

해상풍력 산업생태계 분석을 위한 제언* : 신재생에너지산업 특수분류 기반 기업 간 거래네트워크 분석의 필요성

이상혁** · 박재필***

A Suggestion for Offshore Wind Industry Ecosystem Analysis
: The Necessity of Analyzing the Transaction Network Based
on the Special Classification of the Renewable Energy Industry

Sanghyuk Lee** and Jaepil Park***

Key Words : Wind power industry (풍력산업), Industrial ecosystem (산업생태계), special classification of renewable energy industry (신재생에너지산업 특수분류), Analysis of transaction network (거래관계 네트워크 분석)

ABSTRACT

This study reviews previous studies on the scale of offshore wind power industry ecosystems to provide basic data for a revitalization strategy for the offshore wind power industry and proposes an analysis of transaction networks based on the special classification of the renewable energy industry. First, we examine the localization rate, technology level, and price level of the offshore wind industry. Second, this research compares the methodology and estimation results of previous studies estimating the scale of the wind power industry. Third, we examine the details related to the enactment of a special classification of the renewable energy industry statistics and review the Korea Energy Agency's renewable energy industry statistics (focusing on 2019 and 2020). Finally, this study suggests the necessity of analyzing an inter-company transaction network based on special classifications of the renewable energy industry to grasp the status of each region and value chain of the offshore wind industry.

1. 서론

「재생에너지산업 경쟁력 강화 방안(2019.04)」에서 정부는 Fig.1과 같이 재생에너지산업의 산업생태계 경쟁력 보강을 위해 지역기반의 혁신생태계 조성 전략을 제시한바 있다[1]. 지역기반 해상풍력산업 활성화 방안을 마련하기 위해서는 밸류체인 단계별 현황 파악을 통해 집중 지원이 필요한 세부 분야를 식별하는 것이 필수적이다. 그러나 신재생에너지의 보급 정책이 적극적으로 시행된 것에 비해, 이러한 정책이 신재생에너

* 본 논문은 전북 해상풍력 산업생태계 발전방안 연구(한국은행 전북본부, 2022) 일부를 수정·보완하여 작성되었음.

** 광주전남연구원 융복합산업연구실 연구원

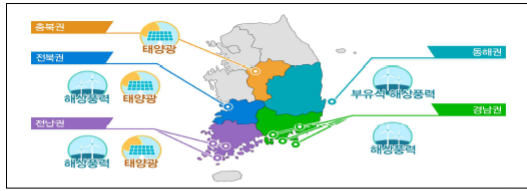
*** 군산대학교 경제학과 교수(교신저자)

E-mail : jppark@kunsan.ac.kr

DOI : <https://www.doi.org/10.33519/kwea.2022.13.4.006>

Received : September 5, 2022, Revised : November 9, 2022,

Accepted : November 29, 2022



권역	현황 및 방향
충북권	<ul style="list-style-type: none"> ▶ (현황) 60여개의 태양광 제조기업 소재, 국내 셀모듈 67% 생산 - 태양광 제조기반을 토대로 약 1GW 규모의 프로젝트 추진 ▶ (방향) 태양광 제품 및 융복합 뉴제품서비스 개발·실증에 특화
경남권	<ul style="list-style-type: none"> ▶ (현황) 풍력터빈(두산포, 유니스), 부품 등 84개 기업 소재 - 육지도 해상풍력 등 총 1.9GW 규모의 풍력 프로젝트 추진 ▶ (방향) 초대형 풍력시스템·부품 개발·실증 및 생산거점으로 특화
동해권	<ul style="list-style-type: none"> ▶ (현황) 조선·해양중공업 등 750개사 밀집, 양호한 풍향(8~8.5m/s) - 동해가스전 인근에 1GW 부유식 해상풍력단지 조성 추진 ▶ (방향) 부유식 해상풍력 R&D·실증·상용화 등 개발 및 조기 산업화
전북권	<ul style="list-style-type: none"> ▶ (현황) 새만금 재생에너지 클러스터 조성 - 주민참여형 방식 등으로 태양광(3GW), 해상풍력(1GW) 추진 ▶ (방향) 제조·공급체 연구기관 집적, 조선기자재 업체 업종전환 등
전남권	<ul style="list-style-type: none"> ▶ (현황) 태양광 설비의 22%(1.3GW, 국내 최대) 소재 - 태양광(2GW, 영암호 등), 해상풍력(0.8GW, 완도 등) 추진 ▶ (방향) 융복합 비즈니스 및 지역 상생형 모델 실증 거점화

Fig. 1 Strategies for regional-based innovative ecosystem

지산업의 활성화로 이어졌는지를 평가하려는 노력은 상대적으로 부족하였고, 그 근본적인 원인으로 신재생 에너지산업의 현황을 정량적으로 파악할 방법이 제한적이었기 때문이라고 지적된 바 있다[2].

본 연구에서는 재생에너지 산업기반이 있거나 대규모 사업이 예정된 지역의 혁신 인프라를 보강하여 지역별 차별화된 생태계를 구축하고 혁신 거점화를 추진하는 풍력산업 활성화 전략 수립에 필요한 기초자료를 제공하기 위하여 해상풍력 산업생태계 규모를 추정하는 선행연구들을 검토하고, 해상풍력 산업생태계 분석을 위한 방법으로서 신재생에너지산업 특수분류 기반의 기업 간 거래네트워크 분석을 제안하고자 한다.

본 연구는 다음과 같이 구성되었다. 2장에서는 한국의 해상풍력산업 및 공급망을 진단하는 국내의 보고서와 제4차 에너지기술개발계획 이노베이션로드맵을 중심으로 해상풍력 산업의 국산화율, 기술수준 및 가격수준을 검토하였다. 3장에서는 산업생태계 개념을 중심으로, 해상풍력산업의 규모를 추정하는 선행연구들의 방법론과 추정결과를 비교하였다. 4장에서는 신재생에너지 산업 특수분류 제정 관련 내용을 살펴보고, 한국 에너지공단의 신재생에너지 산업통계를 검토하였다. 마지막으로 5장 결론에서는 해상풍력산업의 권역별 및 밸류체인 단계별 현황 파악을 위해 신재생에너지산업 특수분류에 기반한 기업 간 거래네트워크 분석의 필요

성을 제시하였다.

