

이 과제는 2021년 고용노동부의 「고용영향평가사업」에 관한 위탁사업에 의한 것임

# 해상풍력발전 확대 정책의 고용영향



본 보고서는 한국노동연구원 고용영향평가센터의 2021년 고용영향평가 사업으로 수행한 연구결과입니다.

**연구주관 · 시행기관 : 한국노동연구원**

## **연구진**

연구책임자 : 방형준(한국노동연구원 연구위원)

참여연구자 : 노세리(한국노동연구원 연구위원)

자문위원 : 이진영(강원대학교 경제통계학부)

## 목 차

요 약 .....	i
<b>제1장 서론: 신재생 에너지 정책의 필요성과 추진 실태</b> .....	1
제1절 신재생 에너지의 정의 및 유형 .....	1
제2절 전력 수급 현황 및 전망 .....	2
제3절 신재생 에너지 사용 해외 현황 및 정책의 필요성 .....	5
제4절 풍력발전 육성 관련 국내 정책 .....	9
<b>제2장 풍력발전 산업의 현황과 특성</b> .....	11
제1절 풍력발전의 산업 특성 .....	11
제2절 풍력발전 산업 및 고용 현황 .....	15
제3절 고용연계성(일자리창출경로) 설정 .....	22
<b>제3장 해상풍력발전 산업 육성의 양적 고용 효과</b> .....	25
제1절 선행 연구와 해외 사례 .....	25
1. 해외 풍력발전 설비의 고용 효과에 대한 선행 연구 .....	25
2. 신재생 에너지 발전의 고용 영향 추정: 5가지 추정 방법 .....	33
제2절 기계 학습을 이용한 풍력발전량 예측 .....	44
1. 목적 및 필요성 .....	44
2. 풍력산업 발전량 예측 모형 구축 .....	45
제3절 풍력발전량 예측 결과 .....	53
1. 3MW 규모 발전 설비에 대한 예측 결과 .....	53
2. 8MW 규모 발전 설비에 대한 예측 결과 .....	56
3. 3MW 시나리오와 8MW 시나리오 간의 발전량 예측 결과 비교 .....	57
제4절 풍력발전량별 고용 효과 추정 .....	61
1. 고용 효과 측정을 위한 기본 가정 .....	61
2. 고용 효과 계산 .....	66

제5절 소 결 .....	68
<b>제4장 해상풍력발전 산업의 인력관리와 개발 .....</b>	<b>73</b>
제1절 연구개요 .....	73
제2절 산업의 인력육성 현황 및 한계 .....	74
제3절 기업 사례 조사를 통해 살펴본 산업의 인력 관리 현황 .....	83
1. A기업 .....	83
2. B기업 .....	89
제4절 주요 결과 및 시사점 .....	94
<b>제5장 결론 및 정책 제언 .....</b>	<b>99</b>
<b>참고문헌 .....</b>	<b>107</b>
<b>[부 도] 각 지점별, 기후 조건별, 발전설비별 발전량 예측 결과 .....</b>	<b>111</b>

## 표 목 차

〈표 1- 1〉 해외 전력소비량 비교 .....	4
〈표 1- 2〉 기준 수요 전망 결과 .....	4
〈표 1- 3〉 해외 전원별 발전량 비교 .....	6
〈표 1- 4〉 전세계 원별 발전비중 전망 .....	7
〈표 1- 5〉 발전량 기준 원별 비중 목표 .....	8
〈표 2- 1〉 신재생 에너지원별 기업체 수 .....	15
〈표 2- 2〉 풍력발전 산업 세부 산업별 기업체 수 .....	16
〈표 2- 3〉 에너지원별 국내 신재생 에너지 기업 매출 현황 .....	17
〈표 2- 4〉 풍력발전 산업 세부 산업별 매출 현황 .....	18
〈표 2- 5〉 에너지원별 산업 투자 현황 .....	19
〈표 2- 6〉 풍력발전 산업 세부 산업별 투자 현황 .....	19
〈표 2- 7〉 신재생 에너지원별 고용 현황 .....	20
〈표 2- 8〉 풍력발전 산업 세부 산업별 고용 현황 .....	21
〈표 3- 1〉 몬테나주 6개 카운티의 풍력발전단지 건설이 창출한 일자리 수 .....	28
〈표 3- 2〉 몬테나주의 2004년 고용 수준 대비 풍력발전단지 건설이 창출한 일자리 수 비율 .....	29
〈표 3- 3〉 기존 연구에서 제시한 건설 단계와 운전 단계에 따른 풍력 발전단지 건설의 고용계수 .....	30
〈표 3- 4〉 브라질 풍력발전의 고용계수 .....	31
〈표 3- 5〉 해상풍력발전단지가 있는 미국 4개 지역 .....	31
〈표 3- 6〉 미국 4개 지역 해상풍력발전이 건설 단계에서 창출하는 FTE·일자리 수 전망치 .....	32
〈표 3- 7〉 스코틀랜드에 건설되었거나 건설 예정인 해상풍력발전단지 .....	32
〈표 3- 8〉 풍력발전단지 운영에 필요한 노동력에 대한 서베이 조사 결과 .....	36

〈표 3- 9〉 기계학습에 사용할 데이터의 기초 통계 .....	47
〈표 3-10〉 3MW 규모 발전기 1기당 연간 발전 예측량 .....	54
〈표 3-11〉 3MW 규모 발전기를 이용한 단지 총 연간 발전 예측량 .....	55
〈표 3-12〉 8MW 규모 발전기 1기당 연간 발전 예측량 .....	56
〈표 3-13〉 8MW 규모 발전기를 이용한 단지 총 연간 발전 예측량 .....	57
〈표 3-14〉 각 지점별 전년 기후 조건에 기초한 발전설비별 예측량에 대한 기초 통계 .....	58
〈표 3-15〉 각 지점별 전년 기후 조건에 기초한 발전설비별 예측량에 대한 분위별 발전량 .....	59
〈표 3-16〉 각 지점별 최근 5개년 평균 기후 조건에 기초한 발전설비별 예측량에 대한 기초 통계 .....	60
〈표 3-17〉 각 지점별 최근 5개년 평균 기후 조건에 기초한 발전설비별 예측량에 대한 분위별 발전량 .....	60
〈표 4- 1〉 신재생 에너지 분야별 인력 연평균 증가율 .....	76
〈표 4- 2〉 신재생 에너지 분야별 신규 인력 수급차 전망 .....	77
〈표 4- 3〉 신재생 에너지 직무별 인력 연평균 증가율 .....	78
〈표 4- 4〉 신재생 에너지 직무별 신규인력 수급차 전망 .....	78
〈표 4- 5〉 신재생 에너지 발전형태별 직무별 부족인원 현황(2020년 기준) .....	79
〈표 4- 6〉 신재생 에너지 발전형태별 직무별 미충원인원 현황(2020년 기준) .....	79
〈표 4- 7〉 신재생 에너지 발전형태별 구인인력 및 채용인력 현황 .....	81
〈표 4- 8〉 인력수급 관련 정부 지원 니즈 .....	81

## 그림목차

[그림 1-1] 최근 10년간 용도별 전력소비량 비중 추이 .....	3
[그림 3-1] 에너지원별 고용계수 : 메타 분석을 통한 평균값 .....	26
[그림 3-2] 분석 방법별 해상풍력단지가 창출하는 누적 일자리 수 .....	33
[그림 3-3] 고용계수를 이용한 창출일자리 수 계산법 .....	34
[그림 3-4] 공급사슬 분석시 상위 단계의 생산액 및 비용을 하위 단계로 귀속시키는 방법 .....	38
[그림 3-5] 공급사슬 분석을 통한 신재생 에너지 산업의 경제적 영향 .....	39
[그림 3-6] 기계학습에서의 과적합 문제 .....	50
[그림 3-7] 풍력발전량 예측 지점 .....	52



## 요 약

- 신재생 에너지로서의 풍력발전
- 신재생 에너지는 재생 에너지에 화석 연료를 개질하여 사용하는 연료 전지 등을 포괄하는 개념
- 신재생 에너지는 자연에 기반을 둔 자연 에너지, 생물로부터 연료 혹은 유사 연료를 얻는 생물 에너지, 그리고 수소 에너지와 석탄 가스화 복합 발전으로 구성되어 있음.
- 신재생 에너지의 유형은 다음과 같음.
  - 자연 에너지: 태양 에너지, 풍력발전, 지열 발전, 수력 발전, 수열 발전, 파력 발전, 조력 발전
  - 생물 에너지: 바이오매스, 바이오에탄올, 바이오디젤
  - 수소 에너지: 촉매 연료 전지, 고온 연료 전지
  - 기타: 석탄 가스화 복합 발전, 폐기물 발전
- 산업통상자원부의 전력수급 기본 계획에 따르면, 국내 전력 수요는 향후 15년 간 연평균 약 1.6%씩 증가할 것으로 예측됨.
- 신재생 에너지 보급 정책의 필요성
  - 탄소중립과 기후변화 대응을 위해서 필수적
  - 이미 세계 각국은 신재생 에너지 중심의 탄소중립 계획을 수립
  - 우리나라에서도 신·재생 에너지 기술개발 및 이용·보급 기본 계획을 통해 신재생 에너지 보급을 확대하기 위한 로드맵 수립
  - 신·재생 에너지 기술개발 및 이용·보급 기본 계획에 따르면 2030년까지 해상풍력발전은 전체 발전의 23.8%, 2034년에는 27.5%를 담당하도록 계획되어 있어 향후 친환경 발전원으로서 각광받고 있음.

- 신·재생 에너지 기술개발 및 이용·보급 기본 계획에는 풍력발전 산업 육성을 위한 부품 국산화, 기술 개발, 설비 안정성 및 환경성 강화, 핵심 인재 양성 방안을 담고 있음.

○ 풍력발전의 특성

- 간소하고 빠른 설치, 발전을 위한 별도의 동력이 필요 없는 무동력 발전 가능, 저렴한 평균 발전 단가
- 입지 조건이 까다로우며, 입지에 따른 발전량의 차이가 큼, 소음으로 인한 민원, 블레이드 제작 과정에서의 오염 물질 배출
- 육상풍력에서의 단점인 입지 조건의 문제와 소음으로 인한 민원을 해결하기 위해 해상풍력발전이 각광받고 있음.
- 다만 해상풍력발전의 경우, 육상풍력발전보다 설비에 대한 관리 측면에서 어려움이 있음.

□ 해상풍력발전 산업의 고용 효과와 경제 효과를 정량적으로 측정하기 위한 방법

○ 고용계수 추정 방법

- 각 직군/직종별 노동 수요 및 경제적 효과를 서베이 조사한 후 결과를 합산하여 계산
- 추정 방법은 용이하나, 추정된 지역의 결과를 다른 지역으로 일반화하는데 한계가 존재

○ 공급 사슬 분석 방법

- 각 공급 사슬 단위별로 경제적 효과 및 고용 효과를 파악한 후 이를 합산하여 풍력발전의 총효과를 도출
- 가격 변동까지 반영하여 전체 공급 사슬의 효과를 분석할 수 있으나, 조사 대상이 되는 사슬에 포함되지 않는 산업이나 업체의 효과는 반영되지 않는다는 한계가 존재

○ 산업연관표를 이용한 분석

- 산업연관표의 투입 - 산출 행렬을 이용하여 투자 및 경제적 충격

에 따른 유발 계수를 활용함으로써 경제적으로 창출되는 부가가치액이나 고용 유발 효과를 추정

- 풍력발전 산업의 육성에 따른 영향을 전 산업에 대해서 포괄적으로 추정할 수 있으며, 지역 산업연관표를 활용하는 경우 추정의 정확도도 제고(提高)할 수 있음.
- 그러나 규모의 경제나 기술 발전 등의 효과를 잡아낼 수 없으며, 한 지역 내에서 모든 산업 행위가 다 일어나야 한다는 가정이 필요하여 개방 경제에서 적용하기 어려움

○ 연산가능 일반균형모형을 이용한 분석

- 사회 회계행렬을 이용하여 해상풍력발전 산업 육성이라는 충격을 넣은 후, 그 효과를 거시경제 전체에 대해서 양적으로 추정
- 가격 변동, 산업 구조 변화에 따른 자원 배분의 변화까지 모두 반영하여 분석의 정확도가 올라갈 수 있으나, 분석을 위해 필요한 사회 회계행렬을 계산하는 것이 매우 어렵거나 불가능

□ 해상풍력발전 산업의 고용 효과 추정 결과

○ 기계 학습을 이용하여 해상풍력의 실 발전량 예측

- 영흥 풍력발전소의 기후 조건에 따른 시간대별 발전량 자료를 이용하여 해상풍력발전량 예측 모형을 구축
- 예상 후보지를 대상으로 2020년 기후 조건 및 과거 5년 간의 기후 조건을 수집한 후, 이를 바탕으로 해상풍력 실 발전량을 추정
- 이론적으로는 8MW 발전 설비가 3MW 발전 설비보다 두 배 이상의 발전량을 내는 것이 기대되지만, 실제로는 바람의 세기가 크지 않을 때 최소 가동 풍속에 있어서 3MW의 발전 효율이 더 좋기 때문에 두 설비 간의 발전량 차이는 평균적으로 약 30%밖에 나지 않는 것으로 나타났음.
- 개별 설비의 발전량은 8MW가 더 많았으나, 발전 효율 측면에서

는 3MW가 더 높은 것으로 나타났음.

- 발전 단지의 총 설비 규모는 현재 목표인 8.2GW라고 설정하였음.

○ 미국의 지역 산업연관표를 이용한 분석에 근거한 고용 효과 추정

- Tegen et al.(2015)에서 미국 5대호 연안의 해상풍력발전에 대한 고용 효과를 추정된 결과를 바탕으로 국내 해상풍력발전의 고용 효과를 추정

- 신재생 에너지 산업의 육성에 대한 불확실성으로 투자가 천천히 진행되는 low 시나리오, 초창기에만 불확실성이 존재하고 이후 산업 생태계가 빠르게 조성되는 moderate 시나리오, 초창기부터 불확실성 없이 빠르게 산업 생태계가 모두 조성되는 high 시나리오로 나누어 분석

- 지역 산업연관표를 이용한 건설 단계에서의 고용 효과는 low 시나리오에서 18.25명/MW, moderate 시나리오에서는 23명/MW, high 시나리오에서는 27.25명/MW으로 나타나, 8.2GW 단지를 조성할 경우 각 시나리오별로 1만 4,965명, 1만 8,860명, 2만 2,345명으로 추정되었음.

- 운용 단계에서의 고용 효과는 low 시나리오에서는 0.7명/MW, moderate에서는 1.2명/MW, high 시나리오에서는 1.7명/MW으로 분석되었음.

- 이 결과에 기반하여 추정한 고용 효과는 3MW 설비를 설치한 경우 세 시나리오별로 각각 5천 320명, 9천 120명, 1만 2,920명으로 나타났음.

- 8MW 설비를 설치한 경우, 3천 360명, 5천 760명, 3천 160명으로 앞선 3MW 설비보다 총 실제 발전량이 감소함에 따라 고용 효과가 줄어드는 것으로 나타났음.

○ 스코틀랜드의 연산가능 일반균형을 이용한 분석에 근거한 고용 효과 추정

- Connolly(2020)는 스코틀랜드의 해상풍력발전단지에 대해서 산업연관표를 이용한 분석과 연산가능 일반균형 모형을 통한 분석 두 가지의 방식으로 고용 효과를 추정하였음.
- Connolly(2020)는 경제 주체들이 적응적 기대를 한다는 가정에 기초한 경제, 완벽한 정보가 제공된다는 가정 하의 경제를 구성한 분석, 그리고 산업연관표 세 가지에 대해서 고용계수를 계산하였음.
- 계산 결과에 기초하여 신안 해상풍력발전단지의 건설 단계에서의 고용 효과는 적응적 기대 모형에서는 7천 270명, 완전 정보 모형에서는 7천 470명, 그리고 산업연관표 상에서는 약 1만 2천 명으로 추정되었음.
- 운용 단계에서의 고용 효과는 3MW 설비만 설치한 경우, 적응적 기대 모형에서는 8천 2백 명, 완전 정보 모형에서는 3천 770명, 산업연관표 상에서는 약 4천 4십 명으로 계산되었음.
- 운용 단계에서의 고용 효과는 8MW 설비만 설치한 경우, 적응적 기대 모형에서는 5천 180명, 완전 정보 모형에서는 2천 380명, 산업연관표 상에서는 약 2천 550명으로 계산되었음.

○ 각 모형의 결과 비교

- 일반적으로 한 산업이 커지면 해당 산업으로 생산 자원과 인력이 몰리기 때문에 경제 전반에서 물가와 임금이 상승하게 되며, 따라서 다른 산업 분야의 규모와 고용이 영향을 받게 됨.
- 이러한 파급 효과는 연산가능 일반균형 모형에서는 반영 가능하나 산업연관표 상의 분석에서는 고려할 수 없으며, 따라서 일반적으로 고용 효과는 산업연관표에 기반한 값이 높게 나오나, 연산가능 일반균형 모형과 산업연관표 결과의 중간값 정도가 실제 고용 효과로 추계됨.
- 신안 해상풍력발전단지는 정부가 일정 정도 산업 생태계 조성을 위해 투자를 진행하기 때문에 Tegen et al.(2015)의 moderate 시

나리오에 해당할 것으로 추정되며, 연산가능 일반균형 모형에서는 적응적 기대 모형이 실제와 더 가까울 것으로 보임.

- 이에 기반한다면 고용 효과는 건설 단계에서는 7천~1만 8천 명 정도가 나타날 것으로 보이며, 운용 단계에서는 8천~9천 명 정도의 연 고용이 전망되어, 건설 단계에서는 약 1만 명, 운용 단계에서는 약 9천 명 정도의 고용이 창출될 것으로 전망됨.

#### □ 해상풍력발전 산업에서의 인력 관리 및 육성

##### ○ 지속적인 인력 수요의 증대와 공급의 부족

- 해상풍력발전 산업의 육성에 따라 인력 수요가 증대될 것으로 보이나, 필요한 숙련 및 기술 수준을 가진 인력은 부족한 실정
- 특히 요구되는 기술 수준을 습득한 인력인 엔지니어들이 부족하다는 점이 초과 수요의 원인임.
- 아울러 산업 초기 단계이다보니 해상풍력 산업에서 육성한 인력이 타 산업으로 이탈하는 사례도 발생
- 해상풍력발전 산업으로 인력을 유입시킬 외부 노동시장이 형성되어 있지 않기 때문에 인력 수급에서 난항이 발생

##### ○ 해상풍력발전 산업 맞춤형 인력 육성의 필요성 증대

- 원활한 노동력 공급을 위한 외부 노동시장의 형성이 필요
- 연구직과 기술직 인력으로 대변되는 고급 인력의 공급이 시급함.
- 기존의 발전 산업에서 신재생 에너지 산업으로의 인력 이동이 일부 있기는 하지만 상이한 산업 성격으로 인해 전반적으로는 상호 인력 이동이 불가능한 시장이므로 유사 산업에서의 유휴 인력에 대한 교육이 필요
- 인력 이탈의 한 원인으로는 해상풍력발전단지의 입지 조건이 거주에 유리한 환경에서 멀리 떨어진 곳이라는 점이 꼽히므로, 이를 위한 정주 여건 개선 및 인프라 확충이 필요
- 기술 개발을 위한 테스트베드 및 실증 단지의 필요성이 높아지고

있음.

□ 해상풍력발전 산업 육성을 위한 과제

○ 해상풍력발전의 발전 효율 제고를 통한 산업 육성

- 해상풍력발전의 효율이 높으면서도 민원 및 어족 자원 보호 등의 사회경제적 문제가 될 발생하는 곳으로 입지를 잘 선정할 필요가 있음.
- 아울러 선정된 입지 조건에서 가장 효율적인 발전 설비의 규모도 고려하여 발전 단지를 건설해야 함.
- 산업 육성 과정에서 부품산업 및 유관 산업의 수입대체화를 위한 방안을 강구해야 함.
- 송배전망과 변전 설비 등 유관 산업 분야까지 망라한 산업 생태계를 갖춘 단지 개발이 필요
- 불안정한 에너지 수급에 대한 대책도 필요

○ 고용 분야의 과제는 다음과 같음.

- 해상풍력발전 산업에 적합한 인재의 육성과 공급
- 산업 내 인력의 이탈 방지를 위한 노력
- 산업 특화된 대학 교육 프로그램이나 훈련 프로그램의 추진도 고려해 볼 수 있음.



## 제 1 장

# 서론 : 신재생 에너지 정책의 필요성과 추진 실태

### 제1절 신재생 에너지의 정의 및 유형

#### □ 신재생 에너지의 정의

- 인류가 사용 중인 에너지원은 크게 화석 연료와 비화석 연료인 대체 에너지(Alternative Energy)로 나눌 수 있음.
- 대체에너지는 화석 연료를 대체할 수 있는 에너지를 총칭하며, 이중 일부가 재생 에너지(Renewable Energy)임.
- 신재생 에너지는 국내에서 생성된 조어(造語)로, 신 에너지와 재생 에너지를 합성한 표현으로 보다 구체적으로는 재생 에너지에 화석 연료를 개질하여 사용하는 연료 전지 등을 추가한 개념
  - 신 에너지 및 재생 에너지 개발·이용·보급 촉진법 제2조 제1호, 제2호, 동법 시행령 제2조에 따르면 신재생 에너지의 정의는 다음과 같음.
  - 신 에너지: 기존의 화석연료를 변환시켜 이용하거나 수소·산소 등의 화학 반응을 통하여 전기 또는 열을 이용하는 에너지
  - 재생 에너지: 햇빛·물·지열(地熱)·강수(降水)·생물유기체 등을 포함하는 재생 가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 에너지
- 신재생 에너지는 크게 자연에 기반을 둔 자연 에너지, 생물로부터 연료

혹은 유사 연료를 얻는 생물 에너지, 그리고 수소 에너지와 석탄 가스화 복합 발전(Integrated Gasification Combined Cycle: IGCC)으로 구성됨.

□ 신재생 에너지의 유형

○ 자연 에너지

- 태양 에너지: 태양광 발전, 태양열 발전
- 풍력발전: 육상풍력발전, 부유식 풍력발전, 해상 고정 풍력발전
- 지열 발전: 심부지열발전 등
- 수력 발전: 댐식, 수로식, 유역변경식, 댐수로식, 양수식 등
- 수열 발전
- 파력 발전
- 조력 발전

○ 생물 에너지

- 바이오매스
- 바이오에탄올
- 바이오디젤

○ 수소 에너지: 수소를 연료로 하는 연료전지로 발전

- 촉매 연료 전지
- 고온 연료 전지

○ 석탄 가스화 복합 발전: 석탄을 고온, 고압에서 가스화하여 발전

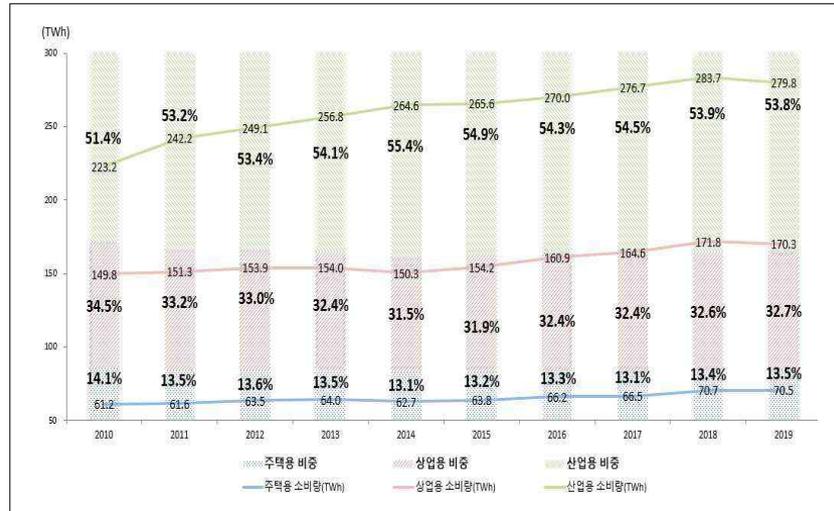
○ 폐기물 발전: 고형 연료 제품, 정제 연료유

## 제2절 전력 수급 현황 및 전망

□ 국내 전력 소비 현황

○ 국내 전력 소비 추이는 [그림 1-1]에 표시된 것과 같음.

[그림 1-1] 최근 10년간 용도별 전력소비량 비중 추이



자료: "제9차 전력수급기본 계획"(2020), 산업통상자원부.

- 주택용 전력 소비가 차지하는 비중은 2010년대 중반에 정점을 찍은 이후 지속적으로 감소 추세
- 상업용 및 산업용은 2010년대 중반에 조금 감소하였으나 이후 지속적으로 증가하는 중
- 전력 소비 비중으로 보면 주택용이 가장 많으며, 상업용, 산업용 순서임.

○ 총 전력 소비량은 지속적으로 증가하다가 2019년에 소폭 감소

□ 해외 주요국 대비 전력 소비량

- 중국, 인도, 한국, 브라질, 멕시코, 베트남 등 고성장 경제에서는 전력 소비량이 21세기에도 빠르게 늘어나고 있음.
- 미국, 일본, 독일, 프랑스, 영국, 이탈리아 등 고소득 국가에서는 2010년 대비 2017년 전력 소비량이 오히려 감소하였음.
- 한국은 여전히 경제 성장의 속도가 높으며 제조업 기반이 경제에서 차지하는 비중이 크기 때문에 당분간 전력 소비량은 지속적으로 증가할 것으로 예측할 수 있음.

〈표 1-1〉 해외 전력소비량 비교

(단위 : TWh)

국가명	1990	2000	2010	2017
중국	477.7	1,072.9	3,492.7	5,581.7
미국	2,633.6	3,499.5	3,788.3	3,738.1
인도	211.8	368.7	720.4	1,153.8
일본	771.1	968.8	1,021.6	963.9
독일	455.1	483.5	532.4	519.0
대한민국	94.4	239.5	434.2	507.7
브라질	210.8	321.2	437.9	499.0
프랑스	302.2	384.9	444.1	436.9
영국	274.4	329.4	329.0	300.7
이탈리아	214.6	273.0	299.3	292.0
멕시코	100.2	145.4	215.7	271.9
베트남	6.2	22.4	86.9	172.8
전세계 합계	9,702.4	12,697.6	17,866.9	21,460.1

자료 : IEA(2019), Electricity Information.

〈표 1-2〉 기준 수요 전망 결과

	전력소비량 (TWh)	최대전력	
		하계	동계
2020	516.7	89.1	91.7
2021	532.9	94.1	95.2
2022	544.6	96.2	97.4
2023	556.2	98.4	99.6
2024	567.8	100.5	101.5
2025	577.4	102.3	103.4
2026	587.2	104.1	105.2
2027	596.1	105.8	107.0
2028	604.5	107.5	108.6
2029	612.5	109.0	110.2
2030	620.2	110.6	111.8
2031	627.7	112.1	113.3
2032	634.7	113.5	114.7
2033	641.6	114.9	116.1
2034	647.9	116.2	117.5
연평균 증가율	1.6	1.9	1.8

자료 : 제9차 전력수급기본 계획(2020), 산업통상자원부.

□ 국내 전력 수요 전망 예측치

- <표 1-2>에 따르면, 국내 전력 수요는 향후 15년간 연평균 약 1.6%씩 증가할 것으로 예측됨.
- 최대 전력 수요치는 하계와 동계 모두 전력 소비량보다 더 빠르게 높아질 것으로 전망

□ 국내 전력 수요 예측

- 향후 스마트공장, 스마트시티 등의 보급과 각종 IoT 기술의 보급으로 전력 수요는 크게 증가할 가능성이 높음.
  - 반면, 스마트공장과 스마트시티의 확산으로 전력 낭비를 막음으로써 <표 1-1>의 주요 선진국처럼 향후 전력 수요가 소폭 감소할 경우를 배제할 수는 없음.
- 각종 설비와 장치에 반도체를 비롯한 전력 사용 장치가 널리 사용될 것이므로 전력 수요가 증가할 요인으로 작용
- 반면 주택에 태양광 설비 등을 설치하고 상계거래 등의 도입 및 확산으로 전력의 자가생산 및 소비구조가 정착될 경우, 실제 전력 설비에서 생산하여 공급해야 할 총 전력량이 감소할 가능성도 있음.

### 제3절 신재생 에너지 사용 해외 현황 및 정책의 필요성

□ 해외 주요국의 전원별 발전량 추이

- 해외 주요 5개국(독일, 미국, 프랑스, 영국, 일본)의 전원별 2012년과 2017년 발전량에 대한 정보가 <표 1-3>에 제공되어 있음.
  - 원전의 경우 독일과 프랑스에서는 발전량 자체와 전체 발전량에서 차지하는 비중이 감소하고 있으나, 미국과 일본에서는 발전량과 비중이 증가하고 있음.

- 화력의 경우, 일본을 제외하면 4개 국가 모두 발전량 자체와 총 발전량에서 차지하는 비중 모두 감소하였음.
- 수력의 경우, 주요국 모두 발전량과 비중에서 큰 변동이 없었음.
- 신재생 에너지의 경우, 주요국 모두에서 발전량 자체가 크게 늘었으며, 독일을 제외한 네 개 국가에서는 발전량과 총 발전량에서 차지하는 비중이 모두 두 배 이상 증가
- 독일의 경우, 2012년에 이미 신재생 에너지 발전량이 차지하는 비중이 전체 발전량의 20%를 넘었기에 2012년에서 2017년 사이에 발전량과 비중은 1.5배 정도만 증가하였으나, 발전량 증가액은 미국을 이어 2위이며, 비중은 여전히 가장 높은 수준임.

○ 주요 선진국 모두 2010년대에 신재생 에너지 발전량을 빠르게 늘려가고 있는 것이 확인됨.

〈표 1-3〉 해외 전원별 발전량 비교

(단위: TWh, %)

		원전	화력			수력	신재생	전체
			석탄	LNG	유류			
독일	2012	99.5 (15.8)	287.0 (45.6)	7.6 (1.2)	77.6 (12.3)	27.9 (4.4)	130.3 (20.7)	629.8 (100)
	2017	76.3 (11.7)	252.8 (38.7)	5.6 (0.9)	87.7 (13.4)	26.2 (4.0)	205.2 (31.4)	653.7 (100)
미국	2012	801.1 (18.7)	1,643.4 (38.3)	33.1 (0.8)	1,264.6 (29.5)	298.3 (7.0)	250.1 (5.8)	4,290.5 (100)
	2017	838.9 (19.6)	1,321.4 (30.8)	32.4 (0.8)	1,337.7 (31.2)	325.1 (7.6)	430.9 (10.1)	4,286.4 (100)
프랑스	2012	425.4 (75.2)	21.6 (38)	6.2 (1.1)	21.8 (3.9)	63.6 (11.2)	27.1 (4.8)	565.8 (100)
	2017	398.4 (70.9)	15.1 (2.7)	7.4 (1.3)	40.4 (7.2)	55.1 (9.8)	45.8 (8.1)	562.1 (100)
영국	2012	70.4 (19.4)	144.2 (39.7)	2.6 (0.7)	100.2 (27.6)	8.3 (2.3)	37.9 (10.4)	363.4 (100)
	2017	70.3 (20.8)	23.3 (6.9)	1.6 (0.5)	136.8 (40.4)	8.8 (2.6)	97.5 (28.8)	338.3 (100)
일본	2012	15.9 (1.5)	303.8 (29.4)	180.8 (17.5)	397.2 (38.4)	83.7 (8.1)	52.9 (5.1)	1,034.3 (100)
	2017	32.9 (3.1)	351.8 (32.9)	69.9 (6.5)	398.1 (37.3)	90.2 (8.4)	125.4 (11.7)	1,068.3 (100)

자료: IEA(2019), Electricity Information.

