영국 및 덴마크를 중심으로 서유럽 여러나라에서는 1970년대부터 풍력발전에 대한 많은 연구가 있어 왔고 그 결과 최근에는 수 MW급 풍력발전시스템을 상용화하기에 이르렀으며 대규모 풍력단지(wind farm)도 상용운전되고 있다[1-3].

대부분의 풍력발전은 바람의 자원이 풍부한 해안지대 등을 중심으로 대형화에 편중되어 있지만 최근에는 기기 성능향상과 도시의 그린화를 위하여 도심지 건축물에 적용가능한 소형풍력 발전시스템이 선진국을 중심으로 2009년도부터 비약적으로 증가하고 있다[4]. 풍력전체 시장은 연평균 12%이상 고성장하여 2012년 시장규모는 1120억불로 확대될 전망이다. 유럽풍력협회는 2020년까지 전 세계 전력소비량의 12%을 풍력으로 대체할 계획에 있으며 약 70GW 까지 해상풍력을 확대할 전망이다. 누적 설치용량 2011년 239GW, 2015년 929GW, 2030년은 3,484GW로 점차로 크게 확대될 전망이다[5].

특히 유럽을 중심으로 1990년 후반부터 원자력 발전의 증설을 중지하면서부터 풍력발전기의 이용

보급은 비약적으로 성장하여 연평균 30%가 넘는 성장률을 보이고 있다[6]. 이는 WINEUR프로젝트를 “Intelligent Energy Europe” 프로그램에서 지원하고 있으며 이는 1~20kW의 도심지소형풍력발전(Urban wind turbine)을 대상으로 하고 있다[7].

우리나라는 도심지의 풍속이 2~4m/s로 높지 않아 풍력발전이 효율적이지 못하나 수직형은 저속에서도 발전이 가능하기 때문에 건물의 환경을 고려한 VAWT의 개발여부에 따라 광범위하게 설치할 수 있다. 또한 고층건물건설이 증가되고 있고 최근 국내 주거용 건축물은 과반수이상 이 공동주택이 차지하고 있으며 특히, 15층 이상의 고층 및 초고층의 공동주택이 대다수를 차지하고 있음을 고려할 때 공동주택의 소형풍력발전도입을 적극적으로 검토해야할 시점이다[8].

도시공간이나 주거 공간 혹은 이와 가까운 자연환경에 적합한 풍력발전시스템을 도입하려는 여러 가지 시도들이 있다. 이러한 곳에 적용이 검토되는 발전시스템은 수직축과 수평축이 구분되지 않고 사용용도에 적합한 형태로 고려되고 있으며 다양한 디자인이 응용되고 있는데 대부분 소형발전시스템이다 이와 같이 도시주변에서 사용되는 풍력발전을 도시형풍력발전(urban wind turbines)이라 할 수 있다. 최근에는

건물 옥상이나 가정집에 설치하는 소형 풍력발전기에서 벗어나 풍력발전기를 초고층 빌딩의 한 부분으로 흡수하여 보다 효율적으로 전력을 생산할 수 있는 방법을 많은 건축가들이 찾고 있다. 이는 초고층 빌딩이 더 이상 단순한 높이의 랜드마크(landmark) 경쟁에서 벗어나 환경 친화적이라는 상징성까지 제공해야 한다는 패러다임이 생겨나기 시작하였기 때문이다 [9]. 풍력발전은 단순히 상징성 뿐만 아니라 초고층 빌딩에서 요구하는 엄청난 전력사용량을 일부라도 자급하기 위한 실용적인 대안이기도 하다. 즉 건물 일체형 풍력발전이란 100m 이상의 높이에서의 지상보다 월등한 풍력자원을 이용하여 수직축 또는 수평축 풍력발전기를 건물의 외벽이나 또는 옥상에 배치하여 전력을 생산한다는 것이다. WEB(Wind Energy for the Built Environment)이란 건축가들로 구성된 단체의 프로젝트로, 최근 핫이슈인 신재생에너지를 다양한 방법을 동원하여 건축물에 도입함으로써 건축물의 실용성을 극대화함을 목적으로 하고 있다. WEB 프로젝트에서는 도심지 풍력발전에서 고려되어야 할 사항을 건물 군에 의한 풍속 감속, 건축물 크기에 따른 풍력발전기 크기 제한, 소음 문제, 안전성 등을 거론하고 있다. 이러한 제반 여건을 종합적으로 고려할 때 WEB은 최적의 도심지 풍력발전이란 건물 속에 풍력을 건축적인 구조와 외형을 변형을 통하여 풍력발전기를 설치하여 발전기 출력을 크게 향상시킬 수 있는 방식이라는 결론을 제시하고 있다. WEB에서 고안한 풍력발전 복합형 건축물의 디자인으로, 이러한 형태의 건축물 디자인을 UWECS(Urban Wind Energy Conversion Systems), BUWT (Building-Mounted/Integrated Wind Turbine) [10] 또는 BAWT(Building Augmented Wind Turbines)라고 부른다.

본고에서 BUWT와 BAWT의 도시형 소형풍력발전시스템에 초점을 맞추어 정의, 분류, 특성분석, 설

치현황과 시장성, 및 새로운 BUWT의 개발방향 등에 대하여 조사 분석하였다. 본고를 통하여 도시그린화와 제로에너지 빌딩의 구축 일환으로 매우 중요한 도시형 풍력시스템의 개발활성화와 적용방향에 기여하기를 기대한다.

2. 풍력발전시스템의 분류

풍력발전시스템은 회전자 축의 방향, 운전형태, 출력용량 및 설치 장소에 따라서 다음과 같이 분류할 수 있다.

2.1 회전자 축의 방향에 의한 분류

- 1) 수직축 풍력발전시스템(VAWT, Vertical Axis Wind Turbine)
- 2) 수평축 풍력발전시스템(HAWT, Horizontal Axis Wind Turbine)

2.2 운전형태에 의한 분류

- 1) 계통연계운전형(Grid-connected)
- 2) 독립운전형(Stand alone)

2.3 출력용량에 의한 분류

풍력발전기는 회전자지름과 정격출력량에 따라 다음과 같이 나눌 수 있다. 이는 국가의 마다 분류의 용량이 다르며 IEC 61400-2는 소형풍력발전(SWT, Small wind turbine)은 로터 swept 면적이 200 m²이고 용량이 약 50kW, AC에서는 1,000V, DC에서는 1,500V에서 사양을 갖는 것으로 규정하고 있으며 국가마다 다른 규정을 가지고 있으며 소형풍력을 생산하는 5개 나라는 15~100kW의 상한값 차이를 가지고 있다. 일반적으로 [10]은 아래와 같이 분류했다.

