

해상풍력 지지구조 설계기준의 현황 및 전망

Status and Prospect on the Design Guideline for Supporting Structure of Offshore Wind Turbine

심중성 Jongsung Sim
한양대학교 건설환경공학과 교수

오홍섭 Hongseob Oh
경남과학기술대학교 토목공학과 교수

이기홍 Kihong Lee
한양대학교 건설환경공학과 박사과정

1. 머리말

풍력발전은 대표적인 신재생 에너지로써 기술수준에 따라 무한한 자원을 자유롭게 이용할 수 있고, 이산화탄소나 방사선편기물과 같은 환경오염 물질을 배출하지 않는 무공해 천연 에너지원이다.

전 세계적으로 풍력에너지 생산량은 2000년부터 2013년 사이에 13배 이상 증가하였으며, 2013년까지 전 세계 누적발전용량은 318 GW를 넘어섰을 뿐만 아니라 발전 기술 및 재료기술 등의 발전에 힘입어 대용량, 신형식의 풍력발전 기술이 계속 개발되고 있다. 특히, 최근에 많이 설치되고 있는 해상 풍력발전은 장애물과 지형에 대한 제약이 적고, 육상에서 적용하기 어려운 대형 날개를 적용하여 발전기를 대용량·대형화할 수 있기 때문에 해상 풍력발전 위주로 성장의 무게추가 옮겨가고 있는 추세이다. 또한, 해상풍력은 대단위 발전단지 구축이 가능하여 높은 에너지 수요에 맞춰 세계적으로 확대·보급될 성장 가능성이 높은 것으로 평가되고 있다.

해상 풍력발전 생산량은 육상 풍력발전의 생산량을 이미 능가한 것으로 조사되었으며<그림 1>, 해상풍력 누적발전용량은 2013년에 전년 대비 30% 이상 증가하는 등 해상풍력 발전은 꾸준히 증가하는 추세를 나타내고 있다<그림 2>. 또한, 앞으로 해상풍력 발전에 관한 기술 투자와 산업조성은 더욱 가속화될 전망이다<그림 3>.

풍력발전시설 및 단지의 계획, 설계 및 시공은 일반 시설물의 경우와 달리 발전설비의 제작 및 운영 측면에서 접근하여야 하기 때문에 국가별 기준보다는 국제적으로 공인되고 인증된 기준 및 가이드라인에 의하여 설

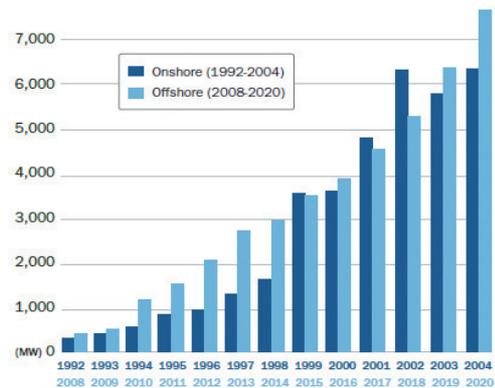


그림 1. 육상/해상 풍력발전량 추이 비교(EWEA, 2011)

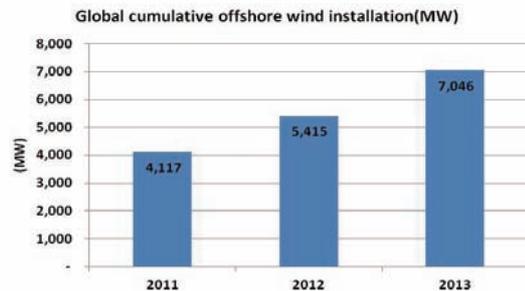


그림 2. 해상풍력 누적 발전용량(MW)(GWEC 2013)

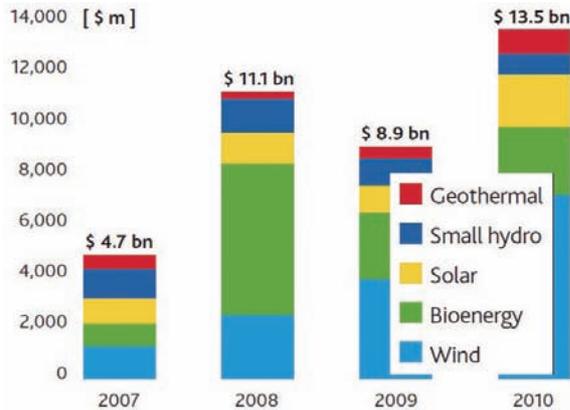


그림 3. 국제 개발은행의 신재생에너지 투자비율 추이 (2007~2010, BNEF, 2011)

