

복합재를 이용한 대형 풍력 발전용 타워 기술개발 동향분석

홍철현* · 정재훈* · 강병윤** · 문병영****†

A Study on Trends for Development of Wind Turbine Tower

Cheol-Hyun Hong*, Jae-Hun Jeong*, Byong-Yun Kang**, Byung-Young Moon****†

Key Words : Wind Turbine Tower(풍력발전타워), Hybrid(하이브리드), Steel Tower(철재타워), Hybrid Tower(복합재 타워)

ABSTRACT

Wind-power generation, which is recently drawing attention as one of renewable energies across the world, has been developed mainly by Europe. As the demand for the wind-power generation rose and the amount of wind-power generation increased, the studies on megawatt-class wind-power system have been active, and the use of composite with such properties as less weight, more strength, anti-corrosion and environment-friendliness has required gradually. In other word, wind turbine tower will be required to be lighter, more reliable and more consistent. Therefore it is necessary to lose weight of the wind turbine tower. This points squarely toward hybrid/composite tower production growing. It is important to note however that hybrid/composite tower production as it is today is flawed and that there are ways to improve greatly on the performance of these towers in manufacturing process and in their in-service performance. Through this, we have some detail on the current process and its advantage of cost and weight of towers.

1. 서론

새로운 복합재료는 재료의 효율적인 조합에 의하여 구조물의 중량감소와 피로하중에 대한 높은 내구성, 안정성, 내열성 등의 이유로 해양구조물, 항공우주 부품 등에 사용되어 왔다.^{(1),(2)}

최근에는 신재생에너지 분야의 풍력발전시스템과 같은 첨단 신소재산업에 적용되어 미래 유망 거대산업으로 각광받고 있는 실정이다. 풍력에 의한 발전량이 점점 증가함에 따라, 대용량 MW급 풍력발전시스템에 대한 연구가 활발해지고 있다. 풍력 발전 시스템의 대형화에 따라, 높이 100m 이상의 타워 시스템의 개발에 대한 필요성이 증대되고 있다. 풍력발전 용량의 증가는 기존의 스틸소재의 타워를 대체하여 경량화 및 가격경쟁력에서 우수한 하이브리드 타워, 복합재 타워 등 다양한 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 새로운 재료 및 공법을 적용한 풍력 발전용 타워에 대해 소개하고자 한다.

2. 하이브리드/복합재 풍력발전 타워 개발의 필요성

하이브리드 및 복합재 풍력발전 타워는 기존의 타워 보다 설치가 용이하다. 1m 이내의 깊이의 지반 또는 거의 기초 공사 없이 타워 설치가 가능(ATLAS CTB)하다. 또한 기초 부분의 볼트 불필요하며, 타워 부분은 여러 개의 섹션으로 나뉘어져 조립이 용이하다.

이러한 장점은 추가적인 타워 높이의 상승(약10~30%)으로 양질의 바람 획득에 유리하여, 같은 용량의 풍력 발전기에 비해 연 평균 더 높은 발전량을 가지게 된다.

기존의 mono-pole형 기초보다 콘크리트를 적게 사용(기존의 30~35%만 사용)하고, 같은 허브 높이의 타워 보다 스틸의 사용이 적어 전체적인 비용 측면에서 이점을 가진다. 그리고 설치 시간의 감소로 인한 인건비 절감효과가 있다. 초기 투자 비용은 다소 높은 편이나 Payback 기간의 단축으로 전체적인 비용의 감소한다.

* 부산대학교

** (주)도하인더스트리 기술연구소

*** 군산대학교 조선공학과

† 교신저자, E-mail : moonby@kunsan.ac.kr



Fig. 1 Manufacturing of tower (Unison)

3. 풍력 발전용 타워 동향 분석

3.1 국내 개발 동향

현재 국내에서는 신소재 및 하이브리드 풍력 타워에 관한 기술 전무하거나 매우 제한적인 실정이다. 국내 풍력 타워 생산업체는 유니슨과 동국 S&C 등이며, 풍력 발전기 제조업체도 유니슨, 효성, 두산을 제외하면 아직은 시작 단계이다.