2. 해상풍력 산업 및 공급망 진단

2.1 국내 진단

해상풍력 산업현황을 평가하는 관련 부처 및 연구기관의 자료들을 살펴보면 다음과 같다. 「재생에너지 산업 경쟁력 강화 방안」에 의하면 소수 풍력터빈 기업과 중소 부품기업군으로 산업구조가 형성되어 있으나, Table 1과 같이 가격경쟁력 한계에 직면하고 있어, 기술경쟁력이 있는 조선·해양플랜트·ICT 등의 연관산업과 접목하여 내수시장 창출 및 핵심기술 조기확보 등을 통해 성장 가능성이 높다고 진단되었다[1].

「제4차 에너지기술개발계획 이노베이션로드맵의 풍력(2020.02)」 보고서는 전문가 의견 수렴을 통하여 ‘풍력발전시스템’과 ‘단지개발 및 운영’ 부문을 1~3차 품목으로 구분하여 품목별 국산화율, 기술수준 및 가격수준을 조사하였다[3].

먼저 Table 2~4를 통해 풍력발전시스템의 국산화율, 기술 및 가격경쟁력을 비교해 보면 다음과 같다.

첫째, 1차부품인 풍력발전시스템의 국산화율은 50%로 매우 낮은 수준을 보이고 있다. 아울러 기술 수준 역시 세계 최고 수준의 74%로 낮은 반면에, 가격수준은 86%로 상대적으로 높아 기술 대비 가격경쟁력은 매우 낮은 것으로 판단된다. 다시 말해, 기술과 가격수준을 고려했을 때, 국제경쟁력은 상당히 뒤떨어진다.

둘째, 2차 부품으로서, 지지구조물이 국산화율, 기술수준 및 가격수준에서 세계 최고수준을 나타내고 있고,

Table 1 Comparison of price competitiveness (unit: 1 million won / country)

Classification	Onshore turbine (per MW)	Offshore turbine (per MW)	Blade (3MW)	Generator (5MW)
Major countries	8 (EU)	16~18 (EU)	7.2 (China)	4 (Germany)
Korea	11	18~19	8.2	4.5

Table 2 Comparison of 1st part's technological and price competitiveness

1st item	Localization rate(%)	Tech. level (world best=100)	Price level (world best=100)
Wind turbine system (WTS)	50	74	86

다음으로 로터어셈블리의 국산화율, 기술수준 및 가격 수준이 각각 93, 93, 95 %로 높았다. 반면에 너셀어셈블리의 국산화율은 34 %, 기술 및 가격수준은 60 %대로 낮았다.

Table 3 Comparison of 2nd parts' technological and price competitiveness

2 nd parts		Localization rate(%)	Tech. level (world best=100)	Price level (world best=100)
WIS	Rotor assembly(RA)	93	93	95
	Nacelle assembly(NA)	34	60	66
	Support structure(SS)	97	99	100
	Test and validation(TV)	70	77	82

셋째, 3차 부품으로서 타워 및 해상 하부구조물은 국산화율, 기술수준 및 가격수준에서 세계 최고 수준에 이르렀다. 그 외에도 부유체, 피치시스템, 블레이드, 부품시험, 인증평가 역시 일정 수준 이상의 경쟁력을 가지고 있는 것으로 판단된다. 반면에 PCS(Power Conversion System)와 시스템 인증 등에서는 경쟁력이 상당히 뒤떨어져 있는 것으로 판단된다.

Table 4 Comparison of 3rd parts(end goods)' technological and price competitiveness

3 rd parts (End goods)		Localization rate (%)	Tech. level (world best=100)	Price level (world best=100)
RA	Blade	90	90	90
	Pitch system	95	95	100
NA	Gearbox	50	80	70
	Generator	60	60	85
	PCS	5	70	85
	Control system	65	85	90
	Other parts	70	90	90
SS	Tower	100	100	100
	Substructure	100	100	100
	Floating wind	90	95	100
TV	Component test	100	90	90
	System test	40	60	75
	Certification assessment	100	80	80

다음으로 Table 5~7을 통해 단지개발 및 운영 관련 품목들의 국산화율, 기술 및 가격경쟁력을 비교해 보면 다음과 같다.

첫째, 단지개발 및 운영이라는 1차 품목에서 우리나라의 국산화율, 기술 및 가격수준은 모두 70% 초반대로 낮은 수준이다.

Table 5 Comparison of wind farm development and operation related technological and price competitiveness

1 st item	Localization rate(%)	Tech. level (world best=100)	Price level (world best=100)
(Wind) Farm development & operation (FDO)	73	72	70

둘째, 2차 품목에서 설치/시공이 국산화율, 기술 및 가격수준에 있어 80 %대를 유지하고 있어 가장 높은 수준을 보이며, 다음으로 운용/유지보수, 그리고 단지개발 순으로 나타났다. 단지개발은 50 %대로 전반적인 경쟁력이 매우 떨어지며, 추후 논의될 국외진단에서도 제시되고 있듯이 유럽업체들이 강점을 가진 것으로 판단된다.

Table 6 Comparison of 2nd items' technological and price competitiveness

2 nd items		Localization rate(%)	Tech. level (world best=100)	Price level (world best=100)
FDO	(Wind) farm development (FD)	53	50	60
	Installation/ construction' (IC)	80	80	80
	Operation/ maintenance (OM)	80	80	70

셋째, 3차 품목으로 시공 및 운송/설치가 국산화율, 기술 및 가격수준에 있어 90 %대로 가장 경쟁력이 높았으며 그 다음으로 계통연계, 시스템감지/단지제어, 유지보수 등의 순이었다. 특히 자원평가는 국산화율 뿐만 아니라 기술 및 가격수준도 매우 낮아 가장 심각한 것으로 판단된다.

