

해설논문

나선형 사보니우스 풍력터빈의 개발에 관한 연구 Development Study on Vertical Axis Helical Savonius Wind Turbine



윤 대 중

Dae-Jhoong Yun

· 부산대학교 연구원
· djyun@pusan.ac.kr



이 영 태

Young-Tae Lee

· 부산대학교 박사과정
· y0ungtae@naver.com



양 현 봉

Hyun-Bong Yang

· (주) 만도
· zuskylove@hanmail.net



임 희 창†

Hee-Chang Lim†

· 부산대학교 교수
· hclim@pusan.ac.kr

1. 서 론

신재생에너지는 과도한 초기 투자의 장애요인에도 불구하고 화석에너지의 고갈문제와 환경문제에 대한 핵심 해결방안이라는 점에서 선진 각국에서는 신재생에너지에 대한 과감한 연구개발과 보급정책 등이 추진되고 있다. 또한 최근 유가의 불안정, 기후변화협약의 규제 대응 등 신재생에너지의 중요성이 재인식되면서 에너지공급방식이 중앙공급 방식에서 지방 분산화 정책으로 전환하는 시점과 맞물려 환경, 교통, 안보 등을 고려한 지역자원의 활용측면에서도 적극적인 추진이 요망되고 있는 실정이다. 이 신재생에너지 중에서도 풍력발전 기술은 빠르게 성장하고 있는 기술 중 하나로써, REN21 2012년도 보고서에 따르면 풍력산업은 2006년에서 2011년도까지 연평균 성장률이 26%에 달하며, 2011년 전 세계 전력 소비량의 2~3%를 차지하고 있다고 보고되고 있다.¹⁾

현재 풍력터빈산업은 점차 설치용량이 증가하여 현재 7 MW까지 개발되고 있으며 해상풍력분야로 확장되고 있다. 하지만 국내의 풍력발전현황을 살펴보면 지형의 대부분이 산지이고 발전이 가능한 연평균풍속이 나타나는 지역이 대관령, 제주도 등으로 매우 한정되어 있어 육상 풍력산업의 성장이 더디다. 또한 해상풍력은 수심이 깊지 않은 제주도나 서남해안 근해지역을 중심으로 개발초기단계에 머물고 있다.

WWEA 2012년 보고서의 소형풍력터빈의 누적 설치용량을 살펴보면 미국이 179 MW로 가장 높으며 중국이 166 MW로 뒤따르고 있다. 그에 반해 우리나라의 누적설치용량은 1,040 kW로 미국과 중국의 약 6%로 보고되고 있다.²⁾ 수평축 대형터빈에 비해 소형풍력터빈은 저렴한 개발단가와 풍력터빈의 인증이 필수조건이 아니기 때문에 빠른 성장을 이뤄낼 수 있을 것이라 생각된다. 또한 국내의 지형 여건상 도심 및 연 평균 풍속이 낮은 지역에서도 발전이 가능한 수직축 소형풍력발

전기는 좋은 대안이라고 판단된다. 따라서 수직축 풍력터빈 기반기술에 대한 연구를 통해 시급히 개발할 필요성이 있다.

2. 국내외 풍력산업 동향

세계 풍력시장은 최근 10년간 매년 고성장을 기록하고 있다. 2010년 이후 그 성장세가 다소 주춤하고 있지만 여전히 연간 15% 수준으로 고성장이 이어질 것으로 전망되고 있다. 이 성장세에 힘입어 2015년 이후에는 반도체·조선 등과 견줄 수 있는 세계 경제의 핵심 신성장산업의 하나로 자리 잡을 전망이다. 그동안 유럽과 미국 중심이었던 풍력시장은 지난해 신규 설치의 48%(약 2 GW)가 중국에서 이뤄지는 등 지각변동이 일고 있다. 게다가 중국은 자국산 풍력발전기 설치를 적극 유도해 상대적으로 중국 풍력업체들이 크게 성장했다.