□ 신재생 에너지 보급 정책의 필요성

○ 탄소중립과 기후변화 대응을 위해서 신재생 에너지 보급의 확대는 필수 불가결

- 이미 1995년부터 국제연합 기후변화협약에서는 매년 기후변화에 대해 논의하고 그 대책을 공동 모색하기 위한 유엔기후변화협약 당사국 총회를 개최하고 있으며, 그 결과 1997년 교토의정서가 채택되고, 2015년에는 파리협정을 채택하였음.
- 이러한 친환경 기조는 바이든 행정부의 집권 이후 더욱 가속화될 전망이다이며, 그 이전에 EU 집행위원회 역시 2019년 12월 11일 유럽 그린딜(European Green Deal) 추진을 발표하고 탄소국경세를 도입할 것을 예고하였음.
- 따라서 언젠가는 고갈되거나 채산성이 떨어지며 많은 환경 오염을 야기하는 화석연료를 대체하기 위해 대체 에너지를 개발하는 것은 단순히 환경 측면만이 아니라 국제 시장에서 수출 경쟁력을 유지하고 환경 관련 각종 비관세 무역 장벽에 대처하기 위한 경제적 측면에서도 필수적이라 할 수 있음.

○ 이러한 세계 각국의 탄소중립에 대한 노력으로, 신재생 에너지는 2030년대에는 세계 각국의 주 전력원으로 부상할 것으로 예측됨.

- <표 1-4>에 따르면 이미 재생 에너지는 수력을 제외하고도 원자력 발전의 발전량을 넘어섰으며, 2030년에는 수력을 포함하였을 때 석탄보다도 더 많은 발전량을 기록하고, 2040년에는 수력을 제외하더라도 석탄을 제치고 가장 많은 비중을 차지하는 발전원이 될 것으로 전망

<표 1-4> 전세계 원별 발전비중 전망

(단위: %)

	2019	2030	2040
재생 에너지	26.6	38.2	46.9
(수력 제외)	(10.6)	(22.7)	(32.1)
석탄	36.6	28.3	22.4
원자력	10.4	9.4	8.6

자료: IEA(2019), Electricity Information.

□ 신·재생 에너지 기술개발 및 이용·보급 기본 계획

- 현재 우리나라도 재생 에너지의 확대를 위한 장기 목표를 수립하고 정책적 노력을 전개 중
  - 그린뉴딜 전략(2020. 7)과 2050 탄소중립 선언(2020. 10)
- 신재생 에너지 확대를 위한 노력의 전개
  - 2034년까지 태양광 및 풍력발전의 비중을 2.7%에서 약 19%까지 제고(提高)
  - 신재생 에너지의 보급을 위한 설비 및 산업 생태계 육성을 목표로 노력 중
- 수소 분야
  - 수소경제 활성화 로드맵(2019. 1)
  - 수소법 제정(2020. 2)
  - 수소경제위원회 출범(2020. 7)
- 신재생 에너지 목표
  - 현재 신재생 에너지의 절대 다수가 태양광에 치우쳐져 있는 현실
  - 제5차 신·재생 에너지 기술개발 및 이용·보급 기본 계획에 따르면 태양광 위주의 전력 생산을 다양한 신재생 에너지로 확대하는 방안을 강구
  - 특히 해상풍력의 경우 현재 5% 미만인 발전량에서의 비중을 2030년에는 전체 신재생 에너지에서 약 1/4을 차지하는 정도로 확대할 계획

〈표 1-5〉 발전량 기준 원별 비중 목표

(단위: %)

	2022	2030	2034
태양광	47.4	38.9	39.3
육상풍력	7.2	8.1	7.6
해상풍력	3.0	23.8	27.5
바이오	21.9	10.8	8.9
수력	5.9	3.0	2.4
해양	0.8	0.4	0.3
연료전지	9.9	13.1	12.5
IGCC	3.9	1.9	1.4
전 체	100	100	100

자료: 제5차 신·재생 에너지 기술개발 및 이용·보급 기본 계획.

- 이를 통해 2030년대부터는 해상풍력이 태양광에 이은 제2의 발전원으로 부상할 예정임.

## 제4절 풍력발전 육성 관련 국내 정책

- 제5차 신·재생 에너지 기술개발 및 이용·보급 기본 계획을 통해 풍력 발전량을 증대하고 보급을 확산하며 산업을 육성하기 위한 정책을 시행하려 함.
- 풍력발전 설비의 안정성 및 환경성 강화 방안
  - 블레이드의 안전성 제고를 위한 인증 기준의 강화
    - 블레이드를 손상시키지 않으면서도 안전성 및 유해성을 검증하기 위해서 내부 이물질 유무를 확인하고 접착부의 상태를 점검할 수 있는 비파괴 검사 방식을 적용할 예정
- 풍력발전 산업 육성 방안
  - 핵심 부품 국산화
    - 초대형 블레이드, 카본 복합재 부품, 증속기, 발전기, 전력변환기, 제어 시스템의 국산화 추진
    - 터빈 국산화를 통해 2030년까지 현재의 O&M(운영관리: Operation & Management) 비용을 연 30% 절감할 수 있도록 계획 중
  - 부유식 풍력발전 기술 개발
    - 부유식 풍력발전 설비의 터빈 용량 확대: 2019년 현재 0.75MW인 터빈 용량을 2030년까지 5~8MW로 확대
    - 부유체에 대한 실험적 실증 시험을 통해 부유체 기술 개발 박차
  - 풍력발전 관련 혁신 기업의 참여를 유도하고 기술 개발을 지원
    - 대형 풍력발전 사업 단지를 설계하여 혁신 기업의 참여를 유도

- 풍력발전 설비에 대한 O&M에서의 신기술 개발 지원
- 현재 지원 계획 중인 기술: 드론을 활용한 풍력발전 설비 상태 진단 기술, AI/ICT 기반 풍력 터빈 고장 예측 진단 기술, 실시간 해상풍력 단지 통합 정보 시스템, 풍력발전단지 O&M 이력 관리 시스템
- 20MW 이상의 초대형 풍력 터빈 개발 지원

□ 풍력발전 관련 핵심 인력 육성

- 기존 에너지 산업 분야 종사자 및 퇴직자에 대한 재교육 프로그램 운영
  - 신재생 에너지 분야로의 전환 인력에 대한 재교육 프로그램 운영
- 풍력발전 관련 기술 자격 확대
  - 기술 자격 활성화를 위해 채용 및 보급사업에 대해서 가점 부여 등 인센티브 제도 운영을 검토

### 제1절 풍력발전의 산업 특성

#### □ 풍력발전 산업의 특성

- 풍력발전이란 바람의 힘을 이용하여 전기를 생산하는 시스템
- 풍력발전의 방식
  - 일반 회전식 : 바람개비나 풍차처럼 블레이드가 바람에 의해 회전하면서 전력을 생산
  - 보텍스 블레이드리스 : 바람개비가 없는(블레이드리스) 방식으로 바람에 따라 부채처럼 기둥이 회전하면서 진동을 이용하여 전력을 생산
  - 사폰식 터빈(Saphonian Turbine) : 바람에 의해서 바람막이를 미는 저항력으로 전기를 만드는 방식
  - 더치 윈드 휠 : 바람을 이용하여 물입자 및 정전기를 움직여 발전하는 방식

#### □ 풍력발전의 효율

- 이론적인 풍력발전의 최대 효율은 베츠의 법칙에 따라서 약 59.26%임.
  - 풍력발전은 입사 풍속과 발전기 뒤의 탈출 풍속 간의 차이를 이용하여 전기를 생산하는 방식으로 이 때 바람이 잃은 운동 에너지를 이용

하여 터빈을 작동시킴으로써 전기를 생산

- 입사 풍속과 탈출 풍속의 차이를 고려한 풍력발전의 이론상 최대 효율은 탈출 풍속이 입사 풍속의 1/3 정도가 되는 16/27임.

○ 현재 기술 수준에서 풍력발전 설비의 효율 수준

- 적절한 세기의 바람이 불어주면 현재 풍력발전기의 효율은 약 45~50% 정도로 나오고 있음.
- 따라서 마찰에 따른 효율 저하 등을 고려하면 풍력발전 설비는 기술적으로는 이미 베츠의 법칙에 따른 효율 한계에 거의 다다라 있어 풍력발전 설비의 기술은 크게 문제가 되지 않으며, 보급 확대 및 송배전 과정과 잉여 전력의 저장 문제를 해결하는 것이 중요

□ 풍력발전의 장점

○ 상대적으로 건설하거나 설치해야 할 설비가 간소하기 때문에 다른 발전 설비와 비교해서 설치 기간이 짧음.

- 바람이 많이 부는 곳에서는 소규모 발전도 가능

○ 별다른 동력이나 연료의 공급 없이 발전이 가능

- 순수하게 대류 현상을 이용하여 발전하는 형태이기 때문에 발전 설비의 가동을 위한 외부 전력 공급이나 연료 공급이 거의 필요치 않음.
- 따라서 완공 뒤에 cut-in 풍속인 3~4m/s 이상의 바람만 불면 블랙아웃 상황에서도 전력 생산이 가능
- 이로 인해 발전 과정에서 폐기물 등의 부산물 발생이 거의 없음.
- 더치 윈드 휠: 바람을 이용하여 물입자 및 정전기를 움직여 발전하는 방식

○ 전력 생산에서의 고효율

- 별다른 외부 동력 없이 가동되며, 매우 복잡한 설비를 요구하지 않으므로 평균 발전 단가가 낮아서 그리드 패리티(Grid Parity)가 빠르게 도래
- 그리드 패리티(Grid Parity): 태양광, 풍력 등을 이용하는 신재생 에너지의 발전단가가 석유, 석탄 등의 화석연료 발전단가와 같아지는 시점을 지칭

- 전력거래소에 따르면 2021년 풍력발전소에 대한 차액지원금(기준가격-계통한계가격)은 전체적으로 약 5만 원에 불과한 것으로 집계되었음.
- 이는 한국에서도 풍력발전이 사실상 그리드 패리티에 도달했을 가능성을 시사
- 관광 산업과의 연계 가능성
  - 풍력발전 시설을 관광용으로 활용하는 경우도 존재
  - 대관령의 경우 풍력발전소를 관광 명소로 홍보하여 활용 중
  - 신안 비금도의 경우 풍력발전기 바로 아래에 펜션을 건축하여 관광 목적으로 활용 중
- 풍력발전의 단점
  - 까다로운 입지 조건
    - 연중 바람이 일정하게 많이 부는 곳을 찾는 것이 쉽지 않음.
    - 연중 약 5.0m/s~7.0m/s이 부는 곳이어야 경제성이 있는 것으로 판단됨.
    - 풍력발전 시설의 건설에 적합한 지역은 전력 수요처까지의 접근성이 좋지 않은 경우가 많음.
  - 그림자 깜박임 현상(Shadow Flicker)
    - 대중적인 일반 회전식 풍력발전의 경우, 바람이 부는 동안 풍력발전을 위한 블레이드가 회전하면서 햇빛을 일정한 주기로 가리는 현상이 낮 동안 발생
  - 소음으로 인한 민원
    - 풍력발전 시설에서 블레이드가 회전하면서 발생하는 소음으로 인한 주거 환경 악영향 및 민원 발생
    - 지속적인 기술 개발로 소음 피해를 줄이는 블레이드가 생산되고 있으나 여전히 소음 발생을 완전히 방지하지 못하고 있음.
  - 환경에의 악영향
    - 블레이드로 인한 조류 사망 및 피해
    - 해상풍력발전 시설의 경우 이러한 조류 피해뿐만 아니라 어류 생태계에도 악영향을 미치는 사례가 보고되고 있음.

- 블레이드 생산 과정에서의 오염 물질 배출
  - 풍력발전의 운용 과정 자체에서는 오염 물질이 거의 발생하지 않으며, 운전을 위한 전력 및 연료 공급이 필요치 않으나, 풍력발전 설비에 필수적인 블레이드 생산 과정에서 많은 오염 물질이 사용됨.
  - 블레이드의 내구성을 높이기 위한 것으로 최근 친환경 소재를 사용한 블레이드 제작 기술이 개발되거나 연구되고 있으나, 여전히 오염 물질 배출이 많은 편이어서 풍력발전 설비 구축 과정까지 고려하였을 때 오염 물질 배출이 적은 친환경 방식인가에 대한 논란

□ 육상풍력발전 VS 해상풍력발전

- 접근성 문제
  - 육상풍력발전은 상대적으로 전력 소비처와 가까운 곳에 위치하여 접근성 문제에서 자유로움.
  - 해상풍력발전은 일반적으로 전력 소비처와 먼 곳에 위치하여 송배전 설비의 설치 과정에서 추가적인 비용이 소요되거나, 혹은 송배전 과정에서 전력 손실이 발생할 수 있음.
  - 반면, 육상풍력발전은 거주지 가까이에 위치하기 때문에 거주민의 민원 문제가 많이 발생하는 문제가 있음.
  - 해상풍력의 경우, 해양 생태계에 부정적인 영향을 미치기 때문에 어업 종사자들의 민원이 있으나, 상대적으로 육상풍력발전보다 적은 편이며, 민원 문제를 해결하기 위해 보다 먼 바다에 설치하는 추세로 가고 있음.
- 입지 선정 문제
  - 육상풍력발전은 입지 선정에 있어서 민원 및 지리적 조건에 제약을 많이 받음.
  - 해상풍력발전은 수심의 문제로 인해 설치 방식이 강제되는 경우가 발생할 수 있으며, 경우에 따라서는 설치 비용이 크게 증가할 수 있음: 예를 들어, 동해의 경우 수심이 깊어 고정형 설비의 설치가 불가능하기 때문에 부유식 풍력발전 설비만이 이용 가능함.
- 설치 가능 시설의 효율 문제

- 육상풍력은 민원 및 공간 상의 제약 문제로 터빈의 크기나 무게에 대한 제약이 발생하는 경우가 많음.
- 반면, 해상풍력의 경우 주변에 장애물이 없기 때문에 풍속에 대한 조건만 충족된다면 입지 조건 선정이 상대적으로 자유로우며, 동시에 대형 설비를 설치하는 데에도 큰 어려움이 없음.

○ 설비 관리 상의 문제

- 육상풍력은 설비가 고장나거나 부품을 교체해야 할 때 작업 수행이 상대적으로 수월함.
- 해상풍력의 경우, 설비의 수리 및 부품 교체가 육상풍력에 비해 매우 어려움.
- 일례로, 제주 해상풍력발전단지의 경우 고장난 설비의 수리가 어려워 장기간 방치된 풍력발전 설비가 존재

## 제2절 풍력발전 산업 및 고용 현황

□ 사업체 수

○ 전체 신재생 에너지원별 기업체 수는 <표 2-1>과 같음.

<표 2-1> 신재생 에너지원별 기업체 수

(단위: 개소, %)

		태양광	태양열	풍력	연료 전지	지열 수열	수력	바이오	소계	폐기물	전 체
2015	기업체수	127	21	36	15	26	4	128	343	132	472
	비중	26.0	4.3	7.4	3.1	5.3	0.8	26.2	73.0	27.0	100.0
2016	기업체수	108	17	28	15	25	3	116	303	101	403
	비중	26.2	4.1	6.8	3.6	6.1	0.7	28.1	75.5	24.5	100.0
2017	기업체수	118	17	26	15	24	5	121	316	124	437
	비중	26.2	3.8	5.8	3.3	5.3	1.1	26.9	72.4	27.6	100.0
2018	기업체수	102	13	22	14	24	4	110	279	109	385
	비중	25.6	3.3	5.5	3.5	6.0	1.0	27.6	72.6	27.4	100.0
2019	기업체수	97	7	18	14	21	4	123	281	34	314
	비중	30.5	2.2	5.7	4.4	6.6	1.3	38.7	89.3	10.7	100.0
전년대비 증감율		△4.9	△46.2	△18.2	-	△12.5	-	11.8	0.5	△68.8	△18.4

자료: 2019년 신재생 에너지 산업통계(2020), 산업통상자원부 및 한국에너지공단.

- 바이오 산업 기업체 수가 가장 많으며, 그 다음이 태양광 발전 사업체이고, 수력이 가장 적음.
- 풍력발전 산업 기업체 수는 매년 감소하고 있으며, 비중 역시 줄어들고 있음.
- 풍력발전 산업에서의 세부 산업별 기업체 수는 <표 2-2>와 같음.
  - 발전 시스템 기업체 수가 전체의 약 절반 정도로 가장 많으며, 풍력발전 관련 부품 설비 업체가 그 다음이며, 풍력발전 타워 업체가 가장 적음.
  - 블레이드 및 전력 변환 장치 산업에 종사하는 기업체가 하나도 없으며, 해당 산업에서는 전량을 수입에 의존하고 있음.
  - 따라서 추후 블레이드 제작 및 전력 변환장치 산업에서의 국산화를 위한 노력이 요구된다 할 수 있음.
  - 풍력발전 관련 부품산업은 풍력계기, 터빈, 베어링, 기어박스 등을 포함.
  - 해당 표에서 풍력발전 설비의 건설, 설치 및 시공 산업은 일반 건설, 설치 및 시공 산업에 해당하므로 포함하지 않은 수치임.

<표 2-2> 풍력발전 산업 세부 산업별 기업체 수

(단위 : 개소, %)

		발전시스템	날개 (블레이드)	타워	전력 변환장치	부품	전 체
2015	기업체수	20	X	5	X	10	36
	비중	51.3	X	12.8	X	25.6	100.0
2016	기업체수	15	X	4	X	10	28
	비중	48.4	X	12.9	X	32.3	100.0
2017	기업체수	15	X	4	X	6	26
	비중	55.6	X	14.8	X	22.2	100.0
2018	기업체수	10	X	4	X	7	22
	비중	43.5	X	17.4	X	30.4	100.0
2019	기업체수	X	X	4	-	7	18
	비중	X	X	21.1	-	36.8	100.0
전년대비증감률		X	X	-	△100.0	-	△18.2

자료 : 2019년 신재생 에너지 산업통계(2020), 산업통상자원부 및 한국에너지공단.

□ 국내 기업의 매출 현황

- 전체 신재생 에너지원별 국내 기업의 매출 현황은 <표 2-3>과 같음.
  - 태양광 발전의 매출이 전체 신재생 에너지 매출에서 차지하는 비중은 매년 60% 이상으로 신재생 에너지 매출의 태양광 집중 현상이 심한 것으로 나타나고 있음.
  - 풍력의 경우, 기업체 수의 비율에 비해서 매출 비율이 상대적으로 높은 편으로 나타나, 여타 신재생 에너지 산업과 비교하여 기업체의 매출 기준 생산성이 높은 편으로 파악됨.
  - 풍력발전의 한 가지 특이할 점은, 2019년 기준으로 보았을 때, 국내 매출 대비 수출이 차지하는 비중이 7배 이상 높게 나타나 여타 신재생 에너지와 비교하여 내수보다 수출로 인한 매출이 월등히 높은 산업으로 파악되었음.

<표 2-3> 에너지원별 국내 신재생 에너지 기업 매출 현황

(단위: 억 원, %)

		태양광	태양열	풍력	연료 전지	지열 수열	수력	바이오	소계	폐기물	전 체
2015	매출액	56,781	290	10,247	2,167	1,277	129	12,294	83,184	5,763	88,948
	비중	63.8	0.3	11.5	2.4	1.4	0.1	13.8	93.5	6.5	100.0
2016	매출액	58,914	266	7,560	2,311	1,057	141	10,858	81,108	3,367	84,475
	비중	69.7	0.3	8.9	2.7	1.3	0.2	12.9	96.0	4.0	100.0
2017	매출액	54,423	167	7,307	2,831	848	107	12,508	78,191	2,964	81,154
	비중	67.1	0.2	9.0	3.5	1.0	0.1	15.4	96.3	3.7	100.0
2018	매출액	51,349	165	6,950	4,916	651	100	14,007	78,138	3,206	81,344
	비중	63.1	0.2	8.5	6.0	0.8	0.1	17.2	96.1	3.9	100.0
2019	매출액	50,138	107	6,496	6,823	476	108	15,960	80,108	381	80,490
	비중	62.3	0.1	8.1	8.5	0.6	0.1	19.8	99.5	0.5	100.0
	내수	23,197	107	682	6,809	476	100	14,782	46,154	381	46,535
	수출	26,941	-	5,814	14	-	8	1,178	33,954	-	33,954
	\$백만	2,311	-	499	1	-	1	101	2,913	-	2,913
전년대비증감률		△2.4	△35.0	△6.5	38.8	△27.0	7.9	13.9	2.5	△88.1	△1.1

자료: 2019년 신재생 에너지 산업통계(2020), 산업통상자원부 및 한국에너지공단.

〈표 2-4〉 풍력발전 산업 세부 산업별 매출 현황

(단위: 억 원, %)

		발전시스템	날개 (블레이드)	타워	전력 변환장치	부품	전 체
2015	매출액	2,599	X	1,963	X	5,571	10,247
	비중	25.4	X	19.2	X	54.4	100.0
2016	매출액	1,916	X	1,662	X	3,920	7,560
	비중	25.3	X	22.0	X	51.8	100.0
2017	매출액	2,253	X	1,429	X	3,548	7,307
	비중	30.8	X	19.6	X	48.5	100.0
2018	매출액	2,300	X	1,384	X	3,135	6,950
	비중	33.1	X	19.9	X	45.1	100.0
2019	매출액	X	X	1,590	-	3,960	6,496
	비중	X	X	24.5	-	61.0	100.0
	내수	X	X	83	-	120	682
	수출	X	X	1,508	-	3,840	5,814
전년대비증감률		X	X	14.9	△100.0	26.3	△6.5

자료 : 2019년 신재생 에너지 산업통계(2020), 산업통상자원부 및 한국에너지공단.

- 풍력발전 산업에서의 세부 산업별 매출액 규모는 〈표 2-4〉와 같음.
  - 앞서 기업체 수를 살펴보았을 때는 발전시스템 종사 기업체 수가 전체의 반 이상이었으나 매출의 경우 부품산업이 약 반 정도를 차지하고 있으며, 발전시스템 산업에서의 매출은 전체의 1/3 정도에 불과
  - 타워 산업과 부품산업 모두에서 내수 대비 수출 비중이 매우 높게 나타났음.
  - 블레이드 및 전력 변환장치 분야에서도 국산화를 통해 부품 및 타워 산업과의 시너지를 통한 수출 중심 시장 개척 및 판로 확대가 가능할 것으로 전망

□ 투자 현황

- 전체 신재생 에너지원별 산업 투자 현황은 〈표 2-5〉와 같음.
  - 신재생 에너지산업 투자액의 절대 다수는 태양광에 집중되어 있음.
  - 풍력의 경우, 태양광 다음으로 많은 투자액을 기록하고 있으나, 비율에 있어서 매년 10% 아래에 불과

〈표 2-5〉 에너지원별 산업 투자 현황

(단위: 억 원, %)

		태양광	태양열	풍력	연료 전지	지열 수열	수력	바이오	소계	폐기물	전 체
2015	투자액	5,324	1	583	47	251	-	221	6,427	1,541	7,968
	비중	66.8	0.0	7.3	0.6	3.2	-	2.8	80.7	19.3	100.0
2016	투자액	6,198	2	587	620	238	-	325	7,971	39	8,009
	비중	77.4	0.0	7.3	7.7	3.0	-	4.1	99.5	0.5	100.0
2017	투자액	7,594	0	223	115	18	-	155	8,105	25	8,130
	비중	93.4	0.0	2.7	1.4	0.2	-	1.9	99.7	0.3	100.0
2018	투자액	1,087	-	264	29	6	-	15	1,402	19	1,421
	비중	76.5	-	18.6	2.1	0.4	-	1.1	98.6	1.4	100.0
2019	투자액	2,103	1	113	141	19	2	113	2,492	8	2,500
	비중	84.1	0.0	4.5	5.6	0.8	0.1	4.5	99.7	0.3	100.0
전년대비증감률		93.4	순증	△57.3	381.6	219.5	순증	643.5	77.8	△58.4	76.0

자료: 2019년 신재생 에너지 산업통계(2020), 산업통상자원부 및 한국에너지공단.

- 풍력발전 산업에서의 세부 산업별 투자액 규모는 〈표 2-6〉과 같음.
  - 투자에 있어서는 발전 시스템이 전체의 반 이상을 차지하고 있으며, 부품산업 투자액은 전체 풍력발전 투자액의 10% 미만에 머물러 있음.
  - 추후 국산화를 위해서 날개 및 전력 변환장치에 대한 투자도 필요할 것으로 보임.
  - 현재 국제 경쟁력을 갖추고 활발하게 수출이 이루어지고 있는 타워 및 부품산업에 대한 투자 역시 국제 경쟁력의 유지를 위해서라도 추 후 더욱 활발하게 이루어질 필요성이 있다 하겠음.

〈표 2-6〉 풍력발전 산업 세부 산업별 투자 현황

(단위: 억 원, %)

		발전시스템	날개 (블레이드)	타워	전력 변환장치	부품	전 체
2015	투자액	347	X	182	X	49	583
	비중	59.6	X	31.2	X	8.4	100.0
2016	투자액	340	X	185	X	59	587
	비중	57.9	X	31.5	X	10.1	100.0
2017	투자액	198	X	5	X	20	223
	비중	88.8	X	2.0	X	9.1	100.0
2018	투자액	234	X	-	X	20	264
	비중	88.8	X	-	X	7.4	100.0
2019	투자액	X	X	-	-	46	113
	비중	X	X	-	-	40.6	100.0
전년대비증감률		X	X	-	-	134.7	△57.3

자료: 2019년 신재생 에너지 산업통계(2020), 산업통상자원부 및 한국에너지공단.

□ 고용 현황

○ 전체 신재생 에너지원별 고용 현황은 <표 2-7>과 같음.

- 신재생 에너지산업 종사자의 반은 태양광 산업에 종사하는 것으로 나타났다.
- 그 뒤를 풍력, 폐기물, 바이오, 연료전지, 지열 및 수열, 수력 순으로 잇고 있음.
- 태양광, 풍력, 바이오의 경우 관리직과 생산직의 비중은 높으나 연구직의 비율이 상대적으로 낮고, 연료 전지와 지열 및 수열의 경우 연구직의 비율이 높고 관리직과 생산직의 비율은 낮은 편으로 나타났다.

<표 2-7> 신재생 에너지원별 고용 현황

(단위: 명, %)

		태양광	태양열	풍력	연료 전지	지열 수열	수력	바이오	소계	폐기물	전 체
2015	고용인원	8,639	229	2,232	802	587	83	1,493	14,065	1,899	15,964
	비중	54.1	1.4	14.0	5.0	3.7	0.5	9.4	88.1	11.9	100.0
2016	고용인원	8,360	219	1,718	731	464	86	1,604	13,181	1,452	14,634
	비중	57.1	1.5	11.7	5.0	3.2	0.6	11.0	90.1	9.9	100.0
2017	고용인원	7,909	195	1,778	801	360	100	1,647	12,790	1,662	14,452
	비중	54.7	1.3	12.3	5.5	2.5	0.7	11.4	88.5	11.5	100.0
2018	고용인원	7,732	140	1,580	882	346	79	1,595	12,354	1,531	13,885
	비중	55.7	1.0	11.4	6.4	2.5	0.6	11.5	89.0	11.0	100.0
2019	고용인원	7,567	92	1,545	946	339	74	1,827	12,390	393	12,783
	비중	59.2	0.7	12.1	7.4	2.7	0.6	14.3	96.9	3.1	100.0
	상시근로	7,538	85	1,524	936	305	71	1,750	12,209	390	12,599
	관리직	2,018	26	645	280	102	19	606	3,696	113	3,809
	연구직	555	6	138	186	52	5	63	1,005	6	1,011
	생산직	4,654	43	685	466	141	37	946	6,972	263	7,235
	기타	311	10	56	4	10	10	135	536	8	544
전년대비증감률		△2.1	△34.3	△2.2	7.3	△2.0	△6.3	14.5	0.3	△74.3	△7.9

자료: 2019년 신재생 에너지 산업통계(2020), 산업통상자원부 및 한국에너지공단.

○ 풍력발전 산업에서의 세부 산업별 고용 현황은 <표 2-8>과 같음.

- 부품산업의 고용이 전체 고용원의 반보다 약간 적으며, 그 뒤를 발전 시스템과 타워가 잇고 있음.

- 부품산업의 경우 제조업이라는 특성상 생산직의 비중이 관리직 및 연구직에 비해서 높은 편이고, 타워의 경우 고도의 기술을 요구하는 산업이라 상대적으로 연구직과 관리직의 비율이 높게 나타났음.
- 이후 풍력발전 부품산업에서의 국제 경쟁력을 유지하고 양질의 일자리를 창출하기 위해서는 앞서 살펴보았듯이 부품산업에 대한 투자를 늘려 연구직의 비율을 높일 필요가 있음.

〈표 2-8〉 풍력발전 산업 세부 산업별 고용 현황

(단위: 명, %)

		발전시스템	날개 (블레이드)	타워	전력 변환장치	부품	전 체
2015	고용인원	691	X	461	X	998	2,232
	비중	31.0	X	20.7	X	44.7	100.0
2016	고용인원	522	X	428	X	725	1,718
	비중	30.4	X	24.9	X	42.2	100.0
2017	고용인원	544	X	401	X	772	1,778
	비중	30.6	X	22.6	X	43.4	100.0
2018	고용인원	452	X	270	X	766	1,580
	비중	28.6	X	17.1	X	48.5	100.0
2019	고용인원	X	X	282	-	767	1,524
	비중	X	X	18.5	-	50.3	100.0
	관리직	X	X	188	-	280	645
	연구직	X	X	30	-	19	138
	생산직	X	X	63	-	440	685
	기타	X	X	1	-	28	56
전년대비증감률		X	X	4.4	△100.0	0.1	△3.5

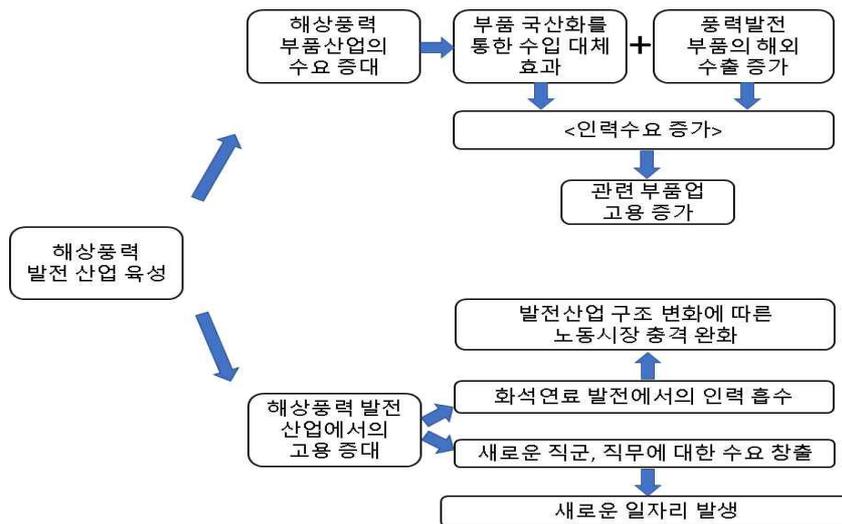
자료: 2019년 신재생 에너지 산업통계(2020), 산업통상자원부 및 한국에너지공단.