국내의 풍력 타워 기술과 융합 가능한 다른 산업 기술을 볼 때 개발 가능성은 충분하며, 세계 풍력발전기 타워시장 40%를 차지하고 있는 동국 S&C의 연구 개발은 향후 큰 기대를 할만하다. 유니슨 또한 09년 11월 북아메리카로 174억 원 상당의 풍력 타워 수출을 맺어 향후 발전 가능성을 보여주고 있다. Fig. 1은 Tower를 제작하고 있는 장면을 보여주고 있다. 그리고 필라멘트 와인딩을 이용한 복합재 풍력 타워 연구는 CAE 해석을 통한 연구가 이루어지고 있는 실정이다. 그러나 국내 대형 풍력시스템을 제작하고자 하는 기업들은 5MW 급 이상(5.5 MW, 6 MW, 7 MW 등)의 해상 풍력 시스템을 설계하고 제작하고자 하기 때문에 대형화에 따른 Blade와 너셀의 무게로 인해서 Steel Tower의 한계를 인식하고 복합재를 이용한 Tower 설계하여 대형하중을 지지할 수 있는 강도를 가진 Tower 제작에 관심을 기울이고 있다. 향후 풍력발전의 용량은 대형화 추세이기 때문에 대형 해상풍력에 적합한 Tower 설계와 개발에 주력하고 있다.

3.2 국외 개발 동향

국외에서의 풍력발전 타워 개발 동향은 주로 네덜란드, 독일, 미국 등에서 주도하고 있으며, 각 국가별 주요내용을 정리하면 다음과 같다.

○ 네델란드

- ATS 하이브리드 풍력타워(콘크리트/스틸)
- 실제로 하이브리드 타워를 적용한 2.3 MW 급 풍력 발전기를 세움
- Siemens와 협력으로 독일 Grevenbroich 풍력 실증 단지에 준공

- 2010년까지 유럽의 풍력 프로젝트에 참여, 20개 이상의 타워 설치 예정
- 전체 높이 180 m의 초대형 풍력 발전기
- 3개 이상으로 나뉘어지는 콘크리트 부는 전체 타워의 58%를 차지함
- 콘크리트 타워 76.5 m(ATS), 스틸 관형 타워 55 m(seimens)
- 우수한 강도 및 동적 거동
- 타워의 설치 기간은 최상의 기상 조건하에 1주일 내외

○ 독일 (Nordex 하이브리드 풍력 타워)

- (콘크리트/스틸) 타워뿐 아니라 세계 10대 풍력 발전기 제조업체
- 독일 Mecklenburg-West Pomerania의 Iven지역에 2개의 2.5 MW N90/2500 설치
- 콘크리트 타워는 설치 장소에서 만들어져 수송비 절감
- 총 높이 120 m 타워 중 60 m는 초기응력을 준 콘크리트 타워
- 콘크리트와 스틸은 앵커 볼트로 접합(강화 스틸 130톤)
- 최하단부 콘크리트 부는 지름이 어느 정도 조정이 가능
- 기초부의 공간(직경 8 m)이 크므로 변압기, 메인 컨버터, 중간 전압 스위치 기어를 단일 선상에 정렬 시킬 수 있음

○ 미국 (TINDALL 하이브리드 풍력 타워)

- 콘크리트/스틸 풍력 타워
- 제품명은 ATLAS CTB(Concrete Tower Base)이고 풍력 타워를 위해 개발되어짐
- 총 110 m의 타워에 깔대기 형태의 31 m의 콘크리트 타워와 80 m의 모노 타워가 있음
- 다른 하이브리드 타워와 다르게 최하단부 직경이 15~18 m로 다소 큼
- 기반 콘크리트 사이의 접합은 초기 인장력으로 2축에서 압축을 받음(반복하중의 피로방지)
- 예상 타워 수명은 50년
- 기초부를 깊게 파지 않아 굴착 비용, 노동력, 재료비 등

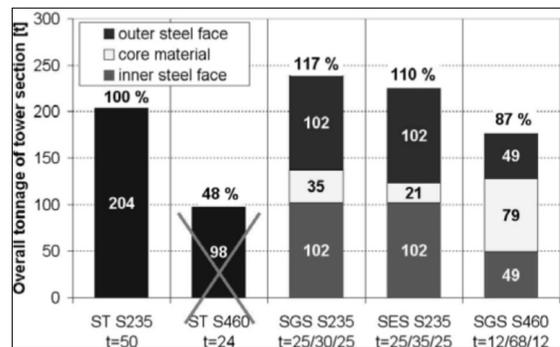


Fig. 2 Comparison of tower weight

절감

- 최 하단부의 큰 공간은 장비 및 설비 장치 저장 가능
- 기존의 기초에 사용 된 콘크리트의 30~35 % 정도밖에 사용하지 않음
- 중력을 효과적으로 이용하여 오버터닝 모멘트에 내성