- 1) 마이크로 풍력발전시스템(Micro wind turbine) : 10kW급 이하
- 2) 소형 풍력발전시스템(Small wind)(10kW 이상~100kW급)
- 3) 대형풍력발전시스템(Large wind) : 100kW 초과

2.4 설치장소에 의한 분류

- 1) 해상풍력발전시스템(Offshore wind farm)
- 2) 육상풍력발전시스템(Onshore wind farm or inland wind farm)

3. 도시형 풍력발전시스템

3.1 도시형 풍력발전시스템의 분류

도시형 풍력발전시스템은 단순히 주택용전원공급 용도 뿐만 아니라 가로등 건물 조형물 통신 중계기 등에 적용되고 있는데 창조적인 디자인과 이를 뒷받침해주는 공학의 조화에 의해 사람이 많이 사는 도시로 점점 응용이 확대되고 있다 가까운 미래에 산업화가 가능한 도시형풍력발전의 응용 예는 다음과 같다.

1) 도심지의 독립풍력발전 군 : 도심지의 장소의 제한, 다른 고층빌딩에 따른 낮은 풍속 등에 의하여 제한을 받으며 가로등용 풍력발전 등을 고려할 수 있다. 또한 건물 가까이 풍력의 조건이 비교적 양호한 지상 및 공간 등에 설치하는 방법이다.

2) 기존 빌딩의 풍력발전 설치 : 건물의 외형을 변경하지 않고 또한 건물의 구조를 보강하지 않으면서 소형풍력발전시스템을 기존 빌딩에 설치한다. 이는 설치여건에 따라서 HAWT와 VAWT의 다양한 종류를 설치할 수 있다.

3) 건물일체형 풍력발전 : 일반적으로 영어로 BUWT(Building Integrated/Mounted Wind Turbine)으로 표기하며 이 범주내에서 특히 건물의

외형을 풍력을 속도를 높일 수 있도록 재구성하는 방식을 특히 “Building augmented wind turbines (BAWT)”라 칭하고 있다. 이 방식은 건물의 조명 설계 등의 많은 변화를 요구하며 새로운 도시형 풍력발전으로 정착해갈 것으로 전망된다.

3.2 초고층 건물의 풍력발전시스템 적용 유형

초고층 건물의 풍력발전시스템 적용 유형은 적용 지역에 대한 기후적인 특성, 주변 건물과 지형의 영향 여부, 건물과의 조화, 구조적인 안정성, 건물의 규모 및 배치 등 매우 다양한 요인들에 의해 결정된다. 초고층 건물에 풍력발전시스템의 적용 가능한 유형을 도출하기 위하여 현재까지 완공되었고, 미래에 계획되어지고 있는 사례를 분석하여 정리하면 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. case 1~2는 건물 지붕과 측면에 설치하는 방법이고 case 3~5는 도심지의 낮은 풍력자원의 단점을 극복하기 위하여 일부 국부적인 부위에서 풍속이 급격하는 특성을 이용한 유형이다. 그러나 case 3~5의 적용 유형은 벤추리효과를 이용하여 바람을 효과적으로 모아서 풍력발전시스템을 적용할 수 있지만 탁월한 주풍향이 존재하지 않는 환경에서는 발전 효율이 크게 떨어진다는 단점이 존재한다. 따라서 우리나라와 같이 계절에 따라 풍향 변동이 심하여 주풍향이 탁월하지 않는 지역에서는 case 3~5보다는 case 1~2의 방법이 더 타당할 것으로 판단된다.

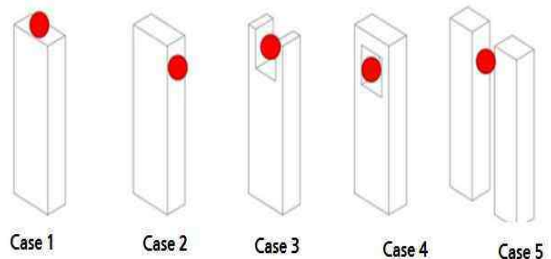


그림 1. 초고층 건물의 풍력발전시스템 적용 유형 개념도

3.3 도시 소형풍력발전의 특성

풍력발전기가 운전되는 원리와 바람이 불어오는 방향으로 회전시키는 원리에는 기본적인 차이점이 있는데, 본고에서의 세계적으로 제일 많이 설치되고 있는 10kW 이하의 소형풍력발전의 경우를 중점적으로 논하기로 한다. 대부분 작은 규모의 발전기는 직접적으로 구동되는 영구자석발전기(페라이트, 네오디뮴)를 사용한다. 전동장치는 에너지를 소산시킬 뿐 아니라 소음발생과 지속적인 유지보수를 필요로 하므로 이는 소형풍력발전기에 사용되지 않는다. 이에 대한 대안은 최소비용이 요구되는 간소한 형태이어야 한다.

2kW 이하 풍력발전기의 출력은 일반적으로 24V 또는 48V이며, 이는 전력계통의 연결보다 배터리의 충전을 목적으로 한 형태이다. 이보다 큰 형태의 발전기는 전력계통에 연결된다. 소형풍력발전기의 운전 원리는 항력(drag)과 양력(lift)의 작용으로 설명된다. 양력을 이용하는 발전기가 가장 일반적이며, 항력을 이용하는 발전기의 효율(15%)보다 매우 높은 에너지이용 효율(이론적으로 59%)을 가진다.

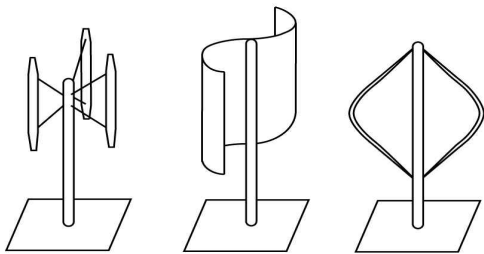


그림 2. VAWT 개념도 : H-rotor, Savonius, and Darrieus turbine(from left)

수평축풍력발전기는 현재까지 가장 일반적으로 사용되는 형태이나, 수직축풍력발전기는 최근에 도심 및 소형풍력발전에 크게 관심을 가지게 되었다. 소형 VAWT는 주로 H-형(H-Type), 사보니우스

(Savonius), 및 다리우스(Darrieus)가 많이 사용되며 그림 2와 같다.

