

2020 서울에너지포럼 II

도시 소형풍력의 가능성을 모색하다

도시형 소형풍력발전 기술 동향 및 보급 확대 방안

2020. 10. 5.

임성희 녹색연합 기후에너지팀 에너지전환팀장

서울시에너지정책위원회 생산분과 간사

발표순서

1. 도시형 소형풍력 확대 필요성
2. 국내외 소형풍력 보급 현황
3. 소형풍력 기술동향 및 응용사례
4. 국내 소형풍력 개발 및 보급여건, 지원 제도 및 제약요인
5. 도시형 소형풍력 확대를 위한 방안

1. 도시형 소형풍력 확대 필요성

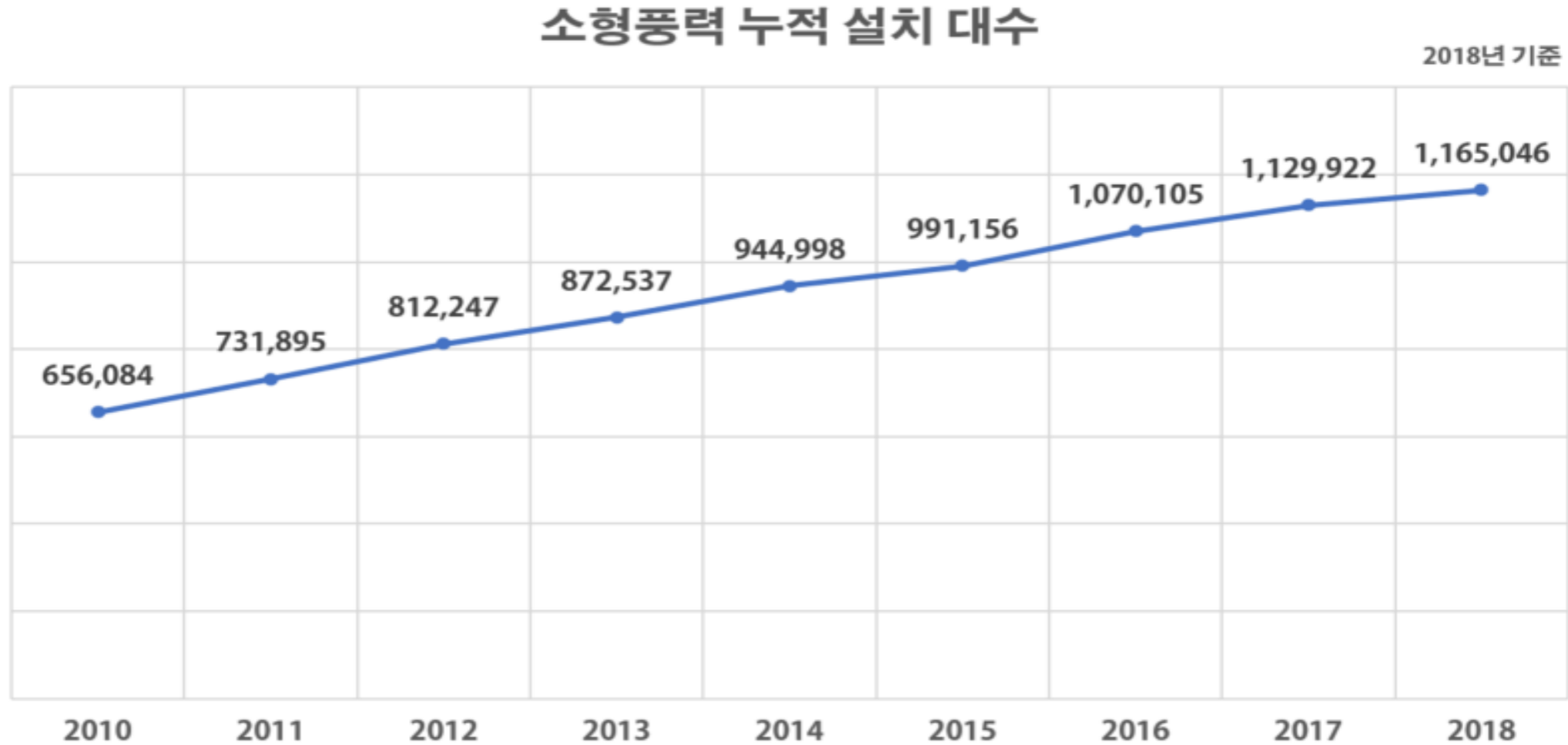


도시형 소형풍력 확대 필요성

- 기후위기 및 대기오염문제에 대응, 안전한 에너지로의 전환과 에너지자립율 향상을 위한 과제
- 소형풍력은 환경 피해영향과 설치 조건의 제약이 적어 바람조건만 맞으면 설치에 용이
- 세계적으로도 도시형 소형풍력발전의 지속적인 증가추세 (년간약 650메가 증가)
- 대도시의 경우 대형풍력발전기를 설치하기 어려운 조건
 - 태양광과 더불어 소형 풍력 보급으로 에너지 자립율을 높이고 분산형 전원 시스템 구축에 기여
- 재생에너지비중이 높은 국가, 소형풍력과 대형풍력이 함께 보급 - 풍력에 대한 사회적 수용성 증대
- 서울시의 경우 원전하나줄이기 사업 중 생산분야를 지탱하고 있는 태양광발전 및 연료전지 사업 외 다양한 재생에너지 인프라 구축이 필요
- 서울시 제 5차 지역에너지계획(2020-2040)
 - 목표: 최종 에너지 소비량 50% 절감, 전력 자립율 35%, 신재생에너지 보급률 17%, 온실가스 배출량 70% 감축
 - 과제: 태양광 3500MW, 연료전지 700MW 보급을 비롯 분산형 에너지 및 신재생에너지원 이용 확대, 에너지 신산업 육성