3.3 기술 동향

샌드위치 구조의 하이브리드 풍력타워(스틸/그라우트, 스틸/탄성체)는 콘크리트 하이브리드 타워에서 벗어난 신소재

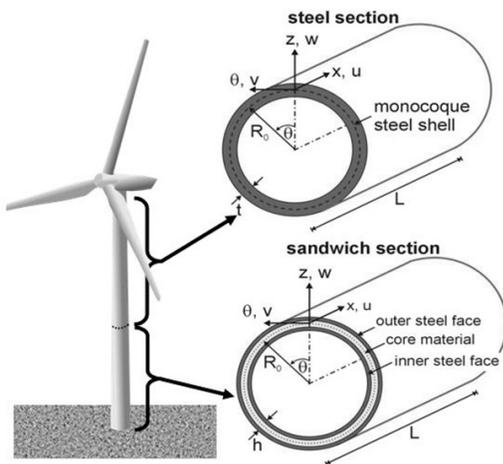


Fig. 3 Sandwich wind turbine tower



Fig. 4 WASATCH space frame



Fig. 5 Partnership-California Energy Commission & Wind Tower Composite

인 샌드위치 구조의 풍력 타워로 독일 라이프니츠 하노버 대학의 P. Schaumann 교수에 의해 제안된 방식이다. Fig. 4는 신소재로 된 샌드위치 구조의 풍력 타워를 구조를 보여주고 있다.

타워의 하단부를 외피와 내피 사이에 탄성중합체 또는 그라우트를 주입해 구조를 형성하고 있어 기존의 타워 보다 강한 강도와 특히 좌굴에 대한 뛰어난 안정성을 가진다. 장점으로는 기존 타워에 비해 많은 무게가 감소하며, 스틸 타워와 샌드위치 타워를 볼트 없이 연결할 수 있는 특징이 있다. 하지만 아직까지 실용화 단계는 아니므로 접합기술과 피로 하중에 대한 연구가 많이 필요하다.

WASATCH 스페이스 프레임 풍력 타워(스틸)의 경우 콘크리트 하이브리드 타워에서 벗어난 스페이스 프레임 구조의 풍력 타워이다. Fig. 4는 Space Frame 구조의 풍력 타워 설치 장면을 보여주고 있다.

타워를 많은 철판 구조로 나누어 인장 볼트로 체결하여 원하는 높이를 쉽게 조정 할 수 있다는 장점이 있다. 90 m 이상의 타워 높이 가능하며, 기초부는 5개의 파일로 구성되어 비용이 절감된다. 그리고 수송비용, 재료비용을 많이 절감할 수 있다.

4. 하이브리드/복합재 타워 경쟁력 분석

ATS사의 기존 타워와 하이브리드 타워 경쟁력 비교 시나리오를 살펴보면 다음과 같다.

○ 80m steel tower VS 80m hybrid tower

- 하이브리드 타워의 경우 설치 비용은 다소 높음
- 하지만 운송비용의 경우 월등한 비용 감소 효과가 있음
- 전체 초기 비용을 고려하면 약 1,000,000 유로의 비용 절감 예상
- 같은 허브 높이이므로 연간 전력 생산 추이는 동일

○ 80m steel tower VS 90m hybrid tower

- 하이브리드 타워의 경우 설치 비용은 다소 높음

Table 1 Comparison of steel tower VS hybrid tower

Comparison	Steel 80 [m]	Hybrid 80 [m] SST
Cost of tower and installation [M€]	12.32	12.41
Transport [M€]	2.05	0.93
Total initial costs [M€]	116.5	115.5
Estimated Energy Yield [Mwh/y]	215,404	215,404
CoE Reduction		1%
Reduction Initial Costs [€]		1,000,000

Table 2 Comparison of steel tower(90 m) VS hybrid tower (80 m)

Comparison scenario 2	Standard 80 [M]	90 [m] SST
Cost tower and foundation per turbine [k€]	394	439
Total project investment [k€]	23,152	23,669
Estimated Energy Yield whole park [Mwh/y]	52,700	54,966
CoE Reduction		5%
Cum. Cash flow after 15 years [k€]	30,793	32,800
Advantage SST		+6.5%