덴마크의 신재생에너지 조사기관 BTM 컨설팅에 따르면 베스타스와 GE 에너지는 2010년 세계 시장의 24.4%를 점유했으나 중국 업체들에 의해 선두 자리를 위협받고 있다. 중국 시노벨은 지난해 GE에너지가 갖고 있던 업계 2위 자리를 빼앗았고, 4개 중국 공급사들이 상위 10위권에 진입했다. 중국업체들의 지난해 세계 시장 점유율은 31.2%다.³⁾

주목할 만한 시장 변화는 우리나라를 포함한 마이너 기업들의 실적 향상이다. 2007년 전까지만 해도 10위권 이하의 기업들은 전체 시장의 5~6%를 차지했으나, 2008년 이들 기업들의 점유율이 15.8%로 늘더니 2010년에는 20.2%로 확대되었다.

그린레이스의 최전선이 된 풍력시장을 점령하기 위해 정부는 풍력산업을 제2의 조선산업으로 육성하고 2030년까지 세계시장의 점유율을 20%로 확대한다는 목표를 설정했다. 현 점유율이 0.5% 정도임을 감안하면 야심찬 계획이다. 기술력 제고와 트랙레코드(실적) 축적 등이 제대로 이뤄진다면 충분히 가능하다는 분석이다. 현 73% 수준인 국산화율과 65%인 기술수준도 2015년 80%까지 높이고, 2030년에는 100%까지 끌어올린다는 목표

다. 정부는 개발 제품의 인증 및 초기 상용화 실적 확보에 국가적 지원이 반드시 필요하다는 판단으로 지난 7월 22 MW 규모의 영흥풍력단지를 준공했고, 원가절감과 신뢰도 및 품질향상을 위한 지속적인 기술개발이 필요하다고 분석하고 이를 위한 지원도 확대할 계획이다.

국내 풍력업체들은 국산풍력 개발과 국제인증 취득 등 세계시장 진입을 위한 다각적인 노력을 기울이고 있다. 고무적인 것은 최근 풍력시장이 육상에서 해상으로 옮겨가는 추세라, 해상 구조물에 대한 설계 및 시공 능력이 우수하고 제철·단조 분야 강점을 앞세워 대부분의 부품 조달이 용이한 우리 업체들의 경쟁력이 곧 빛을 발할 것으로 전망된다는 것이다.⁴⁾

본 지에서 다루고자 하는 소형풍력발전의 측면에서 현황을 살펴보면 국외 소형발전기 시장은 약 170개가량의 제조업체에서 생산한 총 470여개 종류의 발전기가 판매되고 있으며 이 중 약 83%(390개가량)가 수평축(HAWT), 18%(78개가량)가 수직축(VAWT) 발전기이다. AWEA 2011년도 보고서에 따르면 미국 소형 풍력발전기 시장은 연평균 증가율 13.4%, 총 매출액 1억1500만달러이며 누적설치용량은 약 198 MW로 보고되고 있다. 국내에서는 최근 신재생에너지원의 개발의 필요성과 더불어 주로 낙도등지에 대한 독립전원용으로 연구가 진행되고 있다. 하지만 대형풍력발전기용 블레이드를 전문으로 생산하는 업체는 몇몇 있지만 소형풍력발전기용 블레이드, 발전기, 타워 등을 전문으로 생산하는 업체는 전무하며 그리고 대부분 해외 제품을 수입하여 조립 및 설치하는 형태를 취하고 있어 풍력발전의 핵심기술인 블레이드 및 요소부품 설계 및 성능개발과 관련기술



Fig. 1 Various shape of vertical wind power turbine

은 미비한 실정이다. 국내의 소형풍력발전기를 생산하는 업체의 대부분은 중소기업들이고 현재 국내외의 공인인증기관으로부터 인증을 획득한 국내업체는 거의 없다.

3. 국내외 풍력발전 R&D 동향

3.1 국내 R&D 동향

국내 시스템사의 기술 동향을 살펴보았다. 두산중공업은 2009년 3 MW급 육상용 풍력발전기를 개발하고 제주 실증단지에서 인증을 마쳤으며 현재 해상풍력발전기를 독자 개발하고 있다.

