완전 복합신소재 풍력타워 개발

Development of Wind Turbine Tower Structures Made of All ACM

이상열(Sang-Yeol Lee) 이사 | 안동대학교 토목공학과 | 조교수 | lsy@andong.ac.kr
지효선(Hyo-Seon Ji) 부회장 | 대원대학교 철도건설공학과 | 부교수 | hsji@mail.daewon.ac.kr
강영종(Young-Jong Kang) 부회장 | 고려대학교 토목공학과 | 교수 | yjkang@korea.ac.kr

1. 서론

현재 주로 적용되고 있는 풍력타워 재료인 강재는 부식이 주요 문제가 되며 부식 방지를 위한 추가의 방식공사를 해야 하고, 시공 후에도 유지관리비 지출이 많은 단점을 내포하고 있다. 따라서 기존 구조용 재료의 단점을 근원적으로 해결하기 위하여 경량, 내부식, 고내구성의 신소재 개발의 필요성이 제기된다. 최근 선진국에서는 복합 신소재의 가격하락과 경제적인 제조기법 및 신재료 개발기술의 발전에 따라 항공, 조선, 자동차 및 스포츠용품분야에서 이미 널리 이용되고 있는 신소재를 건설 분야에 적용하기 위한 연구가 급속히 확산되고 있다. 신소재를 사용하여 건설 시 경제적인 내부식 고강도 복합소재를 이용함으로써 구조물의 내구연한을 현저히 증대시키고 공사예산과 유지관리 비용을 대폭 절감할 수 있을 뿐 아니라 경량화되므로 운반 및 시공이 간편하고 공기단축 효과도 기대할 수 있다. 전세계적으로 풍력발전 건설이 증대됨에 따라 상대적으로 미미했던 풍력타워기술 수요도 크게 증가할 것으로 기대되며, 특히 복합신소재를 적용한 새로운 풍력타워 시스템은 원천기술 확보 및 해외 수출 성공 가능성이 매우 높을 것으로 예측된다.

풍력발전은 공공의 친환경적인 신에너지 자원 확보를 목표로 하므로 민간보다는 정부 주도의 기술력 확보가 필요하다. 특히 복합신소재를 적용한 풍력타워 형식은 국내외적으로 개발 사례가 미미하므로 초기 개발단계에서 정부지원이 절실한 상황이다. 원천기술 확보로 인한 향후 해외 수출 가능성이 높을 것으로 예측되므로 정부, 학계 및 산업체와의 연계를 통한 기술개발 및 실용화 추진이 바람직할 것이다. 본 기사에서는 복합소재 관련 풍력타워 개발 동향을 분석하고 복합소재를 활용한 새로운 풍력타워 기술을 제안한다.

2. 복합소재 풍력타워 연구 동향

국내에서는 컴퍼지트솔루션코리아(CSK, www.cskcss.com)라는 회사에서 미국 제휴로 CSS복합신소재 말뚝구조를 적용한 풍력타워 개념을 도입하였으나 아직 복합소재를 활용한 풍력 타워는 본격적으로 개발되지 않은 실정이다. 현재 복합소재를 활용한 풍력

발전기는 주로 블레이드 개발에 치중하고 있으며 전 세계적으로도 복합신소재를 적용한 풍력타워 기술에 대한 본격적인 시도는 미미한 상황이다. 유사 연구 사례로 캐나다 Manitoba 대학과 그리스 아테네 대학 연구팀이 공동으로 GFRP를 적용한 소형 풍력 타워에 대한 연구를 일부 수행하였다(그림 1~3). 캐나다 Manitoba 대학과 그리스 아테네 대학 연구팀이 개발한 타워는 유리섬유를 이용하여 소형 풍력에 적용할 수 있는 세그먼트화된 단면을 개발하였으나, 특허가 진행중인 초기단계로서 중형이상의 풍력발전에 적용하기 어려움을 가지고 있다. 따라서 미국 및 유럽에서 활발하게 적용하고 있는 복합소재를 적용한 합성 말뚝, 복합소재 현수교 및 사장교 주탑, 복합 유리섬유관, 복합소재 송전 철탑 기술 등을 풍력타워에 연계하는 방안이 바람직 할 것으로 판단된다.