2. 국내외 소형풍력 보급 현황

세계 소형풍력발전 보급현황_설치대수

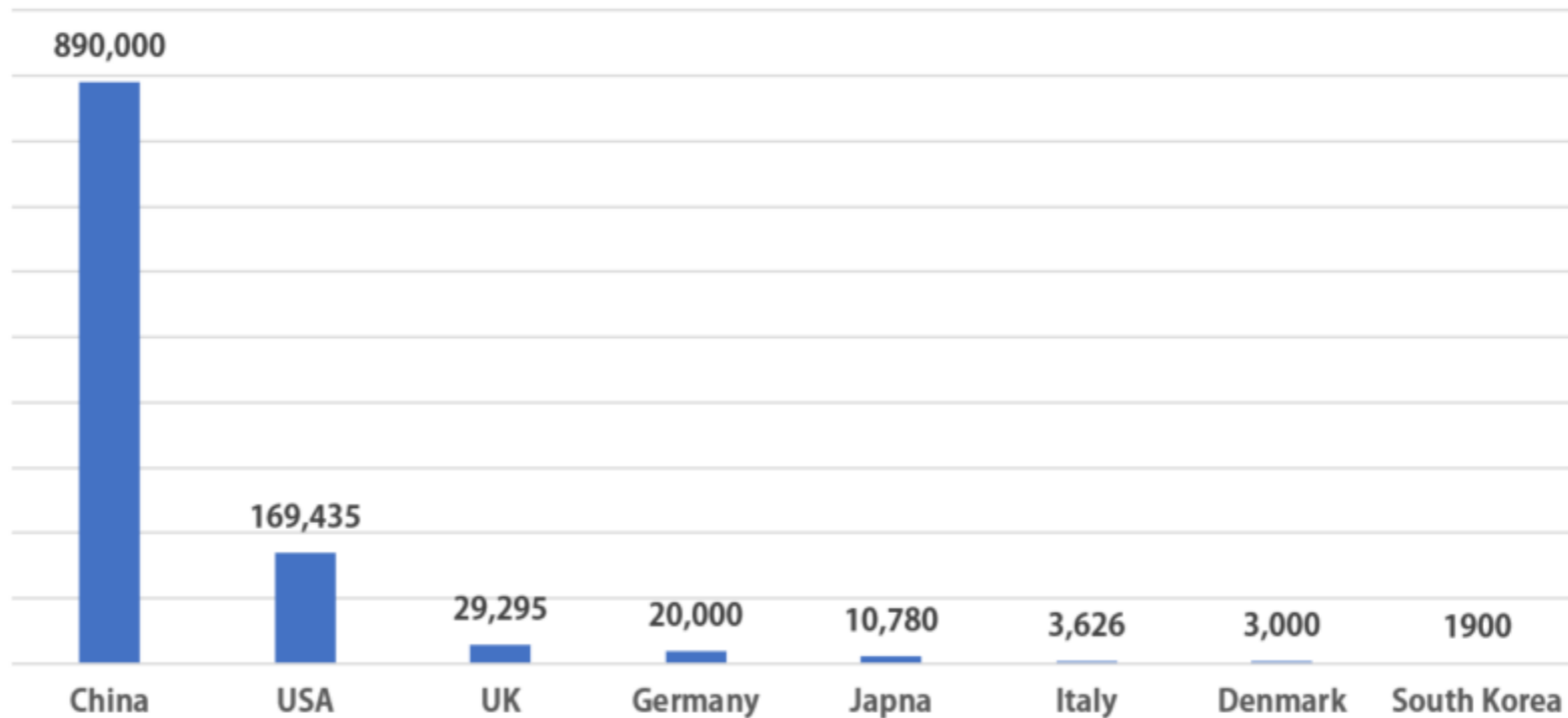


- 세계 풍력 누적 설치대수 약 116만대 (세계풍력에너지협회WWEA 2018)

국가별 소형풍력_설치 대수

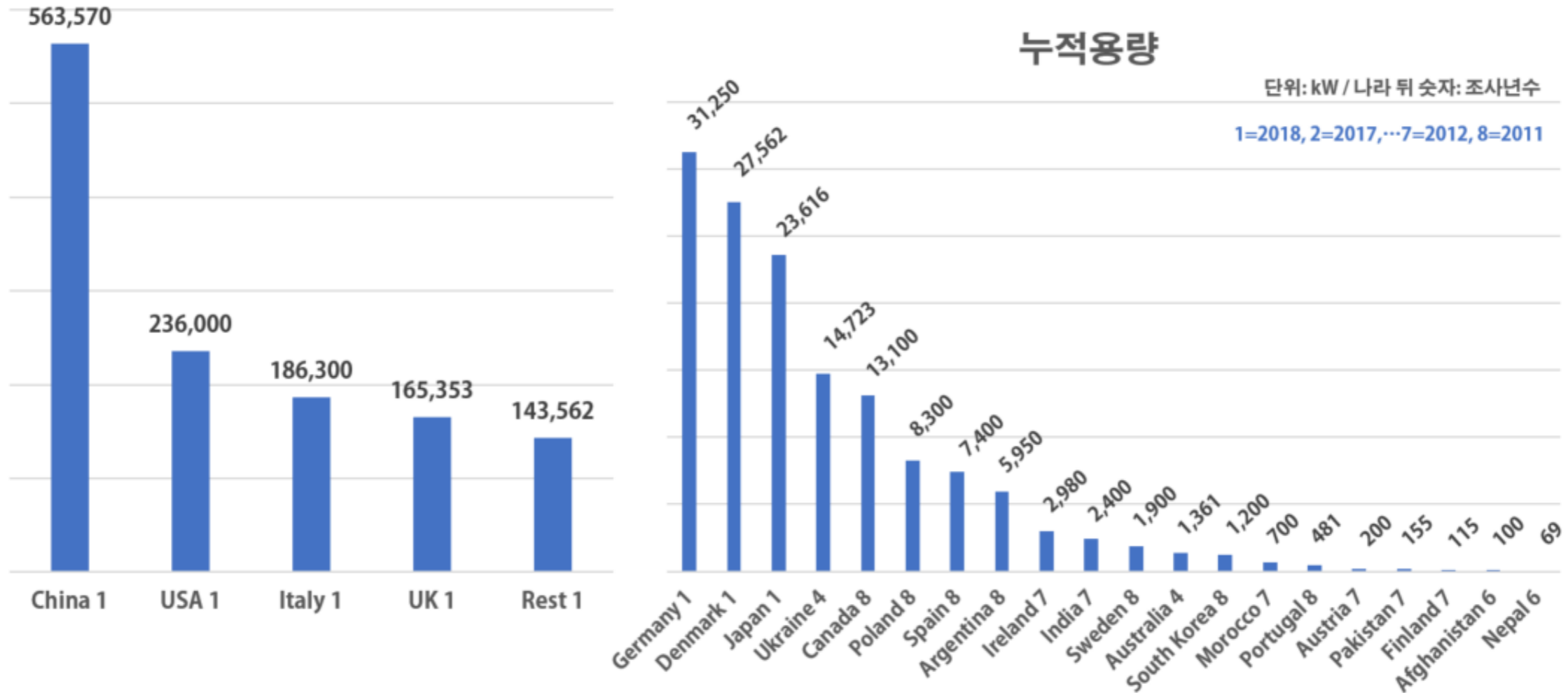
소형 풍력발전 설치대수

2018년 기준



- 중국 89만대로 약 76%, 미국과 영국이 각각 169,435대(14.5%), 29,295대.
- 우리나라는 1,900대 설치. 11위

세계 소형풍력 설치현황_누적용량



- 누적설치 용량은 1,295MW(2018)
- 중국이 전체 용량의 43%, 미국과 이탈리아가 18%, 13%.
- 우리나라는 약 1,2MW 설치. 17위