효성중공업은 750 kW, 2 MW급 풍력발전기를 독자 개발하여 인증을 완료하였고, 현재 5 MW급 개발을 진행 중에 있으며 2014년 개발을 완료할 예정이다.

유니슨은 750 kW급 직접구동형 풍력발전기 개발을 2010년에 완료하고 실증시험을 모두 마쳤다. 또한 2 MW급 풍력발전기를 개발하고 인증시험을 완료하였다.

한진산업은 100 kW, 1.5 MW급 풍력발전기를 독자 개발하여 상업화를 진행 중에 있으며 현대로템은 2 MW 직접구동형 풍력발전기 개발을 진행 중에 있다.

현대중공업은 1.65, 2.0, 2.5 MW급 풍력 발전기 공장을 군산에 건설하고 상품화하였으며 5 MW급 개발을 진행 중에 있다.

대우조선해양은 독일의 DeWind사 지분인수를 통하여 750 kW, 1.5 MW, 2.0 MW급 풍력발전기 모델을 보유하고 상업화를 진행하고 있다.

STX는 네덜란드 Harakosan사 지분을 인수하여 2 MW급 풍력발전기 기술을 확보하고 5 MW급 시스템 개발을 진행 중에 있다.

삼성중공업은 영국 풍력터빈 기술을 도입하여 2.5 MW 풍력발전기를 Cielo사에 수출계약을 하였으며 현재 5 MW급 풍력발전기를 개발 중에 있다.

블레이드 부분에서는 애드컴텍에서 국내 최초 2 MW급 블레이드를 개발 완료하여 실증 준비 중에 있고, 한국화이바에서 저풍속 고효율 750 kW급 블레이드를 개발 중이다.

동국 S&C에서는 중대형 풍력타워를 생산하여 수출하고 있으며, 보국전기에서는 750 kW급 기어리스 풍력발전시스템의 발전기를 생산, 개발 및 수출 중에 있다.

그 외 (주)태웅(Main shaft), 풍산(Rotor shaft, 플랜지), 현진소재(Main shaft) 등 Yaw와 Pitch 베어링 단조제품을 생산하여 수출상품화 하였으며 현재 수출상품의 고부가가치화를 위해 시스템화 기술개발을 진행하고 있다.

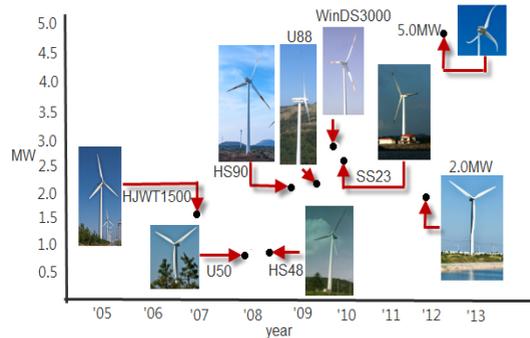


Fig. 2 Development trend of domestic wind turbine

3.2 국외 R&D 동향

Cliper사는 7.5 MW급 해상풍력용 발전기 개발을 위해 Britannia 프로젝트를 수행하고 있으며 2013년까지 영국의 Blyth에 건설할 계획을 가지고 있다. 타워높이가 약 15 m, 블레이드 직경은 145 m로 개발 중에 있다.

Enercon사는 세계에서 가장 큰 용량을 가지는 Prototype 풍력발전기를 개발하였으며, 타워높이 138 m, 로터 지경 126 m 크기를 갖는다.



Fig. 3 E-126 of Enercon, 7 MW SG.