Darrieus 발전기는 스스로 운행을 시작할 수 없는 수직축발전기의 유일한형태이다. 단 이것은 가동되기 위해서 또 다른 풍력발전기(예를 들어 작은 savonius)나 전기모터를 필요로 한다. 수직축풍력발전기의 몇몇 수반적인 단점에도 불구하고, 설치환경에서 사용되어지는 이유가 있는데 즉, 비교적 난류와 바람의 변화에 덜 민감하고, 출력을 위해 요구되는 중량이 작아 수직축풍력발전기는 도시환경에 적합하다고 볼 수 있다. 발전기는 회전날개의 뒷부분 보다 아래 부분에 설치하는 것이 지붕까지 끌어올릴 때와 유지보수를 위한 접근이 용이하고, 보다 낮은 기둥의 사용이 가능하다는 점에서 유리하다. 또한 VAWT는 회전에 의한 시각적인 영향이 적다.



그림 3. 도시의 소형 VAWT



그림 4. 영국도시의 소형 HAWT설치 전경

더욱이 소형 HAWT는 훌륭한 설계, 증명된 성능, 비교적 낮은 가격으로 여전히 도입이 활성화되고 있으며, 현재 상업적으로 대규모의 HAWT중심으로 풍력단지나 대규모 발전시스템으로 구축되어 운전되고 있으며, 최근 유럽을 중심으로 VAWT 시장도 크게 활성화 되고 있다. 그림 3은 도시의 소형 VAWT설치전경을 나타낸 것이다. 또한 그림 4는 영국도시의 소형 HAWT설치 전경(0.6~15kW)을 보여주고 있다.

3.4 빌딩일체화풍력발전 분류(Types of building integrated wind turbines)

일반적으로 빌딩일체화풍력발전은 대규모 HAWT에 비하여 규모가 작은 것을 지칭하고 있지만 빌딩의 적용방법에 따라서 상당한 규모의 빌딩일체형풍력 발전을 도입할 수 있다. 아래 1)과 2)의 방법은 빌딩의 모양과 구조적 보강없이 기존건물이나 신규건물에 비교적 소형 HAWT 또는 VAWT를 설치하는 방식이다. 3)의 BAWT는 풍력속도개선하기 위하여 빌딩의 외형과 구조 및 조형의 변경을 통한 빌딩일체형풍력 발전으로 건축적인 관점에서 매우 매력적인 청정에너지시스템이라 볼 수 있다. 풍속개선을 위하여 Concentrator로서 공기역학적으로 빌딩의 외관을 변형하고 부가적 방법을 통하여(빌딩의 새로운 지붕 부가(Aeolian Roof™ 및 변형 등) 풍력을 인위적으로 높여 발전출력을 증가 시키는 방법이다[10-11]. 그림 5는 Aeolian roof™으로 특허를 낸 Altechnica사의 BAWT의 전형적인 예이다. 이는 지붕위에 새로운 지붕을 만들어 풍속을 25% 향상하였으며 2배의 발전출력을 얻을 수 있다. 이 시스템은 지붕에 태양광판넬을 설치하여 하이브리드 그린에너지시스템을 구축할 수 있도록 한 구조이다. 그림 6은 BIWT의 하나로 경사진 빌딩이나 지붕은 풍력발전의 출력향상에 매우 큰 기여를 하게 되며, 이는 다양한

BIWT의 건축과의 아름다운조화의 중요성을 보여주고 있다. 표 1은 도심지 소형풍력 적용 경향을 요약하여 나타낸 것이다.

- 1) building integrated horizontal axis wind turbines,
- 2) building integrated vertical axis wind turbines,
- 3) building augmented wind turbines (BAWT).

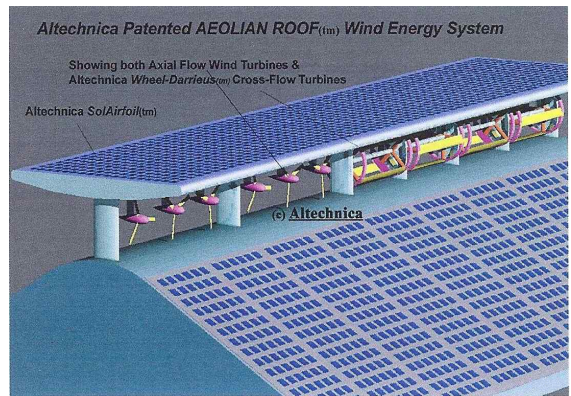


그림 5. Altechnica사 Aeolian roof™ BAWT의 전형적인 예



그림 6. 도시형 풍력전경(Bill Dunster Architects)

표 1. 도시 소형풍력시스템 설치개요

	회전자에 따른 분류	용량에 따른 분류	계통연계여부
도시지역 소형풍력발전시스템	H A W T , VAWT 장 소 풍속 등을 고려하여 선택 적용	소형 : 단독운전형 중형 : 계통연계형 VAWT의 소형, 중형 급의 다양한 형태가 개발되고 있음	소형 : 단독운전 중형급에서는 계통연계형 주류 계통연계형이 증가하는 추세

3.5 도시형 풍력발전시스템의 과제

3.5.1 소형풍력발전시스템의 출력관점에서의 한계

풍력발전기는 바람의 운동에너지를 전기에너지로 전환하는 장치이다. 이러한 에너지 전환을 위해서는 1차적으로 바람의 운동에너지를 발전기를 돌리는 기계에너지로 전환하여야 한다. 이러한 역할을 해주는 장치가 풍력발전기에서 로터 블레이드다. 따라서 풍력발전기의 로터는 풍력발전기를 구성하는 가장 중요한 부품 가운데 하나이며, 이 로터의 형태에 따라서 풍력발전기의 전체 효율이 좌우된다. 이 로터의 형태에 대해서는 무수한 아이디어가 나왔고 지금도 지속적으로 발전되어가고 있다. 풍력발전기 로터는 바람이 부는 방향에 대하여 로터축이 회전하는 방향에 따라 HAWT와 VAWT로 분류된다. HAWT는 로터의 회전축이 바람의 방향과 수평선상에 놓여 있고, VAWT는 바람의 방향과 수직을 이루고 있다. HAWT의 장점은 바람을 받는 면적을 효율적으로 넓힐 수 있다는 것이다. 풍력발전기의 발전량을 높이기 위해서는 1차적으로 발전기가 받아 드리는 바람의 에너지양을 높여야 하는데 이는 면적(rotor swept area)에 비례하기 때문에 바람을 받는 면적을 효율적으로 높이는 것이 중요하다. HAWT는 블레이드가 회전하는 면적이 그대로 바람을 받는 면적이기 때문에 효율적인 형태가 된다. 반면 블레이드의 회전면이

바람의 방향과 항상 수직으로 이루어야 하기 때문에 로터를 바람방향과 일치하도록 하는 장치가 추가적으로 필요하다.