Table 7 Comparison of 3rd items' technological and price competitiveness

3 rd items		Localization rate(%)	Tech. level (world best=100)	Price level (world best=100)
FD	(Wind) farm design	80	50	60
	Resource assessment	10	70	60
IC	Finance	-	-	-
	Transport/ installation	80	90	90
	Construction	90	90	90
OM	Grid	100(Onshore) 80(Offshore)	90(Onshore) 70(Offshore)	90
	System monitoring/ control	80	80	70
	Maintenance	80	80	60
	Grid connection	100	60	90

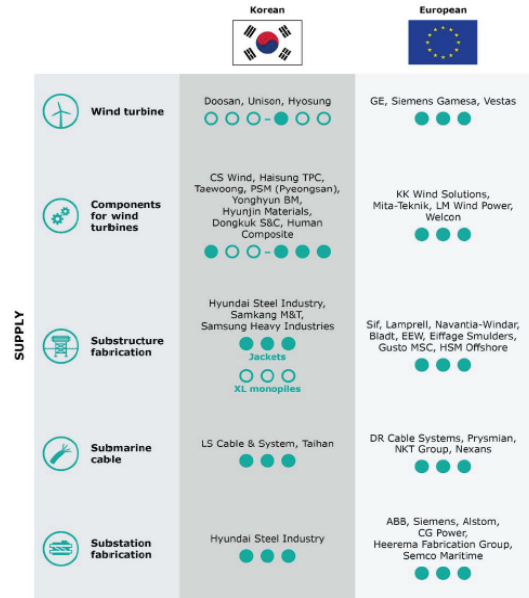


Fig. 2 Major suppliers in offshore wind market

「해상풍력 발전방안(2020.07)」에서 지적되었듯이, 주민수용성 확보에 장기간이 소요되어 초기 내수시장 형성이 지연되었고, 그 결과, 터빈 부문에서 현대중공업·삼성중공업·대우조선해양 등의 기업들이, 부품 부문에서도 (주)테크, KM, 용현BM 등의 기업들이 철수하면서 풍력산업의 생태계가 취약해졌다. 이에 대한 대책으로 정부는 대규모 프로젝트와 연계하여 산업경쟁력을 강화하기 위해 배후 항만 및 설치장비 구축을 지원하고, 해상풍력 지원센터(2개소)를 신설하는 등 해상풍력 지원 융복합 플랫폼 구축을 추진하고 있다[4].

2.2 국외 진단

국내 진단들이 국내 전문가의 관점에서 추정한 풍력 부문의 국산화율, 기술 및 가격경쟁력을 검토하였다면, 해상풍력 컨설팅 기관인 AEGIR, COWI, PONDER는 2021년 5월 발간된 「Accelerating South Korean Offshore Wind Through Partnership」에서 Fig. 2와 같이 해상풍력 관련 실적을 기반으로 기술경쟁력 측면에서 한국과 유럽의 공급망 현황을 비교하였다. 이에 의하면 한국의 풍력터빈 제작사인 두산, 유니슨, 효성은 해상풍력에 대한 경험이 없거나, 해상풍력에 대한 낮은 경험으로 추가적인 전문 장비가 필요한 상황이다. 풍력터빈 부품 부문에서 CS 윈드, 해상 TPC 태웅, PSM(평산), 용현BM, 현진소재, 동국S&C,

휴먼컴포지트 등의 기업경쟁력 수준은 일부 기업이 해상풍력에 대한 낮은 경험으로 추가적인 전문 장비가 필요한 상황인 반면, 일부 기업들은 해상풍력에 대한 광범위한 경험을 기반으로 글로벌 수준의 공급업체 위치를 차지하고 있다. 하부구조물 제작 부문에서는 현대스틸산업, 삼강M&T, 삼성중공업 등이 자켓방식에 있어서 해상풍력에 대한 광범위한 경험을 축적하고 있으나, 초대구경(XL) 모노파일 방식에 있어서는 관련 경험이 거의 없다. 해저케이블 부문에서는 LS전선과 대한전선이, 해상풍력 변전설비 부문에서 현대스틸산업이 해상풍력에 대한 광범위한 경험을 바탕으로 세계적인 경쟁력을 가지고 있는 것으로 평가되었다[5].

2022년 3월 발간된 Mayer Brown의 「Offshore Wind in South Korea: The Path Ahead」에 의하면, 한국의 국내 공급망은 철강 및 조선 산업이 다른 신재생에너지 시장에 비해 비교 우위를 가지고 있으나, 국내 풍력터빈 공급 시장은 개발 초기 단계에 있으며, 또 다른 잠재적 문제점으로 설치 선박의 가용성 문제로 인해 추후 단지 시공시 일부 병목현상과 기존 프로젝트의 설치 일정의 지연이 예상되고 있다[6].

이러한 공급망 진단이 가능하고 또한 타당하다고 판단할 수 있는 이유는 영국 및 미국에서는 해상풍력 발전단지 및 관련 산업의 종합적이고 체계적인 공급망

Traffic light ¹	Supply chain subelement	Supply chain element
G ↑	Wind farm design	Development and project management
G	Survey vessels	
R	Offshore wind turbines	
G	Blades	Turbine supply
G ↑	Castings and forgings	
G	Gearbox, large bearings and next generation generators	
G	Towers	
G	Subsea array cables	
A	Subsea AC export cables	Balance of plant supply
R	Subsea DC export cables	
G	AC substation electrical systems	
A	DC substation electrical systems	
G	Monopile foundations	
A	Non-monopile steel foundations	
A	Concrete foundations	
G	Installation ports	Installation and commissioning
R ↓	Foundation installation	
G ↑	Subsea cable installation	
G	Turbine installation	
G	Routine maintenance vessels and equipment	Operation, maintenance and service
G	Large component replacement vessels	
A	Full-scale test facilities	Support services

Fig. 3 Assessments for the supply chain subelements

분석이 지속되었기 때문이다.

재생에너지 분야 건설링 기관 BVG는 영국의 해상 풍력 발전단지 프로젝트인 라운드 3를 대상으로 공급망구성요소를 Fig. 3과 같이 구분하여, 2009년, 2011년, 2012년 공급망을 진단하였다[7-9].