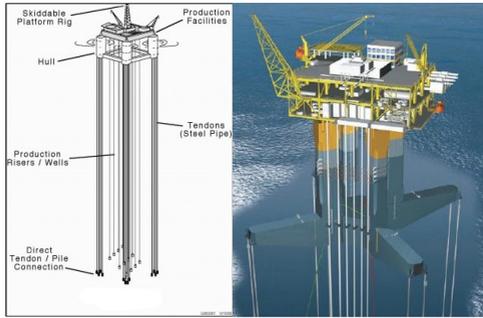


Fig. 4 TLP type



Fig. 5 Semi-submarine Pontoon type

REpower사는 DOWNVInD wind farm에 5 MW 급 풍력발전기를 Eailsman Energy사와 총 200기 건설을 목표로 진행 중에 있다. 수심 45 m 깊이에 건설되는 풍력발전기는 타워무게 210 t, 나셀 무게 410 t에 이르고 Jacket 타입의 750 t짜리 구조물 위에 건설된다.

BlueH 프로젝트에서는 부유식 풍력발전기 프로토타입을 이탈리아 남서해안으로부터 21 km 떨어진 수심 113 m 지역에 2007년 12월에 설치하였다. 80 kW 용량으로서 바람 및 해상 상태에 대한 시험 데이터를 수집하고 설계, 조립, 설치 작업 등에 대한 시험을 수행한 후 2.4 MW 발전기를 90 MW 규모의 풍력발전단지 건설을 계획한 후 2008년 말에 해체 되었다. TLP 플랫폼 형식과 2개의 날개를 갖는 풍력 터빈을 채용하였는데, 발전기 용량이 작기 때문에 발전에 의미를 두는 것보다 부유식이라는 형식을 시험하였다는 것에 의미가 있다. 2009년 8월 노르웨이 남서해상에 약 6,200만 달러를 투입하여 주상형 플랫폼 형식의 풍력발전기 Fig. 3을 설치한 HYWIND 프로젝트가 계통에 연결된 최초의 부유식 풍력발전기로 기록되었다. 1년간 운영 후에는 노르웨이 전력망에 연결될 예정이다. 2009년 9월에는 미국 메인주(Maine, USA)와는 주의 심해개발에 HYWIND기술의 적용 타당성을 공동으로 연구하기로 합의하였고, 25 MW 규모의 부유식 풍력발전 파일럿 프로젝트 제안서를 HYWIND에 요청하였다. 그리고, 2010년 8월에 스코틀랜드는 HYWIND 프로젝트의 상업적 타당성을 확인하기 위하여 3~5개의 부유식 풍력발전기를 설치할 예정이라고 발표하였다.

SWAY사에서는 Fig. 5에 나타난 바와 같은 부유식 풍력발전시스템을 개발하였다. 하나의 인장각(Tension leg)만을 사용하는 대신 와이어(Wire)로써 타워 하중을 제한할 수 있도록 고안 되었고, 다운윈드(Downwind), 공기역학적 타원단면형상, 중력앵커(Gravity anchor) 등의 독특한 구조형식을 적용하였다. 2010년 2월에 애노버(Enova)는 10 MW급 SWAY 시스템(기어리스, 로터직경 145 m) 개발에 1,720만 유로를 투자하였다. 2013년 노르웨이 해역에 5 MW급 발전기 설치를 위하여 1/6 축소실증모델도 건설하였다. 이 외에도 정·동적 안정성과 제작 및 설치의 편의성을 고려한 설계 개념이 시도되고 있다.



Fig. 6 Sway type



Fig. 7 WindFloat

Fig. 6은 렌즈 모양의 부유식 풍력발전단지시스

템(Floating Wind Lens Farm)은 상호간의 연결고리에 의해 바람에너지를 각 고리의 중심으로 모아 줌으로써 전력생산량을 늘리고자 고안되었고, 수년 내에 일본 연안에 설치될 예정이다. Fig. 7과 같이 파력발전 겸용 부유식 풍력발전장치에 대해서 제안된 사례도 있다.