□ 풍력발전 산업 종사자의 종사상 지위별, 직무별, 학력별 현황, 인력수급 관련한 정부 지원 정책에 대한 수요, 인력 부족 현황 및 채용 계획 등에 대한 상세한 내용은 “2020년 신재생 에너지 산업 인력실태 조사 보고서”에 담겨 있음.

- 해당 보고서를 통해 파악할 상세한 고용 특성 및 인력 수요와 공급의 현황 등은 제4장에서 다룰 예정이므로 본 장에서는 생략함.

### 제3절 고용연계성(일자리창출경로) 설정

- 본 연구에서 살펴볼 해상풍력발전 확대에 따른 고용 효과는 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있음.
- 첫 번째는 해상풍력발전 산업 자체의 성장에 따른 직접적인 고용 증대 효과
  - 해상풍력발전 산업의 규모가 커짐에 따라 해상풍력발전소의 고용 규모가 증가하거나, 직군 구성이 고도화되거나, 혹은 신규 채용자의 임금이 상승할 수 있음.
  - 화석연료 발전에서 신·재생 에너지로의 발전 산업의 구조 변화가 일어날 것인 바, 노동시장에서 이러한 산업 구조 변화와 수반되는 고용 변화가 발생하는지도 아울러 검토함으로써 발전 산업에서의 변화에 따른 노동시장의 구조 변화 역시 풍력 산업을 중심으로 살펴보고자 함.



- 두 번째는 해상풍력발전 산업의 성장에 따라 발전 산업에서 소요되는 각종 부품과 자재들의 생산에 따른 고용 유발 효과가 존재
  - 특히, 현재 풍력발전 산업에서 수입에 의존하는 일부 핵심 부품을 국산화하기 위한 투자가 진행 중에 있으며, 이러한 투자의 결과 국산화가 성공했을 때 국내 고용이 증대되는 효과가 있음.
  
- 본 연구에서는 해상풍력발전 산업의 규모가 커짐에 따라 해당 산업에서 발생하는 고용 효과와 그에 따른 전방 산업에서의 고용 변화, 그리고 해상풍력발전소 건립에 따른 부수적인 정부 투자로 인한 효과 등을 각각 측정하고, 정책 방향을 모색하고자 함.



## 해상풍력발전 산업 육성의 양적 고용 효과

### 제1절 선행 연구와 해외 사례

#### 1. 해외 풍력발전 설비의 고용 효과에 대한 선행 연구

- Wei M, Patadia S, and Kammen DM.(2010), Putting renewables and energy efficiency to work : How many jobs can the clean energy industry generate in the US? Energy Policy 38, pp.919~931.
- Wei et al.(2010)은 5개 기존 연구에서 추정된 풍력발전 고용계수의 평균값이 0.17이라 제시
  - 추정치의 단위는 total job-years/GWh
  - 일자리는 전일제 환산(full time equivalent : FTE) 일자리를 의미
- Wei et al.(2010)은 메타 분석을 기반으로 하여 에너지원별 평균 고용계수를 도출하고, 도출된 고용계수와 에너지믹스 시나리오를 바탕으로 2009년부터 2030년까지의 미국 일자리 수 전망치 제시
  - 분석 결과, 신재생 에너지를 포함한 비화석연료 발전이 석탄 및 천연 가스 발전에 비해 더 많은 일자리를 창출하는 것으로 나타남.
  - 평균 고용계수를 도출할 때 참조한 5개의 기존 연구는 EPRI and CEC(2001), EWEA(2009), Heavner and Churchill(2002), McKinsey

Consulting(2006), Sterzinger(2006)

- 미국 에너지부 산하 신재생 에너지연구소(National Renewable Energy Laboratory : NREL)에서 2008년에 발간한 보고서 시리즈의 연구 결과
- 1,000MW의 새로운 풍력발전량이 창출하는 지역(state)별 전일제 환산 일자리(Full-Time Equivalent : FTE) 수를 추정
  - 지역 산업연관표를 바탕으로 한 JEDI(the Job and Economic Development) 모형을 이용하여 1,000MW의 새로운 풍력발전량이 창출하는 미국 15개 주의 지역 내 총생산 및 일자리 수를 추정

[그림 3-1] 에너지원별 고용계수 : 메타 분석을 통한 평균값

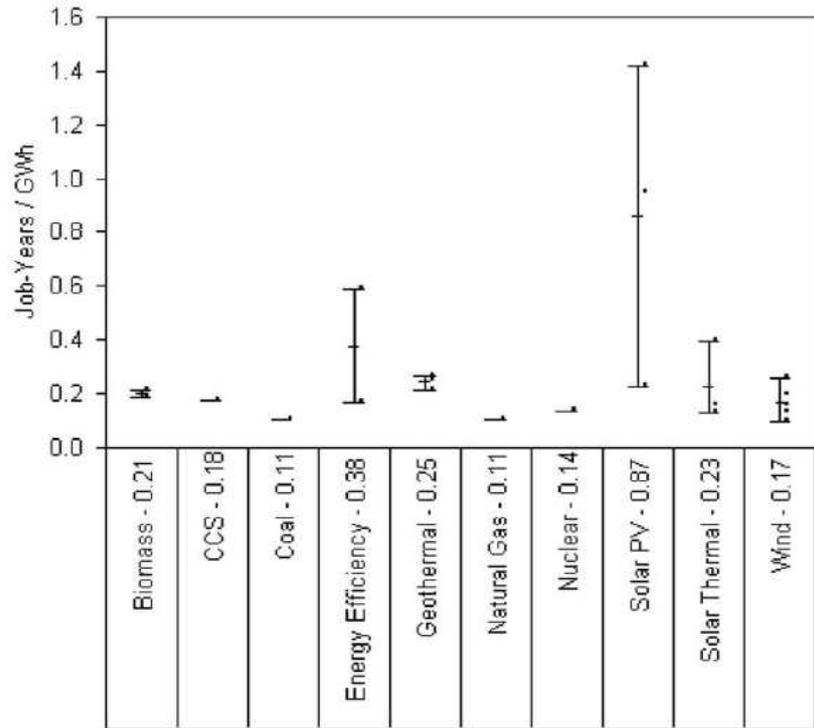


Fig. 1. Average and range of direct employment multipliers for ten different energy technologies based on the studies from Table 1.

자료 : Wei et al.(2010).

- 예를 들어 네브래스카(Nebraska) 주는 1,000MW의 새로운 풍력발전량 당 단기 일자리 3천 41개, 장기 일자리 451개<sup>1)</sup>가 창출되고, 위스콘신(Wisconsin)주는 단기 일자리 3천 298개, 장기 일자리 425개가 창출. 일자리는 전일제 환산(full time equivalent : FTE) 일자리를 의미

□ Slattery MC, E. Lantz, BL. Johnson(2011), State and local economic impacts from wind energy projects : texas case study. Energy Policy 39, pp.7930~3940.

○ 풍력발전단지가 건설된 미국 텍사스주 서부 4개 카운티(county)의 사례를 분석

- JEDI 모형을 카운티 수준의 지역 단위에 적용

○ 추정 고용 효과

- 텍사스주 풍력발전단지는 텍사스주 전역에 건설 단계 4년간(2005년~2008년) 총 4천 96개, 운전 단계 20년간(2006~2025년) 총 7천개의 FTE 일자리를 창출
- 텍사스주 풍력발전단지는 단지가 건설된 카운티 주변(단지를 중심으로 100마일 이내 지역)에 건설 단계 4년간(2005~2008년) 총 900개, 운전 단계 20년간(2006~2025년) 총 4천 5백개의 FTE 일자리를 창출

□ Costanti M.(2004), Quantifying the economic development impacts of wind power in six rural Montana counties using NREL's JEDI model. Golden, CO : NREL

○ 풍력발전단지가 건설된 미국 몬테나주 6개 카운티(county)의 사례를 분석

- Slattery et al.(2011)의 연구와 마찬가지로 JEDI 모형을 카운티 수준의 지역 단위에 적용

---

1) 단기 일자리 수와 장기 일자리 수는 각각 건설 단계(1~2년)와 운전 단계(20년)에 창출된 총 일자리 수를 의미.

〈표 3-1〉 몬테나주 6개 카운티의 풍력발전단지 건설이 창출한 일자리 수

(단위: %)

County, Local Ownership %	Project Size(MW)					
	5.0	10.0	20.0	50.0	100.0	300.0
Blaine						
0%	2.2	4.4	8.9	22.1	44.1	132.3
50%	2.9	5.8	11.5	28.8	57.3	172.0
100%	3.5	7.1	14.2	35.4	70.6	211.7
Cascade						
0%	10.7	21.1	42.3	105.7	211.3	633.7
50%	11.9	23.6	47.1	117.8	235.3	705.9
100%	13.1	26.0	51.9	129.8	259.4	778.1
Glacier						
0%	2.9	5.6	11.2	28.0	55.9	167.6
50%	3.6	7.0	14.2	35.3	70.7	211.9
100%	4.4	8.5	17.1	42.7	85.4	256.2
McCone						
0%	2.0	3.9	7.8	19.5	38.8	116.3
50%	2.8	5.5	11.0	27.3	54.6	163.6
100%	3.6	7.1	14.1	35.2	70.4	210.9
Park						
0%	2.7	5.3	10.5	26.3	52.4	157.4
50%	3.7	7.4	14.7	36.8	73.4	220.3
100%	4.8	9.5	18.9	47.3	94.4	283.3
Prairie						
0%	2.1	4.0	8.0	19.8	39.6	118.6
50%	3.4	6.6	13.4	33.2	66.4	199.1
100%	4.8	9.3	18.7	46.6	93.2	279.5

자료: Costanti(2004)의 Table 10.

- 5MW~300MW의 새로운 풍력발전량이 창출하는 카운티별 일자리 수 추정

○ 추정 고용 효과

- 풍력발전단지의 지역 소유 비중(local ownership)<sup>2)</sup>이 클수록 창출되는 일자리 수가 증가
- 지역 소유 비중과 풍력발전량에 따라 창출되는 카운티별 연평균 일자리 수는 〈표 3-1〉을 참조.

2) 지역 소유 비중은 발전 단지 건설에 소요되는 자금과 노동력 중 해당 지역에서 자체 조달된 투입 요소의 비중.

〈표 3-2〉 몬테나주의 2004년 고용 수준 대비 풍력발전단지 건설이 창출한 일자리 수 비율  
(단위: %)

County, Local Ownership %	Project Size (MW)					
	5.0	10.0	20.0	50.0	100.0	300.0
Blaine						
0%	0.08	0.16	0.32	0.79	1.58	4.74
50%	0.10	0.21	0.41	1.03	2.06	6.17
100%	0.13	0.25	0.51	1.27	2.53	7.59
Cascade						
0%	0.03	0.06	0.12	0.30	0.61	1.82
50%	0.03	0.07	0.14	0.34	0.68	2.03
100%	0.04	0.07	0.15	0.37	0.75	2.24
Glacier						
0%	0.06	0.12	0.24	0.59	1.18	3.53
50%	0.08	0.15	0.30	0.74	1.49	4.46
100%	0.09	0.18	0.36	0.90	1.80	5.39
McCone						
0%	0.20	0.39	0.77	1.93	3.84	11.51
50%	0.28	0.54	1.09	2.70	5.40	16.18
100%	0.35	0.70	1.40	3.48	6.96	20.86
Park						
0%	0.03	0.07	0.13	0.34	0.67	2.00
50%	0.05	0.09	0.19	0.47	0.93	2.80
100%	0.06	0.12	0.24	0.60	1.20	3.61
Prairie						
0%	0.36	0.69	1.39	3.43	6.86	20.56
50%	0.59	1.15	2.32	5.75	11.51	34.50
100%	0.82	1.61	3.25	8.08	16.16	48.44

자료: Costanti(2004)의 Table 6.

- 2004년 분석 당시의 취업자 수 대비 창출된 일자리 수의 비율은 〈표 3-2〉를 참조.

□ Moreno B, Lopez AJ.(2008). The effect of renewable energy on employment. The case of Asturias Spain. Renewable and Sustainable Energy Reviews 12, pp.732~751.

○ 스페인 아스투리아스 지역의 풍력발전단지에 대한 고용 효과 분석  
- 추정에 이용한 풍력발전단지 건설 단계의 발전량 1MW당 고용계수는 13, 운전 단계의 발전량 1MW당 고용계수는 0.2였음.

〈표 3-3〉 기존 연구에서 제시한 건설 단계와 운전 단계에 따른 풍력발전단지 건설의 고용계수

Renewable energy	Construction & installation ratio	Operation & maintenance ratio	Units	Study
Wind	6.0		MW	Sustainable Energy Authority, Victoria
	2.6	0.2	MW	Electric Power Research Institute, Renewable Energy Office of the California Energy Commission
	0.4	0.3	MW <sub>a</sub>	Renewable Energy Policy Project, 2001
	2.5	0.3	MW <sub>a</sub>	EWEA/Greenpeace European Wind Energy Association, 2003
	0.2	0.1	MW <sub>p</sub>	Renewable Energy Policy Project, 2001
	0.9	0.1	MW <sub>p</sub>	EWEA/Greenpeace European Wind Energy Association, 2003
	14.0		MW	Greenpeace Germany(1997)
	22.0		MW	Windforce 10 : EWEA, Green Peace and the Forum for Energy and Development (October 1999)
	15.0	0.1	MW	European Commission Directorate-General for Energy "Wind energy-the facts : Volume 3 : Industry&employment"(1997)
13	0.2	MW	Spanish Renewable Energy Development Plan 2000~2010, IDAE	

자료 : Moreno and Lopez(2008)의 Table 5에서 부분발췌.

○ Moreno and Lopez(2008)는 신재생 에너지 및 풍력발전에 대한 고용계수를 추정한 기존 연구들을 정리하였는데 이들은 서로간에 추정치에서 큰 차이를 보였음.

- 건설 및 설치 단계에서의 고용계수는 최소 0.2에서 최대 22.0까지, 운영 및 관리 단계에서는 최소 0.1에서 최대 0.3까지 차이가 발생하였음.

- 특히 건설 및 설치 단계에서의 고용계수 차이가 큰 것으로 나타났으며, 운영 및 관리 단계에서는 대체로 MW당 0.2명 정도의 고용을 유발하는 것으로 판단할 수 있음.

□ Simas M, Pacca S.(2014), Assessing employment in renewable energy technologies:A case study for wind power in Brazil. Renewable and Sustainable Energy Reviews 31, pp.83~90.

○ 브라질의 풍력발전 설비에 대한 고용계수 추정

〈표 3-4〉 브라질 풍력발전의 고용계수

	Employment index (p-yccq/MW)		
	Direct	Indirect	Total
Manufacture			
Nacelle	0.85	0.34	1.19
Rotor	1.75	0.99	2.74
Tower(Steel)	0.81	0.87	1.69
Tower(Concrete)	0.79	0.98	1.77
Construction			
Steel tower	6.73	0.59	732
Concrete tower	6.73	1.09	742
O&M	0.59		059
Total(steel tower)	10.74	2.79	13.53
Total(concrete tower)	10.71	3.40	14.11

자료 : Simas and Pacca(2014)의 Table 3.

- 신재생 에너지 기술의 수입과 수출까지 고려하여 브라질 풍력발전의 고용계수를 도출

○ 도출된 고용계수는 1MW 발전량 당 14명으로 비교적 크게 나타났음.

□ Tegen S, Keyser D, Flores-Espino, Miles J. Zammit D, and Loomis D.(2015). Offshore Wind Jobs and Economic Development Impacts in the US : Four regional Scenarios. Technical Report NREL/TP-5000-61315, NREL.

○ 미국 4개 지역의 해상풍력발전의 고용 효과를 추정

- JEDI 모형 적용
- 발전량에 따른 세 개의 시나리오(low, moderate, high)를 고려
- 각 지역에 속하는 주는 〈표 3-5〉에 표시되어 있음.

〈표 3-5〉 해상풍력발전단지가 있는 미국 4개 지역

Mid-Atlantic	Great Lakes	Gulf of Mexico	Southeast
Virginia	Illinois	Alabama	Georgia
District of Columbia	Indiana	Louisiana	North Carolina
Maryland	Michigan	Florida	South Carolina
Delaware	Minnesota	Mississippi	Virginia
Pennsylvania	New York	Texas	
New Jersey	Ohio		
		Pennsylvania	
		Wisconsin	

자료 : Tegen et al.(2015) Table 1.

〈표 3-6〉 미국 4개 지역 해상풍력발전이 건설 단계에서 창출하는 FTE · 일자리 수 전망치

Region	Jobs/MW, Low Scenario	Jobs/MW, Moderate Scenario	Jobs/MW, High Scenario
Southeast	16	24	31
Great Lakes	14	17	25
Gulf of Mexico	27	28	28
Mid-Atlantic	16	23	25

자료 : Tegen et al.(2015) Table 31.

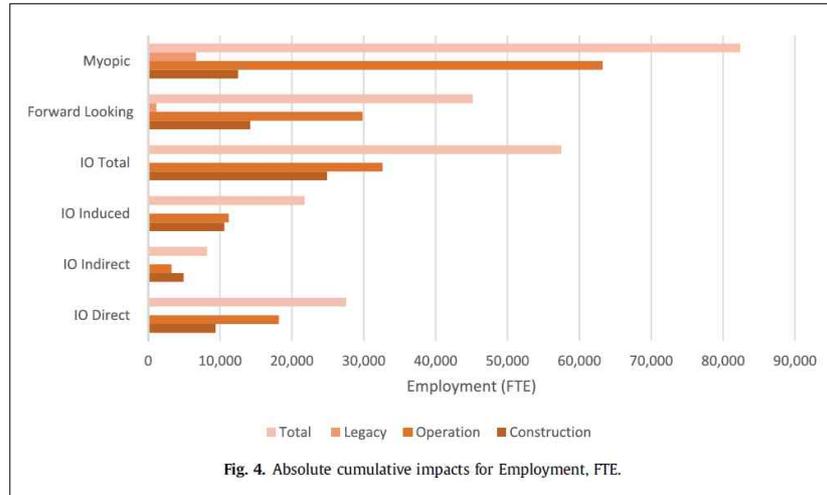
- 각 지역의 건설 단계 고용 전망치는 시나리오에 따라 16-31 FTE/MW로 나타났음.
  - 건설 단계에서의 고용 효과 추정치는 〈표 3-6〉에 나타나 있음.
- Connolly K.(2020). The regional economic impacts of offshore wind energy developments in Scotland, Renewable Energy 160, pp.148~159.
- 스코틀랜드의 해상풍력발전이 지역 경제와 고용에 미친 효과를 추정
  - 2018~2025년까지 예정된 해상풍력발전의 건설 및 발전 용량의 확대가 스코틀랜드의 지역 경제에 미치는 영향을 산업연관 분석 및 연산 가능 일반 균형(Computational General Equilibrium : CGE) 모형을 통해 추정
  - 건설단계는 2015~2022년, 운전단계는 2023~2048년이라 가정
  - 분석 대상인 스코틀랜드 내의 해상풍력발전 설비 현황 및 계획은 〈표 3-7〉에 표시하였음.

〈표 3-7〉 스코틀랜드에 건설되었거나 건설 예정인 해상풍력발전단지

Development	Size(MW)	Completion date
Aberdeen Bay	100	2018
Beatrice	588	2019
Inch Cape	750	2021
Moray East(Pahse 1)	504	2022
Near Na Colthe	450	2022

자료 : Connolly(2020), Table 1.

[그림 3-2] 분석 방법별 해상풍력단지가 창출하는 누적 일자리 수



자료 : Connolly(2020)의 Fig. 4.

- 2018년 이후 30년간 누적으로 총 4만 5,181~8만 2,393개의 FTE 일자리가 창출될 것이라 추정
  - 적응적 기대(adapted expectation)를 가정한 CGE 모형으로 추정했을 때 8만 2,393, 완전 예견(perfect foresight)을 가정한 CGE 모형으로 추정했을 때 4만 5,181, 산업연관 분석으로 추정했을 때 5만 7,498이었음(단위는 FTEs이고 일자리 수는 2048년까지의 누적 창출분).
  - 해상풍력발전이 창출하는 누적 일자리 수는 [그림 3-2] 참조
  - 산업연관 분석을 이용한 추정 결과는 IO로 표시, CGE를 이용한 추정 결과는 Myopic(적응적 기대 가정)과 Forward looking(완전예견 가정)이라 표시

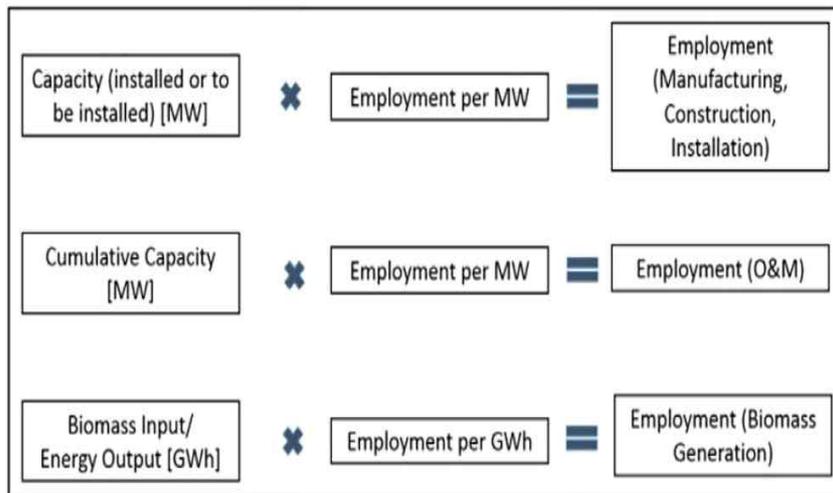
## 2. 신재생 에너지 발전의 고용 영향 추정 : 5가지 추정 방법

- Jenniches(2018)와 Breitschopf et al.(2011)의 문헌조사 연구에 소개된 추정 방법인 고용계수 추정, 공급사슬 분석, 산업연관 분석, 연산가능 일반균형 모형 분석은 각각 다음과 같은 장단점을 지니고 있음.

□ 고용계수(employment factor)<sup>3)</sup> 추정 방법

- 추정이 용이하다는 장점이 있으나, 추정 결과를 다른 지역에 적용하는 데 한계가 있고 규모의 경제 등 에너지 산업의 특성을 반영한 추정이 어렵다는 단점이 존재
- 추정 방법:  $\text{창출 고용량} = \text{고용계수} \times \text{총발전량}$ 
  - 우선, 서베이 조사<sup>4)</sup>를 바탕으로 단위 발전량 당 필요한 업무를 직업 및 직무별로 세분화하고, 각 업무에 걸리는 시간을 합산하여 노동의 강도(labor intensity, 단위는 시간)를 계산
  - 노동 강도의 단위를 연간 인원 단위로 바꾸어 고용계수 도출
  - 도출된 고용계수를 발전소의 총발전량에 곱하는 방식으로 발전소로 인해 창출된 고용량을 계산(그림 3-3 참조)

[그림 3-3] 고용계수를 이용한 창출일자리 수 계산법



자료 : Jenniches(2018)의 Figure 4.

3) 고용계수는 문헌에 따라 고용비율(employment ratio)이라는 용어로 대체되어 사용되기도 함.

4) Breitschopf et al.(2011)은 서베이 조사에 포함되는 문항의 예로 다음을 제시: 업체의 신재생 에너지 관련 활동 및 활동 종류(시설의 운영, 신재생 에너지를 사용하여 제품 제조, 중간재·투자재·서비스 등의 공급, 무역업체 등), 총종업원 수, 신재생 에너지 관련 활동에 종사하는 종업원 수, 총 수출액, 신재생 에너지를 이용하여 생산된 제품의 수출액 등.

○ 장점

- 추정이 용이함. 즉, 두 가지 숫자(고용계수 및 총발전량)만 알면 창출 고용량 계산 가능

○ 단점

- 추정 결과를 다른 지역으로 일반화하는 데 한계가 있음. 예를 들어 도출된 고용계수를 다른 지역에 있는 발전소에 적용할 경우, 도출 지역과 적용 지역 간 특성(노동생산성 등)이 다를 수 있으므로 주의가 필요
- 창출된 일자리의 총수량을 예측할 수는 있으나 일자리의 질을 판별할 수 없고, 풍력발전과 관련된 가격의 변동이 있을 경우 이를 추정치에 반영하기 어려울 수 있음.
- 특히 에너지 산업에서는 규모의 경제 즉, 발전 용량이 큰 발전소일수록 발전량이 증가함에 따라 생산의 평균비용이 감소하는 특성이 존재함. 따라서 발전 용량이 큰 발전소를 건립할 경우 발전 용량이 작은 발전소를 건립할 경우에 비해 생산 비용이 더 낮을 수 있으나 이러한 특징을 반영하여 일자리 수를 예측하는 데에는 한계가 있음.

○ 연구 사례

- Singh and Fehrs(2001)는 풍력발전단지의 고용계수를 추정하기 위해 19개의 기업을 대상으로 단지 운영에 필요한 작업 및 소요시간을 조사함. 조사 결과는 <표 3-8> 참조.
- <표 3-3>에 따르면, 1MW의 풍력발전량을 생산하는 데 총 9천 5백 시간의 노동력이 필요함. 이를 연간 인원(person-year) 단위로 환산하면 약 4.8명(=9500시간/(40시간\*49주))임.<sup>5)</sup>
- 도출된 고용계수를 이용하여 37.5MW의 발전량을 생산하는 풍력발전소가 창출하는 일자리 수를 계산해보면, 총 35만 6,250(=9,500\*37.5) 시간의 노동력임. 이를 연간 인원 단위로 환산하면 180명(=356,250/(40\*49))에 해당하는 일자리가 창출될 것이라 예측할 수 있음.

---

5) 주당 근로시간은 40시간, 일년간 총 49주(연간 휴가 포함)를 근무한다고 가정.

〈표 3-8〉 풍력발전단지 운영에 필요한 노동력에 대한 서베이 조사 결과  
 Table 4. Labor Requirements Per Megawatt of Wind<sup>a)</sup>(in hours)

Project Activity	Occupational Category									TOTAL by Project Activity
	Prof. Tech & Manage (0/1)	Clerical & Sales (2)	Service (3)	Agri. Fishery, Forestry (4)	Proces- ing (5)	Mach. Trades (6)	Bench- work (7)	Struc- tural Work (8)	Misc. (9)	
Transportation	20	20							120	160
Blades	400					670	670	670		2,410
Couplings	40					160		10		210
Brakes	60					320		10		390
Monitoring/ Controls	70	50	50		30		270			470
Gearboxes	190	10	10			250	60	80		600
Rotor Hubs	10				80	80				170
Generators	40					190	110	40		380
Towers	100					110	30	550		790
Nacelles	70							380	20	470
Turbines	60							310		370
Development								530	530	1,060
Installation Servicing <sup>b)</sup>	300		1,600							1,900
TOTAL by Occupation	1,480	60	1,660	0	110	1,780	1,140	2,580	670	9,500
TOTAL Person-Years	0.7	0	0.7	0	0.1	0.9	0.6	1.3	0.3	4.8 <sup>c)</sup>

주 : a) Figures derived from a survey to determine labor requirements for a 37.5-MW wind facility.

b) Includes servicing for ten years of operation.

c) Totals for person-years do not add up due to rounding.

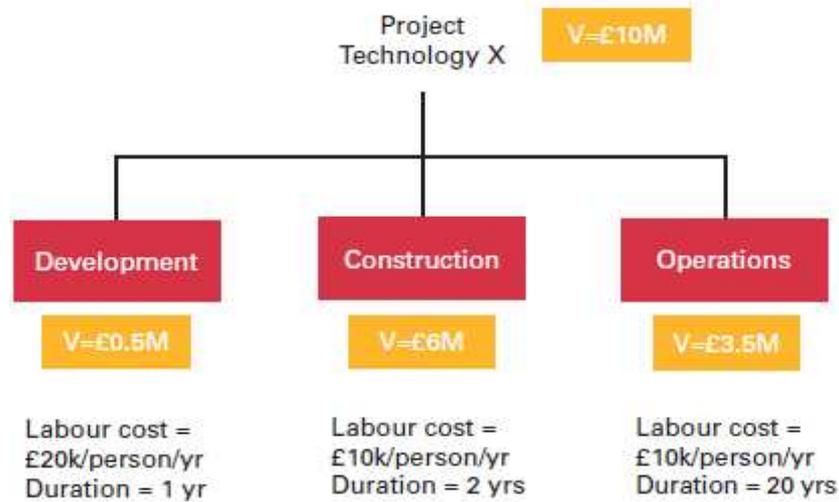
자료 : Singh and Fehrs(2001)의 Table 4.

□ 공급사슬의 분석 방법

- 풍력발전으로 인해 생산된 부가가치액을 정확히 파악할 수 있다는 장점이 있으나 공급사슬을 구성하는 업체에 대한 구체적인 비용 정보가 필요하고 공급사슬에서 제외된 업체에 미치는 영향은 추정에 반영되지 않는다는 단점이 있음.
- 분석 방법 1단계 : 우선, 여러 개의 하위 단계(tier)로 구성된 공급사슬을 구체적으로 파악
  - 공급사슬에서 제외된 업체들의 영향은 추정에서 제외되므로 최대한 구체적으로 공급사슬을 파악하여야 함.