VAWT의 경우 바람의 방향에 관계없이 로터를 회전시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 따라서 로터를 바람의 방향과 맞게 위치시켜 줄 수 있는 기계적 장치와 제어시스템이 필요 없다. 반면 블레이드의 회전면이 효과적으로 바람을 받는 면적이 되지 못하고 비효율적으로 블레이드 개수가 증가하거나 블레이드부피가 바람에 맞는 면적에 비하여 늘어나게 된다. 또한 블레이드 회전면의 절반은 바람을 거슬러 올라가게 되어 효율이 떨어진다. 이러한 단점으로 인하여 VAWT는 대형화 개발은 제한이 있지만 도시의 그린화 및 그린빌딩의 구축을 위하여 다양한 방식의 VAWT가 개발 보급되고 있다.

다양한 로터방식에 의한 효율의 차이가 있으며 물리적인 한계효율은 Betz가 증명한 0.59이다. 이는 로터 종류에 관계없이 적용되는 풍력에너지 효율의 한계 값이다.

대표적인 VAWT인 Savonius 타입의 경우 그 효율이 0.3을 넘기 어렵다. 이 Savonius가 기본적으로 항력을 기초로 에너지를 흡수하기 때문이다. Darrieus의 경우는 양력을 기반으로 에너지를 흡수하기 때문에 0.35정도의 한계 값을 가지고 있다. 반면 HAWT의 경우 블레이드의 개수가 3개인 프로펠러형태의 로터가 대부분으로 효율면에 있어서 실질적으로 0.48~0.52 사이에 접근해 있어 대형화의 장점을 크게 살릴 수 있다[13].

3.5.2 사회 및 경제적인 측면

도시지역의 풍력발전기의 설치에 교외지역의 설치보다 더욱 복잡할 수 있다. 예를 들면 먼저 의사결정 과정에 많은 사람이 연관되어 있다. 특히 대형풍력발전기에 비해, 소형풍력발전기에 대한 세부규정은 거

의 전무한 실정이다. 그리고 소형 도시형발전기의 이용은 건축물내의 소리의 전달, 안전하고 간단한 설치, 건축물과의 조화와 같은 건축물형상에 대한 연구 뿐만 아니라 명쾌한 전력발전에 대한 기준과 발전기 설치에 대한 규정의 제정을 통해서 이루어질 수 있다.

그러나 무엇보다도 도시형발전기에 대한 기술적인 쟁점은 주변건축물과 다른 물체에 의한 기류내의 난류이다. 일반적으로 풍속의 25%만큼의 더 큰 난류는 설계공학적 어려움과 큰 에너지를 가진다는 이점 등 두 가지 양상을 가진다. 건축물주변의 바람은 풍속과 방향에 많은 변화를 가진다. 따라서 발전기의 날개가 급격하게 변화하는 풍속에 적절히 회전되도록 해야 하며, 바람에 따라 변화하는 풍향에 맞추어, 불어오는 바람을 바라도록 풍력발전기의 방위를 바꾸어 주어야 한다. 이것은 에너지생산에 부정적인 영향을 미칠 뿐만 아니라 동적부하량, 과부하, 마찰에 의한 기기손상, 소음 등을 야기한다. 이에 따라 요구되는 전기적설비와 제어장치 또한 증가한다. 몇몇 풍력발전기의 형태는 높은 풍속에서 소음을 만드는 공기역학적 제동장치를 사용하므로 집이나 사무실주변에서 사용할 수 없는 경우도 있다. 그러나 높은 건축물과 난류는 풍력발전에 확실한 장점을 가지고 있다. 높은 기둥을 필요로 하지 않으며, 또한 난류는 지형에 의한 풍속의 감소를 보상해준다. 단기간의 풍력발전기설치에 가장 유력한 건물과 지역으로는 중간높이를 가지며, 소음과 시각적인 방해에 대한 규제가 거주지역에 비해 일반적으로 약한 산업지역과 사무빌딩지역이다. 또한 학교, 병원, 공공기관의 건물 역시도시형 소형풍력발전기의 설치지역으로 가능하다. 건물의 최종 적합성은 항공사진만으로는 알 수 없으며, 보다 정확한 형태와 인접빌딩의 높이를 고려하여야 한다. 그리고 지붕자체에서도 풍력발전기의 최적의 위치를 결정짓는 연구도 필요하다. 도시환경에서의 소형풍력발전기의 발전을 위해 다음의 두 가지 전략이 채택된다. 즉 단기간동안의 관점에서는 건물환경내에 대한, 또는

건물들의 연결상태에 대한 개선과 수정에 중점을 두었으며, 발전기에서 외부로 전해지는 소음은 자체의 소음을 감소시킴으로서 개선할 수 있다. 진동의 감폭 장치는 다양한 건물에의 설치를 위한 방향으로 발전될 것이다. 전기, 전자학적측면에서는 독립성과 전기적 안정성을 위해, 충전식 배터리보다 전력계통에 적합하도록 개선될 것이다. 제동장치는 소음을 최소화시키는 방향으로 개선되어야 한다. 또한 지붕위로 발전기 들어 올리고, 건물위에서 이루어지는 발전기조립과정에도 세심한 주의가 필요하다. 장단기간의 건축물과의 연계를 위한 전략은 다음과 같다. 즉 먼저 단기적 관점으로는 기존의 전력발전인식에 대한 수정 및 개선이 필요하고 건축물들의 조화를 고려하여 기술적, 경제적, 법적, 소비자의 수용가능성을 점검하고 소음, 신빙성, 안정성, 낮은 높이에서의 설치, 부지 비용, 건물주변/상부 등 최적 장소 등을 고려한다. 또한 기간의 관점에서는 건물과 풍력에너지의 전체적인 조화는 풍력발전기주위에 존재하는 건물의 설계를 통해 얻을 수 있다. 건축물의 방위와 형태는 바람에너지의 집중, 풍력발전기의 생산량을 최대화하도록 조정 가능하다. 특히 최대풍력 에너지를 얻기 위해서는 새 건물의 주위기류의 유도과 증강을 고려하고 바람의 기류, 유도모형 등을 이용하여 바람에너지와 자연적 대류를 이용한다.