그림 1. 풍력타워 모형 실험 전경

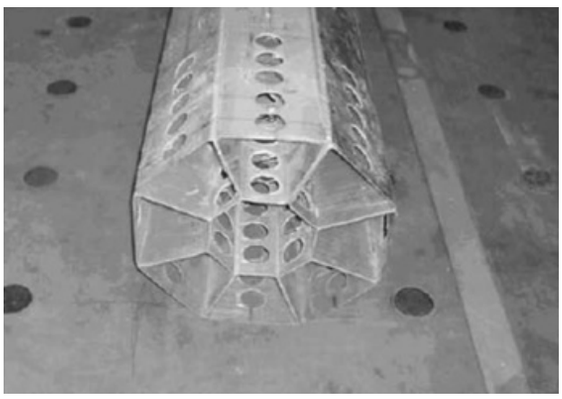


그림 2. GFRP를 적용한 풍력타워 단면

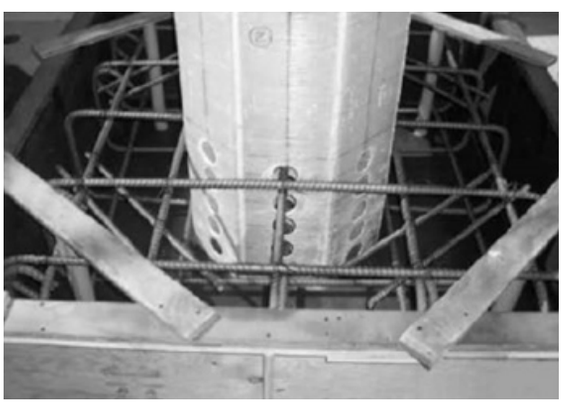


그림 3. GFRP 타워와 기초와의 연결부

3. 복합소재 기둥 구조

국내외적으로 기존 강재에 비하여 고내구성이면서 경량인 복합소재를 적용하는 다양한 연구가 진행되었다. 복합소재의 중량은 강재의 1/5 수준이고, 탄소섬유(CFRP)의 극한 강도는 PC 강연선과 동일하며 유리섬유(GFRP)의 극한 강도는 철근보다 높다. 또한 복합소재는 내부식성과 비전도성/비자성을 확보하는 장점을 갖는다. 따라서 항공기 동체 및 날개에 적용되고 있는 고성능 탄소섬유(Carbon fiber) 소재를 저가의 유리섬유와 합성하여 경제적으로 적용할 수 있도록 현수교, 사장교 복합소재 주탑 사례, 복합소재 대형 말뚝 기초, 신소재 송전탑 적용 사례 등을 풍력타워에 연계 적용 방안 강구할 수 있다(그림 4~7).

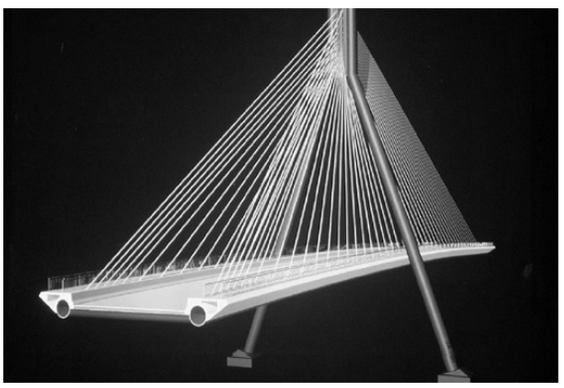


그림 4. 복합신소재 주탑 예(미국 Gilman교)

그림 5. CFRP를 적용한 대형 말뚝

4. 완전복합신소재 풍력타워의 경제성 및 성능 검토

강재는 매년 15% 이상 가격이 상승하고 있는 반면, 세계적으로 복합소재의 생산량이 증가하면서 탄소섬유 등의 생산원가는 하락하고 있는 추세이다. 기존 강재타워와 탄소섬유 및 유리섬유를 혼용한 복합소재를 적용한 경우에 대하여 동일한 형식으로 타

그림 6. FRP 주탑 보도교(덴마크)

그림 7. 유리섬유 복합소재 관

워를 제작하였을 때 자재 단가를 CSK와 공동으로 개략적으로 비교・검토하였다(표 1). 여기에서 타워에 설치되는 각종 부속장비 및 시설 단가는 제외하였다. 검토 결과, 단순비교이기는 하지만 기존 강재타워와 탄소섬유 및 유리섬유 혼합한 신소재타워의 단순자재비는 1:1.05로서 거의 비슷한 것으로 나타났다(표 1~2).

