# 해상풍력 에너지를 위한 정비 물류 조직의 현황과 미래전망

한국과학기술정보연구원
전문연구위원 신효순
(0637shin@reseat.re.kr)

## 1. 머리말

○ 지난 10년간 EU의 해상풍력 발전량은 매년 29%씩 증가하여 2013년 말 현재 8,600MW이고, 2020년 영국 해상풍력 발전량은 영국 총 발전량의 10%에 이를 것이다. 해상풍력 발전용량의 상당한 성장에도 불구하고 해양환경의 가혹함과 기상조건의 빠른 변화로 시스템의 가용성과 신뢰성 수준의 감소를 초래할 수 있다.

○ 20년의 수명을 가진 전형적인 해상풍력 터빈의 운영 및 정비(O&M: Operation and Maintenance) 비용은 생애 전주기 발전비용의 20~35%를 차지한다. 해상풍력 발전비가 육상풍력과 다른 재생에너지원 대비 경쟁력을 갖기 위해서는 해상풍력의 신뢰성, 가용성 및 정비성(RAM: Reliability, Availability and Maintainability)이 대폭 개선되어야 한다.

## 2. 분류 체계

○ 풍력터빈은 서비스 수명주기가 비교적 길기 때문에(20~40년) 정비물류 조직은 풍력 프로젝트의 전 수명주기를 고려하여 설계되어야 한다. 분류 체계는 넓은 학제 범위 내의 물류관리의 연구에 적용되는 전략적, 전술적, 운영적 모델의 3계층 구조에 근거하여 작성되었다.

○ 모델은 아래 기술한 3계층 의사 결정을 포함한다. 전략적 모델은 해상풍력 단지의 O&M에서 전체 수명주기에 걸친 장기적 효과에 대한 의사결정을 다룬다. 전술적 모델은 흔히 일 년에 한 번 또는 5년에 한 번 수리검사하는 중기적 의사결정을 다룬다. 일상적 운영 관점에서는 해상풍력 단지 내 매일의 의사결정을 포함한다.

○ 해상풍력 에너지의 정비물류에 관련이 있는 최근 137개의 문헌을 검토한 결과 10개의 핵심과 4개의 보충 부류를 확인하였다. 핵심 부류는 신뢰성 설계, 정비 숙박시설의 위치와 규모, 풍력단지 정비전략의 선택, 수리서비스 아웃소싱, 예비품 재고관리, 정비지원조직, 구매나 임대의 결정, 정비과제의 일정관리, 정비선박의 노선, 정비성과의 측정이다.

## 3. 전략적 문제

○ 신뢰성을 위한 풍력단지 설계: 해상풍력 단지의 설계(예, 지리적 배치나 레이아웃, 바람이나 파랑 방향과 관련한 설치의 위치)는 정비물류 결정에 크게 영향을 줄 수 있는 중요한 요소이다. 배치는 풍력단지의 위치(예, 해안으로부터의 거리, 수심)이고, 레이아웃은 풍력단지 내의 풍력터빈의 배치(예를 들면 배치의 형상, 풍력터빈 사이의 거리)를 의미한다.

○ 정비 수용시설의 위치와 용량: 해상풍력 터빈이 고장 나면 먼저 고장의 주 원인을 탐지하고 확인하여야 한다. 대부분의 고장 조립품은 현지에서 적절한 정비작업을 수행하여 작동할 수 있다. 그러나 어떤 경우에는 특수 장비나 훈련된 인력과 같은 자원의 결여로 인해 현장에서 모든 고장 부품을 고칠 수 없다. 이 경우에는 고장 하위 조립품의 교정을 위해 지정된 정비 수용시설로 수송한다.

○ 해상풍력 의사결정자는 가능한 일련의 대안 중에 인프라와 풍력터빈을 위한 최선의 정비전략에 대해 결정을 해야 한다. 표준적 관점에서 해상풍력 단지를 위한 정비전략은 실패 기반(반응 응답)과 사전 행동의 2개의 종류로 구분될 수 있다. 두 종류의 주요 차이점은 전자는 시스템 실패 후에 수행되는 것이고, 후자는 실패 전(즉, 실패가 발생 전)에 정비를 수행하는 것이다.

○ 연구에 의하면, 실패 기반 정비전략은 단지가 얕은 수심의 해안에 가깝게 위치한 해상풍력에서만 현실적이다. 그러나 멀리 떨어진 지역에 건조되기 쉬운 미래의 풍력단지를 고려하면 이 전략은 가능하지도 않고 효과적이지도 않다.

○ 풍력단지 정비조직을 회사 내에 두면 새로운 인프라를 구성하고 정비

엔지니어를 훈련하고 특수 설비를 갖추기 위해 거대한 투자가 필요하므로, 최근에는 빠르고, 안전하고 저비용으로 고품질을 얻기 위해 외부 서비스 제공자에게 정비활동을 아웃소싱 하는 경향이 늘어나고 있다.