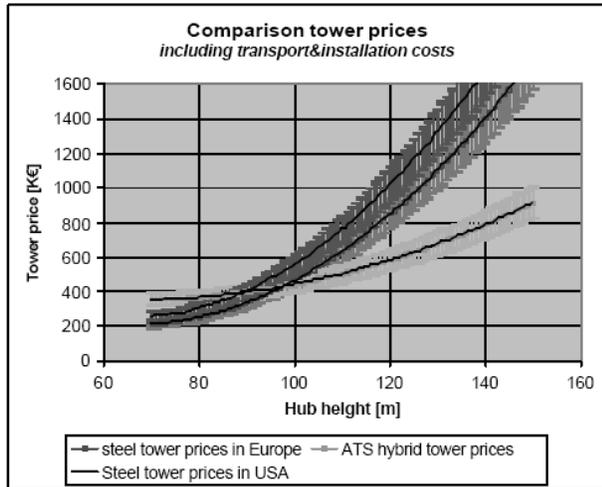


Fig. 6 Comparison of Hub height-tower price

- 전체 투자 비용을 또한 하이브리드 타워가 더 높음
- 하지만 높이 증가의 효과로 연간 전력 생산 높음
- 15년 후 더 높은 수익성 예상
- 모든 면을 고려한 결과 경쟁력 면에서 약 6.5% 우세

ATS사의 기존 타워와 하이브리드 타워 가격(운송 및 설치 비용 포함) 결과는 다음과 같다.

- 70 m 타워 높이에서는 약 1.5배의 높은 비용 발생
- 하지만 대형화 추세에 따라 타워 높이 100m 이상의 경우 상당히 큰 비용 절감 효과 기대
- 120 m 높이의 하이브리드 타워 경우 한 기당 약 400,000 유로 절감 효과
- 또한 향후 초대형화 될수록 경쟁력에서 매우 우수함

ATS사의 기존 타워와 하이브리드 타워 Payback period 비교결과는 다음과 같다.

- 최소 80 m 높이에서고 약 2.1배의 payback period 차이로 우수함

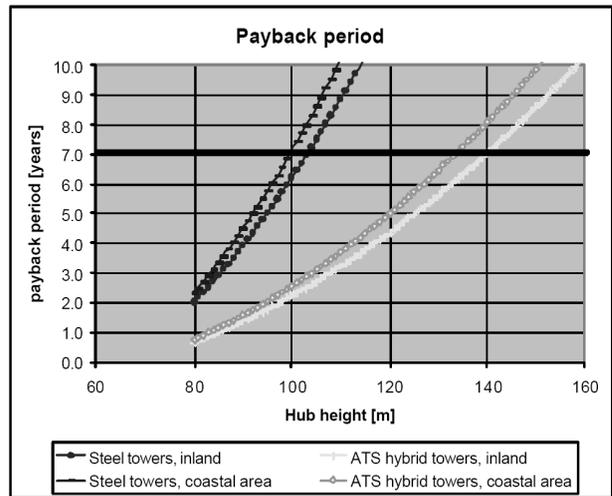


Fig. 7 Comparison of Hub height-payback period

Table 3 Comparison of steel tower VS hybrid tower

Project	2.3 MW wind turbine in central Germany	
Tower	100m tubular steel	120m hybrid
Wind speed at hub height	6 m/s	6.5 m/s
Investment total project	€ 2,850,000	€ 3,100,000
Yield (MWh/yr)	4,140	4,850
Income (€/yr)	€ 365,000	€ 426,000
Payback time additional investment		
20 m extra hub height	4 yrs	

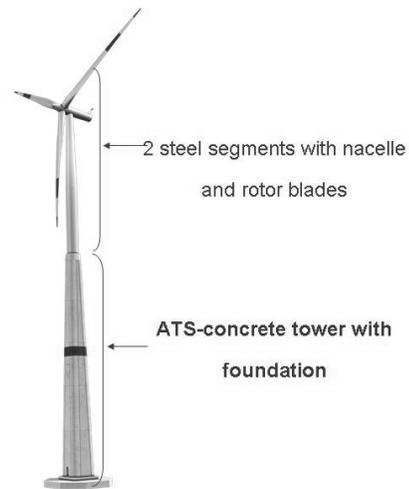


Fig. 8 ATS concrete-steel tower

- 향후 대형화될수록 더욱더 우수한 경쟁력 확보 예상

ATS사의 실제 프로젝트 중 예상 시나리오 (2009.03 독일 Siemens와 공동 수행)는 다음과 같다.⁽³⁾

- Siemens 사의 2.3 MW 터빈에 적용됨 (타워 높이 120 m)

- 100 m steel 타워와 비교 결과 약 0.5 m/s 높은 풍속 획득
- 초기 투자 비용은 250,000유로 정도 높음
- 하지만 연간 전력 생산은 710 MWh 높음
- 전체 수익에서 약 1.2배(61,000 유로)의 수익 상승효과

5. 결 론

세계 풍력 타워 시장은 낮은 가격보다 제품 품질이 매우 중요해 한국기업의 시장진출은 매우 밝은 실정이다. 세계 풍력 타워 시장에서의 기술 우위 확보를 통해 현재 한국은 높은 평가를 받고 있다.