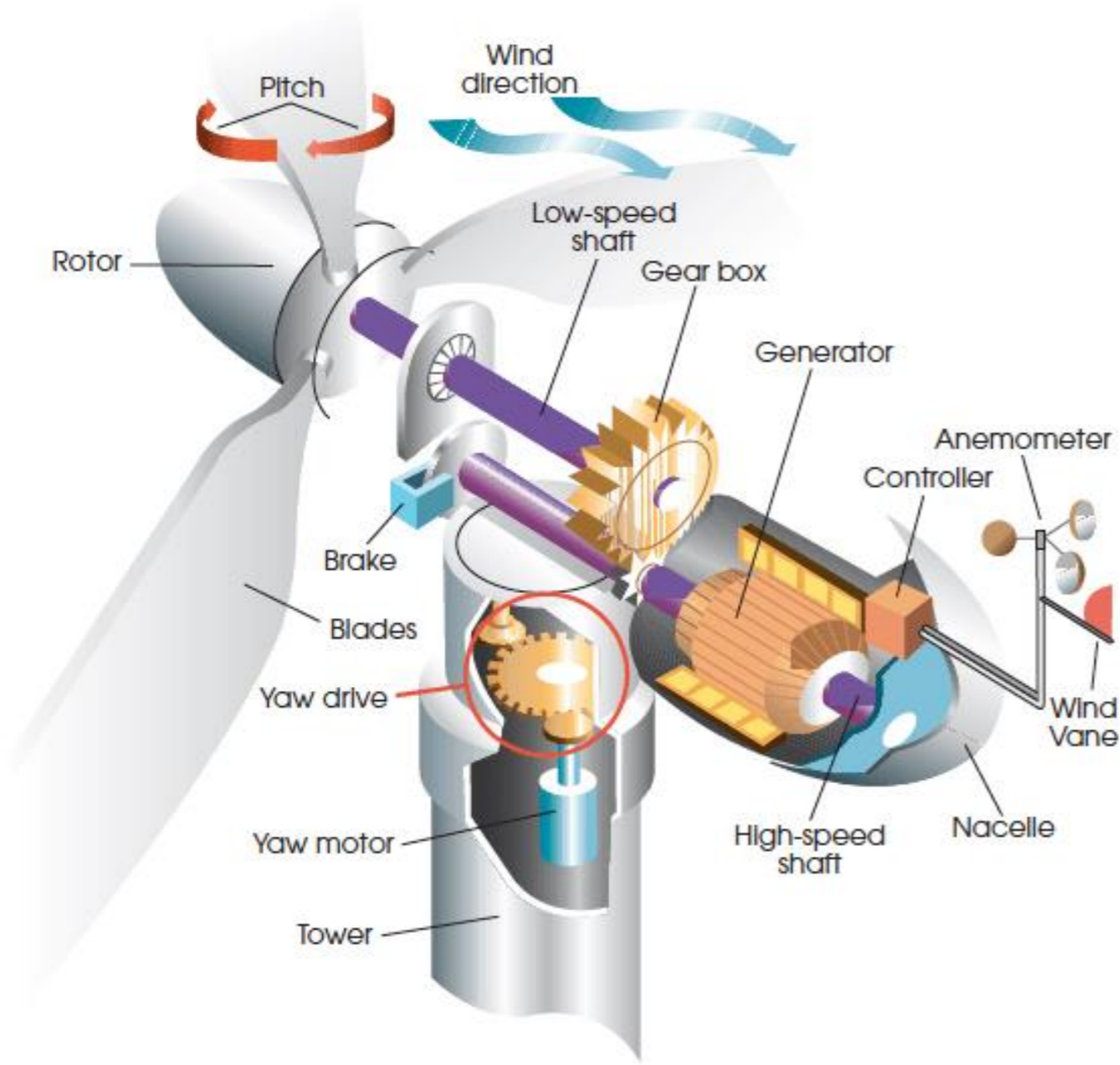
서울시 소형풍력발전 보급 현황

구분	설치기관	년도	설치위치	설치 지역	대수	단위용량 (Wp)	합계(Wp)	운영 방식	비고
자치구	강동구	2008	홈플러스 강동점	1	15	115	1,725	독립형	보안등
서울시	성동구	2009	응봉산, 살곶이공원	2	5	300	1,500	계통연계	하이브리드형 보안등
서울시	광암아리수정수센터	2010	아리수정수센터	1	1	300	300	독립형	하이브리드형 보안등
서울시	한강사업본부	2010	여의도.샛강, 난지, 뚝섬	4	35	300	10,500	독립형	하이브리드형 보안등
서울시	서부공원 녹지사업소	2011	하늘공원	1	5	10,000	50,000	계통연계	타워 24m, 블레이드 8m
자치구	성동구	2011	용답역 자전거 도로	1	1	3,000	3,000	독립형	하이브리드형 보안등
자치구	강동구	2011	허브천문공원	1	1	600	600	독립형	하이브리드형 보안등
서울시	서부공원 녹지사업소	2013	노을공원	1	4	200	800	독립형	하이브리드형 보안등
자치구	강남구	2013	출발마당 근린공원	1	1	300	300	계통연계	하이브리드형 보안등
자치구	강동구	2014	고덕천 에너지테마존	1	5	400	2,000	독립형	하이브리드형 보안등
자치구	구로구	2014	고척근린공원	1	5	400	2,000	독립형	하이브리드형 보안등
자치구	영등포구	2015	양평유수지	1	1	1,300	1,300	독립형	하이브리드형 보안등
자치구	성북구	2016	개운산공원	1	1	400	400	독립형	하이브리드형 보안등
서울시	한강사업본부	2016	뚝섬공원	1	15	300	4,500	독립형	하이브리드형 보안등
서울시	한강사업본부	2016	이촌지구	1	42	300	12,600	독립형	하이브리드형 보안등
민간	민간	2016	제2롯데월드	1	16	400	6,400	계통연계	계통연계
민간	민간	2016	제2롯데월드 타워몰	1	12	3,000	6,000	계통연계	계통연계
자치구	은평구	2017	불광동ECO 에너지테마파크	1	1	60	60	독립형	하이브리드형 보안등
서울시	한강사업본부	2018	난지캠핑장	1	31	300	9,300	독립형	하이브리드형 보안등
서울시	한강사업본부	2018	서울함공원	1	3	500	1,500	독립형	하이브리드형 보안등
합 계				24	190	22,475	114,785		

3. 소형풍력 기술동향 및 응용사례



풍력발전기 구조 및 구성



출처 : "Onshore and Offshore Wind Energy: An Introduction", Lynn. P.