3.5.3 도시형 풍력발전시스템의 기술적 과제

도시형풍력발전시스템이 주로 소형이긴 하나 일종의 발전시스템이기 때문에 대형발전시스템과 비슷한 시스템 매칭기술이 필요하고 다양한 형태의 디자인이 응용되기 때문에 여러 가지 해석기술을 필요로 한다. 이에 따라 도시형풍력발전에 필요한 기술과제들은 다음과 같다[14].

- (1) 풍력블레이드설계기술 : 수직축항력형, H-다리우스형, 다리우스형 수평축양력형, 항력형블레이드

(2) 계통연계기술 독립형 운전 : 가로등의 경우 충전지 때문에 제품의 가격이 상승되고 충전지불량에 따른 유지보수가 과다하게 지출되므로 전력망이 구축된 도시형가로등에 필요한 소형저가형 계통연계모듈이 개발기술이 요구됨

(3) 태풍과 같은 과도한 바람에 대한 안전대책과 소음을 낮추는 기술개발

도시형풍력발전기반의 건물, 가로등용 상용전력제어기술 개발 또한 건물과 가로등에 전력을 공급할 수 있는 수 KW급의 가변속도 운전방식의 영구자석형 기어리스동기발전기를 이용한 풍력발전시스템제어기범용모듈 개발이 필요하다.

- 제품의 생산단가를 낮출 수 있는 양산기술의 개발
- 풍력발전시스템과 건물의 상호영향을 파악기술 건물에 부착된 풍력발전기가 운전할 때 건물에 미치는 영향 혹은 건물에 영향을 받은 반사풍과 같은 바람이 풍력발전시스템에 미치는 영향
- 건물의 영향을 고려한 풍자원 해석기술
- 풍력발전시스템과 건물이 바람에 의해 받게 되는 풍하중해석기술
- 친환경 친 도심디자인기술
- 풍력태양광 하이브리드시스템기술 소형풍력발전시스템은 DC 전력을 생산할 수 있으므로 이러한 시스템은 자연스럽게 PV 시스템과 통합될 수 있으며 더 많은 유연성을 갖게 됨
- 풍력발전열을 이용한 냉난방시스템 혹은 풍력태양열 하이브리드 냉난방시스템

이와 같은 기술들을 그룹별로 분류하면 도시형풍력 발전을 위해 연구해야 할 원천 핵심기술을 다음과 같이 네 가지 분야로 정리할 수 있다

- 풍력발전시스템의 안전 및 저소음설계기술개발
- 풍력발전기반의 건물과 가로등용 전력제어 및 연계기술개발
- 도심공간에 적합한 디자인기술의 개발 및 도심

건물주위의 유동에 대한 풍자원풍하중 실험기술 개발

- 풍력 블레이드의 공력해석 및 복합시스템 설계 기술개발

4. 국내외 소형 풍력발전설치 현황

4.1 전세계 소형풍력설치 현황

그림 7은 2010년도 주요나라의 소형풍력설치기수를 나타낸 것이다. 2009년 말 소형풍력설치 누적수(기)는 521,103로 2010년 말과 비교하면 총 누적설치기는 656,084로 2009년보다 26% 설치 증가율을 나타내고 있다. 총발전량은 약 382GWh에 달한다. 특히 중국이 전 세계의 설치 기 중 69%에 달하고 있다[7].

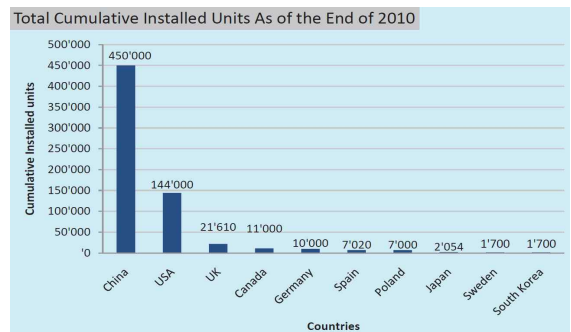


그림 7. 주요 나라의 소형풍력설치 기(unit)수

그림 8은 2010년 주요 설치나라의 소형풍력터빈의 설치용량을 나타낸 것이다. 전세계적으로 소형 풍력터빈설치 용량은 2010년 말 433.3MW로 미국이 설치용량은 179MW로 40%에 달한다. 미국은 정부의 강력하고 자양한 지원제도에 힘입은 결과로 판단되며, 평균 설치용량은 미국은 1.24kW 영국은 2.0kW인데 비하여 중국은 0.37kW이다. 소형풍력 발전은 계통연계형이 2009년 약 34.4MW로 전시장의 82%의 점유율을 보이고 있다.

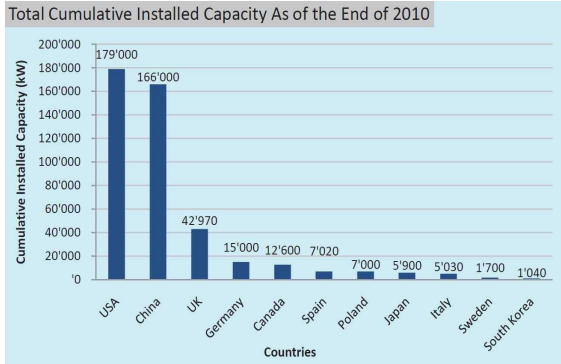


그림 8. 2010년 주요 설치나라의 소형풍력터빈의 설치 용량

그림 9는 2020년 소형풍력발전 시장 전망을 나타낸 것이다. 2001에서 2011년까지 대형 풍력발전은 매년 22%의 증가율을 나타냈다. 이는 2000년에서 2010년까지의 태양광발전 증가율은 39%에 달한 것으로 나타났다. 소형풍력증가율도 2020년까지 대형 풍력과 태양광발전 증가율과 유사한 성장패턴을 보일 것으로 예측하였다. 최근 소형풍력 증가율은 매년 35%에 달하고 있으며, 이는 2015년까지는 매년 총 설치용량이 288MW에 달하게 되어 유사한 증가율을 보일 것을 판단된다. 그 후 2015년에서 2020년까지는 지속적인 성장을 나타내 것으로 예측되며 그 증가율은 20%에 달할 것으로 보인다. 2020년 누적 설치 용량은 3,817MW에 달할 것으로 예측한다.