- 풍력발전의 공급사슬은 [그림 3-4] 참조.
  - [그림 3-4]에서 0단계에는 건설업체, 공사 수주업체, 발전소 운용업체 등이 포함.
  - 1단계에는 풍력발전용 터빈 공급업체, 전기시스템업체, 설비업체 및 서비스업체 등이 포함.
  - 2단계에는 상위 업체(1단계)에 속한 하위 업체들이 상위 업체별로 세분됨. 예를 들어 1단계의 풍력발전용 터빈 공급업체에 속한 2단계 업체는 회전자업체, 엔진업체, 타워업체, 전기시스템 및 제어업체 등 터빈의 각 부품 관련 업체들로 세분됨.
  - 3단계에는 2단계의 각 업체들이 세분됨. 예를 들어 2단계의 회전자 업체는 회전자 날개 업체, 피치조정 업체, 베어링 업체 등으로 세분됨.
  - 4단계에는 3단계의 각 업체들이 세분됨. 예를 들어 3단계의 회전자 날개 업체는 날개 업체와 볼트 업체 등으로 세분됨.
  - 5단계에는 4단계의 각 업체들이 세분됨. 예를 들어 4단계의 날개 업체는 날개 재료 업체, 레진 업체, 몰드 업체 등으로 세분됨.
  - 공급사슬에 속해 있는 각 업체들의 노동비용을 포함함 총비용, 매출액 등을 파악하여 단계별로 합산함으로써 필요한 노동력(=창출 일자리 수) 및 창출하는 부가가치액 등을 계산
- 분석 방법 2단계: 다음으로, 공급사슬의 각 단계별 경제적 영향을 분석. 단계별 영향을 합산하여 풍력발전의 총효과를 도출, 합산하는 방법은 다음과 같음.
- 우선, 풍력발전 시설의 용량, 고정비용, 가변비용, 발전기간, 건설 및 운전기간 등을 고려하여 0단계에서의 비용 및 이윤에 대한 금액 산출. 다음으로, 0단계에서 산출된 금액을 1단계 하위 업체의 재료비용, 노동비용, 이윤 마진 등으로 귀속시켜 각 0단계 업체가 1단계 업체에 미치는 영향을 파악. 다음으로, 1단계 업체별 금액을 2단계 하위 업체에 귀속시켜 각 1단계 업체가 2단계 업체에 미치는 영향을 파악. 예를 들어 1단계 업체의 비용은 2단계 하위 업체의 수입(revenue)으로 귀속. 이러한 방식으로 5단계까지 분석하여 총 경제적 영향을 합산

[그림 3-4] 공급사슬 분석시 상위 단계의 생산액 및 비용을 하위 단계로 귀속시키는 방법  
**Breakdown of Project Value into Phases**



자료 : DTI(2004)의 부록 B의 p.72.

- 상위 업체의 생산액 및 비용을 하위 업체의 성과로 귀속시키는 방법의 구체적 예는 스코틀랜드와 스코틀랜드 이외 영국 지역에 대한 신재생 에너지발전의 경제적 영향을 분석한 DTI(2004) 보고서의 [그림 3-4] 참조.

○ 장점

- 발전소 운전업체, 관련된 제품을 유통하는 도매업체, 제조업체 등 공급사슬을 구성하는 모든 업체가 생산하는 부가가치액을 정확히 파악 가능. 특히, 상위 단계 업체의 비용이 하위 단계 업체의 매출로 연결되기 때문에 중복 계산이 없어 정확한 부가가치액 산출 가능
- 가격 정보를 업데이트하기 용이함. 각 업체의 비용과 이윤 등에 대한 산출액이 공급사슬의 어느 부분에 적용되었는지 명확하게 파악할 수 있기 때문에 산출액 도출 시 적용한 가격에 변동이 있을 경우 변동된 가격을 재적용하여 업데이트된 추정치 도출 가능
- 지역 간 공급사슬의 차이가 크지 않다는 가정 하에 분석 결과를 여러 지역에 적용 가능

○ 단점

- 공급사슬의 각 단계를 구성하는 업체들과 업체들의 비용 정보를 구체적으로 알아야 공급사슬을 파악할 수 있으나, 이러한 정보를 구하려면 매우 많은 비용이 소요. 이러한 단점은 추후 언급할 산업연관 분석법의 단점이기도 함.
- 공급사슬을 구성하고 있는 업체가 아닐 경우 분석에서 제외됨. 예를 들어 에너지 서비스 업체에 부지를 대여해 준 부동산 업체가 생산한 부가가치액은 포함되지 않음.
- 공급사슬에서 제외된 업체에 미치는 영향은 분석에서 제외됨. 특히 공급사슬에 포함되어야 하지만 분석자의 실수로 공급사슬에서 제외된 업체가 있을 경우 분석의 영향이 과소추정될 우려가 있음. 이러한 단점은 공급사슬 분석법과 산업연관 분석법을 결합하여 적용함으로써 해결 가능

○ 연구 사례

- DTI(2004)의 보고서는 영국 자료를 이용하여 풍력발전을 포함한 모든 신재생 에너지 산업의 경제적 영향을 공급사슬 분석을 통해 살펴 보았는데, 분석 결과, 1 MW당 약 714,000~4,075,000파운드의 부가가치액과 15.9~28.5명의 FTE 일자리를 창출(그림 3-5 참조)

[그림 3-5] 공급사슬 분석을 통한 신재생 에너지 산업의 경제적 영향

	Scotland	Rest of the UK
Size of domestic demand(MW) (Excludes solar thermal)	Development 5,929 MW Construction 80 MW Operation 225 MW	Development 2,301 MW Construction 252 MW Operation 1,074 MW
Value per MW	714,000 - 4,075,000 £/MW	714,000 - 4,075,000 £/MW
Jobs per MW	15.9 - 28.5 Jobs/MW	15.9 - 28.5 Jobs/MW
Import Adjusted Value per MW	314,000 - 1,879,000 £/MW	314,000 - 1,879,000 £/MW
Import Adjusted Jobs per MW	6.4 - 22.3 Jobs/MW	6.4 - 22.3 Jobs/MW
Export Value	£12,000,000	£21,000,000
Export Jobs	204 Jobs	429 Jobs
Emerging Technology Jobs	41 Jobs	200 Jobs
Induced Jobs	391 Jobs	1199 Jobs

Monetary Value  
 Scotland £81 MW  
 Rest of UK £295 MW

Jobs sustained  
 Scotland 1953  
 Rest of UK 5994

자료 : DTI(2004)의 Figure 3-5.

□ 산업연관표를 이용한 분석 방법

- 포괄적인 분석이 가능하다는 장점이 있으나 업체 특성별 분석이 어렵다는 한계가 있음.
- 분석 방법 : 산업연관표를 이용한 분석으로, 산업연관표와 함께 제공되는 유발계수를 이용하여 부가가치액, 고용유발액 등을 추정
  - 산업연관표는 해당 재화의 생산부터 최종 소비에 이르기까지의 과정에서 이와 관련된 모든 재화와 서비스의 산업 간 흐름을 보여주는 투입-산출 행렬을 제공함. 최종 수요의 형태(소비, 투자, 수출)별로 세분화된 행렬도 제공
  - 산업연관표의 투입-산출 행렬을 이용하여 생산유발액, 부가가치액, 고용유발액 등을 추정. 각 산출액은 직접 효과와 간접 효과로 세분하여 추정 가능
  - 산업연관표는 일반적으로 전국을 단위로 하여 한 개의 표로 제공됨. 지역 단위의 영향을 추정하려면 지역을 단위로 한 지역 산업연관표가 필요
  - 지역 산업연관표를 이용한 분석의 예로 JEDI 모형이 있음.
- 장점
  - 풍력발전과 관련된 모든 산업으로 파급되는 영향을 포괄적으로 추정할 수 있음. 즉, 공급사슬 내/외에 미치는 영향, 즉 풍력발전이 전 산업에 미치는 파급효과에 대한 분석이 가능
  - 많은 연구에서 JEDI 모형이 이용되었기 때문에 연구 간 결과 비교가 용이
- 단점
  - 산업 평균값을 이용하여 추정하므로 업체 특성별로 세분화된 영향을 추정하는 데에는 한계가 있음.
  - 규모의 경제, 규모수익체증, 기술 발전, 투입의 대체 등을 분석에 반영하기 어려움.
  - 지역 단위의 산업연관표가 제공되지 않는 경우, 지역에 미치는 영향을 추정하기 어려움. 다시 말해서, 산업연관표를 작성하려면 전국을 아우르는 광범위한 자료와 산업별 구체적인 자료가 필요하므로 산업

연관표 작성은 막대한 비용이 소요되는 작업임. 따라서 주로 정부에서 산업연관표를 작성하여 공표하고 있으나, 대부분의 국가들은 전국 단위의 산업연관표만을 작성

- 우리나라의 경우, 지역 산업연관표가 매년 발행되지 않아 가장 최신의 자료가 2015년에 불과하기 때문에 정확한 추정이 사실상 불가능
- 지역 산업연관표는 한 지역 내에서 모든 경제 활동이 완결된다는 가정이 성립할만한 큰 규모나 지역의 경제를 추정할 때 적합하지만 현재 구축 중인 해상풍력발전단지 신안 지역에 한정되어 있으므로 이러한 가정을 적용하는 데는 무리가 있음.
- 현재 이용 가능한 가장 근접한 지역 산업연관표가 전라남도를 대상으로 한 것이어서 해당 산업연관표를 이용한 분석을 시도할 수 있으나, 풍력발전단지 건설에 소요되는 여러 기자재 및 풍력발전 설비와 부품들이 전남 지역에서만 생산되는 것이 아니므로 지역 산업연관표를 이용한 분석은 실제 존재하지 않는 많은 고용 효과까지 포함하게 되기 때문에 정확성 및 엄밀성이 매우 떨어짐.

□ 연산가능 일반균형모형(Computable General Equilibrium : CGE)을 이용한 분석 방법

○ 자원 배분, 소득 분배, 국제무역 등 경제 전반에 미치는 영향에 대한 추정이 가능하다는 장점이 있으나, 분석에 필요한 사회회계행렬이 가용성이 떨어진다는 단점이 있음.

- 연산가능 일반균형(Computable General Equilibrium : CGE)모형은 일반균형이론을 적용한 모형으로, 외생적 충격이 있을 경우 충격 전 균형에서 출발하여 새로운 균형에 도달할 때까지 발생하는 모든 경제적 영향을 파악하고 이를 추정하는 모형
- 산업 간 거래뿐만 아니라 경제주체 간 거래도 모형에 반영되므로, 효율을 극대화하는 가구와 이윤을 극대화하는 기업, 사회적 후생을 극대화하는 정부의 행동 등이 모형에 반영
- 실업으로 인해 시장 청산이 실패하는 경우 혹은 이민자의 유입으로

인해 임금이 떨어지는 경우 등도 분석 가능

- 수요와 공급의 상호작용이 모형에 반영되므로 경제 전반에 미치는 영향에 대한 분석이 가능

○ 분석 방법 : 사회회계행렬을 이용하여 충격 발생 후 새로운 균형에 이르기까지 발생하는 전반적인 영향을 양적으로(quantitatively) 추정

- 사회회계행렬(Social Accounting Matrix, 이하 SAM)은 연산가능 일반균형모형의 기초가 되는 자료로 산업연관표를 확장하여 작성된 행렬임.

- SAM을 기반으로 외생적 충격이 경제 전반에 미치는 영향에 대한 유기적인 분석이 가능

○ 장점

- 자원배분, 소득분배, 국제무역 등 경제 전반에 미치는 영향에 대한 추정이 가능

- 풍력발전 연관 산업 및 미연관 산업 간 경쟁, 미연관 산업에서 발생하는 고용에 대한 구축 효과 등 다른 분석법에서 반영하지 못한 영향들을 모형에 반영 가능

- 다시 말해서, 풍력발전 연관 산업에서 노동 수요가 증가하면 이는 연관 산업의 임금 상승으로 이어져, 상대적으로 임금이 낮아진 미연관 산업의 노동이 임금이 높아진 연관 산업으로 이동하게 됨. 따라서 풍력발전소의 건립과 운용으로 인해 미연관 산업의 노동 공급이 감소하는 구축효과가 발생할 수 있는데, 이러한 구축효과를 반영하지 않을 경우(예를 들면 산업연관표 분석), 풍력발전소의 건립 및 운용이 단기 고용에 미치는 영향을 과대 추정할 가능성이 크므로, 이를 반영할 수 있는 연산가능 일반균형 분석은 타 분석과 비교하여 장점이 있음.

○ 단점

- 일반균형모형은 섹터 간 자원의 자유로운 이동 등 비현실적인 가정을 전제로 함. 대표적으로 러닝 효과(learning effect) 혹은 learning by doing으로 인한 비용 절감 가능성이 있으나 이러한 요소들이 모형에 반영되지 않음.

- 분석을 위해 필요한 SAM을 대부분의 국가에서 전국 수준으로도 구

하기 매우 어려움. SAM의 작성은 산업연관표보다 더욱 구체적인 정보를 필요로 하기 때문에 SAM이 가용한 국가는 매우 드물게 존재

□ 기계학습을 이용한 풍력발전량 예측 결과를 활용하는 방법

○ 해상풍력발전단지에 대한 고용 효과를 추정한 Tegen et al.(2015) 및 Connolly(2020)의 고용계수를 이용

- 풍력발전량 예측을 위한 기계학습 모형은 현재 운영 중인 인천의 해상풍력발전단지의 발전량에 대한 데이터를 이용하여 기후 조건 및 설비의 규모 등과 결합하여 학습시킬 예정
- 이후 학습된 결과를 바탕으로 신안 지역 및 여타 해상풍력발전단지의 발전량을 위도/경도를 이용하여 과거의 기후 조건으로 근미래의 기후 조건을 추정한 후 이를 바탕으로 모형을 통해 발전량 예측
- 예측된 발전량과 선행 연구의 고용계수를 결합하여 고용 효과 추정
- 이 때 사용할 고용계수는 해상풍력발전단지에 대한 고용 효과 추정치인 Tegen et al.(2015) 및 Connolly(2020)를 이용

○ 장점

- 해상풍력을 위시한 각종 신재생 에너지의 경우, 발전량이 일정치 않은 관계로 필연적으로 송배전 설비의 설치가 요구되고 있는데, 이러한 설비의 운용 인력에 대한 추정은 실제 발전량 예측치를 토대로 해야 정확하게 계산할 수 있음.
- 건설 단계에서 고용 창출에 중요한 요소는 총 발전설비 규모이며 운용 단계에서 중요한 요소는 실제 총 발전량이므로, 건설 단계에서의 고용 효과는 총 건설 규모를 고려하고 운용 인력에 대한 고용 효과는 실제 예측되는 총 발전량을 사용함으로써 총 발전량만을 이용한 추정보다 고용 효과가 과다 추정될 가능성이 훨씬 적은 실제와 유사한 고용 유발 효과를 측정하는 것이 가능함.

○ 단점

- Connolly(2020)의 경우 30년간의 누적 고용 효과만을 추정하였기에 단기간의 고용 효과 및 초기 단계의 연도별 고용 효과에 대한 정보를 찾을 수 없음.

- Tegen et al.(2015)의 경우, CGE 모형에서 사용한 경제 관련 파라미터 값과 한국 경제의 변수값 간의 괴리가 있을 경우 결과치의 신뢰도가 낮아질 수 있음.

□ 본 연구에서는 기존 풍력발전단지에서의 시범 데이터를 활용하여 기계 학습 모형을 통해 예측되는 실제 발전량을 추정한 후, 이를 이용하여 건설 단계 및 운용 단계 각각에서의 예상되는 고용 유발 효과를 계산하는 방식으로 고용 효과를 측정할 것임.

## 제2절 기계 학습을 이용한 풍력발전량 예측

### 1. 목적 및 필요성

- 풍력발전은 기후 조건 및 입지, 발전 설비의 용량 등에 따라 발전량에 차이가 발생
- 풍력발전 설비를 통해 발생하는 에너지의 품질은 에너지의 밀도로 평가되며, 공기 밀도( $\rho$ )와 풍속의( $V$ ) 제제곱에 비례함.
  - 풍력발전 에너지의 품질 :  $E = \frac{1}{2} \rho V^3$
  - 여기서 공기 밀도는 기압(P)에 비례하며 기온(T)에 반비례 :  $\rho = P / T$
  - 따라서 기후 데이터 중 풍속, 기압, 기온 데이터가 풍력 에너지의 품질을 결정하는, 즉 풍력발전량을 결정하는 주요 요소라고 할 수 있음.
- 풍향 또한 발전량에 크게 영향을 미침.
  - 잦은 풍향의 변화는 발전기의 발전 효율을 저해함.
- 입지별로 상이한 풍력발전량이 예상됨.

- 풍력발전량은 기압, 기온, 풍속, 풍향 등 다양한 요소의 영향을 받으며, 아울러 설비 용량에 따라서도 같은 바람에서 발전량에 차이가 발생

□ 빅데이터 모형의 필요성

- 신재생 에너지의 고용 효과 및 경제적 파급 효과 분석에서 가장 큰 어려움은 실제 운용량을 파악하는 것임.
  - 건설 단계에서의 경제적 효과는 총 발전 설비의 규모를 통해 상대적으로 정확하게 추정 가능함.
  - 그러나 운용 과정에서 실제 발생하는 전력에 대한 추정은 일반적인 공식이나 발전 설비의 규모만을 가지고 추정할 수 없으며, 이로 인해서 과대 편이가 발생할 가능성이 높음.
  - 따라서 본 연구에서는 실제 운용 과정에서의 실제 전력 발생량을 정확히 예측하여 이를 바탕으로 운용 과정에서의 경제적 파급 효과를 추정할 예정임.
- 해상풍력발전량을 정확하게 예측하기 위해서는 단순히 위의 공식을 적용하여 계산하는 것은 부정확함.
  - 기계 학습을 통해 빅데이터 모델을 이용하여 발전량에 대해서 예측할 수 있는 모형을 설계한 후, 이를 바탕으로 예측하는 것이 바람직함.
  - 이 때 모형은 기후 조건, 입지, 풍력발전 설비 용량 등을 모두 고려하여 설계되어야 함.
- 이에 기초하여 신안 앞바다의 해상풍력발전단지의 예측 전력량을 계산한 후, 앞선 1절에서 살펴본 발전량별 고용계수를 이용해 순고용 효과를 추정하고자 함.

## 2. 풍력산업 발전량 예측 모형 구축

### 가. 데이터

- 정확한 풍력산업 발전량 예측을 위해서는 머신러닝 모델 학습을 위한

기후데이터와 상세한 발전량 데이터가 필수적

- 시간대 단위별로 장기간에 걸쳐 누적된 기후 데이터가 필요하며, 이에 상응하는 발전량 데이터가 누적되어 있어야 함.
- 본 연구를 위해서는 기상청 초단기실황 데이터와 종합관측소 데이터, 영흥 풍력발전단지 발전량 데이터를 활용

□ 발전량 데이터

- 공공의 목적으로 활용가능한 풍력발전 데이터는 다수 존재
  - 정확한 풍력 발전량 예측을 위해서는 발전기 대수 및 발전 용량 정보가 표시되어 있으며 시간대별 발전량 정보를 제공하는 데이터가 필요
  - 따라서 발전기 설비에 대한 정보와 기후 조건에 대한 정보가 시간대별로 최대한 상세하게 제공되는 데이터를 기계학습에 활용하였음.
- 영흥 풍력발전소의 발전량 데이터를 활용
  - 영흥 풍력발전소는 국내 최초의 상용화 풍력발전단지
  - 2011년에 1차 발전 단지가, 2013년에 2차 발전 단지가 설립
  - 여타의 풍력발전소가 보유하지 못한 장기적으로 축적된 시간대별 풍력발전 데이터를 보유 및 제공
  - 1차 발전 단지에는 총 발전 규모 22MW, 9기(2~3 MW급)의 풍력발전기가 설치되어 있으며, 2차 단지에는 총 발전 규모 24MW, 8기(3 MW급)의 풍력발전기가 설치되어 있음.
- 본 연구에서는 영흥 풍력발전소 1, 2차 발전 단지의 2018~2020년까지 3개 연도의 발전 자료를 공공데이터 포털(data.go.kr)로 부터 받아 사용

□ 기상 데이터

- 앞서 살펴보았지만, 풍력발전의 효율에 영향을 주는 기상 요건으로는 풍속, 기압, 기온, 풍향이 있으며, 이들 데이터 모두가 최대한 상세한 시간 단위로 제공되는 데이터를 찾아야 함.

- 기상청 초단기 기상 실황 데이터
  - 각 지점별 매 시간 단위 풍속, 풍향 및 기온 데이터를 추출
  - 이 데이터는 UTC로 KST로 변환하기 위해 아홉 시간의 조정이 필요
  - 초단기 실황 데이터에서 기압 자료는 제공하지 않으므로 기압은 입력 좌표에서 가장 가까운 종합관측소의 해면기압 데이터를 사용
  - 여타의 풍력발전소가 보유하지 못한 장기적으로 축적된 시간대별 풍력발전 데이터를 보유 및 제공
- 결측치에 대한 보정
  - 초단기 실황 자료에서는 소수이지만 결측치로 추정되는 값들이 포함되어 있음.
  - 풍향, 풍속의 경우 -1, 기온의 경우 -50
  - 결측치의 경우 주변 데이터의 평균값을 사용하여 보완
- 요약 통계
- 본 연구에 활용된 발전량, 풍력 에너지 품질 및 기후 관련 데이터의 요약 통계는 <표 3-9>와 같음.

<표 3-9> 기계학습에 사용할 데이터의 기초 통계

	발전량 (kWh)	풍속 (m/s)	풍향 (deg)	기온 (C)	기압 (hPa)
mean	7.74	3.57	198.7	12.93	1016.51
std	12.13	2.2	112.86	9.34	8.65
min	0	0	0	-13.67	985.33
25%	0.31	1.97	91.86	5.23	1009.87
50%	1.67	3.1	230.22	13.47	1016.57
75%	9.89	4.67	300.22	21	1023.2
max	69.07	19.27	359.99	34.2	1039.37

#### 나. 딥러닝 모형(Deep Learning Model)의 구축

- 본 연구에서는 풍력 발전량을 예측하기 위해 여러가지 기계학습 모형 중 딥러닝 모형(deep learning model)을 사용

- 딥러닝 모형은 전통적인 모형들에 비해 인간의 개입 (minimal human intervention) 및 모형화를 위한 가정을 상당수 배제할 수 있음.
- 각 변수들 간의 유기적인 상관 관계를 심도있게 살펴볼 수 있음.

□ 합성곱 신경망(Convolutional Neural Networks : CNN)

- 딥러닝 모델에서 주로 쓰이는 처리 방법
  - 입력 데이터에 아무 처리를 하지 않는 Feed Forward neural networks
  - 시계열 데이터의 처리를 위해 주로 쓰이는 Long Short-term Memory (LSTM) based model
  - 이미지 처리를 위해 주로 사용되는 Convolutional Neural Networks (CNN) based model
- 합성곱 신경망을 사용하여 풍력 발전량을 예측
  - CNN은 주로 이미지 또는 영상 데이터를 처리하는데 사용되어 왔지만, 최근 들어 자연어 처리에서도 크게 각광
  - 시계열 데이터의 처리에서도 높은 계산 효율성과 뛰어난 성능을 발휘
  - CNN을 활용한 모델에서는 한 개의 데이터 포인트 내에 하나의 입력 값이 독립적으로 활용되지 않고 주변에 입력된 변수들 간의 시계열적 상관 관계들까지 유기적으로 읽어낸다는 점에서 높은 예측력을 기대

□ 데이터 전처리

- 기상 관련 데이터 전처리
  - 예측 대상인 발전량 데이터가 세 시간 단위의 발전량을 제공하므로 시간 단위로 되어 있는 기상 관련 데이터를 세 시간 단위로 변환하는 과정이 필요
  - 풍속, 기온, 기압의 경우 각 시간대별 데이터를 단순 평균한 값을 사용
- 풍향 데이터의 전처리
  - 풍향의 경우 단순 평균할 경우 올바르지 못한 값을 얻게 됨.

- 예를 들어 355도와 5도를 단순 평균할 경우 평균값으로 180도가 얻어지는데, 올바른 값으로는 0도가 산출되어야 함.
- 각 값들의 sin값과 cos값을 이용하여 합계를 구하고 다시 360도 방위로 변환
- 이를 위해 사용된 코드는 다음과 같음.

```
AVERAGED_DEGREE=MOD(DEGREES(ATAN2(SUM(COS(RADIANS(A, B))), SUM(SIN(RADIANS(A:B))))), 360)
```

#### ○ 전체 데이터 관련 전처리

- 독립 변수들 간의 스케일 차이로 인해 퍼포먼스에 영향을 주는 문제를 최소화하기 위하여 독립 변수들을 최소-최대 정규화(min-max normalization)

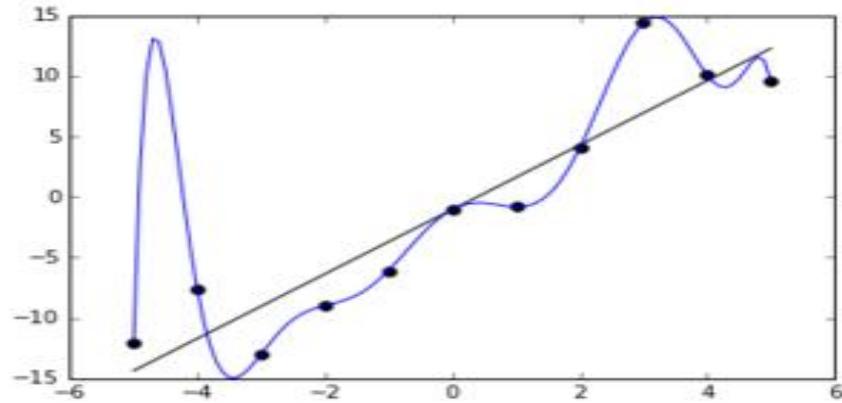
### 다. 모형의 훈련

#### □ Train-Test Split

#### ○ 딥러닝 모델은 과적합(overfitting)의 문제를 가지고 있음.

- 과적합이란 모델이 훈련 데이터에 최적화되어 일반성(generalizability)을 상실하는 것을 의미
- 일반성이 상실된 모델의 경우 모델의 검증을 위해 전체 데이터의 80%를 훈련 데이터로 활용하고 20%를 검증 데이터로 활용하여 과적합을 방지
- 손실함수는 프로그램의 예측치와 실제 값을 비교해가면서 미리 설계된 훈련 알고리즘(optimizer)에 의해 모형 내 각 층에 존재하는 변수들을 업데이트 하도록 설정
- 훈련은 테스트 데이터에 대한 손실함수가 최소화 되고 5회 이상 손실함수가 감소하지 않는 경우 훈련을 멈추도록 설계하여 과적합을 방지하여 일반성을 확보하면서도 설명력이 높은 모형을 찾도록 설계하였음.

[그림 3-6] 기계학습에서의 과적합 문제



자료: 방형준(2020), "기계학습을 이용한 노동시장 예측모형 탐색", 한국노동연구원.

○ Parameter Tuning

- 모델 속에서 사용되는 파라미터들을 정하기 위해 데이터를 훈련셋과 검증셋으로 나누어서 검증셋의 오차를 최소화하는 방향으로 조정
- 훈련이 완료되어 최적화된 모델의 파라미터는 다음과 같음.

```

CNN Layer
• Filter=128
• Kernel=5
• Activation='relu'

MaxPooling Layer
• Pool_size=3

1st Dense Layer
• Units=32
• Activation='tanh'

2nd Dense Layer
• Units=1
• Activation='relu'

Batch Size=32
Optimizer='SGD'
Learning_rate=0.001
Number_of_Max_Epochs=200
Early_Stopping=5
    
```

## 라. 예측 대상 지역의 선정

- 본 연구에서 예측 결과로 발전량을 제시하는 지점은 다음과 같음.
- 양 극 값은 임자도 최서단에서 우이도 최서단을 잇는 선을 따라 서쪽으로 15km 이동한 지점에 해상풍력발전단지를 건설한다고 가정
  - 양 극점에서 등거리에 있는 총 5개의 지점을 선정하여 위도 및 경도 좌표를 측정
  - 각 5개 지점 간의 거리는 11km임.
- 이러한 임의의 좌표 설정은 아직 신안 풍력발전단지 건설 예정지가 확정되지 않아서임.
  - 현재로서는 임자도와 우이도를 잇는 선에서 바다로 나아간 지점으로 예정된 바, 최소 10~15km, 최대 25km 이내의 지점에서 건설할 예정임.
  - 민원 및 어로 자원 보호 등을 고려하였을 때 해안선에서 최소 10km 이상 떨어져야 함.
  - 반면 송배전망의 효율 및 경제성을 고려하면 25km 이상 떨어지는 것이 사실상 힘들기 때문에 해당 범위 내에서 중간값을 취하였음.
- 지점별 좌표 정보
  - (지점 1)=(35.08481,125.87141)
  - (지점 2)=(34.96902,125.81184)
  - (지점 3)=(34.85323,125.75227)
  - (지점 4)=(34.73743,125.69271)
  - (지점 5)=(34.62164,125.63314)
- 각 지점의 위치는 [그림 3-7]에서 확인 가능

## 라. 예측 모형의 유형

- 발전 용량별 모형
- 발전 용량에 대해서는 3MW 설비와 8MW 설비에 대해서 예측

[그림 3-7] 풍력발전량 예측 지점



- 현재 다양한 발전 용량 설비에 대한 논의가 진행 중이며, 최소 3MW, 최대 8MW인 것을 감안하여 두 가지 발전 용량에 대해서 예측을 진행하였음.
- 다만, 훈련데이터에 포함된 발전기의 발전 용량이 2MWh-3MWh 사이에 있기 때문에, 발전 용량과 발전량 간의 상관 관계를 기계학습 모델이 충분히 학습하지 못하였을 가능성이 존재
- 하지만 기계학습은 발전 설비 용량에 따른 각 기후 조건별 발전량 예측 모형을 학습할 때 발전 설비에 따른 발전량 차이에 대해서도 학습하기 때문에 이를 감안하면 3MW에 대해서는 정확성이 높은 예측을 하였을 것이고 8MW에 대해서도 추세적으로 정확한 예측을 하였을 것으로 추정됨.

□ 기후 조건의 설정

- 두 가지 기후 조건을 놓고 발전량을 예측하였음.
  - 기후 조건에 대해서는 최근 1년간의 기후 조건 데이터에 기초한 예측을 수행하는 것이 하나의 시나리오임.
  - 두 번째 시나리오는 최근 5년간의 자료를 활용하여 기후 조건의 시간대별 5년 평균 자료를 활용하였음.
  - 지난해 기후 조건 데이터의 경우 가장 최신의 기후 조건을 반영한 단

기적인 전망치의 의미를 가지고 있음.

○ 과거 5년간의 기후 조건을 활용한 예측 결과는 세 가지 측면에서 함의를 가지고 있음.

- 첫 번째 함의는 지난 해에 발생했을 특이한 기상 환경 및 급작스런 기후 변화가 전체 예측치에 영향을 주었을 수 있으므로 해당 지역의 평균적인 기후 조건에 맞추어 살펴본다는 것임.

- 두 번째 함의는 각 연도별로 발생했을 결측치를 주변값으로 보정하기 보다는 다른 연도의 데이터로 보정함으로써 결측치 보정에 있어서 정확성을 제고하기 위한 측면이 있음.