계 시공되는 것이 일반적이다. 본 고에서는 국제적으로 받아들여지고 있는 풍력발전 설계 가이드 및 설계기준 등에 대하여 설명함으로써 일반기술자들의 풍력발전 구조물의 설계에 대한 이해를 돕고자 함과 동시에, 국내의 해상풍력 지지구조 설계기준의 필요성에 대하여 설명하고자 한다.

2. 해상풍력 지지구조 설계기준 현황

2.1 해상풍력 지지구조물 개요

육상 및 해상풍력발전 시설의 국제적인 규약과 표준을 다루고 있는 IEC(International Electro-

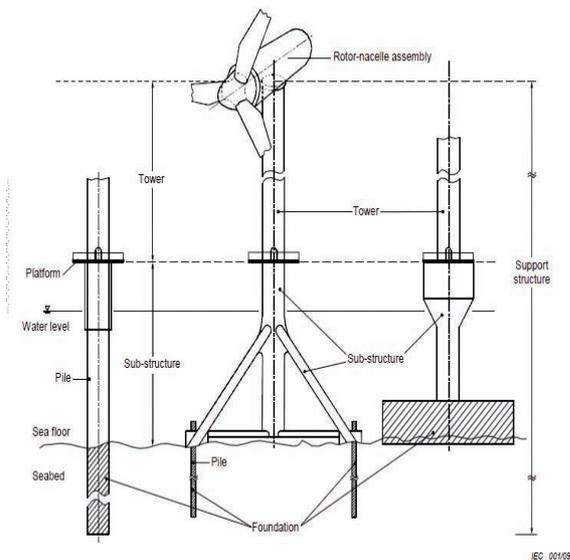


그림 4. 해상풍력발전기 구성도

technical Commission)의 규정에 따르면 해상 풍력 발전기는 크게 Rotor-nacelle assembly로 불리는 발전기 부분과 지지구조물(Supporting structure) 2개 부분으로 나눌 수 있으며, 이중 지지구조물은 타워(tower)와 기초(foundation)으로 구분된다(그림 4).

2.2 해상풍력 지지구조 설계기준 현황

2.2.1 국내 관련 설계기준 현황

현재 국내 해상풍력 지지구조 개발을 위한 설계기준은 전무한 상태이나 일부 선행된 연구에서 가이드라인 및 매뉴얼 개발이 진행 중에 있는 것으로 조사되었다. 해상풍력 지지구조물 설계 시 이용 가능한 국내 설계기준으로는 ‘항만 및 어항설계기준’, ‘구조물 기초 설계기준’, ‘강구조 설계기준’, ‘콘크리트 구조설계기준’ 등이 존재하지만 이러한 기준의 설계기준은 풍력발전기 시스템의 동적하중 및 풍력발전 전체 시스템의 안전성 등에 대한 IEC 및 국제기준을 통한 국제적 인증을 획득할 수 없는 구조물 기준으로 알려져 있다.

2.2.2 해외 설계기준 개정/개발 현황

국외의 경우 해상풍력 시스템 설계에 적용할 수 있는 관련 전용 기준/가이드라인으로는 <표 1>에 정리한 것과 같은 IEC series, DNV Guideline(노르웨이 선급), GL Guideline(독일선급), ABS Guideline(미국선급)에서 발간한 기준이 가장 널리 사용되고 있다. 그러나 이러한 기준/가이드라인 대부분은 인증을 위한 최소 요구조건만 명시되어 있

표 1. 해상풍력관련 설계기준/가이드라인

구분	Titles	특징
ISO	ISO Series	국제표준
EUROCODE	EUROCODE Series	유럽기준 (건축/토목기준)
API	API Recommended Practice 2A-WSD(RP 2A-WSD), Twenty-First Edition, 2000 API Recommended Practice 2A-LRFD, First Edition, 1993	미국석유협회 (해양구조물 코드)
NORSOK	NORSOK Standard, N-001, Structural design	노르웨이 해양구조물 코드