BVG는 프로젝트 단위에서 범위를 넓혀 영국 해상 풍력산업을 대상으로 공급망 현황에 대한 분석을 진행하였다[10]. 이 보고서에 의하면, 영국 해상풍력 공급망의 첫번째 분류항목인 개발 및 프로젝트 관리에 있어 발전단지 디자인과 조사선 운항은 문제점이 없다. 두번째, 분류항목인 터빈 공급에서는 블레이드/주물 및 단조품/기어박스, 대형 베어링 및 차세대 발전기/타워에는 문제가 없으나, 해상풍력 터빈은 심각한 문제점으로 추가적인 분석과 전략적인 행동이 요구된다. 세번째 분류항목인 BOP 공급 부문에서는 해저 케이블(내부)/AC 변전소 전기 시스템/모노파일 하부구조의 문제점은 없으나, DC 변전소 전기시스템/모노파일 외강 구조/콘크리트 하부구조/해저(AC)육상송전 케이블의 경우 문제해결이 필요하고, 해저(DC)육상송전 케이블에는 주요 문제점이 발견되어 추가적으로 분석하고 전략적으로 해결해야 한다. 네 번째 분류항목인 설치 및 시공에서는 배후항만/해저케이블 설치/터빈 설치에는 문제가 없으나, 하부구조 설치의 문제점은 심각하여 분석 및 해결이 필요하다. 다섯번째 운영, 유지보수 및 서비스 영역에서는 정기 유지보수 선박과 설비/대

Component	Location	Investors	Investment (\$ million)	Status
Blades	Portsmouth Marine Terminal (Virginia)	Siemens Gamesa	200	Announced
Nacelles (final assembly only)	New Jersey Wind Port (New Jersey)	Vestas, Atlantic Shores	Not announced	Announced
	New Jersey Wind Port (New Jersey)	GE, Ørsted	Not announced	Announced
Towers	Port of Albany (New York)	Marmen Welcon, Equinor	350	Announced
Monopiles	Paulsboro Marine Terminal (New Jersey)	EEW, Ørsted	250	Under construction
	Sparrows Point (Maryland)	US Wind	150	Announced
Foundation platforms	Port of Providence (Rhode Island)	Eversource, Ørsted	40	Announced
Secondary steel	Port of Coeymans (New York)	Eversource, Ørsted	86	Announced
Transition pieces	Port of Albany (New York)	Marmen Welcon, Smuiders	Not announced	Announced
Array and export cables	Nexans high-voltage cable facility (South Carolina)	Nexans	200	Operational
	Kerite (Connecticut)	Kerite, Marmen Group, Vineyard Wind	4	Operational
	Tradeport Atlantic (Maryland)	Eversource, Ørsted	150	Announced
	Brayton Point (Massachusetts)	Prysmian, Avangrid	200	Announced
Offshore substations	Ingleside (Texas)	Kiewit, Eversource, Ørsted	Not announced	Operational

Fig. 4 Major supply chain announcements in the U.S.

형 부품 교체 선박 관련된 문제점이 없다. 마지막으로 지원 서비스 부문에서는 Full-scale 실증 시설에 있어 문제점에 대한 해결이 필요하다고 보고되었다.

또한 BVG는 2017년 노르웨이, 2018년 미국 버지니아주, 2021년 미국 노스 캐롤라이나주와 베트남 등 외국을 대상으로 해당 국가의 해상풍력 발전단지 공급망에 대한 분석을 수행하였다[11-14].

미국 국립신재생에너지연구소(National Renewable Energy Laboratory: NREL)는 2020년 바이든 행정부의 2030년 30GW 해상풍력 프로젝트에 따른 영향을 예측하기 위하여 공급망 예측 분석을 수행하였다[15].

2022년에는 Fig. 4와 같이 미국 내의 해상풍력 산업 주요 공급망을 파악하고 해상풍력 발전 시나리오에 따른 공급망 수요를 분석하였다. 이 보고서에 의하면, 국내의 업체들은 해상풍력과 연계되어 업종 전환의 준비가 되지 않았으며, 국산화 규정(Local Contents Requirement: 이하 LCR) 역시 관련 산업들 간의 협업이 장려되도록 설계되지 않아 공급망이 최적화되지 않은 상태로 개발이 진행되고 있다[16].

3. 해상풍력 산업생태계 분석

3.1 산업생태계 개념

산업생태계는 특정 산업영역의 제품 및 서비스를 생산하는 주요기업, 소재 또는 부품을 공급하는 공급자, 완제품을 제공받는 수요자, 그리고 보완재를 생산

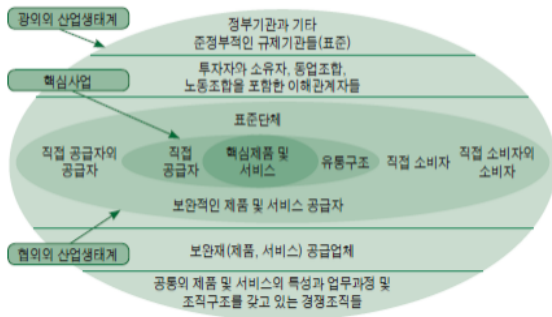


Fig. 5 Major subjects and components of industrial ecosystem

하는 업체들을 포함하여 생태계의 유기체처럼 산업 환경 내외의 이해관계자들이 긴밀히 연결되어 있는 상호작용 시스템 또는 경제공동체로 정의된다. 즉, 산업생태계는 특정 분야의 제품과 서비스를 생산하는 주요 기업들과 공급자, 수요자, 경쟁자 또는 보완재 생산 업체들까지 포함하는 확장된 네트워크이며, 관련 기관 및 산업의 모든 이해관계자들까지 아우르는 개념이다. 여기에서 생태계는 Fig.5와 같이 상호작용하는 조직과 기업을 토대로 한 경제적 공동체로 볼 수 있으며, 주요 주체는 공급자, 생산자, 경쟁자, 투자자, 수요자로 구성되며, 관련 투자자, 정부기관 또는 규제기관, 관련 협회 및 표준단체 등을 포함한다[17].

3.2 산업생태계 관점과 가치사슬(구조)

본 연구에서는 풍력분야의 산업생태계를 이해하고 추후 분석하기 위하여 기존의 기업 혹은 산업을 중심으로 한 분석틀이 아닌 생태계 관점의 접근법을 활용하고자 한다.

Table 8을 통해 비교할 수 있듯이, 기존의 기업 혹은 산업을 중심으로 한 분석틀은 기업 또는 산업이 전략수립의 주요 단위로서 참여자들 간의 협력이 직접적인 공급자와 고객으로만 한정되지만 생태계 관점에서는 생태계 내 참여자들 전체로 이루어진 공동체가 모두 주요 주체가 되며, 모든 경제주체를 포함하는 협력과 연계로 확장된다[17]. 풍력산업 생태계를 분석하기 위한 선행연구들은 풍력산업을 가치사슬(구조), 공급사슬, 산업밸류체인 개념으로 접근하였다[18-20].