- 마지막 함의는 각 연도별로는 특정 일자에 기후 조건이 극단적인 값을 가질 확률이 높으나, 5년 평균을 내면 이러한 극값들이 제거됨으로써 기후 조건이 상대적으로 평준화되는 효과가 나타나는데, 이렇게 평탄화된 기후 조건과 극값이 존재하는 기후 조건 하에서 각각 발전량이 어떻게 차이를 보이는지 살펴봄으로써 기후 조건이 가지는 중요성의 크기를 간접적으로 측정할 수 있음.

□ 실제 예측 모형을 설계하고 학습시키며 예측을 수행한 파이썬 코딩은 보고서 후반부 부록에서 확인 가능함.

### 제3절 풍력발전량 예측 결과

□ 3시간 단위 각 예측 지점별, 일자별, 발전 용량별, 기후 조건별 발전량 예측치는 보고서 후반부 부록에서 확인 가능함.

#### 1. 3MW 규모 발전 설비에 대한 예측 결과

□ 2020년 기상 데이터를 활용한 경우와 2016~2020년간의 5년 평균 기상 데이터를 사용하여 예측한 지점별 발전량은 <표 3-10>과 같음.

〈표 3-10〉 3MW 규모 발전기 1기당 연간 발전 예측량

(단위: %)

	2020년 기상 데이터 사용시 발전량 (발전용량 대비 효율)	2016-2020년 5년 평균 기상 데이터 사용시 발전량 (발전용량 대비 효율)
지점 1	2,955MWh(11.24)	6,998MWh(26.63)
지점 2	3,753MWh(14.28)	7,971MWh(30.33)
지점 3	3,088MWh(11.75)	7,192MWh(27.36)
지점 4	3,064MWh(11.66)	7,763MWh(29.54)
지점 5	4,654MWh(17.71)	8,923MWh(33.95)

- 지점별 발전량 순위는 기후 데이터에 따라 약간 다름.
  - 과거 1년 기후 데이터를 사용해 예측한 경우, 발전량 순위는 지점 5 > 지점 2 > 지점 3 > 지점 4 > 지점 1로 나타났음.
  - 과거 5년 평균 기후 데이터를 사용해 예측한 경우, 발전량 순위는 지점 5 > 지점 2 > 지점 4 > 지점 3 > 지점 1로 나타났음.
  - 지점 3과 지점 4가 전년도 기후 데이터와 5년 평균 기상 데이터에서 순위가 바뀐 것을 제외하면 대동소이한 결과임.
- 기후 조건에 따른 발전량의 차이가 예상보다 큰 편임.
  - 각 지점은 거리가 11km에 불과하여 기후 조건에서 큰 차이를 보이지 않았으나, 기후 조건에서 어느 정도의 차이가 있었음.
  - 이러한 기후 조건의 미세한 차이가 발전 예측량에서는 큰 차이를 보이는 것으로 나타났음.
- 과거 5년 평균 기후 조건과 전년도 기후 조건 별로 발전량이나 효율에 있어서 두세배 정도의 차이가 있었음.
  - 평균 기상 데이터를 사용하였을 경우 각 지점별 발전량은 두 배 이상 증가하였는데, 이는 풍력발전 고유의 특성 때문인 것으로 판단됨.
  - 매년 기온, 풍속, 기압, 풍향 등이 평준화된 5년 평균 기후 데이터에서 발전량이 크게 증가한 것은 평준화한 기후가 극값이 자주 나타나는 전년도 기후 조건보다 풍속 발전 효율에서 유리하기 때문으로 보임.

□ 5년 평균 기상 데이터를 사용한 경우가 전년도 기상 데이터를 활용한

경우보다 발전 효율이 높은 이유는 기후 평준화 효과에서 기인함.

- 풍력발전기는 최소 가동 풍속과 최대 가동 풍속을 가지고 있음.
  - 최소 가동 풍속은 발전이 시작되기 위한 최소한의 풍속
  - 최대 가동 풍속은 발전기 및 송전 설비 보호를 위해 가동이 중단되는 속도로, 이 속도를 초과하면 발전량은 0이 됨.
- 기후 평준화는 풍속이 극값을 가지지 않으며, 연중 일정한 속도의 바람이 부는 것과 같은 효과를 내게 됨.
  - 다년간의 기후 데이터를 평균하게 되면 풍속 데이터가 평준화되어 풍력발전에 적합한, 연중 일정한 바람이 부는 기후 조건처럼 보이게 됨.
  - 따라서 풍속 발전량을 예측하기 위해서 평균 기상 데이터를 활용하는 것은 정확하지 않으며, 평균적인 발전량 예측을 위해서는 5년 각각의 기후 조건에 대해서 풍속 발전량을 예측한 후, 이들 값의 평균을 내는 것이 합리적인 방법임.
- 2020년 기상 데이터를 활용한 경우와 2016~2020년 간의 5년 평균 기상 데이터를 사용하여 예측한 지점별 연간 총 발전량은 <표 3-11>과 같음.
- 전체 해상풍력발전단지의 규모를 8.2GW로 설정하고 예측하였음.
  - 신안 해상풍력발전단지의 총 규모에 대해서 다양한 안(案)들이 거론되고 있으나, 그 중 8.2GW 규모의 풍력발전단지를 조성한다고 가정하고 분석하였음.

<표 3-11> 3MW 규모 발전기를 이용한 단지 총 연간 발전 예측량

	2020년 기상 데이터 사용시 발전량	2016~2020년 5년 평균 기상 데이터 사용 시 발전량
지점 1	8,078GWh	19,132GWh
지점 2	10,260GWh	21,792GWh
지점 3	8,442GWh	19,662GWh
지점 4	8,376GWh	21,224GWh
지점 5	12,724GWh	24,394GWh

- 이를 위해서는 3MW 규모의 해상풍력발전기를 2천 734기 설치해야 함.
  - 이를 바탕으로 두 가지 기후 조건에 따라서 연간 총 발전량을 예측하였음.
- 앞서의 순위 및 결과와 거의 비슷하므로 따로 분석 결과를 설명하지 않음.

## 2. 8MW 규모 발전 설비에 대한 예측 결과

- 2020년 기상 데이터를 활용한 경우와 2016~2020년 5년간의 평균 기상 데이터를 사용하여 예측한 지점별 발전량은 <표 3-12>와 같음.
- 지점별 발전량 순위는 기후 데이터에 따라 약간 다름
- 과거 1년 기후 데이터를 사용해 예측한 경우, 발전량 순위는 지점 5 > 지점 2 > 지점 3 > 지점 4 > 지점 1로 나타났음.
  - 과거 5년 평균 기후 데이터를 사용해 예측한 경우, 발전량 순위는 지점 5 > 지점 2 > 지점 4 > 지점 3 > 지점 1로 나타났음.
  - 이러한 지점별 순위는 앞선 3MW 시나리오와 정확하게 동일함.
- 과거 5년 평균 기후 조건과 전년도 기후 조건별로 발전량이나 효율에 있어서 역시 8MW 설비에서도 두세배 정도의 차이가 있었음.
- 앞서 3MW 때와 마찬가지로, 매년 기온, 풍속, 기압, 풍향 등이 평균화된 5년 평균 기후 데이터에서 발전량이 크게 증가한 것은 평균화한 기후가 극값이 자주 나타나는 전년도 기후 조건보다 풍속 발전 효율에서 유리하기 때문으로 보임.

<표 3-12> 8MW 규모 발전기 1기당 연간 발전 예측량

(단위: %)

	2020년 기상 데이터 사용시 발전량 (발전용량 대비 효율)	2016-2020년 5년 평균 기상 데이터 사용시 발전량 (발전용량 대비 효율)
지점 1	3,971MWh(5.67)	10,337MWh(14.76)
지점 2	5,044MWh(7.20)	11,773MWh(16.81)
지점 3	4,149MWh(5.92)	10,624MWh(15.17)
지점 4	4,118MWh(5.88)	11,466MWh(16.37)
지점 5	6,255MWh(8.93)	13,179MWh(18.81)

- 2020년 기상 데이터를 활용한 경우와 2016~2020년 5년간의 평균 기상 데이터를 사용하여 예측한 지점별 연간 총 발전량은 <표 3-13>과 같음.
- 앞서와 마찬가지로 전체 해상풍력발전단지의 규모를 8.2GW로 설정하고 예측하였음.
  - 이를 위해서는 8MW 규모의 해상풍력발전기를 1천 26기 설치해야 함.
- 앞서의 순위 및 결과와 거의 비슷하므로 따로 분석 결과를 설명하지 않음.

<표 3-13> 8MW 규모 발전기를 이용한 단지 총 연간 발전 예측량

	2020년 기상 데이터 사용시 발전량	2016~2020년 5년 평균 기상 데이터 사용시 발전량
지점 1	4,074GWh	10,606GWh
지점 2	5,264GWh	12,080GWh
지점 3	4,248GWh	10,900GWh
지점 4	4,226GWh	11,764GWh
지점 5	6,418GWh	13,522GWh

### 3. 3MW 시나리오와 8MW 시나리오 간의 발전량 예측 결과 비교

- 3MW 시나리오와 8MW 시나리오 간의 전년도 기후 사용 시 발전량 예측 결과 비교
- 전체적인 발전량은 3MW 때보다 8MW 때가 더 크게 나타났음.
  - 앞선 <표 3-10>와 <표 3-12>을 통해 발전 설비 1기당 예측 발전량을 비교할 수 있음.
  - 동일 풍속과 풍향에서는 발전 설비가 클수록 발전량이 많기 때문에 동일한 기후 조건이면 발전량은 발전 용량이 클수록 더 크게 증가함.
  - 각 지점별로 8MW 설비 설치 시 3MW 설비 설치 시보다 평균적으로 약 30% 정도의 발전량 증가가 있는 것으로 나타났음.
- 발전 효율 측면에 있어서는 8MW 발전 설비의 효율이 3MW의 발전 설비 효율보다 떨어지는 것으로 나타났음.
  - 이론적으로는 8MW 풍력발전기를 설치하였을 때 3MW 발전기를 설

치한 경우보다 약 2.8배 정도의 발전량이 예측되어야 하지만 실제로는 그보다 훨씬 낮은 1.3배 정도의 발전량 증가만이 나타났음.

- 이는 발전 설비가 증가할수록 최소 가동 풍속이 커지는 경향이 나타나는데, 이로 인해서 풍속이 낮은 시점에서는 8MW 설비는 작동하지 않고 3MW 설비만 작동하는 경우가 발생해서인 것으로 추측됨.
- 아울러, 이론적으로 설비 규모가 두배가 된다고 해서 발전 용량이 두배가 되지는 않으며, 발전 설비의 효율에 있어서도 수확체감의 법칙(diminishing returns to scale)이 발생하는 경우가 많으므로, 이론적인 설비의 발전 규모 차이보다 실제 발전량의 차이가 더 적은 것은 자연스러운 현상으로 보임.

○ 두 발전 설비에 대한 예측 결과를 정리한 <표 3-14>에도 이러한 특성이 관찰됨.

- 각 지점별로 8MW 설비에서의 시간대별 발전 예측량 평균치가 3MW 설비에서의 예측치보다 약 30% 정도 높으며, 최대치에서도 비슷한 비율의 차이를 보이고 있음.
- 최소치에서는 두 설비 모두 0으로 같으나 최대치에서 차이가 발생하기 때문에 표준편차는 8MW에서 일관되게 더 높게 나타나고 있음.

○ 두 발전 설비에 대한 예측 결과의 분위별 값들은 <표 3-15>에 제시되어 있음.

<표 3-14> 각 지점별 전년 기후 조건에 기초한 발전설비별 예측량에 대한 기초 통계

		관측치	평균	표준편차	최소치	최대치
지점 1	3MW	2,920	1.01	1.26	0	7.12
	8MW	2,920	1.36	1.69	0	9.57
지점 2	3MW	2,920	1.28	1.52	0	7.48
	8MW	2,920	1.72	2.04	0	10.05
지점 3	3MW	2,920	1.05	1.28	0	7.12
	8MW	2,920	1.42	1.72	0	9.57
지점 4	3MW	2,920	1.05	1.27	0	7.00
	8MW	2,920	1.41	1.71	0	9.41
지점 5	3MW	2,920	1.59	1.56	0	7.27
	8MW	2,920	2.14	2.10	0	9.77

〈표 3-15〉 각 지점별 전년 기후 조건에 기초한 발전설비별 예측량에 대한 분위별 발전량

		1%	5%	10%	50%	90%	95%	99%
지점 1	3MW	0.00	0.00	0.00	0.58	2.78	3.75	5.42
	8MW	0.00	0.00	0.00	0.78	3.74	5.04	7.28
지점 2	3MW	0.00	0.00	0.00	0.74	3.52	4.66	6.12
	8MW	0.00	0.00	0.00	0.99	4.73	6.26	8.23
지점 3	3MW	0.00	0.00	0.00	0.63	2.91	3.82	5.45
	8MW	0.00	0.00	0.00	0.84	3.92	5.14	7.33
지점 4	3MW	0.00	0.00	0.00	0.61	2.91	3.80	5.36
	8MW	0.00	0.00	0.00	0.82	3.91	5.11	7.20
지점 5	3MW	0.00	0.00	0.00	1.23	3.89	4.75	6.15
	8MW	0.00	0.00	0.00	1.65	5.22	6.38	8.26

- 각 지점별로 최소 19.7%에서 최대 30%까지의 시간대에서 발전량이 0으로 나타났음(지점 1에서는 발전량 0의 비율이 30%로 최고치를 기록했으며, 지점 5에서 19.7%로 최소치였음. 지점 2는 약 26%, 지점 3은 약 28.4%, 지점 4는 약 28.5%였음).
- 3MW에서의 최대 발전량은 8MW의 95%~99% 사이에 위치하며, 대략 3MW 발전량의 상위 99%에 해당하는 발전량 수치는 대략 8MW의 95% 발전량에 해당하는 수치임.

□ 3MW 시나리오와 8MW 시나리오 간의 최근 5년 기후에 기반한 발전량 예측 결과 비교

- 모든 경우에서 평균치는 상승하였으며, 표준편차는 최대치가 상승한 경우에는 증가, 최대치가 감소한 경우에는 하락하였음.
  - 평균치의 증가를 통해서 모든 경우에 대해서 연간 총 발전량이 증가한 것을 확인할 수 있음.
  - 5년 평균의 경우 풍속이 상대적으로 일정해지는 효과로 인해 일부 지점에서는 풍속이 최대 가동 풍속에서 모두 멀어짐에 따라 최대 발전량이 하락한 반면, 일부에서는 오히려 평균적으로 풍속 조건이 개선됨에 따라 발전량이 늘어나는 경우도 관찰되었음.

〈표 3-16〉 각 지점별 최근 5개년 평균 기후 조건에 기초한 발전설비별 예측량에 대한 기초 통계

		관측치	평균	표준편차	최소치	최대치
지점1	3MW	2,920	2.40	1.19	0	6.57
	8MW	2,920	3.54	1.75	0	9.71
지점2	3MW	2,920	2.73	0.94	0	6.00
	8MW	2,920	4.03	1.38	0	8.86
지점3	3MW	2,920	2.46	1.62	0	8.22
	8MW	2,920	3.64	2.39	0	12.14
지점4	3MW	2,920	2.66	1.48	0	7.82
	8MW	2,920	3.93	2.19	0	11.56
지점5	3MW	2,920	3.06	1.91	0	9.67
	8MW	2,920	4.51	2.82	0	14.29

〈표 3-17〉 각 지점별 최근 5개년 평균 기후 조건에 기초한 발전설비별 예측량에 대한 분위별 발전량

		1%	5%	10%	50%	90%	95%	99%
지점1	3MW	0.31	0.70	0.99	2.32	3.95	4.51	5.99
	8MW	0.46	1.04	1.47	3.42	5.83	6.67	8.85
지점2	3MW	0.49	1.11	1.44	2.84	3.88	4.12	4.52
	8MW	0.72	1.64	2.12	4.19	5.73	6.08	6.67
지점3	3MW	0.00	0.20	0.53	2.28	4.73	5.44	7.16
	8MW	0.00	0.29	0.78	3.37	6.99	8.03	10.57
지점4	3MW	0.06	0.52	0.87	2.51	4.71	5.32	6.85
	8MW	0.08	0.76	1.29	3.71	6.96	7.85	10.12
지점5	3MW	0.00	0.29	0.69	2.85	5.66	6.51	8.00
	8MW	0.00	0.43	1.02	4.21	8.37	9.62	11.82

- 모든 지점에서 최대 3.24%를 기점으로 발전량 0의 값이 사라진 것으로 나타났다.

□ 3MW 시나리오와 8MW 시나리오 간의 연간 발전량에 대한 주의점

○ 〈표 3-11〉과 〈표 3-13〉을 비교하면 3MW 설비만을 2천 734기 설치했을 경우가 8MW 설비만을 1천 26기 설치했을 때보다 총 발전량이 많은

것으로 나타났음.

- 이는 한 지점에 해당 기수의 발전 설비를 모두 건설할 수 있으며, 각 설비간에 상호 간의 간섭이 없다는 가정이 필요
  - 실제로는 설비 대수가 늘어나면 필연적으로 설비 설치 지점이 한 점이 아니라 넓은 면적처럼 되어서 각 지점의 기후 조건이 정확하게 일치하지 않을 수 있음.
  - 설치 대수가 늘어남에 따라 풍속 및 풍향 등에 있어서 상호 간의 간섭이 일어날 수 있으므로, 실제 연간 총 발전량은 해당 예측치보다 낮을 것임.
  - 특히 3MW의 경우 설치해야 하는 발전기 대수가 두배 이상 많기 때문에 보다 넓은 면적에서 설치될 것이며, 아울러 기기 상호 간의 간섭도 더 심할 것임.
  - 따라서 실제 총 발전량 차이는 현재 예측된 값보다 훨씬 적게 차이날 것으로 보임.
  
- 각 지점별, 기후 조건별, 발전량별 발전 예측 데이터에 대한 그래프는 부록에서 확인 가능함.

## 제4절 풍력발전량별 고용 효과 추정

### 1. 고용 효과 측정을 위한 기본 가정

- 본 절에서는 앞서 분석한 연간 풍력발전 예측량에 근거하여 선행 연구에서 추정된 고용계수를 이용해 고용 효과를 추정하고자 함.
  
- Tegen et al.(2015)에서는 JEDI 모형을 이용하여 동남부, 5대호 연안, 멕시코만, 중부 대서양에서의 고용 효과를 추계하였음.
  - Tegen et al.(2015)는 기본적으로 지역 산업연관표를 이용한 JEDI 모형에 기초하고 있으므로, 유관 산업을 포함한 전후방 산업에서의 경

제적 효과 및 고용 효과까지 모두 포함하고 있는 모형으로 간주할 수 있음.

- 특히 지역 산업연관표를 사용함으로써 해상풍력의 입지에 적합한 지역에 대한 경제적 파급 효과 및 고용 효과를 보여주는 모형으로 매우 적절함.

○ Tegen et al.(2015)에서는 동남부, 5대호 연안, 멕시코만, 중부 대서양에 대해서 각각 세 가지 시나리오에 기반하여 고용 효과를 추계하였음.

- Tegen et al.(2015)에서는 low, medium, high 세 가지 시나리오에 따라서 고용 효과 및 경제적 효과를 추정하였음.

- low 시나리오 상에서는 신재생 에너지 산업의 장래성에 대한 불확실성으로 인해서 공급망을 비롯한 유관 산업에서의 투자가 낮은 수준에서 출발하여, 산업이 충분히 성숙한 이후에 평균적인 투자가 진행된다고 가정

- medium 시나리오 상에서는 초기에는 산업에 대한 불확실성으로 낮은 투자가 이루어지는 low 시나리오를 따라가지만 5년 이내에 공급망을 비롯한 유관 산업에 충분한 투자가 진행되는 것을 가정하였음.

- high 시나리오 상에서는 신재생 에너지 산업에 대한 장래성이 보장되었다고 가정하여, 전후방 산업을 비롯한 유관 기업들이 충분한 양의 투자를 즉각적으로 진행하여 건설 단계 이후 운영 단계에 접어들면서 전체 산업 생태계가 인근에 조성된다고 가정하였음.

○ 여기서는 Tegen et al.(2015)에서 추정한 이들 네 지역에 대한 고용계수의 평균값을 건설 단계와 운영 단계에 대해서 계산하여 대입

- 건설 단계의 고용계수에 대해서는 <표 3-6>에 제시되어 있는 Low, Moderate, High의 세 가지 시나리오가 각각 18.25명/MW, 23명/MW, 27.25명/MW를 제시하고 있음.

- low 시나리오에서는 발전 설비의 전체 용량이 10년간 총 250MW에서 1GW로 천천히 증가하는 것을 가정하였으며, moderate 시나리오에서는 500MW 설비에서 시작하여 10년 후에는 2GW 설비를 구축하는 것으로, high 시나리오에서는 1GW 설비를 10년간 총 5GW 설비로 확장하여 운영하는 것으로 구분하였음.

- 따라서 신안 해상풍력단지에 대해서는 moderate 혹은 high 시나리오가 부합할 것으로 전망되나, 이는 추후 정확한 사업 추진 계획이 확정되어야 파악 가능함.
  - 운용 단계에서의 필요 인력에 대해서는 최소 0.7명/MW, 중간치가 1.2명/MW, 최대 1.7명/MW이므로 이를 각각 Low, Moderate, High에 대응시켜서 계산하겠음.
- Connolly(2020)는 산업연관표를 사용한 분석과 CGE를 사용한 분석 두 가지의 모형을 이용하였으며, CGE 모형은 다시 Myopic과 Forward Looking 두 가지로 나누어 분석하였음.
- 각 세 가지 방법에 대해서 예상되는 발전량을 이용하여 추정할 예정이며, 시나리오별 고용 창출량은 [그림 3-2]에 기반함.
  - 이 중, IO는 산업연관표를 이용한 분석으로, 일반적인 에너지 산업의 산업 연관에 근거한 전후방 산업의 효과가 모두 포함되어 있음.
  - CGE 모형 중 Myopic은 개별 경제 주체들이 적응적 기대(adaptive expectations)를 한다고 가정한 모형이며, Forward Looking은 모든 정보가 제공되어 경제 주체들이 완벽한 정보 하에서 의사 결정을 하는 것을 가정한 거시 경제 모형임.
  - 최종적으로 해상풍력발전단지가 완성되었을 때 총 발전량은 2.4GW로 가정하였음.
- 건설 단계에서는 총 발전 설비 규모인 8.2GW를 적용할 예정이며, 운용 단계에서는 예상되는 총 발전량을 대입하여 계산할 것임.
- 건설 단계에서 총 사업의 규모 및 고용 규모를 결정하는 것은 단지의 총 발전 규모이므로 실제 전력 생산량과 무관하게 발전 단지의 총 최대 발전량으로 잡는 것이 합리적임.
- 그러나 운용 단계에서는 총 발전량과 무관하게 실제 발전량이 인력 고용에 큰 영향을 미칠 것인 바, 실제 예측한 발전량을 대상으로 계산할 예정임.
- 운용 단계에서 실 전력 생산량을 기준으로 잡은 이유는, 극단적으로 1GW 설비가 전력을 생산하지 못하는 경우 운용 인력은 거의 필요

없을 것이나, 500MW의 발전 설비에서 연간 일정하게 계속해서 500MW의 발전량을 생산한다면 해당 설비에서 상주하는 인력은 최대치에 근접할 것이며, 전력 생산량이 거의 없는 1GW 설비보다 클 것이기 때문이다.

- 실제 5개 지점에 모든 풍력발전 기기를 건설할 수 없으므로 5군데 연간 총 전력 생산량의 평균값을 실 전력 생산량으로 간주할 것임.
- 3MW의 총 발전 대수가 많음에 따라 총 발전량이 8MW 때보다 더 커지는 효과는 앞서 언급하였으나, 이에 대한 문제점은 충분히 설명하였으므로, 고용계수 추정시에는 해당 문제를 보정하거나 고려치 않고 대입하겠음.
- 기후 조건의 경우 전년도만을 사용하며, 과거 5년 평균 기후 조건에 근거한 값은 고용 효과를 과다 추계할 수 있으므로 사용치 않을 것임.

#### □ 유관 산업의 고용 효과

- JEDI 모형이나 산업연관표, 그리고 CGE를 가정하였으므로 기본적으로 전후방 산업에 대한 효과가 모두 고려된 모형이라 할 수 있음.
- 다만 일반적인 전후방 산업 이외에 숫자를 특정할 수 있는 해상풍력발전단지 건설에 따른 추가적인 유관 산업으로 에너지 저장 장치(ESS) 산업과 송배전 산업을 들 수 있음.
- 에너지 저장 장치
  - 신재생 에너지의 경우, 대용량 발전 단지에는 전력 계통의 안정성을 위하여 변전소가 필수적으로 건립됨.
  - 변전소는 생산된 전력을 일정하게 처리하여 송전망으로 공급하는 역할을 하는 바, 대형 변전소에는 무정전 전원 공급 장치(UPS)가, 소형 변전 시설에는 ESS가 설치됨.
  - 해상풍력발전단지는 총 발전 규모가 8.2GW에 이르기 때문에 한 개 이상의 변전소가 설치될 것이 확실하며, 해당 변전소는 대형 변전소이므로 무정전 전원 공급 장치로 비상용 디젤 발전기가 설치될 것이기 때문에 ESS 산업에서의 추가적인 고용 창출 효과는 기대하기 어려움.

- 디젤 발전기 설치 및 운용에 따른 인력은 변전소 설치 및 운용 단계에서 고려하여 반영할 예정임.

○ 변전소

- 풍력발전기에는 각 타워마다 변압기와 차단기가 들어가므로 설치 대수에 따른 추가적인 고용 창출 효과가 있음.
- 2020년 고용노동부가 발간한 고용영향평가 가이드라인에 따르면 전기장비의 경우 0.6명/억 원의 고용 효과가 있는 바, 타워에 들어갈 변압기 및 차단기의 가격은 풍력발전 타워의 발전 규모에 따라 다른 데다 각 업체들이 영업 기밀로 가격을 밝히기를 꺼리는 바, 본 연구에서는 반영치 못함.

□ 변전소의 고용 효과

- 대규모 변전소의 경우, 한국전기산업진흥회에 따르면 300~400MW 설비중 육지 변전소가 약 250억 원, 해상 변전소가 약 750~1천억 원에 이룸
  - 한국전기산업진흥회는 고용영향평가 가이드라인을 인용하여 변전소에 대해서 건설 단계에서 약 0.6명/억 원으로 고용 효과를 추계하고 있으므로, 이를 준용할 예정임.
  - 운용 단계에서의 고용 효과는 한국전력공사의 지역 본부의 총 고용 인원과 지역별 초고압 변전소 구축 현황을 이용하여 변전소 한 곳당 운영 인력을 추계하겠음.
  - 한국전력공사 경기지역본부의 경우 2019년 7월 기준 약 1천 780여 명이 근무 중이며, 해당 지역의 초고압 변전소는 동년 기준 100개가 운영 중이므로 변전소 한 개당 최대 1.78명의 인력이 필요하다고 간주할 수 있음.
- 변전소의 필요 숫자는 1GW당 한 개가 필요한 것으로 계산하되 버림하여 보수적으로 추계하고 추후 이에 기반하여 고용 효과를 추정하겠음.

## 2. 고용 효과 계산

### □ 고용 효과 추정을 위한 사전 계산

- 각 지점별 전년도 기후 조건에 근거한 연간 총 발전 예측량에 기반하여 다섯 지점의 연평균 발전량을 계산하였음.
  - <표 3-11>과 <표 3-13>에 근거하여, 3MW 설비의 경우 다섯 지점 평균하여 총 7.6GW가 발전되는 것으로 8MW 설비의 경우 총 4.8GW가 발전되는 것으로 간주
  - 따라서 변전소의 경우, 3MW 설비의 경우 총 7개, 8MW 설비의 경우 총 4개가 필요한 것으로 간주하겠음.
- 앞선 가정대로 두 설비 시나리오 모두 건설할 총 발전 설비의 규모는 8.2GW로 간주

### □ Tegen et al.(2015)에 근거한 고용 효과 추계

- 건설 단계에서의 고용 효과
  - 10년 동안 low 시나리오 상에서는 18.25명/MW, moderate 시나리오 상에서는 23명/MW, high 시나리오 상에서는 27.25명/MW로 계산되었음.
  - 따라서 총 8.2GW 단지에 대해서 low 시나리오에서는 연간 1만 4,965 (1.825\*8,200)명, moderate 시나리오에서는 18,860명, high 시나리오에서는 연간 2만 2,345명으로 추계됨.
- 운용 단계에서의 고용 효과
  - low 시나리오 상에서는 연간 0.7명/MW, moderate 시나리오 상에서는 1.2명/MW, high 시나리오 상에서는 1.7명/MW로 가정한다고 앞서 언급하였음.
  - 따라서 실제 총 발전 예측량인 7.6GW와 4.8GW에 대입하면 두 발전량 시나리오별로 고용 효과가 예측됨.
  - 7.6GW의 경우 low 시나리오에서는 연간 5천 320명, moderate 시나리오에서는 9천 120명, high 시나리오에서는 1만 2,920명의 고용

효과가 있을 것으로 추계됨.

- 4.8GW의 경우 low 시나리오에서는 연간 3천 360명, moderate 시나리오에서는 5천 760명, high 시나리오에서는 8천 160명의 고용 효과가 있을 것으로 추계됨.

□ Connolly(2020)에 근거한 고용 효과 추계

○ 건설 단계에서의 고용 효과

- 앞서와 유사하게 Connolly(2020)은 7년간 건설이 진행된 후 25년 동안 운용할 때의 고용량을 추계한 것이므로 기간으로 나누어야 연간 고용 효과가 추정 가능함.
- Myopic 시나리오 상에서는 2.4GW 단지에 대해서 7년간 약 1만 4,900명, Forward Looking 시나리오 상에서는 약 1만 5,300명, IO 시나리오 상에서는 약 2만 4,600명으로 계산되었음.
- 따라서 총 8.2GW 단지에 대해서 Myopic 시나리오에서는 연간 약 7천 270명( $8.2 \times 14,900 / (2.4 \times 7)$ )명, Forward Looking 시나리오에서는 약 7천 470명, IO 시나리오에서는 연간 약 1만 2천 명으로 추계됨.

○ 운용 단계에서의 고용 효과

- 앞서 건설 단계와 유사한 방법으로 계산하면, 7.6GW 조건 하에서는, Myopic 시나리오 상에서는 연간 8천 2백 명, Forward Looking 시나리오 상에서는 약 3천 770명, IO 시나리오 상에서는 약 4천 40명으로 계산되었음.
- 앞서 건설 단계와 유사한 방법으로 계산하면, 4.8GW 조건 하에서는, Myopic 시나리오 상에서는 연간 5천 180명, Forward Looking 시나리오 상에서는 약 2천 380명, IO 시나리오 상에서는 약 2천 550명으로 계산되었음.