타워(Tower)	풍력발전기를 지지해주는 구조물
블레이드(Blade)	바람에너지를 회전운동에너지로 전환
허브(Hub) 시스템	주축과 블레이드를 연결
회전축(Shaft), 주축(Main shaft)	블레이드의 회전운동에너지를 증속기 또는 발전기에 전달
증속기(Gearbox)	주축의 저속회전을 발전용 고속회전으로 변환
발전기(Generator)	증속기로부터 전달받은 기계에너지를 전기에너지로 전환
요잉시스템 (Yawing System)	블레이드를 바람방향에 맞추기 위하여 나셀 회전
피치시스템 (Pitch System)	풍속에 따라 블레이드 각도 조절
브레이크(Brake)	제동장치
Control System	풍력발전기가 무인 운전이 가능하도록 설정, 운영
Monitoring System	원격지 제어 및 지상에서 시스템 상태 판별

풍력발전기 시스템 분류

회전자 축의 방향	수직축 풍력터빈(VAWT, Vertical Axis Wind Turbine)
	수평축 풍력터빈(HAWT, Horizontal Axis Wind Turbine)
운전형태	계통연계운전형(Grid-connected) : 한전 전력망으로 송전
	독립운전형(Stand alone) : 배터리 충전
출력용량	마이크로 풍력발전시스템(Micro wind Turbine) : 10kW급 이하
	소형 풍력발전시스템(Small wind) : 10kW급~100kW급
	대형 풍력발전시스템(Large wind) : 100kW초과

풍력발전기 수평축 / 수직축



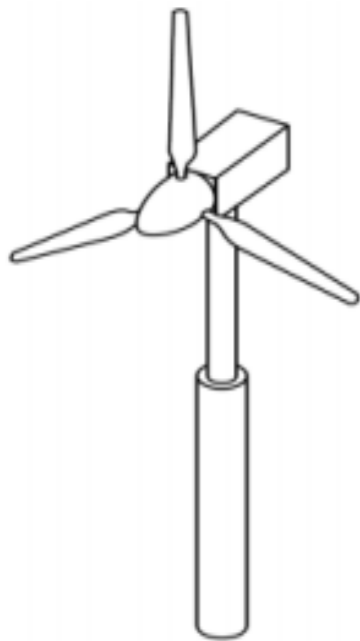
수평축 풍력발전기



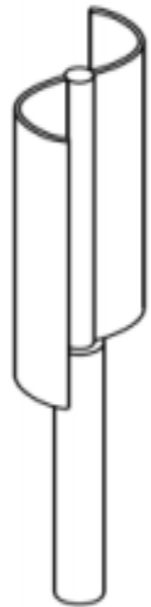
수직축 풍력발전기

소형풍력 기준 및 터빈 형태

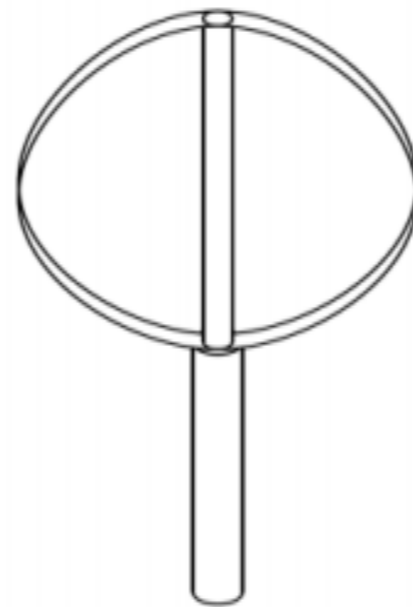
- 국내규정_ 블레이드 회전면적 200m^2 미만 / 정격 출력으로는 30kW 미만
(신재생에너지설비심사 세부기준)
- 일반적으로 소형풍력발전기의 시동풍속은 3m/s 로, 이 이상의 평균풍속이 확보되면 적용 가능
(기동풍력 1.2m/s , 1.5m/s 소형풍력발전기도 개발되어 있음)
- 다양한 형태의 풍력 터빈