4. 사보니우스 풍력터빈

4.1 사보니우스 로터의 특징

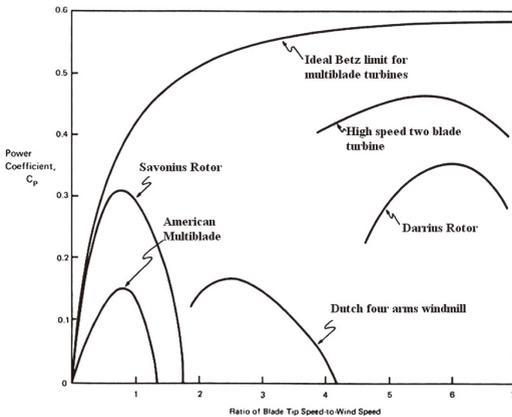
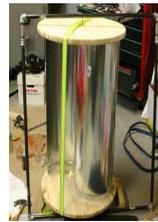


Fig. 7 Output peculiarities of various windmill (Eldridge, F.R. 1980⁵⁾)

수직축 풍력터빈은 바람이 불어오는 방향과 수직으로 축이 놓이게 되며 수평축과 다르게 요잉 제어를 필요로 하지 않는 것이 큰 특징이다. 종류를 보면 일정한 단면형상의 원호형상 날개의 양끝을 수직축으로 2~3 매 붙인 형상의 다리우스형(Darrius type)과 수직으로 붙여진 대칭익형 블레이드(매수는 2~4 매)가 풍향에 대하여 자동적으로 최적의 받음각(Angle of attack)을 얻는 구조의 자이로밀형(Gyromill type)이 있다. 그리고 핀란드인 S.J. 사보니우스(Savonius)에 의해 1920년대에 고안된 사보니우스형이 있으며, 반원통형의 날개를 마주보게 하여 편심 시키고 있다. 일반적으로 반원통형의 날개는 2 개로 구성된다.

일반적인 사보니우스 풍력터빈은 회전자의 요면과 철면의 항력차에 의해 작동하기 때문에 기

동 토크는 크지만 회전수가 낮고 일반적으로 효율도 Fig. 7과 같이 주속비 1 전후로 최대 15~20%에 지나지 않는다. 또한 다른 풍력터빈보다 상대적으로 토크변동이 작고 회전이 부드럽지만 회전수는 낮은 편이다. 수평축 풍력터빈과는 달리 형태가 다양하게 있으며 그에 따라 성능특성도 다르게 나타난다. 예를 들어 Fig. 8(a)과 같이 터빈의 성능향상과 저소음을 위해 블레이드의 상부와 하부에 end plate를 설치한 형태나 Fig. 8(b)와 같이 다단형태로 만들어 성능을 향상시키거나 Fig. 8(c)와 같이 블레이드에 비틀림을 주어 터빈의 rpm을 증가시키고 디자인성의 향상을 노린 것도 있다.



(a)Modi



(b)NTT Urban Development Co.



(c)Helix Wind

Fig. 8 Various shapes of Savonius wind turbine

4.2 사보니우스 로터의 형상

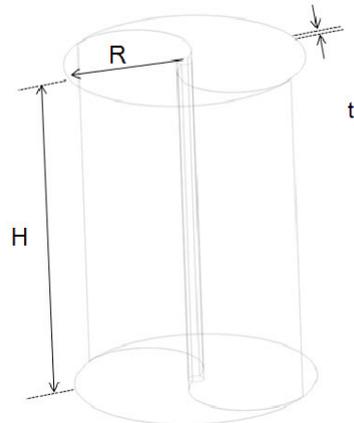


Fig. 9 Basic Savonius rotor shape

나선형 사보니우스 로터의 기본적인 설계사양은 높이(H)가 720 mm, 로터 반경(R)이 270 mm으로 형상비(H/D)는 1.33이고 중심축을 기준으로 2개의 동일한 반원형의 블레이드와 로터의 상하부에 end-plate가 부착되어 있는 형태로 Fig. 9에서 나타내었다.