○ IO 시나리오 상에서는 건설 단계의 고용 효과가 크게 나타난 반면 운용 단계의 일자리 창출은 높지 않은 반면, Myopic 시나리오에서는 건설 단계의 고용 창출은 가장 낮은 반면 운용 단계에서의 인력 수요 추정치는 가장 높은 것으로 나타났음.

- 이는 CGE 모형에서는 해상풍력산업의 진흥에 따라서 물가가 상승하

고 각종 원자재 가격이 올라가는 효과가 반영되어 있으나 산업연관 표 상에서는 생산 투입 요소의 가격이 일정하다고 가정하고 있기 때문임.

- 아울러, 고용 효과에 있어서 다른 한 가지 요소는 CGE 모형에서는 해상풍력에서의 인력 고용으로 인한 여타 노동 시장에서의 구축 효과가 있는 것으로 모형이 설계되어 있으며 노동력의 가격, 즉 임금도 상승한다고 되어 있으나, 산업연관표를 이용한 분석에서는 타 산업에서의 고용 구축 효과도 없으며 아울러 임금도 일정하다고 가정했기 때문임.

#### □ 변전 설비에서의 고용 효과

##### ○ 건설 단계에서의 고용 효과

- 변전 설비의 경우, 해상풍력 변전소는 750억~1,000억 정도의 가격이므로 중간치인 875억으로 계산함.
- 따라서  $875 \times 0.6 = 525$ 명이 건설 단계에서 창출되는 수요 인력임.
- 단, 해당 525명에는 상용직뿐만 아니라 임시·일용직까지 포함한 숫자이며, 상용직만을 대상으로 추계할 경우에는 이보다 낮다는 사실에 유의할 필요가 있음.
- 따라서 7개의 변전소를 건설할 경우 전체 3천 675명의 고용 창출 효과, 4개의 변전소를 설치할 경우 2천 백 명의 고용 창출 효과가 예상됨.

##### ○ 운용 단계에서의 고용 효과

- 변전소 하나당 최대 1.78명의 고용 효과가 발생하므로 7기를 건설할 경우 상용직 기준 연간 12.46명, 4기를 건설할 경우 7.12개의 일자리가 창출됨.

## 제5절 소 결

#### □ 해상풍력발전의 고용 효과에 대한 선행 연구

- 해상풍력발전이 대규모로 추진된 것이 최근이기 때문에 아직 많은 연구 결과가 축적되지 않은 상태임.
  - 다수의 연구가 육상풍력발전에 대한 고용 효과에 집중되어 있으며, 해상풍력에 대해서는 고용 효과를 추정한 연구들이 최근에 나타나고 있음.
  
- 해상풍력발전의 고용 효과 추계 방법
  - 고용계수 추정 방법
    - 특정 지역의 건설에 따른 고용 효과를 서베이를 통해 단계별로 측정 한 후 타 풍력발전단지에 대입
    - 서베이만 가능하다면 고용계수 측정이 용이하며, 고용 효과 추정 방법 역시 쉽게 계산 가능함.
    - 추정 결과에 있어 특정 지역의 특색이 반영될 가능성이 높아 일반화가 쉽지 않으며, 일자리의 질이나 가격 변동 및 시장 상황 변화 등을 반영하는 것이 불가능함.
    - 아울러, 규모의 경제를 고려하여 고용계수에 반영하는 것이 어려움.
  - 공급사슬 분석
    - 공급사슬별로 고용 창출 효과를 계산한 후 이에 기반하여 총 고용 창출량을 계산
    - 공급사슬 전체까지 모두 망라한 고용 효과 추정이 가능하며, 가격의 변화를 반영하는 것도 용이함.
    - 다수의 업체가 다양한 공급사슬 내에서 기업 활동을 영위하기 때문에 공급사슬별 특성 차이가 크지 않아 일반화가 용이
    - 하지만 각 공급사슬 단계를 모두 파악한 후, 각 단계별로 기업들의 비용 정보를 얻어야 하지만 현실적으로 쉽지 않으며, 공급사슬에 참여하지 않는 기업들이나 해외 부문에 대한 정보가 누락됨에 따른 편이가 발생할 수 있음.
  - 산업연관표 분석
    - 산업연관표를 이용하여 해당 표에서 제공하는 고용 유발 계수를 이용해 부가가치 창출액 및 고용 유발 규모를 추정

- 풍력발전과 관련되거나 영향을 주고받는 모든 산업으로 파급되는 영향을 포괄적으로 추정할 수 있으며, 다수의 선행 연구가 산업연관표를 활용하였기에 비교 분석이 가능함.
- 산업 평균치를 이용하여 추정하기 때문에 규모의 경제나 기술 발전이 반영되기 힘든 경우가 많음.
- 지역 단위 산업연관표를 활용하여 신안 지역의 고용 유발 효과를 측정하려는 경우, 최신 자료가 2015년이라서 정확한 추정이 어려우며, 지역 내에서 다수의 경제 활동이 이루어져야 한다는 가정이 필요하나 다양한 부품들이 여러 지역에서 생산되기 때문에 해당 성립하지 않음.
- 연산가능 일반균형모형
  - 거시 경제 전체의 동태적인 움직임을 고려한 분석이 가능
  - 자원 배분, 소득 분배, 국제 무역 등 거시 경제 전반과 주고받는 영향 모두를 고려할 수 있으며, 풍력발전 산업과 직접적으로 관련되지 않은 산업에서 발생하는 다양한 변화까지 고려 가능
  - 분석을 위해 필요한 SAM 데이터가 없는 경우가 많기 때문에 실질적으로 계산이 어려우며, 섹터 간 자유로운 자원 및 인력 이동이라는 강한 가정이 전제되어 있음.
- 기계학습을 이용한 풍력발전량 예측 결과 활용
  - 풍력발전 설비 건설 예정지의 발전량을 예측한 후, 발전량에 기초하여 선행 연구들의 고용계수를 이용해 고용 효과를 추계
  - 운용 관련 인력에 대한 고용 효과를 추계할 때 발전 규모가 아니라 실제와 근사한 예측 발전량을 사용하므로 정확성이 제고(提高)
  - 선행 연구에 근거하기 때문에 선행 연구에서 활용한 사례와 다른 경제나 지역에 적용하는 일반화 과정에서 부적합 문제가 발생할 수 있음.
- 예측 풍력 발전량에 근거한 고용 효과 추계 결과
- 풍력 발전량 예측 결과

- 발전 설비의 용량이 커질수록 발전량은 늘어나지만 수익 체감 현상이 발생하여 발전 용량의 차이만큼 발전량이 증가하지는 않음.
- 이는 최소 가동 풍속과 최대 가동 풍속의 영향이 큰 것으로 보임.
- 기후 조건이 좋다면 설비의 용량이 적더라도 총 발전량이 더 크게 나오며 따라 입지 조건이 기술이나 발전 설비보다 중요한 것으로 나타났다.

○ 고용 효과 추정 결과 1 - Tegen et al.(2015)

- 지역 산업연관표를 이용한 JEDI 모형에 기초하여 전후방 산업을 모두 고려하여 고용계수를 도출한 결과임.
- 각 시나리오별 차이는 초기에 산업 생태계에 얼마나 많이 투자하며, 산업의 성장성에 대한 불확실성이 얼마나 적느냐에 근거하고 있음.
- 건설 단계에서는 연간 최소 1만 오천 명 정도, 최대 2만 2,345명 정도의 일자리가 창출될 것으로 전망됨.
- 운용 단계에서는 전체 실제 발전 용량이 7.6GW인 경우 연간 최소 5천 320명, 최대 1만 2,920명의 고용 효과가 기대되며, 실제 발전 용량이 4.8GW인 경우에는 매년 최소 3천 360명, 최대 8천 160명의 고용 창출이 기대됨.

○ 고용 효과 추정 결과 2 - Connolly(2020)

- 산업연관표를 이용한 분석과 CGE를 이용한 분석을 병행하여 실시하였음.
- 산업연관표는 전후방 효과를 모두 고려한 고용 효과 추정치이며, CGE 모형을 이용한 결과는 구축 효과 및 가격 등의 변화에 따른 거시경제 전체의 영향을 반영한 결과임.
- 건설 단계에서는 CGE 모형을 이용한 계산에서는 대체로 연간 최소 칠천 명 정도, 산업연관표를 이용한 계산에서는 1만 2천 명 정도의 일자리가 창출될 것으로 전망됨.
- 운용 단계에서는 전체 실제 발전 용량이 7.6GW인 경우 CGE 모형에서는 약 3천 770명, 산업연관표를 이용한 모형에서는 8천 2백 명의 고용 효과가 기대되며, 실제 발전 용량이 4.8GW인 경우에는 각각 매년 2천 550명, 5천 180명 정도의 고용 창출이 기대됨.

- 이러한 차이는 CGD 모형에서는 산업 육성에 따른 노동시장에서의 구축 효과 및 원재료와 물가의 상승이 반영되어 있으나 산업연관표 상에서는 이러한 효과들이 반영되지 않음에 따라 경제적 효과와 고용 유발 계수가 더 크게 나타난 것 때문임.
- 고용 효과 추정 결과 3-유관 산업으로서의 변전 산업
  - 변전소 한 기당 약 525명의 연간 일자리가 창출되며, 운용 인력의 경우 한 기당 약 1.78명의 연간 운용 인력이 소요되는 것으로 나타났음.
- 고용 효과 추정 결과 종합
  - 신안 해상풍력발전단지는 정부가 일정 규모의 투자를 선행할 것이 보장된 사업이므로, Tegen et al.(2015) 모형의 low 시나리오에는 해당하지 않으며, 아울러 일시에 8.2GW 규모의 단지를 조성하는 것이 아닌 순차적 조성이기 때문에 high 시나리오를 가정하는 것은 과대 추정의 위험이 있어 moderate 시나리오의 고용 효과에 기반하여 계산하는 것이 합리적으로 보임.
  - 연산가능 일반균형 모형의 경우, 완전한 정보를 가정한 모형보다는 경제 주체들이 순차적인 해상풍력발전단지의 건설에 따라 적응적 기대를 형성한다는 가정이 합리적으로 보이기 때문에 Myopic 모형의 추계를 차용하는 것이 바람직한 것으로 보임.
  - 이에 근거하여 건설 단계의 고용 효과를 추정하자면, 산업연관표 분석에서는 약 1만 8,860명 정도, 연산가능 일반균형 모형의 경우 약 7천 270명 정도로 나타났음.
  - 운용 단계에서의 고용 효과는 3MW 설비를 기준으로 산업연관표 분석에서는 약 9천 120명, 연산가능 일반균형 모형에서는 약 8천 2백 명으로 수치가 비교적 근접하게 나타났음.
  - 건설 단계에서의 큰 고용 효과 차이는 가격 및 자원 배분에 대한 고려 여부에서 나타나는 것으로 보이기 때문에 대략 1만 명 정도로 보는 것이 타당해 보임.

# 해상풍력발전 산업의 인력관리와 개발

### 제1절 연구개요

- 본 장은 해상풍력발전 산업의 주요 사업체들의 인적자원관리와 개발 현황을 파악하여 해상풍력발전 산업의 발전을 위해서는 어떠한 인력관리 및 개발 이슈에 관심을 두어야 하는지 논의하고자 함.
  
- 조사대상
  - 해상풍력발전 산업 내 주요 이해관계자인 주요 설비 개발 및 제작 업체를 대상으로 하고자 함.
    - 해상풍력발전 산업은 단지 개발, 설비 개발 및 제작, 운영, 유지 보수 등을 기준으로 사업체들이 구성되는데, 연구는 이 중 핵심이라고 볼 수 있는 설비 개발 및 제작 업체들을 대상으로 함.
    - 해상풍력발전 산업에 장비와 기기 개발은 핵심임.
    - 해상풍력에 필요한 장비 개발과 제작, 설치, 유지보수, 운영 등의 기능은 장비를 개발하고 제작하는 업체에서 향후 모두 담당 가능하다는 점에서 장비 개발 & 제작 사업체는 해상풍력발전 산업에서 중요한 행위자라고 볼 수 있음.

- 주요 조사 내용
  - 인력수요 및 공급 현황
  - 주요 인력 공급 경로
  - 우리나라 관련 인력 인적 경쟁력(수준, 분야)
  - 향후 공급 필요 인력 및 역량
  - 채용 시 능력/분야 미스매칭 등 애로사항
  - 현 기업 내 인력 양성 방법 및 어려움
  - 사업 진행 애로사항
  - 기술 개발 어려움, 필요 인프라 및 정부지원 방안

## 제2절 산업의 인력육성 현황 및 한계

- 해상풍력발전 산업은 정밀한 설계기술을 가지고 높은 신뢰성을 확보하는 제품을 만들어야 하는 산업으로 고도의 기술집약적 산업 특성을 가짐.
- 이러한 산업의 특성에서 필요한 인력특성을 유추할 수 있는데, 관련한 기술인력과 기능인력 모두 타 산업과 비교하여 고역량을 필요로 하는 산업임.
- 해상풍력발전에 관련한 설비는 시스템 부품 간의 긴밀한 상호작용을 전제로 한다는 점에서 정밀한 설계기술과 엔지니어링 기술을 필요로 함.
- 동시에 사이트마다 고유의 특성이 있다는 점에서 사업 조건의 제한성, 임의성 등을 극복하기 위한 연구개발을 많이 필요로 하는 산업임.
- 또한 생산직의 경우로 설비를 통해 제품 제작이 된다는 점에서 단순기능공 구성으로만 생산이 가능하지 않음.
  - 전체 생산직의 상당 부분을 고속련 기능인력이 담당해야 할 가능

성 큼.

- 관련 인력을 육성하는 것은 해상풍력발전 산업에서 중요한 이슈이지만, 해상풍력발전 산업이 그린뉴딜과 관련하여 최근 다시 한 번 주목을 받게 되었다는 점에서, 산업 내 관련 인력육성도 최근에서야 관심을 가지기 시작하였다고 볼 수 있음.
- 지역을 중심으로 신재생 에너지 산업 육성 그리고 인력 육성 계획이 전개되고 있음.
- 서울산업대학교(에너지환경대학원), 아주대학교(에너지학과), 전북대학교(자원·에너지공학과), 동신대학교(친환경 수소에너지 교육), 한국해양대학교(해양에너지지원공학과), 울산대학교(조선해양공학부, 부유식해상풍력학과) 등이 학과를 통해 교육진행하고 있음.
- 최근에는 그린뉴딜의 핵심으로 해상풍력이 주목되면서, 지역의 주요 대학들이 지역과 연계하여 산업인력 육성을 계획하고 있음.
  - 목포해양대학은 부유식 해상풍력 지역 전문가 양성을 계획
  - UNIST는 울산시와 함께 부유식 해상풍력 관련 인재 양성을 위해 관련 교과과정을 개설하고 장학금, 인턴십을 제공
  - 군산대학교는 풍력기술연구센터를 중심으로 신재생 에너지 인력 양성을 전개
  - 제주대학교는 풍력공학부, 해양과학연구소 통하여 해상풍력발전기 유지보수, 해양토목, 해양학분야의 전문가 육성
  - 한동대학교는 부유식해상풍력발전연구소 신설하여 발전설비 국산화를 위한 인력양성 도모하고 있음.
  - 한국해양대학교 외국 에너지 공기업, 해상풍력 개발 전문업체와의 협약을 통한 해상풍력 분야 인재 양성
- 그러나 해상풍력발전 산업의 성장에 따라 다음과 같은 인력 문제가 제기되고 있음(인적자원개발위원회의 전기·에너지·자원 산업인력현황 보고서, 2020).

〈표 4-1〉 신재생 에너지 분야별 인력 연평균 증가율

(단위: %)

분야	2019~2029	2019~2024	2024~2029
태양광	5.3	7.3	3.3
풍력	14.2	14.0	14.5
수력	1.5	2.6	0.4
지열	2.6	4.3	1.0
바이오	1.2	2.2	0.2
폐기물	-0.02	0.8	-0.8
해양	1.7	2.9	0.5
연료전지	8.2	10.2	6.2
전 체	5.9	7.3	4.6

자료: 2020년 산업인력현황보고서 3권 에너지, 자원편, 2020 바탕으로 저자 가공.

- 신재생 에너지 분야별 인력 전망을 보면, 다른 분야와 비교하여 풍력이 향후 10년간 풍력 산업의 고용규모가 14.2%로 가장 높음(표 4-1 참조).
  - 대부분 분야에서 인력 증가율이 둔화될 것으로 전망되나, 풍력의 경우는 증가율이 높게 나타남.
  - 그리고 풍력의 경우 육상과 비교하여 현재는 해상풍력의 비중이 작으나, 해상풍력에 대한 수요가 증대되면서 해상풍력 부분의 인력 증가율이 두드러지게 상승할 가능성 있음.
    - \* 육상풍력발전 설비가 2010년 177GW에서 2019년 594GW로 연평균 14.4% 증가 대비, 해상풍력은 3GW에서 28GW로 연평균 28.1% 증가하여 성장세 두 배 가까이 됨(2020 신재생 에너지 백서, 2020).
- 분야별로 신규 인력 수요와 공급 차이를 보면, 해상풍력 산업이 필요한 인력규모는 증가하는 경향이 나타나지만, 실제 인력 공급이 원활하게 이루어지지 않아 문제가 생길 가능성 있음.
  - 분야별로 보면, 태양광은 2019년, 2024년, 2029년 모두 태양광 관련 인력의 공급이 가장 원활하지 않을 것이라고 볼 수 있지만 태양광은 신재생 에너지 중 타 분야와 비교하여 상대적으로 활발하게 사용되는 에너지 자원이라는 점에서 관련 업체도 많고 이러한 점에서 관련 인력 풀도 존재한다고 볼 수 있음.
  - 풍력 분야가 태양광 다음으로 인력 공급과 수요가 많은 분야로 나타나며, 태양광만큼은 아니지만 인력 공급차가 존재하고 더욱 주목할

것은, 태양광의 경우는 수급차가 줄어드는 경향을 보이지만, 풍력의 경우는 수급차가 계속해서 증가하는 경향을 보인다는 것임.

- 종합적으로 보면, 풍력발전 산업에서 필요한 인력을 구하지 못할 가능성이 존재하며, 특히, 향후 더욱 발전시킬 니즈가 있는 해상풍력발전 산업의 경우 육상과 비교하여 더욱 인력 수급에 어려움을 겪을 가능성이 존재한다고 볼 수 있음.

○ 해상풍력발전 산업에 국한된 이슈는 아니지만, 신재생 에너지 관련한 인력 수요 중 특히, 연구직과 기술직에 대한 수요 많음.

- 다양한 직무 중 연구직과 기술직의 증가율이 평균 6.0%이상이며, 타 직무와 비교하여 높음.
- 특히, 기술직에 대한 수요가 가장 많을 것이라고 볼 수 있음.
- 연구직의 경우 2019년 14.5%, 2024년 14.4%, 2029년 14.5%임.
- 기능직은 2019년 36.6%, 2024년 36.3%, 2029년 35.6%임. 운용 단계에서의 고용 효과는 3MW 설비를 기준으로 산업연관표 분석에서는 약 9천 120명, 연산가능 일반균형 모형에서는 약 8천 2백 명으로 수치가 비교적 근접하게 나타났음.
- 기술직은 2019년 25.2%, 2024년 26.4%, 2029년 27.6%임.
- 연구직, 기능직, 기술직의 인력 전망을 보면, 기술직의 경우 계속해서 필요한 인력 수가 증가하는 것을 알 수 있음.

〈표 4-2〉 신재생 에너지 분야별 신규 인력 수급차 전망

(단위: %)

분야	신규수요			수급차		
	2019~2029	2019~2024	2024~2029	2019~2029	2019~2024	2024~2029
태양광	3,543	3,177	1,708	-2,498	-2,308	-1,008
풍력	560	1,019	1,471	366	-249	-851
수력	33	16	18	80	79	58
지열	132	59	37	300	300	252
바이오	193	95	95	133	178	121
폐기물	78	25	14	658	589	480
해양	94	46	16	227	222	199
연료전지	993	965	785	-313	-399	-330
전 체	5,661	5,419	4,161	-945	-1,491	-1,001

자료: 2020년 산업인력현황보고서 3권 에너지, 자원편, 2020 바탕으로 저자 가공.

〈표 4-3〉 신재생 에너지 직무별 인력 연평균 증가율

(단위: %)

분야	2019~2029	2019~2024	2024~2029
연구직	6.0	7.2	4.8
기술직	6.9	8.3	5.6
기능직	5.6	7.1	4.3
서비스직	5.4	7.2	3.6
관리직	5.1	6.3	4.0
전 체	5.9	7.3	4.6

자료: 2020년 산업인력현황보고서 3권 에너지, 자원편, 2020 바탕으로 저자 가공.

〈표 4-4〉 신재생 에너지 직무별 신규인력 수급차 전망

(단위: %)

분야	신규수요			수급차		
	2019~2029	2019~2024	2024~2029	2019~2029	2019~2024	2024~2029
연구직	853	803	598	-272	-314	-207
기술직	1,682	1,531	1,196	-653	-660	-495
기능직	2,325	2,227	1,767	-247	-506	-379
서비스직	163	142	80	112	88	105
관리직	584	636	466	8	-139	-68
전 체	5,661	5,419	4,161	-945	-1,491	-1,001

자료: 2020년 산업인력현황보고서 3권 에너지, 자원편, 2020 바탕으로 저자 가공.

- 연구직과 기술직에 대한 수요가 많은 것으로 확인되지만, 향후 인력의 수급이 활발하게 이루어지지 않아 문제가 될 가능성 확인됨.
  - 직무별로 보았을 때, 기술직과 연구직의 인력 수급이 개선될 여지 보이지 않음.
  - 인력 수요량에서 보면, 해를 거듭할수록 필요한 신규 수요는 감소하지만, 수급 차는 여전히 존재하며, 기술직에서 특히 수급 차의 개선이 확인되지 않음.
- 정확하게 해상풍력발전 산업만을 의미하는 것은 아니지만, 신재생 에너지 중에서 풍력발전에 한정하여 연구개발직과 기술직의 부족 현황을 살펴보면, 특히, 기술직의 경우 인력부족 문제가 더욱 심하다고 볼 수 있음.
  - 연구개발직의 경우 10명 정도 인원이 부족하다면 기술직의 경우 58명 정도 부족한 것으로 보고되고 있음.

〈표 4-5〉 신재생 에너지 발전형태별 직무별 부족인원 현황(2020년 기준)

(단위: 명)

분야	인원수
연구직	10
기술직	58
사무관리직	0
전 체	68

자료: 2020년 신재생에너지산업 인력실태조사 보고서(2020) 바탕 저자가공.

〈표 4-6〉 신재생 에너지 발전형태별 직무별 미충원인원 현황(2020년 기준)

(단위: 명)

분야	인원수
연구직	2
기술직	53
사무관리직	0
전 체	55

자료: 2020년 신재생에너지산업 인력실태조사 보고서(2020) 바탕 저자가공.

- 추가적으로, 신재생 에너지 인력 부족률을 발전산업 내 주요 업종을 기준으로 구분하여 생산(제조), EPC(설계, 조달, 시공), 운영과 유지보수 각각의 인력부족률을 보면, 생산의 인력부족률이 가장 높은 것으로 나타남.
  - 2018년 말 기준 생산의 인력부족률은 3.2%, EPC 인력부족률은 3.1%, 그리고 운영과 유지보수의 인력부족률은 0.6%로 나타남.
  - 관련 장비와 설비를 생산하는 사업체의 인력부족률이 가장 심하다고 볼 수 있음.
- 신재생 에너지 분야의 인력이 부족한 이유를 특히, 인력부족률 개선 가능성이 커 보이지 않는 기술직과 연구직의 경우를 살펴보면, 사업체의 사업 확대로 인한 인력 수요의 증가(기술직 30.0%, 연구직 36.1%)가 가장 큰 이유인 것을 알 수 있으며, 해당 산업의 확장으로 인하여 필요한 인력규모를 시장이 따라 와주지 못하고 있는 것을 알 수 있음(전기·에너지·자원 산업인력현황 보고서, 2020).
  - 기술직의 경우 이 외 주요 이유로는 경기 변동에 따른 인력 수요 변동(22.1%), 직무수행을 위한 자질 및 근로조건에 맞는 인력 부족(19.5%)

등이 주요한 이유로 거론되고 있음.

- 연구직의 경우 경기 변동에 따른 인력 수요 변동(19.9%), 직무수행을 위한 자질 및 근로조건에 맞는 인력 부족(28.3%) 등이 주요한 이유로 거론되고 있음.
- 2020년 신재생 에너지산업 인력실태 조사 보고서(2020)에 따르면, 이와 유사한데, 기술직의 경우, 조직 내 관련 인력의 잦은 이직이나 퇴직(34.7%), 사업 확대로 인력의 수요 증가(20.1%), 그리고 직무수행 자질, 근로조건 맞는 인력 부족(20.1%)이 주요 이유로 제기됨.
- 연구직의 경우 경기 변동에 따른 인력수요 변동(31.2%), 잦은 이직이나 퇴직(26.9%), 직무수행 자질, 근로조건 맞는 인력부족(18.3%)이 주요 이유로 제기됨.
- 그리고 이어서 사업체들이 왜 관련 인력을 충원하지 못하는지 살펴보면, 연구직의 경우 현장투입이 가능한 숙련이나 경력을 갖춘 인력이 없어서라는 응답이 100%이며, 기술직의 경우 현장투입이 가능한 숙련이나 경력을 갖춘 인력이 없어서라는 응답이 46.7%이며, 다음으로 임금조건이 구직자의 기대와 맞지 않아서가 이유라는 응답이 53.3%로 나타남.
- 전체적으로 보면, 인력이 필요하지만 부족하고 이를 충원하지 못하는 이유는 인력규모와 인력의 질의 대응이 산업의 성장속도에 대응하고 있지 못하고 있기 때문임.

○ 풍력발전 산업의 사업체들은 경력직보다 신입직 근로자를 선호하는 경향을 보임.

- 풍력발전 산업의 구인인력 현황과 2021년 채용계획을 살펴보면, 사업체들은 2020년 경력직 74명, 신입직 147명으로 신입직 구인을 더욱 선호하는 것으로 나타남.
- 2020년 채용인력을 보면, 경력직은 75명으로 구인인력 대비 더 많은 채용을 한 것을 알 수 있지만, 신입직의 경우는 절반 정도인 91명밖에 채용을 하지 못한 것으로 나타남.
- 이러한 결과는 경력직과 비교하여 상대적으로 신입직 채용이 좀 더 어렵다는 것을 보여주는 것이라고 볼 수 있음.

〈표 4-7〉 신재생 에너지 발전형태별 구인인력 및 채용인력 현황

(단위: 명)

		규모
2020년 구인인력	경력	74
	신입	147
	전 체	221
2020년 채용인력	경력	75
	신입	91
	전 체	166

자료: 2020년 신재생에너지산업 인력실태조사 보고서(2020) 바탕 저자가공.

- 그리고 2020년 신재생에너지산업 인력실태조사 보고서(2020)에 따르면, 신재생 에너지 관련 사업체들은 기술직은 실무경험(80.5%)이 가장 중요하다고 보고 전공은 크게 중요하지 않게 보고 있으며, 연구개발직은 전공(45.9%)을 가장 중요하게 보고 그 다음으로 실무경험(39.8%)을 중요하게 보는 것으로 나타나 기술직의 구인난이 쉽게 해소될 것으로 보이지 않음.
- 그래서 사업체들은 이러한 인력 관리 어려움을 타개하기 위하여 정부가 관련 전문기술 인력을 양성하여 사업체에 보내주기를 바라는 것으로 나타나, 외부로부터 전문기술 인력을 제공받고 싶어하는 것을 알 수 있음.
  - 정부가 전문기술 인력 양성 후 사업체에 파견(32.1%)해 주기를 바라며, 또한 신재생 에너지 산업에 특화된 전문대학원을 육성(23.1%)해 주기를 바라는 것으로 나타남.

〈표 4-8〉 인력수급 관련 정부 지원 니즈

(단위: %)

항목	비중
신재생 에너지 산업에 특화된 특성화과 육성 지원	10.4
신재생 에너지 산업에 특화된 전문대학 육성 지원	0
신재생 에너지 산업에 특화된 전문대학원 육성 지원	23.1
인턴십/현장실습 등 산학간 인력교류 및 연계활동 지원	14.0
사업체 현장 교육, 훈련 지원	20.4
전문 기술인력 양성 후 사업체 파견	32.1

자료: 2020년 신재생에너지산업 인력실태조사 보고서(2020) 바탕 저자가공.

- 이상의 결과를 정리하여 다음과 같은 주요 문제점을 정의하고 이를 다음 절의 사업체 조사를 통해 확인할 필요 있음.
- 해상풍력발전 산업에 국한된 이야기는 아니지만, 해상풍력발전 산업도 그리고 신재생 에너지 산업도 초기 시작이라는 점에서 현재 신재생 에너지 산업의 문제가 해상풍력발전 산업이 가진 문제일 수 있으며, 해상풍력발전 사업체를 통해 상황을 확인할 필요 있음.
- 주요 이슈는 다음과 같음.
  - 해상풍력발전 산업의 확대에 인하여 필요한 인력 수요 규모 계속해서 증가할 가능성 있음.
  - 특히 연구개발직, 기술직에 대한 수요 많고, 사업체에서 관련 인력 확보에 어려움을 가질 가능성 확인됨.
  - 사업체들 인력 수급에 어려움 있는 동시에 자질 및 조건에 맞는 인력을 찾기 쉽지 않다고 보고 있음.
  - 그리고 이러한 이슈는 모든 직무에 해당할 수 있지만, 특히, 기술직과 연구개발직에서 더욱 심각한 이슈가 될 가능성이 있어 사업체를 통하여 구체적으로 어떠한 직무의 인력이 부족하고 왜 부족한지 알아볼 필요 있음.
  - 또한 수요 급증과는 별개로, 사업체에서 필요 인력을 제대로 확보하지 못하고 있고, 인력의 조직이탈이 나타나는 상황에서 사업체가 가진 근로조건이 근로자 유지에 매력적이지 않을 수 있다는 점에서 근로조건 살펴볼 필요 있음.
  - 그리고 사업체에서 신입, 경력직 채용 인원 차이가 크지 않고, 오히려 신입직 채용이 더 많은 것으로 나타나 이러한 채용이 이루어지는 이유, 그리고 이로 인한 효과 등을 확인할 필요 있음.
  - 대학교육이 현장에서 필요한 지식 및 기술 습득의 장으로 중요한 역할을 하고 있는지 확인 필요

## 제3절 기업 사례 조사를 통해 살펴본 산업의 인력 관리 현황

### 1. A기업

#### 가. 해상풍력발전 사업 현황

- A기업은 해상풍력발전기를 개발하고 제조하는 한국의 대표적인 설비 및 장비 제작업체임.
- A기업은 발전기를 생산하는 회사이지만 하나의 해상풍력발전단지에 대하여 단기개발부터 운영까지 모두 할 수 있는 역량을 가진 회사임.
- 그렇지만, 현재 A기업이 해상풍력발전단지에서 주로 하는 일은 풍력발전기를 제작하고 이를 유지(위탁받아 수행)하는 역할을 함.
  - 그래서 A기업을 발전기 제작자로만 보아도 됨.
- 국내 시장점유율은 국내 발전기의 45% 정도를 차지하고 있으며, 육상 해상을 모두 합쳐서 총 1.2기(2020년 기준)를 수주하였음.
- 국내 육상과 해상을 합쳐 풍력 실적은 총 107개 단지의 745개 발전기가 있어 1,663.215MW임.
- 이 중 A기업의 풍력 실적은 총 97개의 발전기를 공급하였고 339.5MW임.
  - 이 중 해상풍력발전에 해당하는 것은 탐라와 서남해의 실증단지의 130MW임.
  - 현재 제주 한림에 100MW 목표로 해상풍력발전단지 건설중 임.
- A기업은 풍력발전기 전체를 제작할 수 있는 역량을 가짐.
- 이 중 터빈은 A기업이 국내사에서 최초로 기술 개발한 부분으로 이는 A

기업의 해상풍력발전기 제작 관련 핵심 경쟁력임.