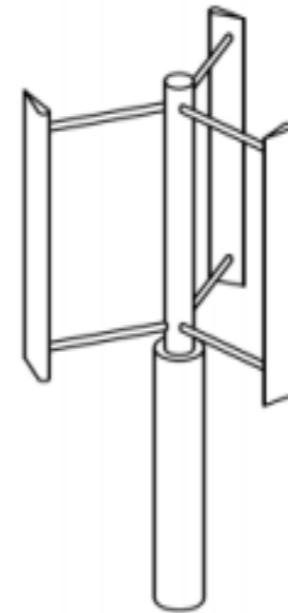
HAWT



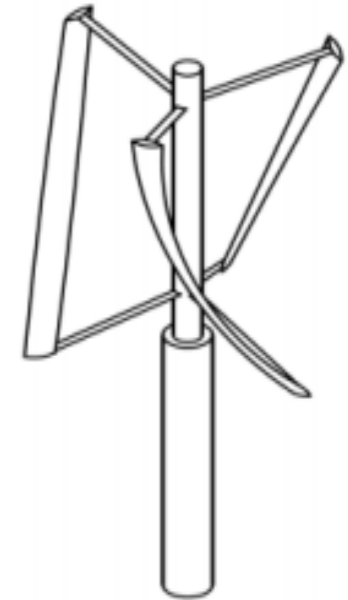
SAVONIUS VAWT



DARRIEUS VAWT



H-BLADE VAWT



GORLOV VAWT

소형풍력_터빈

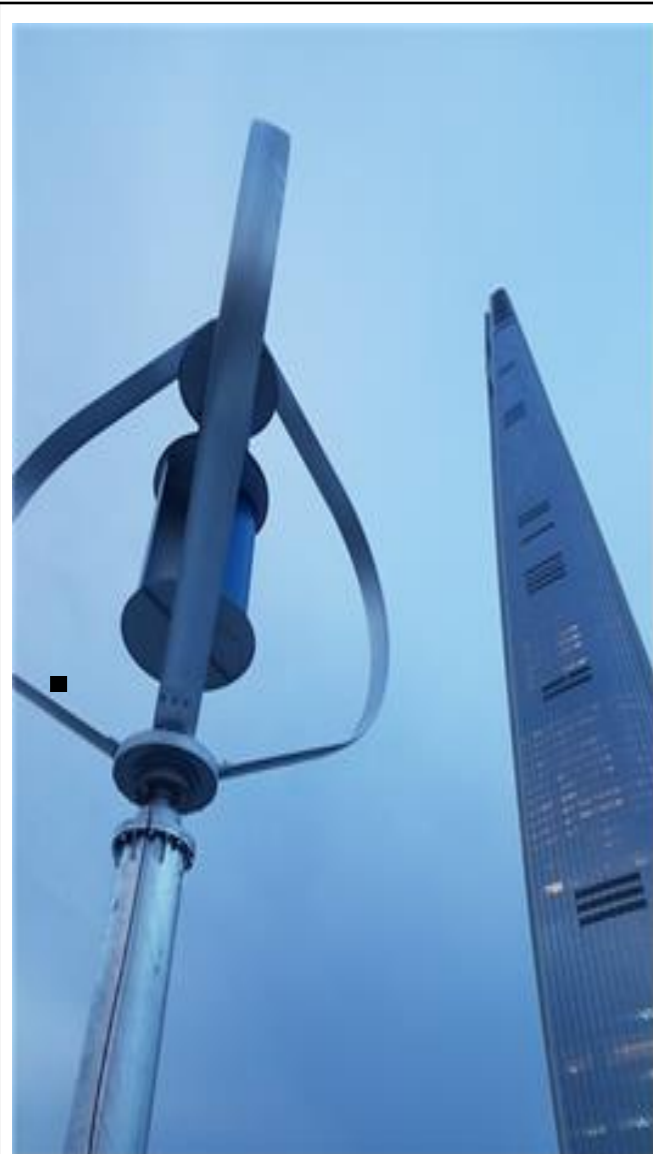
<p>프로펠라형 (수평축)</p>		<ul style="list-style-type: none"> . 상업화된 중·대형 풍력발전기 시스템 . 수직축 풍력발전기 대비 효율이 높음 . 풍향의 변동에 영향을 받음 . 작동 풍속이 높고 하중이 있음
<p>사보니우스형 (수직축)</p>		<ul style="list-style-type: none"> . 풍향에 관계없이 회전 . 원통형의 2장 날개로 구성 . 회전 효율 높임, 항력(drag)을 이용 . 좌우 날개를 서로 다르게 원주 방향으로 다소 중첩되는 부분을 남겨 엇갈리게 조합 . 두 원통 사이를 빠져나가는 바람을 반대쪽 원통 뒷면에 흘러들도록 . 주속비(peripheral speed ratio)는 거의 1 . 회전수가 낮고 소리가 조용 토크는 비교적 큼
<p>다리우스형 (수직축)</p>		<ul style="list-style-type: none"> . 날개 2~3개 . 양력형(lift)->회전수 매우 큼 . 방향타 불필요 . 정지 상태에서 바람으로부터 얻는 기동 토크가 매우 작음 . 모터 기동, 사보니우스 풍차와 협조 등으로 기동성능 향상

소형풍력_터빈

<p>사보니우스 다리우스 복합형</p>		<ul style="list-style-type: none"> . 사보니우스의 내부날개와 다리우스 외부 날개 구조 . 양력을 이용한 회전 가속 기능 . 맞바람, 대류풍, 와류 등 360도 풍향을 에너지로 전환 . 기동풍속 낮음
<p>루프형 (수직축)</p>		<ul style="list-style-type: none"> . 루프형태로 소음발생이 적음 . 꼬리형태가 풍향 변동에 맞게 방향을 바꿈 . 풍속제어 및 제동장치를 통해 강풍에도 적정 회전 수 유지
<p>Wind Cube (개발 중)</p>		<ul style="list-style-type: none"> . 증강형 풍력발전 기술 . 풍압을 받는 유효 단면적을 넓혀 수 배의 효율 증대 . 깔대기 이론으로 풍속을 증강시켜 전력 생산량 향상 . 박스형 시설로 쌓는 방식, 안전성, 수용성 과제

도시형 소형풍력발전의 응용 사례

- 풍력 조건이 비교적 양호한 지상 및 공간에 설치



제2롯데월드몰 시네마동 (3KW)



태양광 풍력 하이브리드 가로등



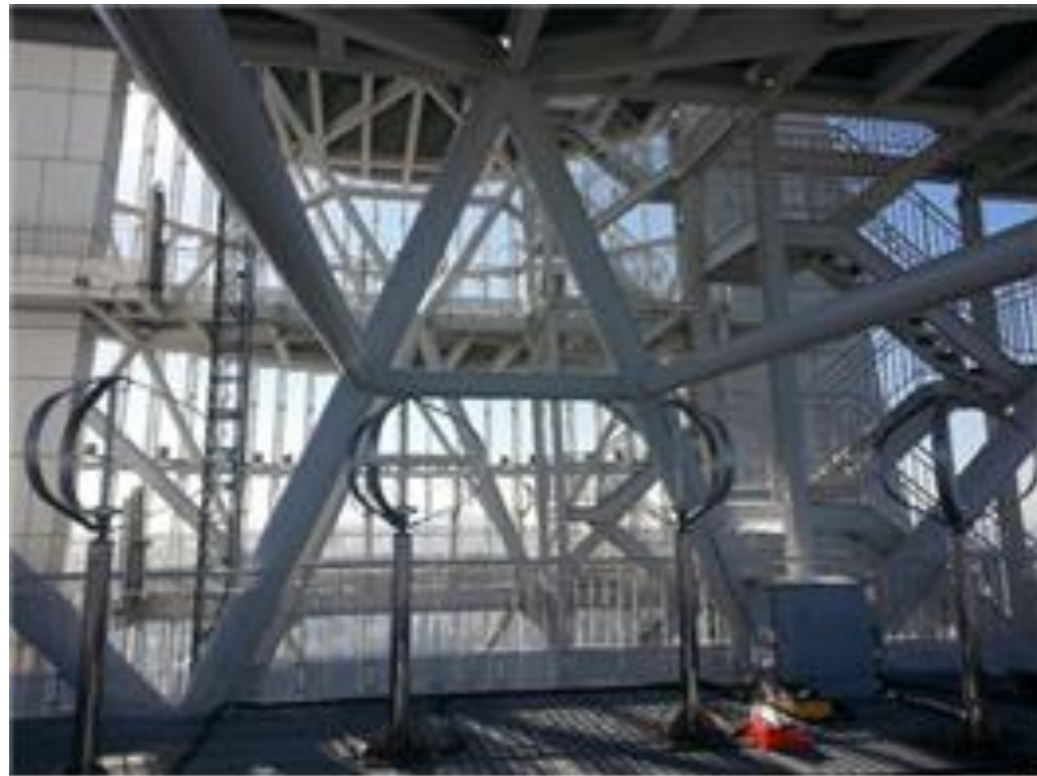
홈플러스 앞



충북 제천 환경사업소 앞

도시형 소형풍력발전의 응용 사례

- 건물의 외형이나 구조 보강없이 기존 빌딩에 설치



제2롯데월드 최상층부



한국전력 나주 신사옥 옥상

도시형 소형풍력발전의 응용 사례

- 빌딩의 한 부분으로 흡수하여 보다 효율적으로 전력을 생산할 수 있도록 함



인천 만수2청사 옥상 풍력발전



홈플러스 춘천점 옥상 풍력발전



건물 외벽 설치형 (이미지)