표 2. 해양구조물 코드 및 설계기준

구분	Titles	특징
IEC	IEC Series	국제표준
DNV	DNV-OS-J101(2011), Design of Offshore Wind Turbines Structures	가이드라인(인증)
GL	GL-Rules and Guidelines Industrial Services(2012), Guideline for the Certification of Offshore Wind Turbines	가이드라인(인증)
ABS	ABS(2010), Offshore Wind Turbine Installations	가이드라인(인증)
KR	KR(2011), 해상 풍력발전 시스템의 기술 기준	가이드라인(인증)

어 실질적인 설계에 직접적으로 모두 활용될 수는 없으므로 대부분의 가이드라인은 해양구조물에 적용할 수 있는 <표 2>와 같은 국제 설계기준 및 코드를 인용하거나 사용할 것을 권장하고 있다. 유럽 및 미주에서는 이미 해양구조물에 관한 다양한 실적 및 경험을 바탕으로 관련 기준을 발간한 상태이며, 이러한 기준을 해상 풍력 지지구조물에 적용하기 위한 연구가 활발히 진행 중에 있다.

주요 해외 가이드라인 및 설계기준들은 해상풍력 지지구조의 설계에 필요한 주 하중을 풍향, 파랑, 풍향과 파랑의 방향성, 조류, 해수위로 구분하여 풍력발전 시스템의 특성을 고려해 설계조건으로 전력생산 상태, 전력생산과정 중 고장 상태, 시동상태, 정상 정지 상태, 위급정지 상태, 파킹 상태, 고장상태에서의 운송정지 상태, 이송·설치, 유지보수 상태 등에 대한 하중 조합을 통하여 극한한계상태(ULS), 피로한계상태(FLS), 사용한계상태(SLS) 및 사고한계상태(ALS)를 검토하는 한계상태설계법(LSD)을 채택하고 있다.

3. 해상풍력 지지구조 설계기준 개발의 필요성

기존의 국내 건축/토목 설계기준에 따라 풍력발전 지지구조물을 설계할 경우 국제적 요구조건을 만족할 수 없어 국제적 인증 획득이 불가능하며, 과다 안전율을 적용한 보수적인 설계방법을 수행함에 따라 가격 및 기술 경쟁력 확보가 어렵게 될 것으로 예상된다. 그리고 현재 널리 사용되고 있는 해외의 해

상풍력 지지구조 관련 기준은 기술 선도 지역인 유럽의 사이트 환경을 바탕으로 표준화되어 있으므로 유럽의 해상풍력 설계기준을 단편적으로 우리나라나 아시아의 해양환경에 적용하여 설계할 경우 설계기준에 대한 근거자료 부재로 핵심 원천기술 확보가 어렵게 될 것이다.

결국 해상풍력 지지구조 전용 설계기준 개발이 이루어지지 않으면 해외 설계기준의 적용, 국내 시장의 잠식, 국내 기술 경쟁력 약화 등으로 사회/국가적 손실이 발생할 것으로 예상된다. 따라서 국제적 요구조건을 만족시킬 수 있는 해상풍력 지지구조 설계기준의 개발은 아시아 지역 해양환경 특성을 반영함과 동시에 국내외 시장 확보를 위한 가격 및 기술 경쟁력을 강화하기 위해 반드시 필요하며, 서둘러 해상풍력 지지구조 설계기준에 관한 적용/운영 사례 및 노하우를 축적할 필요가 있다.

4. 맺음말

전 세계적으로 ‘에너지 전쟁’이라 일컬어지는 만큼 각국의 에너지 확보에 대한 중요성이 부각되고 있으며, 대체 에너지원으로 신재생에너지 개발이 활발해지고 있는 가운데 빠르게 성장하고 있는 해상풍력 에너지에 대한 기술개발이 갈수록 중요해지고 있다. 또한, 최근에는 아시아 신규 해상풍력 발전 시장의 규모 증가율이 유럽을 추월하는 등 빠르게 성장하고 있으므로 유럽의 선진 풍력발전 설계 기술로부터 국내 시장과 개척 가능한 해외 시장을 보호/선점하기 위한 노력이 필요하다.