- 다른 국내 해상풍력발전기 제작 회사들은 터빈 관련 기술을 외국 해상풍력발전기 제작 회사로부터 사오고 있음.

○ 두산은 현재 A기업의 기술 수준을 글로벌 주요 회사인 지멘스나 베스타스 대비 60~70%로 평가하고 있음.

□ A기업이 해상풍력발전기 제작에서 두각을 나타낼 수 있는 이유는 기계적인 부분에 노하우를 가지고 있기 때문임.

○ A기업은 2005년부터 풍력사업에 착수하였고 당시부터 해상풍력을 타깃으로 제품을 개발하기 시작하였음.

○ A기업은 기존의 발전기 제조기술을 가지고 있고 동시에 플랜트도 제작한 경험이 있기 때문에 해상풍력발전기를 개발하고 제작하는 것에 큰 어려움은 없었음.

□ A기업은 20년 정도 늦게 출발하였지만 외국의 선두기업과 기술수준을 비교하여 약 3년으로 격차를 좁혔으며, 한국 지리적 특성에 맞는 제품을 개발하여 저풍속 조건에 맞는 제품을 개발하고 있음.

○ 외부에서 A기업에 대한 기술력 평가는 높다고 볼 수 있는데, 해상풍력발전기 국산화를 목표로 외국의 기술력을 구입하여 제품에 적용하는 것이 아닌 자체적으로 기술 개발을 하는 것이 가능하기 때문임.

#### 나. 인력 수요 및 육성 현황

□ 현재 전반적인 인력 수요에 대한 이슈를 가지고 있으며, 이 중 특히, 연구개발직과 기술직에 대한 수요가 상당히 높음.

○ 발전기 제작을 나누어 보면, 연구개발 - 설계 - 생산(조립)으로 구분할 수 있으며, 이 중 연구개발과 설계 관련 인력이 핵심임.

- 그리고 연구개발 인력이 특히 중요한데, 지역에 맞추어 개발을 달리 하기 때문임.

- 상대적으로 설계나 생산은 제품의 일부 항목이 차이가 나지만, 개발에서 양산으로의 설계는 제품마다 큰 차이는 없음.
- 사업이 계속해서 확장되고 있기 때문에 인력은 계속해서 필요하다고 보고 있으며, 매년 수시로 채용을 진행하지만 기업이 원하는 기술 수준을 가진 인력을 구하기 쉽지 않음.
- 해상풍력발전기 개발과 설계에 대한 인력을 다른 사업부에서 충당하고 있음.
- A기업 내부에서 화력, 발전사업 등에서 일하던 인력을 데려오고 있음.
  - 발전기 개발과 설계에 대한 이해가 기본적으로 있지만, 근본적으로는 해상풍력에 대한 이해가 없기 때문에 해상풍력이 무엇인지부터 이론 교육을 실시하고 있음.
- 이러한 주된 이유는 필요한 인력을 외부 노동시장에서 찾을 수 없기 때문임.
  - 2011년부터 해상풍력발전 산업이 본격적으로 주목받으면서 발전기 제조회사들이 열개 이상 생겨났고 이와 관련한 대학도 많고 인력 육성과 공급이 활기를 띠기 시작하였음.
  - 그러나 2015년 이후 민간개발사 위주의 시장이 되면서 해외사 발전기 제품을 선호하였고 국내회사들 시장에서 철수하기 시작하였고 이에 따라 노동시장도 활력을 잃음.
  - 지금 풍력사업체로 남아있는 회사는 A기업과 육상풍력 주력회사인 유니센 밖에 없다고 보면 됨.
  - 시장의 와해로 인하여 인력 양성이 이루어지지 않고 이와 연결되어 인력 배출이 이루어지지 않은 것임.
  - 해당 산업에는 약 10년 정도 현장 경험을 가진 인력들이 있었는데 해상풍력발전 산업이 침체되면서 관련 인력풀도 사라지게 되었고, 기존 인력을 다시 산업으로 불러 들이기도 쉽지 않은 구조임.
  - \* 산업 내 기술발달 속도가 굉장히 빠르기 때문에 기존 인력들이 이를 따라 잡기 어려움.

\* 결국 새로운 젊은 인력을 양성하여 외부 노동시장에 공급해주어야 함.

- 신입직도 계속해서 채용하고 있기는 하지만, 바로 실무에 투입하기 어려워 신입직 채용을 규모 있게 하지는 않음.
- 신입직 채용은 대학과의 MOU를 통해서 진행하고 있는데, 주로 인턴십 진행을 통해 채용하고 있음.
- 그러나 해상풍력 관련 일은 학과에서 관련 지식을 배우고 나온다고 해서 바로 할 수 있는 일이 아니어서 즉자성이 떨어져서 고민임.
  - 프로젝트를 진행할수록 실력이 상승하는 일임. 즉, 현장 경험이 매우 중요함.
- 신입직의 즉자성이 떨어지는 이유는 이들은 실제 제품을 필드에 적용하였을 때 발생할 수 있는 문제를 예상할 수 없으며, 이를 반영하여 제품을 개발하고 설계할 수 없음.
- 필요한 기술을 개발하고 제품을 설계하기 위해서는 사이트 경험이 있어야 함. 설치를 해봄으로써 문제를 찾는 경험을 해야 예상되는 문제를 미리 생각하여 문제가 발생하지 않게 제품을 만들고, 혹시 발생할 문제에 대한 대비책을 마련할 수 있음.
- 이러한 점에서 현재 해상풍력발전 산업의 시장이 크지 않은 상황은 인력 육성도 쉽지 않은 구조임.
  - 그래서 정부가 시범적으로 계속 사이트를 열어주고 업체들이 여기서 발전기를 설치하고 운영해봄으로써 어떠한 기술이 필요한지 알게 하고 동시에 관련 인력들을 훈련시킬 수 있게 해야 함.
- 현재 회사는 미래 인력 양성 관점에서 신입직 채용 규모는 꾸준히 유지하고 있음.
- 인력 양성은 사업체 내에서 자체적으로 시행하고 있으며, 교육과정은 이론교육과 실무교육으로 구성됨.
- 회사는 내부 교사(사내강사)를 두고 있으며, 신입직이 들어오면, 해상풍

력에 대한 이론교육을 시킴.

- 그리고 더욱 중요한 것은 현장 경험으로 현장에 투입되면 사수로부터 OJT를 받음.
  - 실제 주어진 일하기 위해서는 관련 분야 경력직 기준으로 3년 정도의 기간이 필요하다고 보며, 이는 필드 경험을 쌓는 시간임.
  - 그러나 대졸 신입직의 경우 필드를 잘 모르기 때문에 3년 이상 걸린다고 보고 있음.
- 신입직의 주요 전공은 기계전공자가 제일 많고 전기전공이 그 다음으로 많음.
- 현재는 회사가 자체적으로 인력을 육성하는 방법밖에 없다고 봄.
  - 기본적인 공학지식을 가지고 입사하기 때문에 해상풍력이 무엇인지 이해를 높이기 위한 교육이 필요하며, 제품 개발과 제작은 실제 일하면서 배우는 방법밖에 없음.

#### 다. 사업 어려움 및 지원 필요 사항

- 자국 제품의 개발을 통하여 얻을 수 있는 이점이 상당히 크다고 보는데, 특히, 신속한 유지보수 대처가 국내산 제품 사용의 강점 될 수 있음.
- 발전기는 신뢰성을 갖추는 것이 중요하지만, 운영을 하다보면 이슈들이 계속 생길 수밖에 없는데 한국 발전회사의 경우 빠른 대처가 가능함.
  - 이슈가 생기면 발전기 운영은 중단해야 하고 이러한 상황에서 해외 발전사의 경우 원격제어를 하기도 하지만 보통은 사이트에 방문하여 서비스를 하는데 시간이 상당히 오래걸린다는 것이 문제임.
  - 이러한 점에서 보면 운영 측면에서 국내산 발전기 사용이 상당히 유리한 부분이 있음.
- 또한 국내산 발전기의 경우 국내의 지리적 특성을 반영하여 제품개발하기 때문에 발전 효율성은 더 높게 확보할 수 있음.

- 외산의 경우 국내 지리적 특성과 조건에 맞게 제품을 개발해야 할 유인 크지 않음.
  - 왜냐하면 한국의 해상풍력발전 산업 시장 규모가 확대될 것이라고 보지만, 외국과 비교하여 크지 않기 때문임.
- A기업은 우리나라 지리적 특성에서 최대의 발전 효율을 도출할 수 있도록 블레이드(날개) 크기나 길이 등은 변형하거나, 발전기 용량을 최적화하는 등의 맞춤 개발을 하고 있음.
  
- 이와 같은 이유에서 국내산 발전기의 개발과 설계에 대한 지원하는 것이 사업체의 역량 개발뿐 아니라 결국 우리나라 해상풍력발전 산업의 발전을 도모할 수 있을 것으로 봄.
  
- A기업은 기술개발을 위해서는 사업경험이 매우 중요하다고 보고 있는데, 그래서 시장을 국가에서 의도적으로 확대시켜 주어야 한다고 봄.
  
- 해상풍력발전 투자비의 경우 육상풍력은 20~25억 원 수준이라면, 해상풍력은 50~60억 원 수준으로 약 두배 가까이 차이가 남.
- 이러한 점에서 회사의 보증역량, 신용도 매우 중요하게 작용하며, 회사의 신용도를 보는 기준은 기존 실적임.
- 실적이 낮기 때문에 글로벌 회사와 경쟁에서 밀릴 수밖에 없음.
- A기업은 국외 실적을 하나도 가지고 있지 않는데, 이는 해상풍력발전 사업에서 공급 실적을 우선적으로 보기 때문임.
- 결국 국내 실적이 있어야 국외 실적을 낼 수 있으며, 관련 기술 개발뿐 아니라 제작 실력도 상승할 수 있음.
  
- 앞서와 유사하게 발전기를 세우고 운영을 하는 경험에서 제품 개발과 설계 정교화가 이루어질 수 있기 때문에 사이트 지원 필요함.
  
- 해외의 경험을 보면, 최근 기술수준이 확연하게 상승한 중국이나 한국과 유사한 발전기 개발 역사를 가진 일본의 경우를 보면, 개발된 발전기가 자국에서 소화가 가능하며, 이를 통해 중국과 일본 회사들은 실적도

챙기고 기술 개발을 할 수 있음.

- 중국의 기술력이 상당히 빠르게 올라왔다는 평가를 받는데, 이는 중국에서 발전기 제조사들은 국가로부터 시범운영할 수 있는 실증 단지를 제공받고 있는데, 이러한 시범운영을 통해 기술력이 빠르게 상승한 것으로 보임.
- 반면 한국은 실증 단지 자체도 한정되어 있고, 업체가 실증 단지에 발전기를 공급하기 쉽지 않은 구조로, 결국 테스트 베드가 없기 때문에 기술 개발 어려움.
  - 기계와 전기는 많은 센서를 붙이고 데이터를 모으고, 이를 분석하는 것이 중요한데, 실제 경험이 없다보니 어떠한 내용이 중요한지 무엇을 분석해야 하는지 가려내고 분석하기가 어려움.
  - 유럽의 경우도 보면, 현재 유럽의 유명한 발전기 회사들 초기 시장이 없었을 때는 정부의 지원을 통해 시범운영 기회를 갖고 이를 통해 기술 개발하였음.
  - 이와 같이 국내의 해상풍력발전기 관련 기술력을 높이기 위해서는 정부에서 사이트 지원을 해야 함.
  - 그리고 다양한 특성의 사이트에 발전기를 설치하고 운영해봄으로써, 보다 한국에 맞는(바람이 약한) 적절한 기술을 개발하여 보다 발전효율을 높일 수 있을 것으로 기대함.

## 2. B기업

### 가. 해상풍력발전 사업 현황

- B기업은 해상풍력발전 관련하여 해저케이블을 생산, 시공, A/S하는 일괄공급 업체임.
- 2008년부터 해저케이블 비즈니스를 시작하였고, 이전에는 섬 간 전력연결이나 태양광 발전 분야에 해저케이블 사용함.
  - 국내에서는 제주도 풍력단지 사업에 참여하였고 섬과 유지 연결하는

작업함.

- B기업은 최근 제작에서부터 시공까지 할 수 있는 경쟁력을 갖추어 부가가치 상승을 도모하고 있음.
- 현재 해저케이블 매출 대부분이 해상풍력발전 산업에서 생기고 있으며, 주요 매출은 대만에서 발생하고 있음.
- 대만의 북서쪽 지역을 풍력단지 대단지로 만들고 있는데 여기에 케이블 전량 수주하였음.
- 이 외 네덜란드 미국 등에서 매출 발생함.
- B기업은 2008년 동해시에 국내 최초 해저케이블 공장을 세운 후, 2009년 양산을 시작으로 계속해서 해외 시장 수주를 성공시킴.
- 2011년 국내 최초 미국에 해저케이블을 수주하였고, 이어서 2013년 국내 최초 유럽에 해저케이블을 수주하였으며, 같은 해에 남미, 북미 등에 수주하였고 2017년 동남아에 초고압 해저케이블 수주함.
- 2017년에는 미국 첫 해상풍력발전단지에 해저케이블을 공급함.
- 2019년 현재 B기업의 주요 고객인 대만에 해저케이블을 수주하였고, 계속해서 대만에서 시장 장악력을 확대하고 있음.
- 이와 같이 B기업은 주로 외국 시장을 대상으로 매출을 올리고 있으며, 대만과 유럽 각국 해상풍력발전단지에 해저케이블을 공급하고 있음.
- B기업은 유럽과 미국을 대상으로 해저케이블 사업을 시작하였으며, 주요 경쟁사는 일본과 유럽의 주요 5개사(ABB, 엔케이티 등) 임.
- 유럽은 우리나라보다 상대적으로 일찍 관련 기술을 개발하여 기술수준이 크게 앞서갔었지만, 현재 B기업의 풍력 관련 제품의 기술수준이 주요 5개사 수준과 유사하다 볼 수 있음.
- 일본은 해상풍력발전에 대한 자체 시장이 있다는 점에서 기술개발은 우리나라와 비교하여 앞섰지만, B기업의 기술력이 많이 올라온 이 시점에서 일본과는 경쟁이 가능하다 생각됨.

- 미국이나 유럽에서 보았을 때 일본과 한국은 조건이 비슷하다고 볼 수 있는데 이유는 운송 비용이 유사하기 때문임.

□ LS전선 해저케이블의 주요 경쟁력은 끈김이 없는 케이블 생산기술에 있음.

○ 해저케이블 업체의 기술력은 전선의 길이인데, 즉, 필요한 만큼 전선을 길게 만드는 것이 경쟁력임.

- 전선에 이어붙인 곳이 없어야 데이터와 전력 손실 최소화되기 때문임.

○ 그리고 최근에는 제품 제작과 함께 시공을 할 수 있는 역량을 갖추고 해저케이블 생산, 시공, A/S를 일괄적으로 처리할 수 있어 부가가치를 높이고 있음.

#### 나. 인력 수요 및 육성 현황

□ LS전선은 직종을 연구개발, 기술직(엔지니어), 지원, 생산직으로 구분하였을 때 기술직 인력이 차지하는 비중이 크고, 관련 인력의 수요가 계속해서 증가하고 있음.

○ 생산현장을 보면, 설비베이스 생산과정으로 기술직의 역할 중요함.

- 설비가 제품의 품질을 결정하기 때문에 설비의 운영, 유지, 보수 중요함.

- 또한 이 외에 제품 설계 등 양산에 필요한 기술적 지원을 해줄 인력도 중요함.

○ 동해 1공장의 인력규모는 300~400명 정도 되며, 이 중 생산직은 약 200명 정도이고, 나머지가 기술직임.

□ 인력이 지속적으로 유출되어 유출되는 인력을 보완하기 위하여 인력수급이 필요하기도 하고 계속해서 사업이 확대되고 있기 때문에 필요한 인력 규모는 계속해서 커지고 있지만 여전히 인력 확보에 어려움 겪고 있음.

- 관련 생산직 그리고 기술직 인력을 지역 내 인재로 채용하기도 하였지만 결국은 인력 유지 어려움이 해소되지 않음.
  - 신입사원을 뽑으면 1~2년 경험하고 퇴사함.
  - 사업체 위치 영향이 큼.
  - 제2공장은 건설중인데 여기에 인력은 어떻게 공급할지 고민이 있음.
- 생산직도 물론 단순 기능공도 있지만, 전체 생산직 규모로 보았을 때 크지 않아 생산직의 근속을 통한 숙련도 향상도 매우 중요함.
  - 설비와 엔지니어링을 기본으로 하는 회사이다 보니 숙련을 요하는 일이 많음.
  - 현재는 생산직도 신입직을 뽑는 수밖에 없음.
  - 생산직으로 채워지다 보니, 구미 공장의 숙련이 높은 인력을 동해공장으로 데려와 생산 노하우를 전수하면서 육성하고 있음.
- 인력은 주로 신입직을 확보하고 있으며, 신입 기술직 확보는 대학교와 인턴십을 맺어서 해결하고 있으며, 동시에 매년 공채도 진행함.
- 대표적으로 강원대, 한동대 등과 인턴십을 맺고 있으며 매년 인력을 공급받고 있음.
  - 굉장히 적극적으로 활용하고 있는데 매년 10명 내외 인턴십을 시작하고 대부분의 경우 채용으로 이어짐.
  - 대학연계 인턴십은 3개월이고 그 후 정식발령함.
  - 공채의 경우 인턴십 1개월 후 정식발령함.
  - 교육과정은 동일한데, 신입 OJT커리큘럼으로 기본 개념 교육을 시키고, 그 후 개발과제를 만들어서 과제를 수행하게 하고 평가함.
- 전공은 다양함.
  - 전기, 화학, 기계, 전자, 전산 등 타 산업과 비교하여 다양한 인력들을 뽑고 있으며, 이유는 해상은 워낙 다양한 리스크가 있기 때문에 다양한 분야의 전문가들의 지식이 필요함.
- 그러나 현재 한국 대학에는 케이블을 전공으로 가르치는 학과가 없고 학부생을 비롯하여 석박사 인력을 구하기 어려움.

- 유럽에서 우리보다 기술력과 산업 역사가 오래된 국가들을 보면, 대표적으로 덴마크인데 케이블 전공이 있고 석박사 인력을 양성함.
- 석박사 인력이 연구인력으로 필요한데, 우리나라는 적절한 인력을 구하지 못하는 것이 현실임.
- 지금은 학부생이든 석박사 인력이든 기본적으로 전기 전공을 뽑고 케이블 관련 전문지식을 회사 내부에서 교육하는 방법밖에 없음.
- 경력직 확보가 매우 어려움
  - 관련 기술을 가진 인력을 국내에서 구할 곳이 없음.
  - 지중 케이블 쪽 경험을 가진 경력자를 이따금씩 채용하지만 주로 채용하는 인력은 아님.
- 인력 확보도 쉽지 않지만, 인력 유지가 더욱 어려움.
- 유입인력 근속기간 길지 않음.
- 보통 프로젝트가 1~2년 단위이고 긴 프로젝트는 3~4년 정도 되는데 이 프로젝트들을 하면서 엔지니어가 일을 배우는 것이고 다양한 프로젝트를 경험할수록 역량이 쌓이는 것임.
- 그런데 문제는 보통은 2~3건도 경험하지 못하고 퇴사하고 1, 2건 경험을 하는 것이 보통의 경우임. 그래서 내부에 역량이 쌓일 수가 없음.
- 퇴사하는 이유는 다양한데, 대표적으로 산업 유망도는 있지만 인력이 풍족하지 않기 때문에 엔지니어 일도 현장에서 하면서 연구개발도 병행해야 하는 구조에서 일이 많아 힘들어하고 또한 사업체의 지리적 위치로 인하여 결과적으로 자리 잡는데 어려워 함.
- 인력이 계속해서 사업체에 머물게 하기 위해서는 지역 활성화 정책이 함께 전개되어야 한다고 봄.
  - 사업체 자체적으로 해결할 수 있는 것은 많지 않음.
  - 임금 차등이나 복지 차등 등을 고려해보았으나 이것도 인력 유지에 크게 메리트가 작용하고 있지 않음.
  - 지역 내 생활 인프라가 없다보니 근로자들도 그리고 근로자들의 가족들도 머물 수 없음.

#### 다. 사업 어려움 및 지원 필요 사항

- 전력은 실적 위주 비즈니스라는 점에서 사업체의 경쟁력을 키우기 위해서는 국가 차원의 보조가 필요함.
- 전력은 고단가여서 사고가 생기면 영향력이 매우 크고, 그래서 실적을 매우 중요하게 봄.
- 한국은 현재 시장이 없으며, 이러한 구조에서 사업체들 실적을 가질 수도 없고 더 나아가 기술력을 가질 수 없음.
- 시장이 만들어지기 위해서는 유럽국가들이 그랬듯이 정부가 정부보조금을 통해 대규모 풍력단지를 만들고 기술을 시현해볼 수 있는 기회를 제공해야 함.
  - B기업은 국내 시장이 없기 때문에 유럽에 단가를 낮추어가면서 실적을 쌓기 시작하여 비즈니스를 시작함.

### 제4절 주요 결과 및 시사점

- 이상의 결과를 종합하여 보면, 앞서 살펴본 신재생 에너지 산업 내 인력 관리 이슈들이 사업체의 고충에서 드러나고 있다고 볼 수 있음.
- 신재생 에너지 산업의 인력 이슈이기는 하지만 해상풍력발전 산업에서도 확인되고 있음.
- 다음과 같은 이슈로 정리할 수 있음.
- 해상풍력발전 산업의 확대에 인하여 필요한 인력 수요 규모는 계속해서 증가할 수 있음.
  - 최근 산업에 대한 발전계획이 수립되고 실제 확장이 기대되면서 관련 분야의 인력들의 수요가 증가하고 있음.

- 발전에 필요한 기자재 공급이 핵심이고, 특히, 기자재 개발 및 제작 사업체들은 계속해서 인력수급 문제를 거론하고 있음.
- 발전과 관련한 기자재 공급 사업체들은 기자재 개발과 제작뿐 아니라 유지보수 그리고 발전단지 운영까지 가능하다는 점에서 해상풍력발전 산업의 중요한 이해관계자 중 하나임.
- 모든 직종의 인력 부족을 경험하고 있지만 특히, 연구직과 엔지니어에 해당하는 기술직에 대한 수요가 많은 것으로 확인되며, 인력 공급이 원활하게 이루어지지 않아 문제가 되고 있음.
  - 사업체들 전반적으로 인력을 찾을 수 있는 외부 노동시장의 부재를 지적하기도 하지만, 보다 중요한 것은 사업체가 원하는 기술 수준의 즉, 자질 및 조건에 맞는 인력을 찾는 것이 어려움.
  - 연구직은 해상풍력발전 사이트마다 조건이 다르기 때문에 특정한 조건을 고려하여 개발이 이루어져야 한다는 점에서 핵심적인 인력임.
  - 또 한편으로 기술직은 해상풍력발전 관련 기자재들이 고기술을 요하는 제품이라는 점에서 제작에 필요한 설계, 그리고 양산과정에서 발생하는 문제 등을 해결하는 중요한 인력임.
  - 인력의 공급이 원활하게 이루어지지 않는 이유는 관련 특정 기술을 가진 인력을 양성하는 학교들이 많지 않고, 현재 있지만 최근에 생긴 것들이라는 점에서 일반 전공 인력을 채용하여 해상풍력발전에 대하여 가르칠 수밖에 없는 실정임.
- 그리고 또 다른 문제는 인력들의 산업 이탈이 빈번하게 이루어진다는 것임.
  - 기술직의 경우, 발전 사이트 그리고 생산 사이트(인접 공장)에서 근무하고 이러한 사이트가 도시와 동떨어진 곳이라는 점에서 인력의 조직 이탈이 일어날 수밖에 없으며, 이를 현재 사업체들이 심각한 문제로 지적하고 있음.
  - 그러나 해상풍력발전 관련 사업체들의 경우 국내 제작뿐 아니라 해외 수출을 위하여 도시와 떨어진 곳에 공장을 지을 수 밖에 없음.
- 사업체들은 즉자성을 위하여 경력직을 선호하지만 외부 노동시장이 크지 않기 때문에 신입직 채용이 이루어지고 있음.

- 사업체들은 다른 산업과 유사하게 경력직을 선호함.
- 그러나 관련 경력직 인력을 외부에서 구하는 것이 어려워 신입직 채용을 진행함.
- 주로 대학들과의 MOU를 통해 인턴십을 진행하고 있으며 이를 채용과 연계하고 있음.
- 그러나 여전히 고민은 기본적인 공학지식을 가지고 있다 하더라도 해상풍력에 관한 지식을 다시 배워야 하고, 일 경험이 없기 때문에 업무를 맡겼을 때 쉽게 진행하지 못하는 한계 있음.
- 해상풍력발전 산업의 경력직 인력이 한정되어있기 때문에 신입직 인력이 중요한 역할을 수행할 수밖에 없음.

□ 이슈를 중심으로 시사점을 정리하면, 정부의 정책 과제는 다음과 같음.

- 산업의 확대로 관련 인력 수요가 계속해서 증가할 것이라는 점에서 노동력 공급을 위해 적극적인 외부 노동시장을 형성할 필요 있음.
  - 특히, 연구직과 기술직 인력의 공급이 시급하며, 관련 인력의 노동시장 형성 필요함.
  - 노동시장을 구성하는 인력은 크게 두 종류로 볼 수 있는데, 하나는 기존 발전 산업에 종사하던 인력이며, 다른 하나는 신재생 에너지 분야 특화로 새롭게 양성되는 신규 인력임.
  - 기존의 발전 산업 인력이 해상풍력발전 산업 등 신재생 에너지 발전 산업으로 전환될 가능성도 있으며 이는 A기업 사례에서도 보여주고 있음.
  - 그러나 일정 한계를 가질 수 있는 것으로 보이는데, 해상풍력발전 산업의 기술발전 속도가 빠르고 또한 고기술을 요한다는 점에서 기존 인력의 산업 전환이 원활하게 이루어지지 않을 수 있음.
  - 결국 교육기관의 역할이 더욱 중요해질 것이라고 봄.
  - 먼저, 기본적으로 신규인력의 공급을 위하여 대학에서 관련 학부나 전공을 통해 산업에 대한 이해가 높은 인력을 양성해야 함.
  - 그리고 풍력산업이라고 하여 모두 동일한 기술이 아니라는 점에서 신재생 에너지와 같은 일반적인 학과나 전공이 아닌 해상풍력발전 특화

과의 확대가 필요한 것으로 보임.

- 이를 통해 기본적으로 해상풍력발전 산업에 공급될 수 있는 노동시장이 만들어져야 함.
  - 또한 동시에 대학, 또는 외부 기술관련 교육기관을 통해 기존 발전 산업의 인력을 재교육시켜 신재생 에너지 산업 인력으로 전환해야 함.
  - 해상풍력발전 산업의 기술 수준이 높고 변화하는 속도가 빠르다는 점에서 어려움이 있을 수 있지만, 기본적으로 발전기라는 개념에서 보았을 때 그리고 현장 경험이 있다는 점에서 이론교육을 통하여 인력 전환이 가능하다고 볼 수 있음.
  - 사업체로부터 기술 수요를 조사하여, 대학이나 연구소에서 기술 교육 진행할 필요 있음.
- 또한 인력들의 이탈을 막기 위한 한 가지 방법으로 지역의 제반요건 점검이 필요함.
- 산업의 특성상 사업체의 위치가 한정적일 수밖에 없지만 이는 사업체가 유능한 인력을 확보하는데 한계로 작용하고 있음.
  - 임금이나 복지 등으로 해결되지 못하는 부분이 있기 때문에 사업체에서 관련 인력을 유지하는데 한계 가질 수밖에 없음.
  - 발전 산업의 사이트 유치는 지자체에서도 매우 중요한 이슈인데, 고용과 직결되기 때문임.
  - 현재는 사이트 유치를 통한 공장 신설, 그리고 지역의 노동력 공급이 주요 관심사임.
  - 그러나 해당 지역 내 노동력의 일자리 확보에서 더 나아가 외부 인력의 지역 정착화도 신경써야 하며 이는 결국 지역적 이득이 될 수 있음.  
\* 사이트의 유치로 인하여 관련 인력들의 지역 정착화가 이루어지는 것이 지역 입장에서도 기대할 수 있는 또 한 가지 효과임.
  - 이러한 점에서 관련 인력이 지역에 정착해 계속해서 해상풍력발전 산업의 인력으로 유지되기 위하여 제공해야할 생활 관련 인프라 확충에 대해서도 생각해 보아야 함.
- 해상풍력발전 산업의 발전을 위해서는 관련 업체들의 기술개발이 이루어져야 하는데 여기에는 정부의 시범 사이트 지원, 국내 사업체 유치 등

적극적인 지원이 필요함.

- 해상풍력발전 산업의 기술은 전통적으로 이루어지는 연구개발 방법으로 기술개발이 되기 어려움.
- 외부 기관을 통한 연구개발을 통한 기술 강조하지만 이는 이론을 통하여 이루어진다는 한계 가짐. 해상풍력발전 산업의 기술개발을 위해서는 문제해결(Problem-shooting) 경험이 있어야 하고 이를 통해 더욱 빠른 기술개발이 이루어질 수 있음.
- 지리적 특성에서 비롯된 여러 조건들이 반영되어 제품의 개발과 제작이 이루어진다는 점에서 다양한 지리적 특성을 이해하고 이를 적용해본 경험이 있어야 기술을 개발시킬 수 있음.
- 타 사업도 테스트베드와 같이 기술을 적용해볼 수 있는 기회가 주어지는 것이 기술발달의 속도를 높이는 중요한 경험으로 작용하지만, 해상풍력발전 산업은 사이트마다 기술의 변형이 이루어진다는 점에서 사업체가 가진 기술의 적용이 어렵다면 결국 기술의 발전을 기대하기 힘든 특성을 가짐.
- 이러한 점에서 결국, 우리나라가 해상풍력발전 산업과 관련한 기술을 가지기 위해서는 정부가 사업체에 시범 사이트를 제공해야 하며, 더 나아가 사이트 개발에서 국내 사업체들의 기술력을 믿고 사이트를 제공해야 함.
  - \* 시장이 있어야 기술이 발달할 수 있기 때문이며, 현재 높은 수준의 기술력을 가진 유럽의 대표적인 해상풍력발전기 사업체들도 모두 국가의 전폭적인 지원에서 성장해온 경로를 가지고 있음.
- 다양한 사업 경험으로 국내의 해상풍력발전 기술력이 발달할 수 있으며, 결국 이는 발전의 효율화를 달성하여 신재생 에너지로부터의 에너지 공급의 규모를 늘릴 수 있을 것임.