도시형 소형풍력발전의 응용 사례

- 건물과 건물 사이의 골바람 이용

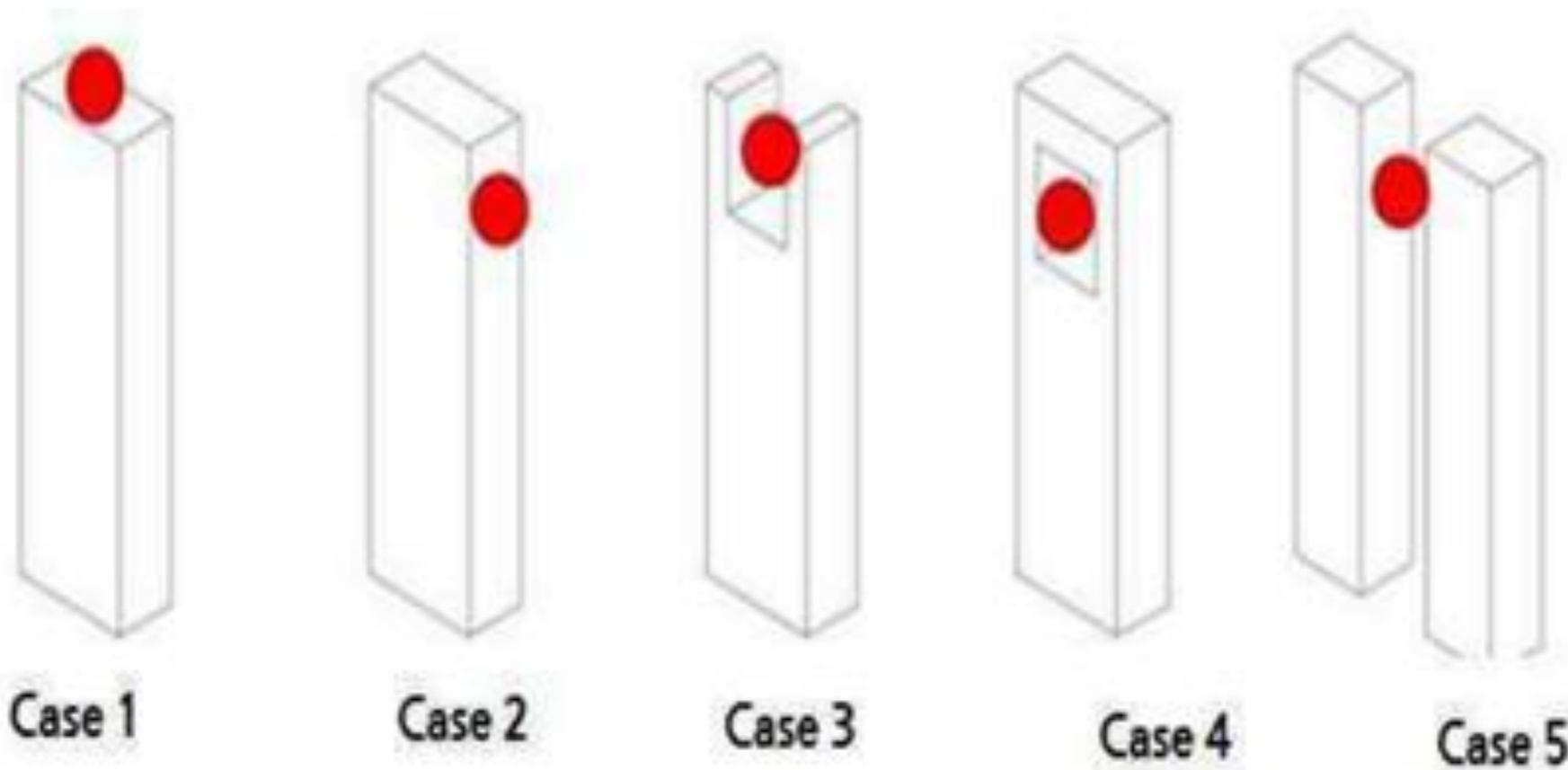


세종시 가온마을 3단지 아파트

도시형 소형풍력발전의 응용 사례 _ 초고층 건물의 시스템 적용

- Case 1-2 : 건물 지붕과 측면에 설치
- Case 3-5 : 도심의 낮은 풍력자원을 극복하기 위해 벤츄리 효과를 이용

(좁은 협곡과 같은 곳으로 바람이 불 때 나타나는 지형 효과로 국지적으로 기압이 내려가고 강풍, 돌풍 등이 나타나는 현상)



도시형 소형풍력발전의 응용 사례 _ 초고층 건물의 시스템 적용

- 바레인 세계무역센터 빌딩: 빌딩 사이 3개의 수평축발전기를 통해 건물 전력 수요 15% 생산
- 영국 스트라타 SE1타워: 옥상부에 블레이드 지름 9m의 수평축 풍력발전기를 설치, 전력 수요 40% 충당하도록 설계
- 한국 롯데월드타워: 빌딩 최상층부에 소음과 진동을 줄이고 난류에 강한 소형 수직축발전기 설치