신재생에너지 설비산업의 성장전략 연구에서는 Fig.6과 같이 풍력부문의 설비산업을 부품사업 - 풍력발전시스템사업 - 단지개발/전력사업의 가치사슬로

Table 8 Comparison of industrial ecosystem analysis and existing analysis methodologies

	Industrial ecosystem perspective	Established company or industry perspective
Environmental recognition	Business-to-business boundaries are a major issue, but to some extent they are considered a matter of choice (active to the environment)	Accepting the boundaries of a business, such as an industry or country, as given (passive to the environment)
Main subject	An industrial ecosystem, or a community of participants who co-evolution and drive constant innovation, is the primary unit of strategic planning	The primary unit of strategy for an industry or enterprise
Performance evaluation criteria	Economic performance determines how a company operates its affiliated forces and relationships within the network that make up its industrial ecosystem	Economic performance determines how well a company operates internally and, on average, how profitable the industry is
Goal	The development of the entire economic network as well as its location within the network is a major concern	The growth of individual companies is a major concern rather than the development of the overall industry
Cooperation system	Cooperation, including all economic entities who wish to participate in the industrial ecosystem	Participant collaboration is limited to direct suppliers and customers
Competitive structure	Competition between industrial ecosystems as well as competition for leadership and center within a specific ecosystem.	Competition is primarily between the product and the product or between the enterprise and the enterprise.

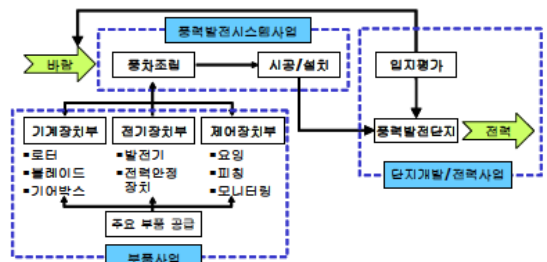


Fig. 6 Value chain structure of wind power equipment and major business areas

이루어진 구조로 파악하여 주요 설비의 가치사슬별 역량이 분석되었다[18].

동남권과 호남권 풍력산업 지역생태계 구조와 특징을 제시한 연구에서는 Fig.5를 통해 세부적으로 풍력산업의 가치사슬을 소재에서부터 부품, 모듈, 완제품, 서비스에 이르기까지 다양한 산업이 관련된 것으로 파악하였다[17].

소재에서는 복합소재, 금속재료 등이 포함되고, 부품에서는 블레이드, 나셀하우징, 피치, 주축, 증속기, 플렌지, 요 모터 등이 있다. 모듈에는 로터, 드라이브 트레인, 타워, 제어 및 감시계통, 구조물 등이 있으며, 이를 통합하면 완제품인 풍력발전시스템이 완성된다. 서비스 분야에는 발전단지 구축에 필요한 토목건설, 운영 분야인 시스템 유지보수, 실증, 풍향 조사 등이 포함된다.

「제4차 에너지기술개발계획 이노베이션로드맵의 풍력」 보고서는 앞서 Table 2~7에서 제시하였듯이, ‘풍력발전 시스템’과 ‘단지개발 및 운영’을 구분하여 최종재인 1차 품목부터 3차 품목을 품목별 국산화율, 기술수준 및 가격수준을 조사하였다.[3] 또한 에너지산업생태계 조사 및 기술수준 조사 분석 보고서에서 Table 10~11과 같이 풍력발전부문의 기술분류체계를 가치사슬-중분류-소분류로 구분하고 풍력 산업생태계의 구조를 구분하여 제시하였다[19].

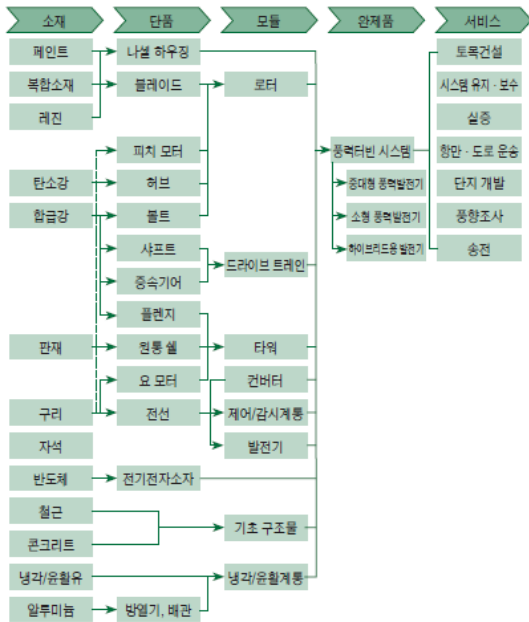


Fig. 5 Value chain of wind power industry

Table 10 Structure of wind power industry ecosystem

Classification	Wind power industry
Suppliers	<ul style="list-style-type: none"> (Indirect) Carbon fiber, slave, location survey, etc (Direct) Blades, drive parts, generators, towers
Installation/maintenance operator	<ul style="list-style-type: none"> Support structure, wind power facility, grid connection, etc
Consumer	<ul style="list-style-type: none"> (Direct) KEPCO, power generation company (Indirect) people, companies, government (Overseas) export of core items, construction of power generation system
Etc	<ul style="list-style-type: none"> (Government-related organizations) MOTIE, MSIT, KETEP, (Related industries) ESS, smart grid, construction industry (Competitor) Vestas (Denmark), Goldwind (China), etc.

「2021년도 에너지기술개발사업 풍력부문 연구개발 과제기획보고서」도 풍력산업을 공급사슬 개념으로 자원평가/단지설계, 핵심부품, 시스템, 운송/설치/시공, 운영 및 유지보수로 구분하고, 계통연계, 시스템 및 프로젝트 인증기술 등을 포함하는 종합 엔지니어링 산업으로 규정하였다[20].