이에 대한 대안으로써 해상풍력 지지구조 설계기준 개발 및 기술 경쟁력 확보를 통해 에너지 경제에 대한 능동적 대처가 가능할 것으로 사료된다. 또한 설계기준 개발을 바탕으로 해상 풍력발전의 보급·활성화를 통하여 불안정한 유가와 지속적으로 증가하는 에너지 수요에 대응할 수 있는 수단이 될 수 있을 것이며, 지속가능한 산업 기반의 구축/성장을 도모하여 국가 경쟁력 확보, 일자리 창출 등 다양한 사회적 기여를 제공할 수 있을 것으로 기대된다. □

담당 편집위원 : 문도영(경성대학교) dymoon@ks.ac.kr

참고문헌

1. 김기두, 최동호, 심종성, 김경철, 해상풍력 지지구조물의 개발 및 설계, 대한토목학회지, 특별기사 I, Vol.59, No.5, 2011. 05, pp.28~37.
2. 에너지관리공단, 「2012 신재생에너지 백서」, 지식경제부, 2012.
3. Bloomberg New Energy Finance(BNEF), 'GLOBAL TRENDS IN RENEWABLE ENERGY INVESTMENT 2011', 2011.
4. European Wind Energy Association(EWEA), 'Pure Power-Wind Energy Targets for 2020 and 2030', 2011. 7.
5. Global Wind Energy Council(GWEC), 'GLOBAL WIND REPORT-ANNUAL MARKET UPDATE 2013', 2014. 4.
6. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century(REN21), 'RENEWABLES 2011 Global Status Report', 2013.



심종성 교수는 미국 미시건 주립 대학교에서 박사학위를 취득하였으며, 1987년 이후 한양대학교 건설환경공학과 교수로 재직 중이다. 주요 관심분야는 콘크리트 구조물의 보수·보강, FRP 재료의 활용, 폐콘크리트의 재활용 등이며, ACI, IABSE 및 ifc fellow member로 활동 중이다. 우리 학회에서는 제 12대 회장을 역임하였다.
jssim@hanyang.ac.kr



오홍섭 교수는 한양대학교에서 박사학위를 취득하였고, 2005년부터 경남과학기술대학교 토목공학과에서 근무하고 있다.
opera69@chol.com



이기홍 박사과정은 한양대학교에서 석사학위를 취득하였고, 동대학원에서 박사과정을 이수하고 있다.
cuziloveu@hanmail.net

2012 개정 콘크리트구조기준 해설

- 저 자 : 한국콘크리트학회
- 출판사 : 기문당
- 발행일/Page : 2012-12-20/600(판형 A4변형)
- 정가(비회원가) : 45,000원
- 회원할인가 : **36,000원**
- 배송비 착불(3,000원)

도서 소개

본 서는 건축·토목 분야 전문가로 구성된 공동 연구위원회의 집필과 건설교통부 중앙건설기술심의 위원회의 심의를 거쳐 2012년도 개정된 통합 구조기준의 구체적인 해설서이다.

- ① 하중계수 조정 : 지중 구조물 설계에서 연직 및 수평 토압이 상쇄되는 효과를 고려하여 재하방법을 명시하고 하중계수를 조정.
- ② 고강도 철근 적용을 위한 관련 기준 보완 : 국내외 실험결과를 바탕으로, 고강도 철근을 구조부재에 적용하기 위하여 관련 기준을 정비함. 개정기준에서는 SD600, SD500을 휨 철근과 전단철근으로 사용함.
- ③ 철근 상세 보완 : 확대머리 이형철근 도입과 콘크리트 앵커철근 사용을 신설함.
- ④ 기존 구조물의 안전성평가 및 성능기반설계 고려사항 제시 : 국토부 R&D 결과를 반영, 기존 구조물의 안전성평가 내용을 대폭 개선하고, 성능기반 설계시 설계자가 고려해야 하는 기본 사항을 제시
- ⑤ 균열기준 개정 : EC 모델을 참조하여 균열폭 해석모델을 수정 보완
- ⑥ 국내외 주요 연구결과 반영 : ACI 318-08 등 최신 선진기준 내용 반영, 슬래브와 기초판의 뿔림전단 강도를 합리적으로 개정