		
<p>바레인 세계무역센터</p>	<p>영국 스트라타 SE1타워</p>	<p>한국 롯데월드타워</p>

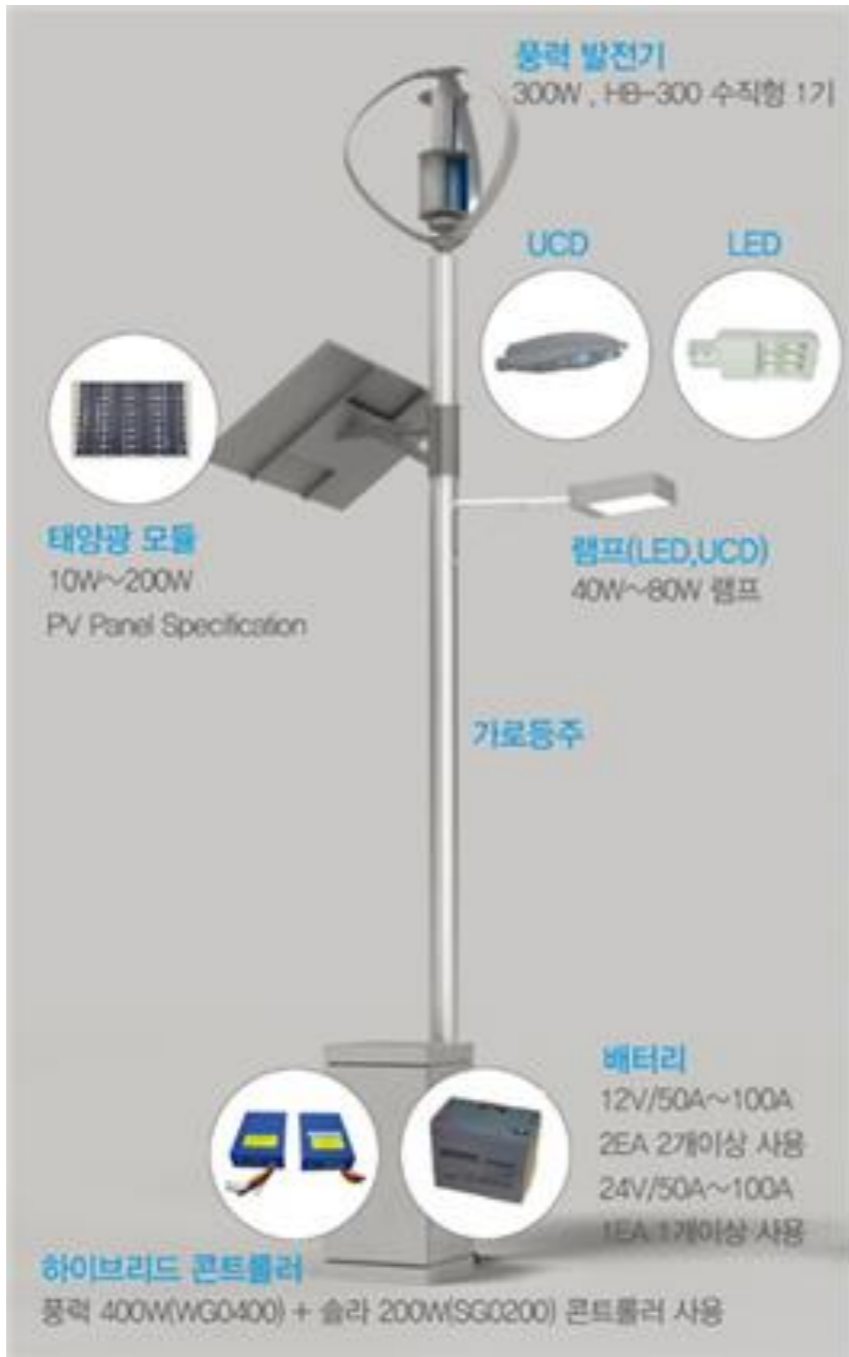

도시형 소형풍력발전의 응용 사례 _빌딩 송풍구 활용

- 송풍구/환기구에서 나오는 바람을 활용한 브로아시스템, 시간당 평균 효율 80%



송풍구를 활용한 브로아 시스템

도시형 소형풍력발전의 응용 사례 _가로등 및 와이파이 연계

 <p>풍력 발전기 300W, HB-300 수직형 1기</p> <p>태양광 모듈 10W~200W PV Panel Specification</p> <p>UCD</p> <p>LED</p> <p>램프(LED,UCD) 40W~80W 램프</p> <p>가로등주</p> <p>배터리 12V/50A~100A 2EA 2개이상 사용 24V/50A~100A 1EA 1개이상 사용</p> <p>하이브리드 컨트롤러 풍력 400W(VG0400) + 솔라 200W(SG0200) 컨트롤러 사용</p>	
<p>하이브리드 가로등 및 보안등</p>	<p>무선통신 Wi-Fi 중계기</p>

4. 국내 소형풍력 개발 및 보급 여건, 지원제도 및 한계

국내 소형풍력 개발 및 보급 여건

1) 기술 및 개발 여건

- 도심 건축물의 영향으로 바람길의 소통이 원활하지 않고 품질이 떨어지는 난류, 건축물로 인한 상승풍 기류, 미풍에서도 발전이 가능한 기술 보유 및 모델 확보 개발 중
- 소음문제는 수직형 모델이 나오면서 도서관 수준인 40dB 정도에 불과
- 수직형 모델의 경우 와류 또는 상승풍에도 발전 가능, 건물 옥상 등에 설치 가능성 높음
- 풍압을 받는 유효 단면적을 넓히고, 바람을 모아서 전력을 생산하는 증강형 풍력기술도 상용화 예정
- 제조기술이 중국보다 높고, 인건비는 유럽에 비해 저렴한 조건에서 경쟁력 보유
- **국내 기술 수준은 선진국 수준으로 올라와 있고 상용화 가능**

그러나 시장이 형성되지 않아 대량생산 체계를 갖추지 못함, 이로 인해 가격경쟁력 약함

-> 투자 저조, 제품 종류가 제한적, 산업 발전 제약

2) 설치 조건 및 보급/산업화 여건

- 소형 풍력 설치 조건 및 적정위치: 3m/s 이상의 바람. 발전효율 고려 시 4.5m/s

한강변, 빌딩풍, 건물 옥상 및 외벽, 건물 환풍구

국내 소형풍력 개발 및 보급 장애요인

- 시장형성 부재와 가격 경쟁력 취약
- 소형풍력에 걸맞는 지원제도 부재
 - 소형풍력 발전 활성화를 위한 지원제도 부재 (소규모 태양광의 경우 REC 가중치 차등 및 한국형, 서울형 FIT 지원, 해상풍력의 경우 연계거리별로 REC 최대 3.5 가중치를 부여)
- 불합리한 주민동의 절차 : 이격거리 기준 (50미터)내 주민 동의 필요
- KS인증의 어려움 : 소형풍력 테스트 사이트 부족으로 인증기간 2년 이상 소요
- 활용방안에 대한 고민 부족
 - 풍력발전이 상업용 중심으로 인식되는 것의 한계
 - CCTV, WiFi 중계기, 보안등, 조형물 등 다양한 용도로의 활용 전략 부재
- 풍황조사 데이터 부재
 - 설비용량 30kW 미만의 발전기로 구성된 1MW미만의 발전 단지는 풍황자원 계측 면제
 - 소형풍력발전을 위해 자체 조사를 하기 어려운 조건이라 (지방)정부 차원의 풍황조사 데이터 필요