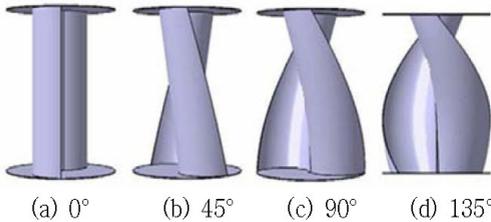


Fig. 9 VAWT blade shapes with various twist angle

Fig. 9는 로터의 비틀림각이 0°인 기본 사보니우스 로터에서 비틀림 각을 각각 45°, 90°, 135°로 45°간격으로 변경한 것을 나타내고 있다. 여기서 비틀림 각이란 로터의 상하부의 블레이드 끝단이 이루는 각도를 의미한다.

4.3 블레이드 형상 설계

헬리컬 형상의 사보니우스 블레이드를 설계하는데 있어서 여러 가지 변수들이 존재하는데 대표적으로 나선각(helical angle), end plate의 유무, 형상비(aspect ratio), overlap ratio 등이 있다. 여기서 나선각은 수직형 블레이드의 상부와 하부의 꼬인 정도를 의미하며 overlap ratio는 블레이드와 축이 연결된 부분에서 겹치는 비율을 의미한다. 또한 형상비는 블레이드의 길이와 직경의 비율인 H/D를 의미한다. 본 제안에서는 나선각과 형상비가 터빈성능에 미치는 영향을 파악하기 위해 나선각을 0°, 45°, 90°, 135°로 선정하였으며 형상비는 1, 1.33, 2로 선정하여 실험을 수행한다. 여기서 형상비를 변화시킨 모델은 로터면적의 변화에 따른 영향을 최소화하기 위해 로터의 면적을 모두 동일하게 설계한다. 즉, 형상비가 증가할수록 터빈의 직경이 줄어들고 높이가 증가하는 형태를 가지게 된다.

카티아를 이용한 모델링 과정은 기초 데이터

작성, 스케치, 돌출 순으로 수행된다. 먼저 Fig. 10(a)와 같이 10개의 단면으로 나눠서 스케치하게 되는데 첫 번째 단면에서 일정각도를 회전시키며 10번째 단면에서 최종적인 나선각이 나오게 된다.

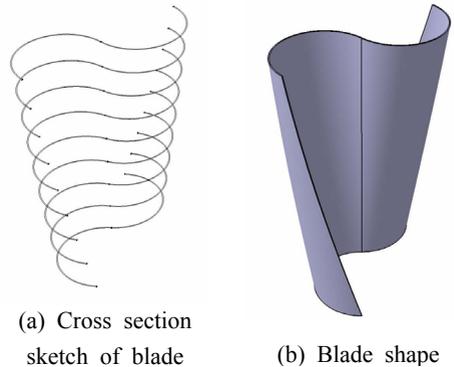


Fig. 10 Design of blade shape

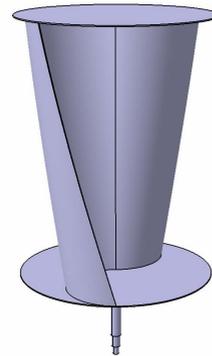


Fig. 11 Final shape of blade

앞서 나타낸 스케치들을 각각 이어주게 되면 Fig. 11과 같이 블레이드 형상이 나오게 된다. 실제 풍동실험에 사용되는 터빈형상은 축과 블레이드를 이어주게 되는 부분이 필요하게 된다. Fig. 10(b)의 형상에서 터빈 축과 end-plate를 부착한 최종형상은 Fig. 11과 같다.

5. 결 론

전 세계적으로 신재생에너지원 중 하나인 풍력

후 기

발전기 건설은 2030년까지 지속속인 성장을 할 것으로 전망되었고, 2020년에는 육상풍력발전기의 건설용량의 절반에 이를 것으로 분석되었다. 해상 풍력사업은 그 특성상 해상풍력 최근접지에 생산 설비를 확보하는 것이 매우 중요하다. 그렇지 못할 경우 물류비를 절감할 수 없어서 경쟁력이 낮아지게 된다.