Table 11 Wind power technology classification system

Large category	Value chain	Middle category	Subcategory
Wind power technology	Wind farm development	Wind farm development	Location resource evaluation, environmental impact assessment, economic evaluation, and wind farm design
	Raw material /material	Raw material/ material	Raw material/material development technology, raw material/material evaluation technology, raw material/material test technology
	Parts/ equipment/ facilities	Blade	Blade
Driven part (Gearbox, pitch, yaw)			Gearbox, main shaft, main bearing, coupling, brake, yaw drive, yaw bearing, hydraulic system, etc
		Generator	Generator, etc

Large category	Value chain	Middle category	Subcategory
Wind power technology	Parts/ equipment/ facilities	Power/ electrical equipment (PCS, control System)	Power conductors, transformers, etc
		Tower	Tower, tower flange, etc
		Structure (onshore, offshore)	Onshore structure, offshore structure, offshore floating structure
		Parts/ equipment/ facilities not elsewhere classified	Nacelle, hub, shaft, bearing, other parts
	System	System	Mechanical power transmission systems (gearbox, bearings), electrical systems (generator, PCS), control monitoring system (control system, SCADA, CMS), communication system, and other system
	Transportation /installation/ construction	Transportation /installation /construction	
	Operation & maintenance	Operation & maintenance	
	Disposal/ recycling	Disposal/ recycling	

3.3 풍력산업생태계 규모 추정 선행연구

한국에너지경제연구원(KEEI), 한국에너지기술평가원(KETEP), 산업연구원(KIET), 한국에너지공단(KEA) 등의 선행연구들은 가치사슬(구조)를 중심으로 풍력산업 생태계의 규모를 추정한 바 있다. 한국에너지경제연구원(KEEI)의 「신재생에너지산업 특수분류체계(통계청) 도입을 위한 신재생에너지 전후방 산업조사·분

석 및 산업육성 체계 구축」 보고서는 신재생에너지 관련 사업체 중 제조업 221개, 건설업 167개, 공급업 66개, 서비스업 65개 중 태양광 관련 기업 202개, 풍력 발전 관련 기업 57개를 표본으로 선정하여 Table 12와 같이 풍력산업 규모를 추정하였다[21].

Table 12 KEEI's estimation of wind industry value chain (Unit: number, 100 million won, person)

Value chain	No. of companies	Sales	No. of employees
Manufacturing	344	15,610	5,228
Construction	388	6,720	5,213
Generation	73	3,200	320
Total	805	25,530	10,761

한국에너지기술평가원(KETEP)의 「에너지산업 생태계 조사 및 기술수준 조사 분석 보고서」는 에너지분야 협회 및 기관등록업체, 에너지분야 정부 R&D 참여기업과, 미디어 분석을 통한 관련기업, 선행연구 기업 리스트 등을 통해 분석기업 데이터를 확보하고, Table 13과 같이 에너지사업 관련 생산기업과 생태계 기업을 구분하여 사업체 수 및 매출액 등의 동향을 파악하였다[19].

Table 13 KETEP's estimation of wind industry value chain (Unit: number, 100 million won)

Value chain	No. of companies	Sales
Production company	51	12,635
Ecosystem company	322	2,534,627
Total	373	2,547,262

산업연구원(KIET)의 「빅데이터 분석을 이용한 신재생에너지산업의 규모 추정」 보고서에서는 Table 14의 한국표준산업분류(제10차)를 통한 재생에너지 산업 생태계 규모의 추정 과정에서 풍력발전은 기타발전((KSIC 35119)에 포함되어 규모 파악이 불가능하며, 기타 발전 전체를 풍력발전 규모로 편입시킬 경우 산업 규모가 과대 추정될 수 있다는 점이 지적되었다[2].

Table 14 Classification of wind industrial value chain

Value chain		Korea Standard Industrial Classification(KSIC)	Wind power
Research & development		M.70~73	Research and development of wind power technology
Manufacturing	Material	C.24~25	Metal material processing(flange, shaft, steel plate for tower, pipe CNC and MCT processing)
	Parts & equipment	C.27	Instruments, temperature sensors, test devices, etc
		C.28	Generators, blades, etc
		C.29	Bearings, shafts, blades, etc
Distribution		G.46~47	Wholesale of generators, trolley bars, and wind equipment materials, etc
Construction		F.41~42	Construction of wind power plants
Generation		D.35	Generating electricity
Other Services		N.74~75	Maintenance of facilities
		C.34, S.95	Repairing equipment
		L.68	Land development for wind power generation

Table 15 KIET's estimation of wind industry value chain
(Unit: number, 100 million won, person)

Value chain		No. of companies	Sales	No. of employees
Research & development		4	23	27
Manufacturing	Metal	27	201	115
	Generator	23	1,638	204
	Bearing	28	1,267	399
Wholesale & retail		22	4,221	153
Construction		77	2,135	724
Generation		77	2,085	178
Other Service	Facility management	-	-	-
	Repair	10	158	91
	Land development	6	6	9
Total		274	11,374	1900

이러한 한계를 극복하기 위해 신재생에너지와 직접 관련이 있는 연구개발-제조-유통-건설-발전-기타 서비스산업의 규모를 단계별로 분석하기 위해 ‘산업밸류체인’을 제시하였다. 그리고 통계청에서 제공하는 전국 사업체조사와 통계기업등록부의 기업체 399만 9,805개를 파악하고, Table 15에서 2015~2018년 동안 기업체들의 주사업 영역에 대한 텍스트 분석을 통해 풍력 산업밸류체인의 규모를 추정하였다[2].

한국에너지공단(KEA)은 신재생에너지 관련 제조업체 대상으로 전수조사를 실시하여 Table 16, 17과 같이 「2019년 신재생에너지 산업통계(2020.12)」와 「2020년 신재생에너지 산업통계(2022.4, 신재생에너지 산업 특수분류 반영)」를 조사·공표하였다[22, 23].

Table 16 KEA's estimation of wind industry value chain(2020)
(Unit: number, 100 million won, person)

Value chain		No. of companies	Sales	No. of employees
Manufacturing	Generation system	X	X	X
	Blade	X	X	X
	Tower	4	1,590	282
	Power Conversion system	-	-	-
	Parts	7	3,960	767
Total		18	6,496	1,524

Table 17 KEA's estimation of wind industry value chain(2022)
(Unit: number, 100 million won, person)

Value chain		No. of companies	Sales	No. of employees
Manufacturing	Blade	*	*	*
	Generation system	*	*	*
	Power conversion system	-	-	-
	Electrical supply and control system	-	-	-
	Structural materials	7	13,357	364
	Other Parts	7	5,326	730
Total		25	19,202	1,555

1) 기업체 수는 복수의 신재생에너지 제조업을 영위하는 기업체의 중복을 제외한 수치로 하위분류 기업수의 단순합과 일치하지 않음



Fig. 7 Wind power industry supply chain

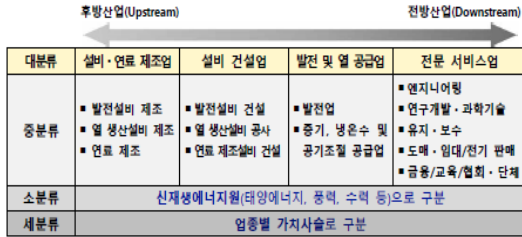


Fig. 8 Wind power industry supply chain

Table 18 Comparison of wind industry value chain size (Unit: number, 100 million won, person)