국내 소형풍력 관련 지원제도 및 한계

▪ 신재생에너지보급(주택지원) 사업_2019년

- 지원 규모 : 68,800백만원

구분	지원범위	예산 배정액	비고
태양광	3.0kW이하/호(세대) 30kW이하/동(공동주택)	36,589	단독주택
		1,300	공동주택
		3,127	공공(임대) 협약
태양열	20.0㎡이하/호(세대)	5,455	단독주택 등
지 열	17.5kW이하/호(세대)	7,229	단독주택 등
연료전지	1.0kW이하/호(세대)	15,000	단독주택 등
소형풍력	3.0kW이하/호(세대)	100	단독주택 등
계		68,800	-

▪ 신재생에너지보급 사업 지원 조건

- 소형풍력분야: 풍력기 설치장소 주변 이격거리 50미터 이상, 소음, 진동 등의 민원발생 방지
- 이격거리에 포함된 모든 주택, 건물 소유주 동의서 제출(필수)
- 한국에너지기술연구원, 기상청 등의 공식적 데이터를 근거 연평균 풍속 4.5m/s 이상 지역

5. 도시형 소형풍력 확대 방안

국내 소형풍력 확대 방안_중앙정부의 역할

▪ 시장형성

- 정부가 소형풍력 소형풍력발전 활성화를 위한 정책목표를 수립하고 이를 위한 지원방안 마련
- 수요 확대를 통해 소형풍력이 일정한 규모를 형성할 수 있는 시장 여건 조성
- 이를 위한 지원제도와 보급정책을 수립해야 함

▪ REC 가중치 부여

- 소형풍력에 대한 별도의 가중치 부여
- 현재 해상풍력의 가중치는 최대 3.5이며, 수심도 고려 중
- 가중치 3 적용이 적절하다는 전문가들의 의견

(사이트별 용량에 따라 100kW 미만 3, 100kW 이상 2)

국내 소형풍력 확대 방안_중앙정부의 역할

- FIT(Feed in Tariff, 기준가격매입제도) 또는 CFD(Contract for difference, 발전차액유연지원제도) 도입
 - 산업 초기 특성에 맞게 소형풍력 활성화를 위한 지원제도 필요 (태양광발전 초기 FIT제도 수준의 정책)
- 보정계수 부여
 - 신축건물에 풍력발전기 설치 시 보정계수 부여 필요
 - 현재 태양광, 태양열, 지열, 연료전지, 집광채광, 수열, 목재펠릿 등에 적용
(고정식 태양광 1.56, 추적식 태양광 1.68, 연료전지 2.84, 목재펠릿 0.52 보정계수)
- KS 인증문제 개선 : 소형풍력발전기 인증 사이트를 늘려, 인증 기간 단축
- 주민동의절차 합리화 : 대형풍력발전 (발전기 반경 2배 거리 내 주민동의)과 별도의 소형풍력 기준 필요

해외 소형풍력발전 지원 사례_일본

- 주택별로 분산형 전원 구성 확대 추세
- 태양광발전설비 중심에서 규모가 큰 주택을 중심으로 발전효율이 일정한 소형풍력 주목, 지원
- 후쿠시마 사고 이후 2012년부터 FIT제도 도입

▪ 발전 종류별 매입가격

(소형풍력_ 대형풍력의 2.5배)

발전 종별	용량(kW)	매입 조달 가격
태양광	10kW ~ 2000kW 미만	21엔 / kWh
중소 수력	200kW 미만	34엔 / kWh
지열	15,000kW 미만	40엔 / kWh
바이오 매스	2,000kW 미만 우드펠릿	40엔 / kWh
육상 풍력	20kW 이상	21엔 / kWh
	20kW 미만	55엔 / kWh

* 미국에너지부, 풍력시장리포트 2019

해외 소형풍력발전 지원 사례_영국

- 영국의 소형풍력시장은 FIT프로그램이 축소되면서 감소
- 2015년 11.7MW, 2016년 7.7MW, 2017년 393kW, 2018년 420kW
- 2019년 4월부터 FIT를 포함한 재생에너지 보조금 지급 종료
- 발전종류별 매입가격

발전종별	용량(kW)	매입 조달 가격
풍력	0-50	8.42 펜스 / kWh
	50-100	4.98 펜스 / kWh
	100-1500	1.58 펜스 / kWh
	1500-5000	0.48 펜스 / kWh

도시형 소형풍력 확대 방안_서울시역할

- 풍황 조사를 통한 바람지도 작성
 - 한강 등 수변지역, 노을공원과 같은 고지대, 빌딩 (빌딩풍 및 고도별) 구분하여 진행
 - 햇빛지도와 같이 바람지도 제작 및 업데이트
- 서울형 FIT 제도 도입 적용
 - 중앙정부와 연계하여 사이트 단위로 100kW 또는 300kW
- 서울시 조례 정비
 - 도시계획 조례 상 용도구역 별 허용되는 발전소에 태양광, 연료전지, 지열, 열병합, 수소에너지 외 소형풍력 추가
 - 건축물 신재생에너지 의무비율에 태양광 외 1가지, 혹은 소형풍력 설치 조항 추가

도시형 소형풍력 확대 방안_서울시 지원

- 건물에 풍력발전 설치 시 세제혜택
- 주민동의절차 합리적 개선
- 시범사업 실시
 - 상용화된 제품의 건물 옥상, 환풍구, 빌딩풍 활용 가능성 실증
 - 연구개발중인 제품이나 서울시에 적합한 발전기 형태 검증 과정 필요
(네덜란드, 도심풍력 스터디 및 20여개 소형풍력발전기 테스트 후 추진)
- 보급사업 추진 : 주택 옥상이나 아파트, 상업용 건물 옥상에 소형풍력발전기 설치 시 보조금 지급

도시형 소형풍력 확대를 위한 시민참여 지원

- 인식개선활동
 - 홍보수단의 적극 활용을 통한 시민인식 개선 및 증진
 - 소형풍력 테마파크 조성, 안심귀가 하이브리드풍력발전, 디자인 요소가미한 경관등
 - 소형풍력과 결합한 무료 와이파이, 휴대폰 무선 충전 등 친화성 증진
- 인센티브 지급
 - 소형풍력 설치 시 보조금 및 세제혜택 등 인센티브
- 시민참여형 소형풍력발전 모색
 - 단지 개발과정에서 시민 및 에너지협동조합 참여
- 시민펀드 조성
 - 시민펀드 태양광 발전소 경험을 살려 시민펀드로 조성된 기금으로 소형풍력발전기 설치



감사합니다.