○ 이 계약에 의거 고장 부품과 하위시스템을 수리 및 교환하거나 미래에 예측 고장을 줄이기 위해 중요 부품에 회복활동이 소유자에게 비용 없이 제공한다. 계약 기간이 만료된 후에 풍력단지 소유자는 적절하게 기안된 계약 하에 정비과제를 수행할 독립적인 서비스 제공자를 고용한다.

## 4. 전술적 문제

○ 예비부품 재고관리: 풍력터빈 구조는 풍력터빈, 조립품, 하위 조립품 및 부품의 4가지 계층적 수준으로 분해된다. 예비부품은 실패한 부품을 대체하기 위해 사용되는 재고 부품이다. 해상풍력 단지에서 예비부품의 적정 수준을 관리하고 유지하는 것이 중요하다.

○ 정비 지원 조직: 해상풍력 단지를 위한 정비과제를 수행하기 위해 승강형 보트와 기중기선과 같은 몇 척의 서비스 선박이 항구에서 현장 창고선까지 무거운 예비품을 수송하기 위해 필요하다. 또한 헬리콥터나 작업선도 정비요원을 풍력터빈 사이에 옮기고 고장 부품을 정비시설에 보내기 위해 필요하다. 더 비용 효율적인 정비 목적으로 수리과제를 위해 충분한 수의 수송수단과 정비팀을 할당하는 것이 필요하다.

○ 구매 혹은 임대 결정: 경영자는 구매 대비 공급 장비 임대에 대한 적절한 결정을 위해 비용-혜택 분석을 수행할 필요가 있다. 정비선박 구매가 해안에서 충분히 먼 단지나 풍력터빈이 고 실패율로 고통을 받을 때는 보수선박을 구매하는 것이 비용 효과적인 정책이 될 수 있다.

## 5. 일상적 운영 문제

○ 상세한 정비 일정이 단기(3~7일)적으로 준비되고, 일정은 매일 아침 갱신되고, 첫날의 일정만이 계획된 대로 수행되는 것을 암시한다. 일정에 관한 날씨조건, 예비부품 이용도 같은 모든 변수는 그날 동안 불변

한다고 가정한다. 해상풍력을 위한 정비과제 수행은 작은 수리(예: 필터 바꿈)는 30분과 주요 수리(예: 변환기 교체)는 2시간이 걸린다.

○ 정비선박의 노선: 선박과 해상풍력 단지와의 충돌은 선박과 풍력터빈 및 전력망에 손상을 준다. 해상 충돌을 피하기 위하여 풍력단지 내의 보수선박 노선과 일정의 개선이 필요하다.

## 6. 부가적 문제

○ RAM 데이터 가용성: 최근 e-정비기술 같은 컴퓨터 정비 관리시스템의 개선으로 데이터 수집과 회수능력, 처리와 분석도구 및 결정지원 소프트웨어의 가속된 성장을 가져왔다. 그러나 데이터 유효성이 아직도 해상풍력 단지의 RAM 연구에서 큰 도전으로 남아있다. 의심스러운 데이터, 상세하지 않은 데이터, 과다한 데이터가 제거되어야 한다.

○ 운전 및 정비 비용: 풍력단지를 위하여 요구되는 정비 예산액은 풍력터빈의 수, 전력 출력, 해안에서 거리, 날씨 조건 및 예비부품과 지원 선박의 가용성에 따라 변한다.

○ 해상풍력 단지의 접근성은 풍력터빈에 안전한 접근이 달성될 수 있는 시간의 분률로 정의되고, 수송선박의 종류, 기상학적 주위 조건(바람, 풍랑 및 가시성)에 크게 의존한다. 날씨조건과 해상 상태의 불확실성을 다루기 위해 정비 결정자는 풍력과 파랑 조건을 예측하기 위하여 다양한 도구를 활용한다.

○ 환경 입법에 대한 정보: 해상풍력 에너지산업은 공급선과 관련한 유독성 배출물(특히 온실가스 배출물)을 감소하기 위한 압력을 받는다. 서비스선박으로부터 배출하는 온실가스의 연간 양은 단위 거리당 선박으로부터 평균 온실가스 배출률에 일 년 동안 풍력단지까지의 예상 여행수(즉 검사를 위한 연간수요)를 곱하여 계산된다.

## 7. 맺음말

○ 이 글은 최첨단 해상풍력 에너지 정비물류에 대해 체계적으로 검토하였다. 해상풍력 단지의 운영 및 정비에 관련된 여러 가지 문제와 도전이 전략적-전술적-운영적 체계에 따라서 조사되었다. 검토 결과 주제 영역이 지금까지 문헌에서 합리적인 관심을 받아왔으나 아직도 많은 개선 기회가 있다.