Value chain	No. of companies	Sales	No. of employees
KEEI(2019)	344	15,610	5,228
KETEP(2020)	51	12,635	-
KEA(2020)	18	6,496	1,524
KIET(2021)	78	3,106	718
KEA(2022)	25	19,202	1,555
Min./Max. difference	19.1 times	6.2 times	7.3 times

Table 18에서 풍력 산업생태계의 규모를 추정하는 선행연구들을 비교한 결과, 각 연구별로 풍력산업 생태계 중 제조업 부문의 사업체, 매출액, 종사자의 차이는 크게 나타났다. 사업체 수의 경우 최소 18개에서 최대 344개로 19.1배, 매출액은 최소 3,106억원에서 최대 1조 9,202억원으로 6.2배, 종사자 수는 최소 718명에서 최대 5,228명으로 7.3배의 차이가 나타나고 있어 산업 규모를 측정함에 있어 하한선과 상한선을 정확하게 판단하기 어려운 상황이며, 그렇기에 이를 통해 권역별/지역별로 풍력산업의 규모를 파악하거나 비교할 수 없기에 권역별/지역별 산업생태계의 발전방안을 제시하기 위한 새로운 분석방법이 요구된다.

4. 신재생에너지산업 특수분류에 따른 신재생에너지 산업통계와 한계점

신재생에너지산업 관련 전·후방 산업을 연계 구성한 특수분류 개발·적용이 요청되는 상황에서 지난 2021년 6월, 「신재생에너지산업 특수분류」가 제정되었다.

새로 제정된 신재생에너지산업 특수분류의 분류범위는 Fig. 7과 같이 산업활동 범위를 기초산업인 신재생에너지 발전 및 공급업을 중심으로 관련 제조업, 건설업, 전문 서비스업 등을 포함하고, 에너지원 범위는 신재생 에너지법에서 규정한 수소에너지·연료전지 등 신에너지와 태양에너지·풍력 등 재생에너지 세부 유형들을 포함하였다. 분류체계는 Fig. 8과 같이 신재생에너지 산업 승인통계 생산·집계·서비스 계획에 맞춰 분류단계는 대분류, 중분류, 소분류, 세분류 등 4개 계층구조로 구성하였다[24].

앞서 언급한대로, 한국에너지공단은 「신재생에너지산업 특수분류」 제정에 따라 제조업, 건설·공급·서비스업을 포괄하는 전 산업의 현황인 2020년 신·재생에너지 산업통계를 국가통계로 조사·공표하였다. 그러나 신재생에너지 산업통계는 신재생에너지 관련 제조업(설비, 연료)을 대상으로 하는 전수조사를 하는 승인 통계이나 Table 16, 17에서 볼 수 있듯이, 기업들의 자발적인 응답이 없는 경우, 정확한 규모를 파악할 수 없다는 한계점이 있다. 또한 「통계법」 제33조 및 34조에 의해 비밀이 보장되고 있어 한국에너지공단의 신·재생에너지 산업통계의 원자료를 확인하기 어려운 점도 있다.

통계자료와 사회네트워크분석(Social network analysis)을 활용하여 산업생태계를 분석한 선행연구들은 연구관점에 따라 크게 두가지로 분류된다. 첫 번째는 산업적 측면에서 한국은행에서 공표하는 산업연관표를 활용하여 산업 간 거래내역을 바탕으로 산업 간 네트워크의 특성을 파악한다. 선행연구로 한국은행의 「2005년 지역산업연관표」를 활용하여 호남권 풍력산업의 구조적 네트워크 특성이 분석된 바 있으며[25], 파급효과를 추정하는 연구로 2021년 6월 공표된 「2019년 산업연관표(연장)」를 활용하여 생산유발효과, 부가가치유발효과, 고용유발효과가 분석되었다[26].

두 번째는 본 연구에서 제안하는 방법으로, 기업 간 거래내역을 활용하여 산업생태계의 특성을 분석한다. 선행연구들은 한국기업데이터(주)의 기업 간 거래데이터 또는 자동차연감의 거래 관계 데이터 등을 이용하

여 에너지산업, 조선해양플랜트산업 및 자동차산업의 생태계 구조와 네트워크의 구조적 특성 등을 분석하였다[27-29]. 그러나 본 연구진이 확인한 바로는 기업 간 거래내역을 활용하여 풍력산업 생태계의 규모와 네트워크의 구조적 특성을 분석한 연구는 현재까지 확인된 바가 없다.

5. 결론

탄소중립 실현과 에너지 안보라는 국가적 과제를 실현하기 위해 새로운 정부는 풍력 산업을 고도화하고 고효율·저소비형 에너지 수요관리 혁신, 4차산업 기술과 연계한 신산업을 육성하겠다는 정책을 제시하였다[30].

본 연구는 2010년대부터 정부가 추진하고 있는 풍력산업의 활성화 전략의 실효성을 확보하기 위해, 한국의 해상풍력산업을 진단하는 국내외 자료와 해상풍력 산업생태계 규모를 추정하는 선행연구들을 비교·검토하였다. 검토 결과, 현재까지 신재생에너지 산업의 현황을 정량적으로 파악할 방법이 제한적이었으며, 정량적으로 산업생태계의 규모를 추정한 연구들에서도 사업체, 매출액, 종사자에 대한 양적 분석에도 차이가 크게 나타났다. 풍력산업 고도화와 4차 산업과 연계된 신산업을 육성하기 위해서는 무엇보다도 풍력산업 및 연관산업 생태계의 규모를 정확하게 추정하고, 권역별/지역별 산업생태계 또는 공급망 역량과 관련된 구체적 수치를 파악할 필요가 있다.

국산화 규정(LCR) 수립으로 국내 해상풍력 공급망 다양화의 필요성이 대두되는 시점에서, 본 연구는 풍력산업 생태계의 규모를 추정하고 권역별 산업구조 특성에 따른 권역별/지역별 산업생태계의 발전방향을 제시하기 위한 분석방법으로서 신재생에너지산업 특수분류 기반의 기업 간 거래네트워크 분석을 제안하고자 한다. 기존의 기업 간 거래자료들을 활용한 연구들은 산업생태계에서 핵심적 역할을 하는 기업(들)의 역할을 파악하고, 관련 기업들 및 산업들 간의 연계를 통해 지역 또는 권역 내 가치사슬(구조)가 강화될 수 있다는 점을 강조하였다.