한국산이 일본보다 원가와 납기, 중국보다 기술력과 노하우에서 경쟁우위(2008, 함부르크 코리아 비즈니스센터)를 가지며 국내 조선, 플랜트 설비, 발전설비산업 발달로 경쟁력 크다(2008, 함부르크 코리아 비즈니스센터). 풍력발전 부품분야 중국, 인도 등 후발주자는 최대 3년의 인허가 과정 등 진입장벽이 존재한다.

향후 해상용 하이브리드 타워 개발 또한 세계 시장에서 우위를 차지할 수 있으며, 새로운 기술개발만이 아니라 현존하는 타워 재료와 콘크리트 기술의 융합 및 고강도 스틸의 제작기법에 의해서도 풍력 타워의 핵심기술이 될 수 있을 것이다. 또한 그에 대한 역량을 결집함으로써 국내 하이브리드 풍력 타워산업의 높은 성장이 기대된다.

참고문헌

- (1) 이대길, 정광섭, 최진호, 1998, “복합재료 : 역학 및 제조 기술” 시그마프레스, pp. 19~20.
- (2) Jones, R. M., 1975 “Mechanics of composite material,” McGraw-Hill Book Company, Chapter 3.
- (3) MECAL, 2009, Renewable energy world september-october.
- (4) 김상호 외, 2006, “해상풍력발전용 타워의 강제진동해석에 관한 연구,” 한국풍력에너지학회 추계학술대회 논문집, pp. 85~90.
- (5) 강병윤, 김도완, 김명훈, 한정영, 홍철현, 김윤해, 2010, “대형 풍력 발전기용 하이브리드형 블레이드 구조해석,” 한국해양공학회, 추계학술대회발표논문집, pp. 2437~2442.
- (6) 손충렬, 이강수, 이정탁, 2008, “부가수 질량을 고려한 실린더형 풍력발전기타워의 동적응답연구,” 한국태양에너지학회, 추계학술대회발표논문집, pp. 61~66.
- (7) 원종범, 이강수, 손충렬, 2006, “해상풍력발전용 Tower의 고유 진동 해석에 관한 연구,” 한국소음진동공학회, 추계학술대회발표논문집, pp. 1296~1301.
- (8) 에너지·자원기술개발사업 최종보고서, 2007, “2MW PMSG 평 풍력발전 시스템개발,” 산업자원부.
- (9) Polyzios, D. J., Raftoyiannis, I. J., Ungkurapinan, N., 2009, “OStatic and dynamic characteristics of multi-cell jointed GFRP wind turbine towers,” Composite structures, Vol 90, No 1, pp. 34~42.
- (10) Uys, P. E., Farkas, J., Jarmai, K., Tonder, F. van, 2007, “Optimization of a steel tower for a wind turbine structure,” Engineering structures, Vol 29, No 7, pp. 1337~1342.
- (11) Burton, T., 2002, “Wind Energy Hand Book,” John Wiley and Sons, Ltd.
- (12) Hau, E., 2000, “Wind Turbines,” Springer Verlag.
- (13) Spera, D. A., 1994, “Wind Turbine Technology,” ASME Press.
- (14) Butterfield, Musial, W., Jongman, J. and Scлавounos, P., 2007, “Engineering Challenges for Floating Offshore Wind Turbines,” NREL Conference paper, USA, Cp-500-38776R.
- (15) B. Ernst, B. Oakleaf, M. L., Ahlstrom, M. Lange, C. Moehrlen, B. Lange, U. Focken, K. Rohrig, 2007, “IEEE Power and Energy Magazine,” Predicting the Wind, Vol 5, No. 6, pp. 78~89.
- (16) Per Krogsgaard, Birger T. Madsen, 2007, “International Wind Energy Development World Market Update 2006,” BTM Consult ApS.