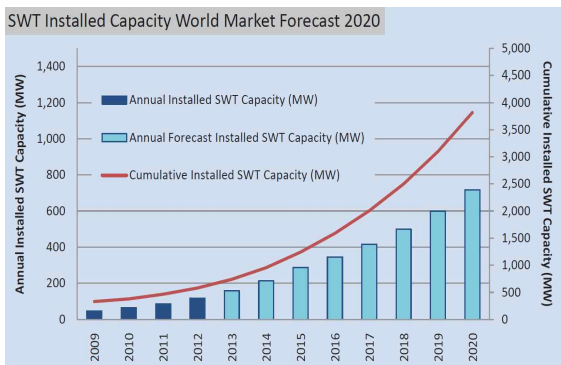


그림 9. 2020년 소형풍력발전 시장 전망

4.2 영국 소형풍력발전 전체 설치 분석

그림 10은 영국의 최근 소형 풍력 설치현황을 나타낸 것이다. 그 용량 범위는 0~50kW 내외로 설치되고 있으며 특히 1.5~10kW 용량이 전체 설치 용량의 75%에 달한다. 2010년의 증가율은 2009년에 비하여 210% 증가한 것으로 나타났다.

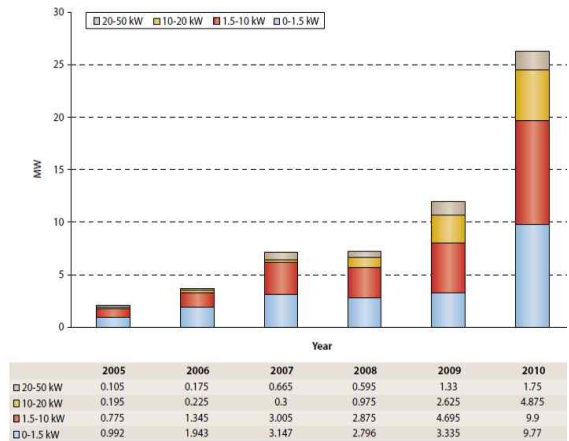


그림 10. 영국의 소형풍력 설치 현황

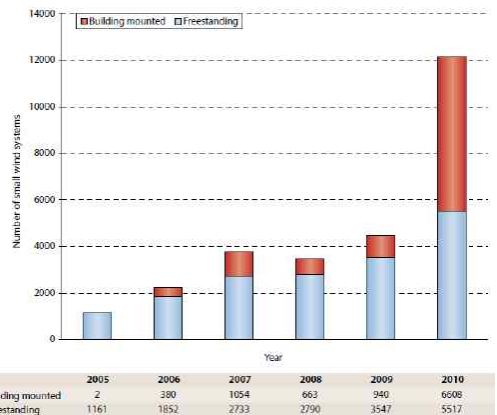


그림 11. 건물설치형 소형풍력발전시스템 설치 현황

그림 11은 건물에 설치하는 소형풍력발전시스템 설치 현황을 나타낸 것이다. 이 그림은 2010년에는 소형 풍력발전기를 건물에 설치(building

mounted)하는 비율이 급격히 증가한 것을 보여주고 있다. 이는 높은 타워건설에 소요되는 비용을 절감할 수 있고, 기존 건물의 전력망에 용이하게 계통연계 할 수 있기 때문이다. 향후 빌딩마이크로그리드 및 스마트그리드와 연계를 통하여 제로에너지 빌딩의 목표를 용이하게 달성할 수 있다고 판단된다.

영국의 풍력발전기의 타입에 대해서는 수평축 풍력발전기가 여전히 대세이나 특이할 사항은 2009년부터 신제품의 활발한 상용화로 인해 수직축 풍력발전기 설치가 2009년도의 5~6배로 급격히 증가되고 있다. 그림 12의 설치 대수를 기준으로 보면, 10kW 이하의 소형풍력발전의 설치가 주류를 이루고 있으며 1.5kW 이하 소형풍력이 여전히 대세이다. 하지만 2010년에는 1.5~10kW 용량의 풍력발전기 설치 비율이 많이 성장하고 있다. 소형풍력의 수출의 경우도 1.5kW 이하에서 12,500기로 주류를 담당하고 있으며 특히 1.5~10kW에서는 2배의 수출 증가율을 기록하고 있다.



그림 12. 용량별 설치 대수

4.3 네덜란드 경우

네덜란드의 경우 소형풍력발전의 시장 잠재력은 최대 2040년까지 1,161MW로 추정하였으며 이 소형풍력의 평균 규모는 로터의 면적은 10m²와 출력은

2.5kW를 기준으로 하였다. 이 목표달성을 위하여 약 12년간 개발비용과 상업화를 위하여 정부에서 강력히 지원할 예정이다. 표 2는 네덜란드 소형풍력발전 개발 계획을 나타낸 것이다.

표 2. 네덜란드 소형풍력발전 개발 계획

네덜란드의 소형풍력시장	해안 지역		내륙		전체	
	최소	최대	최소	최대	최소	최대
소형풍력의 설치대수(천대)	23.2	199.2	23	265.2	46.4	464.4
발전출력(MW)	58	498	58	663	116	1,161
발전출력 (GWh/year)	93	796	35	398	128	1,194
네덜란드 전체 수요에 부담하는 비율%	0,013	0,115	0,005	0,057	0,018	0,172

4.3 도시 및 건물에서의 소형풍력발전기 시장 전망

그린피스 최근 보고에 의하면 도시 건축 환경에서의 풍력발전은 거대한 잠재력을 가지고 있음을 보여주고 있다. 이는 최근 대규모풍력발전시스템의 급속한 발전 속에서도, 건축물밀집지역에서 사용될 수 있는 소형풍력발전시스템의 시장성의 가능성을 의미한다. 실제로 건축물에 융합된 소형풍력발전기는 최종 사용자에게 더욱 가까운 거리에서 에너지생산이 가능하도록 한다. 이는 그들이 사용하고 있는 에너지에 대한 사람들의 인식증가와 전력계통을 통한 전력수요를 줄이며, 대용량 전력공급을 위한 시설을 감소시킬 수 있다. 또한 경제적으로도 많은 전력사용자가 이를 사용하는데 부담이 없으므로 환경친화적인 전력 사용이 가능하며 건축물의 태양전지의 비용에 대한 효과적인 대안이 된다(태양발전시설과 풍력발전시설은 건축물의 다른 부분과 다른 시간대를 보충하기 때문에 동시