한국풍력산업협회의 회원사인 기업들을 대상으로, 새로 제정된 신재생에너지산업 특수분류에 기반하여 한국기업데이터(주)의 기업 간 거래데이터를 중심으로 시기적으로는 한국 최초의 해상풍력발전단지인 탐라해상풍력단지의 건설공사가 시작된 2015년부터 서남해

해상풍력 실증단지의 해상공사가 시작된 2017년, 그리고 현재까지 풍력 관련 기업 간 거래네트워크의 분석을 통해 전국 단위의 해상풍력 산업생태계, 더 나아가 동해권/경남권/전북권/전남권/ 해상풍력 산업생태계의 구조적 특성과 네트워크에 대한 이해가 높아질 것이다.

후기

본 연구는 해양수산부와 해양수산과학기술진흥원이 지원하는 해상풍력, 수산업, 환경 공존기술개발(No. 20220628)로 수행된 연구결과이며, 2021학년도 군산대학교 발전정책 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다. 그리고 풍력산업 관련 자료를 제공해준 한국풍력산업협회 사무국에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Ministry of Trade, Industry and Energy, 2019, Plan to Strengthen Competitiveness for Renewable Energy Industry.
- [2] Lee, S. K. and Gil, E. S., 2021, Estimation of the Scale of Renewable Energy Industry Using Big Data Analysis.
- [3] Korean Energy Technology Evaluation and Planning, 2020, 4th Energy Tech Innovation Roadmap, Wind Power.
- [4] Korean government, 2020, A Plan for the Development of Offshore Wind Power in Cooperation with Residents and Co-existence with the Fisheries Industry.
- [5] AEGIR-PONDERA-COWI, 2021, Accelerating South Korean Offshore Wind Through Partnerships: A Scenario-based Study of Supply Chain, Levelized Cost of Energy and Employment Effects.
- [6] Mayer Brown, 2022, Offshore Wind in South Korea: The Path Ahead.
- [7] BVG, 2009, Towards Round 3; Building the Offshore Wind Supply Chain.
- [8] BVG, 2011, Towards Round 3; Progress In Building the Offshore Wind Supply Chain.
- [9] BVG, 2012, Towards Round 3; The Offshore Wind Supply Chain In 2012.

- [10] BVG, 2013, Offshore Wind: A 2013 Supply Chain Health Check.
- [11] BVG, 2017, Norwegian Supply Chain: Opportunities In Offshore Wind.
- [12] BVG, 2018, The Virginia Advantage: The Roadmap For The Offshore Wind Supply Chain In Virginia.
- [13] BVG, 2021, Building North Carolina’s Offshore Wind Supply Chain: The Roadmap For Leveraging Manufacturing And Infrastructure Advantage.
- [14] BVG, 2021, Offshore Wind Roadmap For Vietnam.
- [15] Lantz, E., Barter, Barter, G., Gilman, P., Keyser, D., Mai, T., Marquis, M., Mowers, M., Shields, M., Spitsen, P., and Stefek, J., 2021, Power Sector, Supply Chain, Jobs, And Emissions Implications Of 30 Gigawatts Of Offshore Wind Power By 2030, NREL/TP-5000-80031.
- [16] Shields, M., Marsh, R., Stefek, J., Oteri, F., Gould, R., Rouxel, N., Diaz, K., Molinero, J., Moser, A., Malvik, C. and Tirone, S., 2022, The Demand For A Domestic Offshore Wind Energy Supply Chain, NREL/TP-5000-81602.
- [17] Kim, Y. S., Kim J. G. and Eun, M. J., 2012, Regional Industrial Ecosystem in the Age of Industrial Convergence.
- [18] Jeong, M. T., Kwak, D. J., Lee, Y. J., Lee, D. H. and Im, D. S., 2009, Growth Strategies of Renewable Energy Equipment Industry.
- [19] Korean Energy Technology Evaluation and Planning, 2020, Energy Industry Ecosystem Survey and Technology Level Analysis.
- [20] Korean Energy Technology Evaluation and Planning, 2021, Research and Development Project Planning Report for 2021 Energy Technology Development Project, Renewable Energy Core - Wind -.
- [21] Cho, S. M., et al., 2019, Establishment of a New Renewable Energy Industry Survey and Analysis and Industrial Development System for the Introduction of the New Renewable Energy Industry Special Classification System(Statistics Office).
- [22] Korea Energy Agency, 2020, New and Renewable Energy Industry Statistics for 2019.
- [23] Korea Energy Agency, 2022, New and Renewable Energy Industry Statistics for 2020.
- [24] Statistics Korea, 2021, Report on the Special Classification of Renewable Energy Industry.
- [25] Lee, H. R. and Na, J. M., 2013, “Analysis of Network Structure in the Wind Power Industry using Social Network Analysis - Focusing on the Honam Economic Region”, Journal of The Korean Regional Development Association, Vol. 25, No. 5, pp. 87~106.
- [26] Kim, K. H., 2021, An Analysis on Economic Effect of Renewable Energy Expansion(3/4).
- [27] Byeon, J. S. and Yu, C. H., 2021, “Ecosystem Analysis on Energy Industry in Gwangju - Focusing on Inter-firms’ Transaction Network”, The Studies in Regional Development, Vol. 53, No .1, , pp.167-200.
- [28] Byeon, J. S., Na, J. M., Yu, C. H. and Shin, S. S., 2017, “Purchasing and Selling Network Structures of Manufacturing Firms Related Shipbuilding and Offshore Plant Industry: Focused on Jeollanam-do”, Journal of the Economic Geographical Society of Korea, vol. 20, no. 1, pp. 16-33.
- [29] Cho, M. K. and Kang, M. G., 2020, The Dynamic Process of Regional Industrial Ecosystem: Focused on Automotive Industry Network, Journal of The Korean Regional Development Association, vol. 32, no. 4, pp. 43-66.
- [30] Ministry of Trade, Industry and Energy, 2022, Policy-information-Major policies by sector-Energy-Resources, Available online: http://www.motie.go.kr/motie/py/brf/motiebriefing/motiebriefing401.do?brf_code_v=401#header, accessed on date (October 26, 2022).