해상풍력발전기의 신뢰성과 효율증가가 해상풍력산업을 위한 도전이다. 앞으로 5년 내에 중국에 10 GW, 미국에 10 GW 및 유럽에 10 GW의 해상 풍력시장이 있다. 각국이 해상풍력설치를 증가하기 위해 전력망 인프라를 개발하고, 항구에 투자하는 것이 중요하다.

본 지에서는 풍력발전 터빈의 여러 형상 중 하나인 나선형 사보니우스 타입의 터빈 개발과 관련하여 연구동향과 기본적인 설계에 관해서 살펴 보았다.

수직축 풍력터빈인 사보니우스형 풍력터빈은 수평축과 다르게 요잉제어를 필요로 하지 않는 것이 가장 큰 특징이며, 기동 토크는 크지만 회전수가 낮고 효율도 주속비 1 전후로 최대 15~20%에 지나지 않는다. 또한 다른 풍력터빈보다 상대적으로 토크변동이 작고 회전이 부드럽지만 회전수는 낮은 편이다.

수직축 풍력 로터 블레이드에 비틀림각을 주게 되면 전체적으로 출력이 증가하는 것은 아니나 낮은 주속비 영역에서 상당히 안정적으로 유동 및 성능 특성을 나타내었다. 비틀림각이 없는 사보니우스 풍력터빈의 성능 특성은 주속비가 1 부근에서 가장 높은 출력계수가 나타났다. 하지만 저유속비 영역에서는 비틀림각이 큰 형상이 오히려 더 높은 효율을 나타내었다. 수직축 사보니우스 풍력터빈의 성능특성은 투영면적의 크기와 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다.

해상풍력터빈은 상당한 새로운 실험설비가 필요하고 더 큰 부품 크기와 더 높은 신뢰성 요구를 수용하기 위해 개량이 필요하다. 해상풍력기술은 발전기에 위치하고 있으며, 향후 성숙기를 위한 기술적으로 발전이 지속될 것이 예측되고 있다.

본 논문은 2012년도 정부재원(지역혁신인력양성사업)으로 한국연구재단의 지원을 받았으며, 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.(No. 20114010203080)

참고문헌

1. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2012, "*Renewables 2012 Global status report*"
2. World Wind Energy Association, 2012, "*2012 Small Wind World Report*"
3. GWEC, 2012, "*Global Wind Report*"
4. B. S. Hwang and S. B. Park, 2011, "Wind Power/2011 Renewable Energy White paper"
5. F. R. Eldridge, 1980, "Wind Machines", 2nd Ed., The MITRE Energy Resources and Environmental Series, Van Nostrand Reinhold Company
6. Y. H. Bong and H. C. Lim, 2012, "Experimental Study on the Performance of the Helical Savonius Wind Turbine", Proceedings of weik symposium, Vol. 2012, No. 5, pp. 187-192
7. Y. T. Lee and H. C. Lim, 2011, "Study on the Surface Pressure Variation around 2 and 3-Dimensional Trench Cavities Under Turbulence Boundary Layer", Journal of The Wind Engineering Institute of Korea, Vol. 15, No. 4, pp. 117-122
8. M. W. Lee and J. H. Jung, 2009, "An Experimental Study on the Performance of the Small-scale, vertical-Axis Wind Turbine", CICS 2009 Information and Control symposium collection of dissertations, No. 6, pp. 395-396
9. J. V. Akwa, H. A. Vielmo and A. P. Petry, 2012, "A review on the performance of savonius wind turbine", Renewable and

sustainable energy reviews, Vol 16, pp
3054-3064

10. J. Y. Park, M. J. Lee, S. J. Lee and S. B. Lee,
2009, "An Experimental Study on the
Aerodynamic Performance of High-efficient,
Small-scale, Vertical-axis Wind Turbine",
Transactions of the KSME B, Vol. 33, No. 8,
pp. 580-588
11. D. J. Yoon and H. C. Yim, 2012, "Wind
Power Generation Market and R&D Trend",
ISBN;979-89-98456-01-6