고가의 탄소섬유를 저가의 유리섬유와 적절히 혼합하여 재료의 경제성을 확보가 가능하며, 복합신소재 타워의 전체 무게는 강재타워의 25% 정도로 평균강성도 대비 매우 가볍기 때문에 운반비 절감 및

표 1. 1.5MW 및 2.0MW용 동일형식에 대한 단면특성(예), CSK와 공동 분석

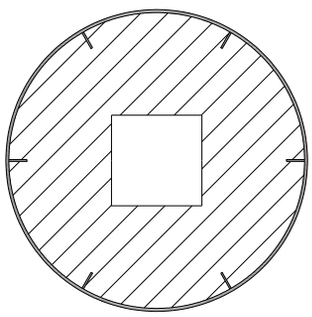
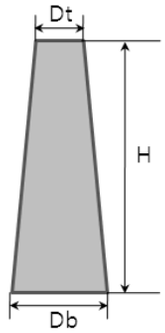
가정 단면	 〈단면〉	 〈측면〉
가정단면 물성값	1.5 MW용(H=80M)	2.0 MW용(H=100M)
	Db=5.66m, Dt=2.83m, 두께=25mm 평균직경=4.246m, 단면적=0.33$m^{2,}$ 부피=33.16m^3	Db=6.00m, Dt=3.50m, 두께=34mm 평균직경=4.750m, 단면적=0.5m^2, 부피=50.37m^3

표 2. 1.5MW 및 2.0MW용 동일형식에 대한 강재 및 복합신소재에 대한 경제성비교, CSK와 공동분석

	강 재		복합신소재	
사용재료	SM 570 (F_{ys}=440MPa)		- 섬유함유률 57%(탄소섬유 5%, 유리섬유 95%), 레진 43% - 중량백분율: 유리섬유 71.2%, 탄소섬유 2.7%, 레진 25.6%	
단위 중량	약 7.85 ton/m		약 1.917 ton/m	
평균강성도(EI)	약 7.74×10^{13}		약 8.50×10^{13}	
재료비	ton당 약 1,140,000원 (후판)		kg당 약 4,941원 (CFRP)	
타워높이	H=80m	H=100m	H=80m	H=100m
전체무게	약 260.27ton	약 396.43ton	약 63.50ton (강재의 약 25%)	약 96.57ton (강재의 약 25%)
타워전체 자재비	약 2.96억	약 3.13억	약 4.51억 (강재의 약 1.05배)	약 4.77억 (강재의 약 1.05배)

용이한 현장 설치 효과가 있다. 또한 고내구성의 복합신소재 타워는 내구연한을 크게 증대시키고 유지관리 비용을 절감하게 되어 경제성을 확보할 수 있다. 궁극적으로 최적의 소재혼합 및 적층 설계를 통하여 보다 경제적이고 합리적인 복합신소재 풍력타워 시스템을 구축할 수 있을 것으로 기대된다.

5. 완전 복합신소재 풍력타워 모형 실험

그림 8~9는 캐나다 Manitoba 대학과 그리스 아테네 대학 연구팀이 수행한 약 1/10 크기의 GFRP 모형 풍력타워를 실제로 제작하여 정·동적 실험을 수행한 예를 보여준다.