에 사용되어질 수 있다. 태양전지는 여름, 풍력발전기는 여름과 겨울, 태양전지는 낮 시간대, 풍력발전기는 밤시간 대에 사용된다). Wind Direction의 최근기사에서, 소형풍력발전기에 대한 세계시장가치는 네덜란드에서 산출된 계산에 기초할 경우, 2010년 이후에는 수 억유로의 시장가치가 기대된다. 네덜란드는 독자적으로, 2011년까지 약 2만개의 도시형발전기의 설치를 추진하기 위해 산업용 건물과 사무건축물에 설치공간을 확보해 놓았다. 소형풍력발전기의 시장 발전가능성은 전반적인시장과 niche market 양쪽 모두의 발전에 의존한다. 전 세계적으로 소형 풍력발전기는 전력계통이 연결되지 않는 곳에서 주로 사용될 것이다. 유럽대부분은 이미 전력계통이 연결되어 있지만 자유시장체계는 이러한 독립된 전력발전에 대한 강한 추진력을 형성한다. 경쟁은 낮은 가격을 유도하는 경향이 있으나, 재사용되지 않는 에너지에 대한 세금과 부가세들은 풍력을 점점 더 매력 있는 에너지원으로 만든다. 또한 규제완화를 통한 자율적인 에너지시장은 항상 충분하고 안정적인 전력공급을 보장하지는 못하기 때문에, 이에 따라 독립적인 에너지원에 대한 수요는 점차 증가하게 된다. 태양전지보다 소형풍력발전기는 상당히 낮은 가격의 에너지를 제공한다. 네덜란드의 Delft University of Technology는 소형풍력발전기는 도시 내 전체적으로 분산되도록 설치하는 것이 바람직하지만, 우선은 비교적 건축물 규제가 까다롭지 않은 산업지역과 사무빌딩 지역에서 이루어질 것으로 예상된다. 태양전지처럼 설치가 쉽고, 적은소음, 안정성, 적은 유지보수비용을 가지는 소형풍력발전기는 개인주택에 사용가능하다. 이를 만족하게 되면 거대한 소비시장이 형성될 수 있다.

5. 새로운 BAWT 개발동향

최근 BAWT기반 소형 WT는 유럽을 중심으로 매년 30% 성장하고 있으며, 그린시티 구축을 위하여

매우 중요한 마이크로소오스이다.

BAWT는 모두 주 풍향에 대해서만 효율적인 풍력 발전을 할 수 있는 구조로, 적용 가능한 풍환경 제약 조건이 있다. 다음으로 살펴볼 건물들은 이러한 단점을 극복하기 위해 매우 다양하고 새로운 방식들이 개발되고 있으며 중요한 프로젝트를 소개하고자 한다.

5.1 바레인 세계무역센터(The 'Bahrain World Trade Centre)

그림 13은 Atkins가 디자인한 바레인의 세계무역센터에 설치된 BAWT이다. 두 건물 사이에 3개의 터빈이 설치되어 있으며 세계에서 처음 시도되는 역사적인 건물로 터빈 블레이드직경이 29m로 두 건물의 전력수요의 11~15%를 담당할 예정이다.



그림 13. 바레인 세계무역센터 BAWT 전경

5.2 영국 아파트 타워

그림 14는 영국 엘리펀트(Elephant)와 캐슬(Castle)에 건설 중인 42층의 타워는 옥상부에 수평축 풍력발전기를 내부 장착한 형태이다. 풍력발전기 블레이드 지름은 9m이며, 세 개의 풍력발전기는 건물 조명에 사용될 전기를 생산하게 된다. 이 타워는

기술래설

자체 전력사용량의 40%를 신재생 발전으로 충당하도록 설계된 신재생 건축물로, 에코홈 인증체계(EcoHomes Certification System)로부터 최고점의 평가를 받은 바 있다.



그림 14. 영국의 아파트 타워

5.3 두바이 아나라 타워

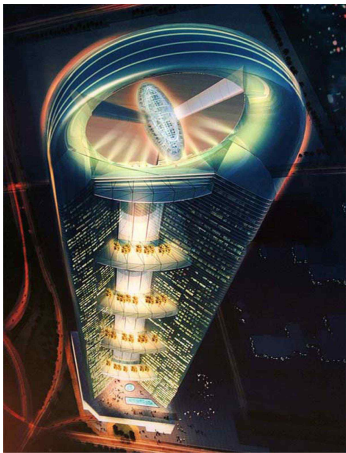


그림 15. 두바이 아나라 타워 BAWT

그림 15는 두바이에는 국제무역센터 이외에 또 다른 BAWT형 복합건물로 기획되고 있는 아나라 타워(Anara Tower)이다. 125층, 655m 높이의 이 호텔이 완성되면 세계에서 가장 높은 타워가 될 것이다. 이 타워는 사무용도 이외에도 호화스러운 300개의

파트와 250객실, 수영장 등의 호텔시설을 갖춘 호화스러운 두바이의 명물이 될 것으로 기대되고 있다. 건물 최상단에 설치될 대형 풍력발전기가 설치될 것이다.

5.4 모듈화된 건물일체화 풍력발전

그림 16은 풍력터빈을 건물 난간에 설치하여 별도의 타워 및 구조물이 필요 없고 비교적 저속으로 소음이 없고 설치하기가 매우 용이하다. 또한 다른 유사한 방식에 비하여 터빈 출력을 30% 향상시킬 수 있다고 하였다. 6kW의 정격에 200파운드의 중량 4피드의 높이 4피드의 넓이를 가진 새 스크린을 가진 풍력시스템이다. BIWT로 제일 설치하기가 용이한 방식이다.