○ 이글에서 제안된 전략적/전술적/운영적 체계는 해상풍력 단지의 정비 물류에서의 핵심문제를 적절히 확인 및 언급하고 있다. 그러나 확인된 도전을 극복하기 위해 물류조직은 구조조정과 새로운 기술이 필요하다. 이 목표를 달성하기 위해서는 모든 경영자/주주/운영자의 지원이 중요하다.

.

○ 이 연구의 반 이상이 물류의 전술적 및 운영문제들을 언급했다. 그러나 아직도 미래발전을 위한 엄청난 가능성이 있다. 예를 들면 해상풍력 단지에서 전술적 및 운영상의 의사결정은 흔히 역동적이고 계속 개정할 필요가 있다. 이 같은 이유로 물류조직은 변화하는 상황에 신속하게 대처해야 한다. 풍력단지 보수관리 정보시스템(MMIS: Maintenance Management Information System)과 사용가능한 모델의 통합이 해상환경의 역동성을 고려한 해법으로 고려될 수 있다.

○ 본문에 효율성이 입증되면 미래 해상풍력 프로젝트에 적용할 수 있는 3단계 예비부품 재고관리시스템을 정의하고 설명했다. 데이터 가용성이 해상풍력 단지를 위한 정비의 물류관리에서 아직도 중요한 도전으로 보인다. 이 문제를 극복하기 위해서 개선된 의사결정에 필요한 기존의 정량적 기술을 정성적 접근법(예: 선택된 전문가 그룹의 주관적 평가와 판단에 근거한 전문가 도출)과 결합하는 더 많은 시도가 있어야 한다.

○ 이미 많은 좋은 관행이 해상풍력 에너지를 위한 정비물류 관리에 존재하지만 단지 몇 개의 연구가 과학적 데이터베이스에 출판되었다. Donghai Bridge 해상풍력 단지의 최첨단 O&M이 해상 풍력 발전에 도움이 될 것이다.

출처 : Mahmood Shafiee, “Maintenance logistics organization for offshore wind energy: Current progress and future perspectives“, *Renewable Energy*, 77, 2015, pp.182~193

## ◁ 전문가 제언 ▷

○ 정비의 물류와 공급체계관리는 해상풍력에너지 산업에서 매우 중요한 과제이다. 적절한 정비서비스가 제공되지 않으면 풍력단지 가용성에 악영향을 주어 전력출력과 수익성이 감소한다. 해상풍력 단지를 위한 정비물류의 조직은 지금까지 문헌에서 합리적인 관심을 받아왔다. 이 글의 목적은 해상풍력 에너지에서 최첨단의 정비물류를 검토하는 것이다.

○ 전략적, 전술적 및 운영상 3가지 계층의 의사결정을 제안하였다. 전략적 계층은 신뢰성, 위치, 정비 숙박시설 규모, 풍력단지 정비전략의 선택 및 수리 서비스의 아웃소싱을 위한 풍력단지 설계에 관한 결정을 다룬다. 전술적 계층은 예비부품 재고관리, 정비 지원조직, 정비자원의 구매 혹은 임대에 관한 모든 결정을 수용한다. 운영 계층은 정비작업의 일정관리, 선박의 노선 및 정비성과의 측정을 포함한다.

○ 해상환경은 풍력터빈의 접근성을 제한하고 육상에서 보다 더 빠른 열화과정을 겪게 되어서 정비물류는 더 도전적이고 값비싸고 에너지 비용의 상당한 점유를 나타낸다. 그러므로 어느 요인들이 터빈의 성능 즉, 가용성, 총 비용 및 수입에 가장 크게 영향을 미치는가를 식별해서 그들의 영향을 최소화 하는 활동을 취하는 것이 중요하다.

○ 헬리콥터, 승무원 이동 선박 및 갑판 승강형 선박을 포함한 O&M 자원을 할당할 가장 비용 효과적인 접근법의 조사가 환경 조건(풍속, 파랑 높이, 파랑 주기), 수송시스템의 운영분석, 실패(종류 및 빈도수) 및 수리의 모사를 포함한 시간 영역 몬테칼로 모사를 통해 달성된다.

○ 해상풍력 터빈의 운영 및 정비(O&M: Operation and Maintenance) 비용은 생애 전주기 발전비용의 20~35%를 차지한다. 우리나라는 시장 잠재력이 큰 해상풍력 발전기의 수출 상품화 및 해상풍력 강국을 실현하기 위하여 2019년까지 총 10.2조 원을 투자하여 서남 해안에 2.5GW 규모의 해상풍력단지를 개발하고 있다. 이에 대비하여 해상풍력 터빈의 정비물류에 대한 사전의 깊은 연구가 필요하다고 생각한다.

이 분석물은 미래창조과학부 과학기술진흥기금, 복권기금의 지원을 받아 작성하였습니다.