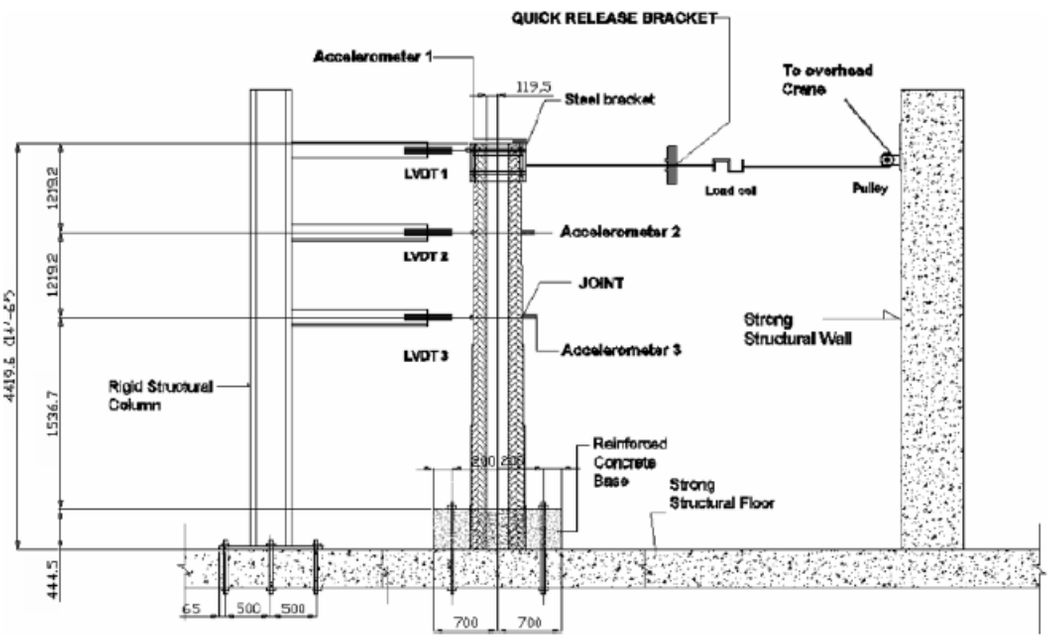


그림 8. 완전복합신소재 타워의 동적 실험 개념도(예)

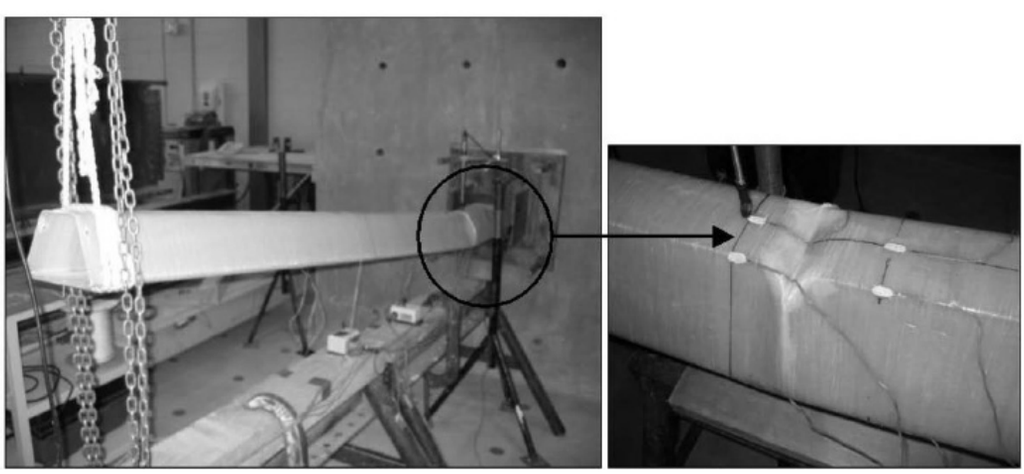


그림 9. 완전복합신소재 타워의 휨 실험(예)

6. 결론

아직까지 복합소재는 강재 등에 비하여 고가이므로 풍력타워 구조재로서의 시장성 혹은 실용성이 부족하다는 인식이 있으나 완전 복합신소재 타워를 위한 혼합재료구성, 적층구조, 최적단면 결정 알고리즘 등을 통하여 경제적이고 합리적인 복합소재의 결정이 가능하다. 저가의 유리섬유와 레진을 적절한 비율로 탄소섬유와 혼합하여 최적의 성능과 경제성을 확보할 수 있도록 한다면 충분히 풍력타워 구조에 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 복합소재는 적층수와 섬유보강각도에 따라 다양한 성능을 갖도록 설계가 가능하므로 섬유보강각도와 적층 수를 갖는 최적 적층구조를 결정하는 연구 등이 진행하여 복합소

재로 구성된 첨단의 풍력타워 구조를 개발한다면 선진국 기술수준 확보를 비롯하여, 수출 가능한 원천적 기술로서 풍력발전 분야의 획기적인 발전을 가져올 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. DJ Polyzois, IG. Raftoyianni, N Ungkurapinan (2009) Static and dynamic characteristics of multi-cell jointed GFRP wind turbine towers, *Composite Structures*, Vol.90, pp.34-42.
2. Danish Wind Turbine Manufactures Association (DWTMA) (2005) Danish Wind Turbine Manufactures Association. <http://www.windpower.org/en/core.htm>.
3. Wind Tower Composites (2003) The need for lightweight composite towers. <http://www.windtowercomposites.com/whitepapers.asp>.
4. Department of Energy. Cost effective approach to tall composite wind turbine towers by allowing on-site fabrication. <http://www.science.doe.gov/sbir/awards_abstracts/sbirsttr/cycle20/phase2/043.htm>.