그림 16. Modular Architectural Wind Microturbines

5.5 지붕 설치형 풍력발전기

상업적 이용에 가장 근접한 사례로서 건물 옥상에 공기튜브와 소형 풍력발전기를 복합한 형태의 시스템을 소개하고자 한다. 이러한 개념은 이미 건설된 기존 건물의 지붕을 활용하는 것으로, 적용 가능한 범위가 넓다. 공기역학적으로 도심지 내 풍환경 특성은 쉽게 예측하기 어렵다. 수많은 크고 작은 건물군

이 만들어 내는 불규칙한 유동현상 때문이다. 이러한 불규칙성을 최대한 활용하기 위하여 그림 17과 같이 건물 옥상 또는 측면 등에 쉽게 설치할 수 있는 형태의 풍력발전 시스템이다. 이 설치형은 다리우스 HAWT방식으로 한 방향으로 양호한 풍력을 가진 지역에 적합하다.



그림 17. 지붕설치형 풍력발전(windwall)

5.6 고속화도로 풍력발전



그림 18. 고속화도로 풍력 발전

그림 18은 애리조나대학에서 제한한 방식으로 고속화도로의 자동차 트럭이 달리는 속도에 의하여 발

전하는 방식이다. 80mph로 달리는 자동차로 인하여 발생하는 풍력에 의하여 발전하는 VAWT를 수평으로 배치하고 도로에서 자동차의 질수하는 풍속에서 에너지를 얻는 방식이 경이롭다.

6. 결론 및 토의

리스킨의 “3차산업혁명”[16]에서 2008년 석유가 1배럴에 147불 정점으로 제2의 산업혁명의 주 에너지인 석유시대는 서서히 막을 내리고 분산화된 신재생에너지를 중심으로 에너지인터넷을 시대 즉, 스마트그리드와 빌딩 마이크로그드가 주축이 되는 3차 산업혁명에 돌입했다고 선언하였다. 여러 신재생에너지 소오스들 중에서 마이크로소오스로서 가장 저렴한 기술적으로도 제일 완성도가 높은 도시형 소형풍력이 큰 역할을 담당할 것으로 전망된다. 아직은 우리나라는 소형풍력에 대한 관심이 적고 97%의 에너지를 수립하는 에너지다소비국가라는 것을 생각할 때 부끄럽다. 원전 한기의 고장으로 여름피크 때문에 떠들썩하는 이 나라는 원전 50여기를 가동중단한 일본의 경우를 어떻게 이해해야 하는가? 또 에너지 종속되는 국가가 되는 것이 아닌지! 에너지 자립에 대한 국민적 공감대가 형성되기를 기대해 본다. 또한 3차 산업혁명시대에 그린시티와 제로에너지빌딩을 조기 실현하기 위한 엔지니어의 종합적이고 도전적인 기술과 안목을 가지고 새로운 삶의 방식에 대한 아름다운 실체를 구현하는데 큰 기여를 기대해 본다. 도시형 풍력발전복합형 건축개념은 다소 상징성에 무게를 두고 있는 현 단계를 지나 실질적으로 건물에서 필요한 전력을 생산하는 단계로 진화할 것으로 판단된다. 이를 위해 기존의 발전방식을 뛰어넘는 새로운 소재와 개념의 고안이 선행되는 기술적 진보가 지속되어야 한다. 또한 소형풍력터빈발전기반 그린 하이브리드에너지시스템 구축 및 관리시스템기술도 역시 지속적인 개발이 이루어져야 한다.

참 고 문 헌

- [1] Park, J. C., Kyung, N. H., 2003, A Study on the Application of Small Wind Power System in Apartment Housing, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 23, No. 2. pp. 21-34, 2008.
- [2] Kim E. I., 2006, A National Strategy for Wind Power Dissemination, Journal of the Korean Society for New and Renewable Energy, Vol. 2, No. 4, pp. 1739-3935.
- [3] Roy D., Brad C., David B., Graeme W., 2008, Harvesting Wind Power from Tall Buildings, CTBUH 8th World Congress.
- [4] www.urbanwind.org.
- [5] 한국에너지자원 기술기획 평가원, “풍력 그린에너지로드맵”, 2009.4.
- [6] Jadranka Cace, “URBAN WIND TURBINES-GUIDELINES FOR SMALL WIND TURBINES IN THE BUILT ENVIRONMENT”, Intelligent Energy Europe, February 2007.
- [7] Peter ZHANG, “2012 Small Wind World Report”, World wind energy association, March. 15. 2012.
- [8] Won-Pyo Hong, “Interim development of a small scale building augmented wind turbines and dish/Stirling concentrator technology for urban area”, The Proceedings of 2012 KIEE Spring conference, 2012. 5. 3-4.
- [9] Yoon, Seong-Wook, “Review on Building Augmented Wind Turbines” 한국풍공학회지, 제13권 제3호, pp.45-51, 2009.
- [10] A.G. Dutton, “The Feasibility of Building-Mounted/Integrated Wind Turbines”, Energy Research Unit, CCLRC, Final report 4 May. 2005.
- [11] Gerald Muller, “ Vertical axis resistance type wind turbines for use in buildings”, Renewable Energy 34, pp. 1407 - 1412, 2009.
- [12] www.2004ewec.info : (A. Aguilo, Computational Fluid Dynamic Modelling of wind speed enhancement through a building-augmented wind concentration system).
- [13] 신형기, “ 풍력발전기블레이드의 소개”, 태양에너지학회지, 제5권 제4호, pp.1-7.
- [14] Lee, Jang-Ho, “Break-through technologies of urban wind energy system”, 2009유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp.589-592, 2009. 12.2-4.
- [15] Seung-Young Kim, “Design of Neural Network based MPPT(Maximum Power Point Tracking) Algorithm for Efficient Energy Management in Urban Wind Turbine Generating System”, 한국지능시스템학회논문지, Vol. 19, No. 6, pp. 766-772, 2009.
- [16] 제로미리프킨, “ 3차 산업혁명”, 민음사(안진환 번역), 2012.4.

◇ 저 자 소개 ◇



홍원표(洪元杓)

1956년 5월 15일생. 1978년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1989년 서울대학교 전기공학과 졸업(박사). 1979~1993년 한전전력연구원 선임연구원. 2007~2008년 UBC 방문교수. 현재 한밭대학교 건축설비공학과 교수. 본 학회 이사 및 편수위원. 주요 연구 분야는 필드버스제어네트워크 적용. Smart Green Building과 에너지 및 Smart space 구축기술임.

Tel : (042)821-1179

E-mail : wphong@hanbat.ac.kr