- 새로운 친환경 에너지원으로서 해상풍력발전 산업의 부상
- 친환경 에너지원으로서의 풍력발전의 장점
  - 변전 설비를 제외하면 전력 생산을 위한 별도의 추가적인 외부 전력 공급을 필요로 하지 않음.
  - 일단 발전이 시작되면 발전 효율은 여타 신재생 에너지원과 비교하였을 때 높은 편임.
- 육상풍력발전에서 해상풍력발전으로의 전환
  - 육상풍력과 비교하여 해상풍력은 민원 문제가 적게 발생
  - 상대적으로 입지 선택에서의 폭도 넓으며, 발전 효율 역시 육상과 비교하였을 때 평균적으로 높은 편임.
  - 반면 해상에 설치해야 하기 때문에 육상과 비교하여 설치에서의 난점이 존재
  - 아울러, 해상이라는 입지상의 제약으로 인해 근무 환경이 열악하여 인력 기피 문제가 발생
- 신산업으로서의 해상풍력발전
  - 정확한 고용 효과 추계를 위한 자료 구축 및 선행 연구의 축적이 미비한 편임.
  - 신산업이다보니 해상풍력 산업에 적합한 인재 공급이 현재까지 원활하지 않은 편임.

- 연구의 주요 결과는 다음과 같음.
- 기계학습을 이용한 해상풍력발전단지 전력 생산량 예측
  - 발전 용량이 커질수록 발전량은 증가
    - 동일한 기후, 기압, 풍향, 풍속에서는 일반적으로 발전 용량이 클수록 발전량이 커지는 것이 관찰됨.
    - 단, 최소 가동 풍속 이하의 풍속이나 최대 가동 풍속 이상의 풍속에서는 반드시 부합하는 것은 아님.
    - 하지만 발전 용량이 두 배 커진다고 해서 발전량이 두 배로 늘지는 않고 그보다 적게 늘어남.
  - 발전량에 있어 가장 중요한 요인은 기후 조건
    - 기후 조건을 과거 5년 평균하게 되면 극값이 사라지고 각 시간대별 기후 조건이 평균적인 값으로 수렴하여 온난하고 변동이 적은 기후 조건으로 변함.
    - 과거 5년 평균 기후 조건을 이용한 경우 발전 용량이 3MW인 발전기에서 생산될 것으로 예측되는 발전량이 1년 기후 조건을 이용한 8MW 발전기의 예상 발전량보다도 더 크게 나타났음.
    - 따라서 해상풍력발전에 있어서 가장 중요한 것은 입지 조건이며, 그 다음이 발전기 용량, 그리고 송배전 관련 설비인 것으로 보임.
- 고용 효과 추정
  - 직접 고용 효과
    - 8.2GW 신안 해상풍력발전단지를 조성할 경우, 건설 기간 동안 연간 약 1만~2만 개의 일자리 창출이 기대됨.
    - 운용 인력의 경우, 전체 8GW 설비에 근접한 연간 발전량 하에서 약 4천~8천 명 정도의 운용 인력이 필요할 것으로 전망됨.
  - 유관산업 파급 효과
    - 대규모 해상풍력발전단지를 건설할 경우 가장 직접적으로 고용이 유발되는 유관 산업은 송배전 산업임.

- 변전소를 1GW당 1기 건설한다는 보수적인 추계를 이용하여도 변전소 한 기당 건설 단계에서 약 525개의 일자리가 창출되며, 운용 인력은 변전소당 약 1.78개의 일자리가 발생할 것으로 전망됨.

□ 주요 기자재 공급 기업 사례조사를 통한 산업 육성 및 인적자원 관리 방안 파악

- 산업 내 인력의 수요와 공급의 불일치
  - 산업 확대에 의한 필요 인력 규모 계속하여 증가
  - 외부 노동시장의 인력이 존재하지 않아 기자재 기업들은 모든 직종에서 인력 부족 경험
  - \* 특히, 연구직, 기술직에 대한 수요를 외부노동시장에서 소화하지 못함.
- 산업 내 인력 이탈 경향 높음.
  - 사업체의 지리적 조건, 산업 확장의 불확실성으로 인하여 인재들의 산업이탈 심각
  - 이러한 점에서 사업체들 계속해서 채용을 진행하지만 신입직을 채용할 수밖에 없어 인재 활용성 떨어짐.

□ 이러한 결과를 바탕으로 다음과 같은 정책 제안함.

□ 해상풍력 산업 육성을 위한 발전 시설 부지 선정 정책

- 해상풍력 산업이 효율성을 가지기 위해서는 입지 선정이 무엇보다 중요함.
  - 해상풍력발전에서 입지 조건은 크게 발전 효율과 관련된 입지 조건과 사회경제적 입지 조건 두 요소로 나눌 수 있음.
  - 발전 효율과 관련된 입지 조건은 기상 조건을 꼽을 수 있음.
  - 사회경제적 입지 조건은 민원 문제, 어족 자원의 보호, 해로(海路)로부터의 적당한 거리 등이 있음.
  - 앞서 해상풍력 발전량을 예측한 결과에 따르면 발전 설비보다는 기상 조건이 발전 효율과 발전량에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났음

므로 풍력발전에 적합한 기후 조건을 갖춘 곳을 후보지로 설정한 후, 후보지들 중에서 사회경제적 입지 조건의 문제가 해결되거나 적은 곳으로 선정해야 할 필요가 있음.

- 선정된 입지 조건에서 최적의 효율을 낼 수 있는 발전 설비를 선정해야 함.
  - 풍속과 풍향이 일정하지만 전반적으로 낮은 풍속의 입지에서는 오히려 최소 가동 풍속이 낮은 저용량 풍력발전 타워가 고용량 풍속 발전 타워보다 더 효율적일 수 있음.
  - 반면 풍속이 빠른 곳에서는 상대적으로 발전 용량이 큰 타워를 건설하는 것이 풍속 자원 활용의 측면에서 효율적임.

□ 해상풍력 산업 육성을 위한 산업 정책

- 풍력발전 산업 육성 과정에서 부품산업 및 유관 산업의 수입대체화 추진
  - 국내 생산 부품 비율이나 발전 및 변전소 운영 시스템 등에 있어서 일정 수준 이상의 국산화율을 요구하여 수입 대체 효과를 추진
  - 그러나 국내 해상풍력발전 산업 규모가 협소하여 기업들이 소규모 단지 설비에 대해서는 국산화 추진에서 사업성을 찾지 못하는 경우가 많으므로, 이를 위해서 정부가 지속적으로 사업 추진을 하겠다는 의사를 명확히 함과 동시에 구체적인 산업 육성에 대한 로드맵도 제시할 필요가 있음.
- 송배전망과 변전 설비 등 유관 산업 분야까지 망라한 산업 생태계 구축까지 고려할 필요가 있음.
  - 신재생 에너지 산업은 단순히 에너지의 생산과 송전만이 아니라 변전과 전선 산업 등 다양한 유관 산업이 존재하므로 단순히 풍력발전단지의 건설만이 아니라 풍력발전 산업 전반에 대한 산업 생태계 조성까지 고려해야 함.
  - 산업 생태계를 조성하지 않을 경우, 발전 효율이 저해될 수도 있을 뿐만 아니라 수입 대체 효과도 줄어들 수 있음.
- 불안정한 에너지 생산에 대한 대책 마련이 필요

- 기계학습을 통해 예측한 발전량에서는 전 기간의 약 1/4에서 발전량이 0으로 나타났음.
- 신재생 에너지 산업의 특성은 전력 생산량을 인위적으로 조절하는 것이 불가능하며, 전력 생산량이 시간대별로 편차가 크다는 점이므로, 추후 신재생 에너지로의 대체 계획을 세울 때 전력 수급이 단기적으로 불안정해지는 경우를 대비한 단지 건설 및 전력 계획 수립이 필요

□ 산업 육성과 관련한 고용 과제의 핵심은 다음과 같음.

- 신산업 발전을 위한 노동력 육성 및 공급
  - 신산업 발전을 위해 어떻게 노동력을 공급할 것인가
    - \* 새로운 일자리에 주목한 새로운 노동공급
    - \* 기존 산업에서 신산업으로의 인력 전환
  - 새로운 노동력을 어떻게 육성할 것인가
    - \* 현장의 즉시 활용가능성을 높이는 인력 육성
- 해상풍력산업 내 인력 유지율 향상
  - 인력 이탈을 막아 산업 내 인재 성장 촉진

□ 정부 주도하에 ‘해상풍력발전 산업 인력양성 로드맵’ 수립을 통한 노동력 육성 필요

- 해상풍력발전 산업은 산업 발전 가능성이 크고, 현재 단지 계획이 계속해서 수립되고 있다는 점에서 산업의 확대가 긍정적으로 보이는 사업임.
- 산업의 확대에는 인력 공급이 적절하게 이루어져야 하지만, 현재는 절대적으로 인력풀이 적음.
  - 사업체에서 육성하여 인력을 활용하는 것을 통해 산업 발전 속도 따라갈 수 없음.
- 이러한 점에서 정부가 해상풍력발전 산업 특화 인력양성 로드맵 작성을 통해 인력 육성 주도하여 적극적인 공급자가 되어야 함.
  - 포함되는 내용은 기존 발전 산업 인력의 성공적인 전환과 해상풍력발

전 산업 특화 인력 육성임.

- 먼저, 노동시장은 기존 화력 및 원자력 발전 산업에 종사하던 인력들을 신재생 에너지 산업 인력으로 전환해야 함.
- 기존 산업의 인력을 신재생 에너지 산업 인력으로 전환하는 것은 쉽지 않지만 산업 전환에서 고용안전망 차원에서라도 기존 인력을 신재생 에너지에 투입하려는 노력은 필요하며, 이를 위해 신재생 에너지 교육기관의 역할 중요
  - 신재생 에너지 기본 개념부터 학습하게 해야 하는데, 이를 위해서 대학과 사업체와의 연계를 통해 화력 및 원자력 인력들이 신재생 에너지에 대한 이해를 높이고 관련 기자재 개발 및 제작이 가능한 기술을 습득할 수 있도록 교육훈련 필요함.
- 더욱 중요한 것은 신재생 에너지 특화된 새로운 인력을 양성하는 것으로 주요 대학에 해상풍력발전 교육을 특화한 학과 확대 필요
  - 신재생 에너지 산업은 완전히 다른 구조를 가진 산업이기에 해상풍력발전에서 요구하는 인력은 특정한 기술을 고도의 수준에서 다룰 수 있어야 하지만 현재 이러한 인력이 공급이 매우 부족한 현실
  - 해상풍력발전 산업에서 두각을 나타내는 국가들의 경우 해상풍력발전산업 특화 학과가 존재하고, 대학으로부터의 인력공급을 긍정적으로 평가함.
  - 특히 연구직 및 엔지니어를 포함한 기술직에서 이러한 불일치 문제가 심각한데, 이는 해상풍력발전 산업이 요구하는 인력의 기술 수준이 높기 때문에 발생
  - 현재 한국은 기계, 전기, 전자 등 기본 학문을 습득한 인력을 사업체에서 다시 해상풍력발전에 대한 이론 및 기술 교육을 하고 있음.
  - 해상풍력발전 관련 기술은 다른 발전 산업보다 기술 수준이 높고 다양한 기술이 융합된다는 점에서 대학에서부터 특화된 교육이 필요함.
  - 현재 체제는 인력 활용의 즉자성이 떨어지며, 무엇보다 현재 관련 기술 개발이 시급하다는 점에서 역부족임.
  - 지역의 몇몇 대학들을 중심으로 해상풍력발전 인력을 육성하고 있지만, 대학의 수를 확대하고 정규교육과정을 신설할 필요 있음.

- \* 대학 내 연구소 또는 연구센터 중심으로 인력을 양성하고 있지만, 특히, 대학 학과과정에 해상풍력학과 신설을 확대하여 학사인력부터 특화하여 양성하는 것 필요
- 기대효과는 첫째, 해상풍력발전 산업에 필요한 인력을 공급하는 것이고, 둘째, 장기적으로 신재생 에너지 산업 전반에 필요한 인력을 공급할 수 있을 것으로 기대함.
  - 해상풍력발전 산업 내 기술은 타 신재생 에너지 보다 높은 기술수준을 요함.
    - \* 화력발전산업 내 인력을 해상풍력발전 산업 내 인력으로 전환하는 것은 쉽지 않음.
  - 그리고 신재생 에너지 간의 기술 특성은 공유될 수 있음.
    - \* 육상풍력발전 기술과 해상풍력발전 기술의 차이는 존재하지만, 육상풍력발전 개발 경험을 가지고 해상풍력발전 개발 가능함.
  - 즉, 신재생 에너지 간의 공유 가능성 기술 및 인력 특성은 존재함.
  - 태양광 산업의 육성이 장기적으로 여타 신재생 에너지 산업에서의 인력으로 노동시장에서 활용 가능하며, 마찬가지로 해상풍력발전 산업의 육성을 통한 인재 양성은 전체 신재생 에너지 산업에서의 연구/기술 인력을 공급하는 역할을 할 수 있음.
  - 현재 두각을 보이는 신재생 에너지원은 태양광과 해상풍력이므로, 이들 산업에서의 적극적인 인재 육성은 장기적으로 신재생 에너지 산업 전반에서의 초과 인력 수요를 채우는데 도움이 될 것으로 보임.
- 해상풍력발전 산업 내 양질의 일자리를 만들어 인력유지율 향상 필요
- 해상풍력발전 산업에서 부가가치를 발생하는 기자재 개발 및 생산 그리고 발전단지 운영 및 유지 인력은 불가피하게 지역에 위치할 수밖에 없음.
- 이는 산업 내 인력 이탈을 발생시키고 있는데, 두 가지 방법으로 해결 가능할 것으로 보임.
- 정부는 적극적으로 산업의 발전 가능성을 제시해야 함.
  - 해상풍력발전단지 육성에 관한 계획을 발표하면서 정부는 해상풍력

발전 산업을 육성하겠다는 의지를 보이고 있지만, 사업 추진이 더디다는 점에서 확실한 시그널로 보이지 않음.

- 이는 산업 내 인력들에게 불안 요인으로 작용한다는 점에서 확실한 사업의 발표와 사업 시행에 대한 정부의 의지 요구됨.
- 기술 실증 단지 중심으로 국내에 기술 축적의 공간과 기회를 적극 제공함과 동시에 유럽 및 동남아 시장으로의 진출과 수출 개척을 할 수 있는 여건을 조성할 필요 있음.
  - \* 특히, 해상풍력발전에 적합한 여건을 갖춘 동남아 시장의 개척을 통해 규모의 경제를 달성하기 위해서는 초창기 기업의 과감한 투자가 필요하며, 이러한 투자 여건의 조성을 위한 정부의 뒷받침은 무엇이 가능한지에 대한 검토도 있다면 좋을 것임.

- 노동력을 확보하기 위해서는 지역 내 정주여건 마련이 수반되어야 함.
  - 전반적으로 거주 환경이 개선되어야 하는 것으로, 교육, 여가 등을 즐길 수 있는 지역으로 전환 필요
  - 양질의 일자리 마련이라는 아젠다를 통해 고용노동부는 다양한 관련 부처와의 연계를 통하여 지역 내 양질의 일자리 유지 조건을 형성해야 함.
  - 지역을 중심으로 하는 일자리 사업과의 연계를 통해 일자리를 만들고 이를 유지할 수 있는 지역 환경을 개선하는 사업의 수행도 동시에 필요함.

## 참고문헌

---

- 방형준(2020), 『기계학습을 이용한 노동시장 예측모형 탐색』, 한국노동연구원.
- 전기에너지지원산업 인적자원개발위원회(2020), 『전기에너지지원 산업인력현황 보고서』, 3권 에너지, 자원, 고용노동부.
- 한국신재생 에너지협회(2020), 『2020년 신재생 에너지 인력실태조사 결과보고서』, 한국신재생 에너지협회.
- Breitschopf B., C. Nathani, G. Resch(2011), “Review of approaches for employment impact assessment of renewable energy deployment. Economic and industrial development(EID)-EMPLOY”, Final report.
- Connolly K.(2020), “The regional economic impacts of offshore wind energy developments in Scotland, Renewable Energy 160, pp. 148~159.
- Costanti M.(2004), “Quantifying the economic development impacts of wind power in six rural Montana counties using NREL's JEDI model” Golden, CO : NREL.
- Electric Power Research Institute(EPRI) and California Energy Commission (CEC)(2001), “California Renewable Technology Market and Benefits Assessment”. EPRI 100119, Palo Alto, CA and Sacramento, CA.
- European Wind Energy Association(EWEA)(2009), Wind at Work : Wind Energy and Job Creation in the EU.
- Heavner, Brad and Churchill, Susannah(2002), “Renewables Work : Job Growth from Renewable Energy Development in California”, Sacramento, CA, CALPIRG Charitable Trust.
- Jenniches, Simon(2018), “Assessing the regional economic impacts of renewable energy sources – A literature review”. *Renewable and*

*Sustainable Energy Reviews* 93, pp.35~51.

Lantz E., S. Tegen(2008), "Economic benefits, Carbon Dioxide CO2 emissions reductions, and water conservation benefits from 1,000MW MW of new wind power in Arizona". Golden, CO : NREL.

\_\_\_\_\_(2008), "Economic benefits, Carbon Dioxide CO2 emissions reductions", and water conservation benefits from 1,000MW MW of new wind power in Idaho. Golden, CO : NREL

\_\_\_\_\_(2008), "Economic benefits, Carbon Dioxide CO2 emissions reductions, and water conservation benefits from 1,000MW MW of new wind power in Indiana. Golden, CO : NREL; 2008.

\_\_\_\_\_(2008), "Economic benefits, Carbon Dioxide CO2 emissions reductions, and water conservation benefits from 1,000MW MW of new wind power in Maine". Golden, CO : NREL; 2008.

\_\_\_\_\_(2008), "Economic benefits, Carbon Dioxide CO2 emissions reductions, and water conservation benefits from 1,000MW MW of new wind power in Montana", Golden, CO : NREL; 2008.

\_\_\_\_\_(2008), "Economic benefits, Carbon Dioxide CO2 emissions reductions, and water conservation benefits from 1,000MW MW of new wind power in New Mexico", Golden, CO : NREL; 2008.

\_\_\_\_\_(2008), "Economic benefits, Carbon Dioxide CO2 emissions reductions, and water conservation benefits from 1,000MW MW of new wind power in Nevada". Golden, CO NREL; 2008.

\_\_\_\_\_(2008), "Economic benefits, Carbon Dioxide CO2 emissions reductions, and water conservation benefits from 1,000MW MW of new wind power in Pennsylvania". Golden, CO NREL; 2008.

\_\_\_\_\_(2008), "Economic benefits, Carbon Dioxide CO2 emissions reductions, and water conservation benefits from 1,000MW MW of new wind power in South Dakota". Golden, CO : NREL; 2008.

\_\_\_\_\_(2008), "Economic benefits, Carbon Dioxide CO2 emissions reductions, and water conservation benefits from 1,000MW MW of new

- wind power in Utah”. Golden, CO : NREL; 2008.
- \_\_\_\_\_ (2008), “Economic benefits, Carbon Dioxide CO2 emissions reductions, and water conservation benefits from 1,000MW MW of new wind power in West Virginia”. Golden, CO : NREL; 2008.
- \_\_\_\_\_ (2008), “Economic benefits, Carbon Dioxide CO2 emissions reductions, and water conservation benefits from 1,000MW MW of new wind power in Wisconsin”. Golden, CO : NREL; 2008.
- \_\_\_\_\_ (2008), “Economic benefits, Carbon Dioxide CO2 emissions reductions, and water conservation benefits from 1,000MW MW of new wind power in North Carolina”. Golden, CO: NREL; 2008.
- \_\_\_\_\_ (2008), “Economic benefits, Carbon Dioxide CO2 emissions reductions, and water conservation benefits from 1,000MW MW of new wind power in Tennessee”. Golden, CO: NREL; 2008.
- \_\_\_\_\_ (2008), “Economic benefits, Carbon Dioxide CO2 emissions reductions, and water conservation benefits from 1,000MW MW of new wind power in Massachusetts”. Golden, CO: NREL; 2008.
- McKinsey Consulting(2006), Wind, Oil and Gas : The Potential of Wind.
- Moreno B, AJ. Lopez(2008), “The effect of renewable energy on employment. The case of Asturias Spain”. Renewable and Sustainable Energy Reviews 12, pp.732~751.
- Simas M, S. Pacca(2014), "Assessing employment in renewable energy technologies : A case study for wind power in Brazil". Renewable and Sustainable Energy Reviews 31, pp.83~90.
- Singh V., J. Fehrs(2001), “The work that goes into renewable energy”. REPP Research Report No. 13. REPP.
- Slattery MC, Lantz E, BL. Johnson(2011), “State and local economic impacts from wind energy projects : texas case study”. Energy Policy 39, pp.7930~7940.
- Sterzinger, George(2006), “Jobs and Renewable Energy Project”, Renewable Energy Policy Project (REPP).
- Tegen S, D. Keyser, Flores-Espino, J. Miles, D. Zammit and D. Loomis

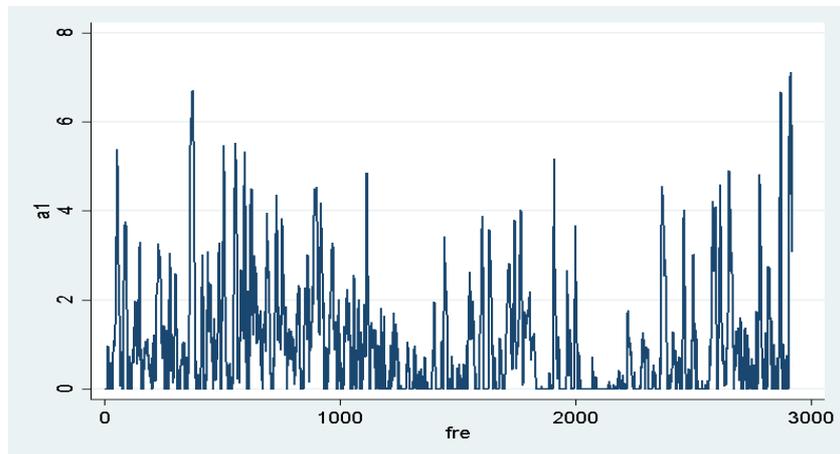
(2015), "Offshore Wind Jobs and Economic Development Impacts in the US: Four regional Scenarios". Technical Report NREL/TP-5000-61315, NREL.

Wei M, S. Patadia and DM. Kammen(2010), Putting renewables and energy efficiency to work: How many jobs can the clean energy industry generate in the US? Energy Policy 38, pp.919~931.

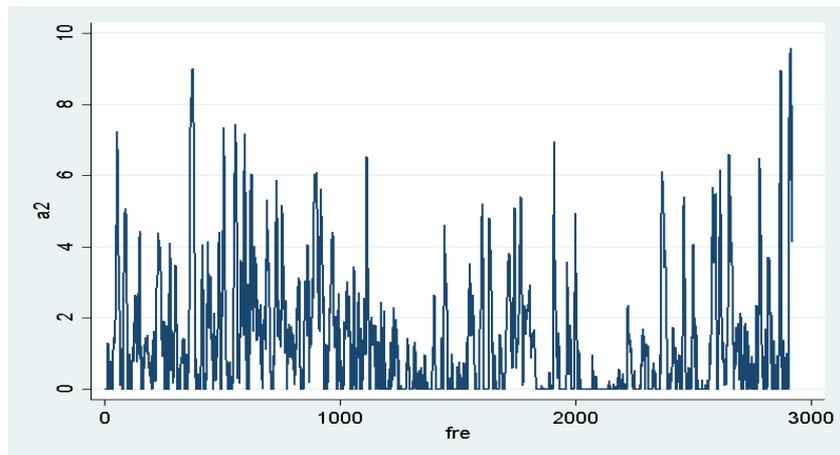
[부 도]

각 지점별, 기후 조건별, 발전설비별 발전량 예측 결과

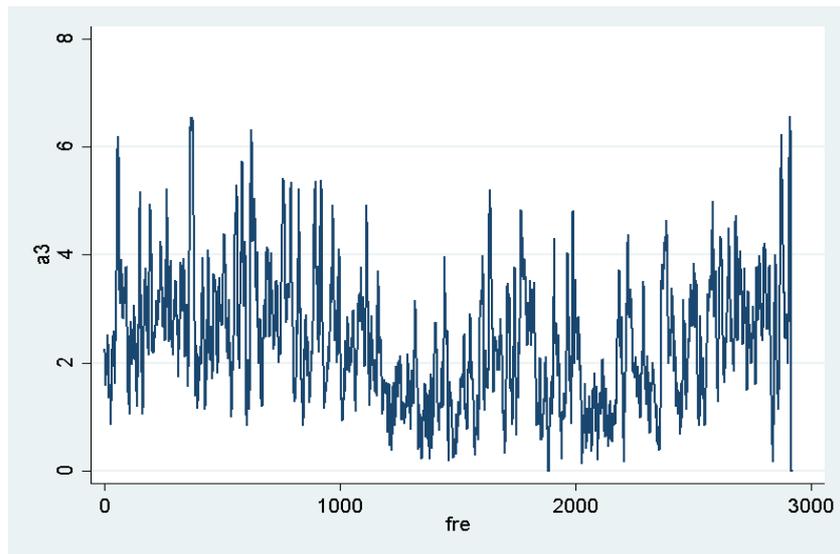
1. 지점 1, 전년도 기후 조건, 3MW 설비



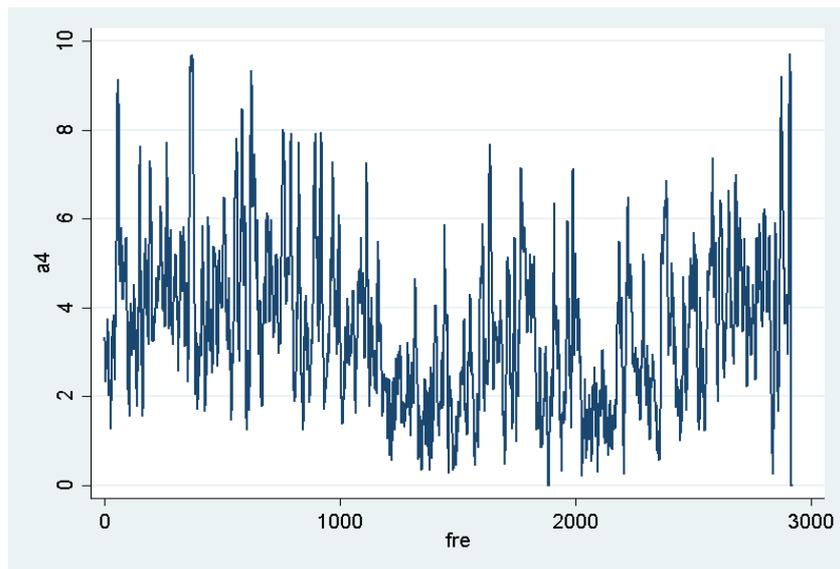
2. 지점 1, 전년도 기후 조건, 8MW 설비



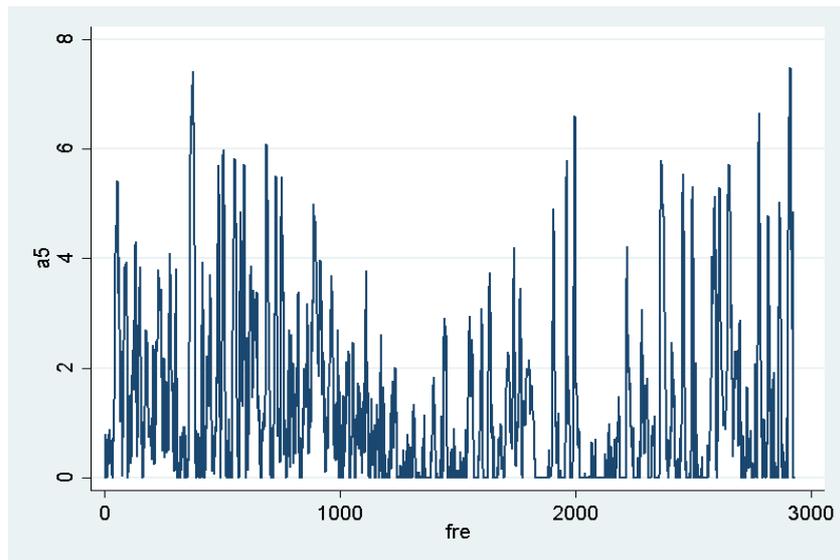
3. 지점 1, 5년 평균 기후 조건, 3MW 설비



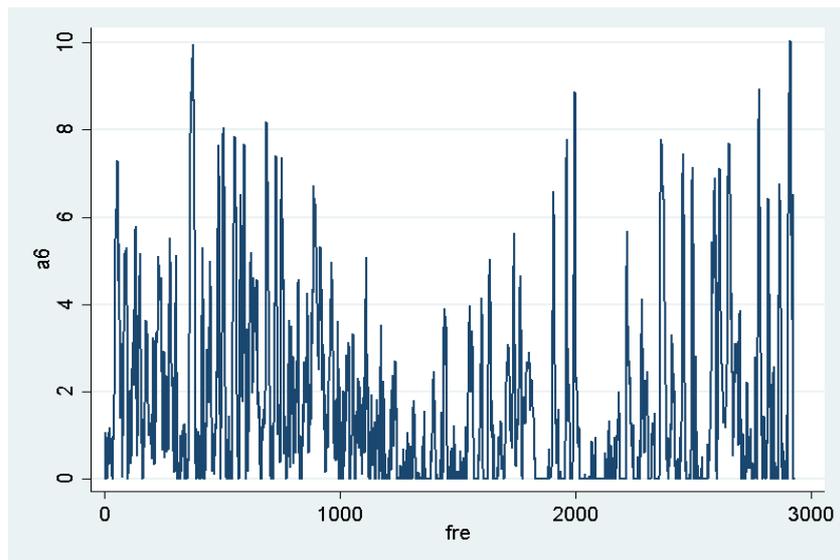
4. 지점 1, 5년 평균 기후 조건, 8MW 설비



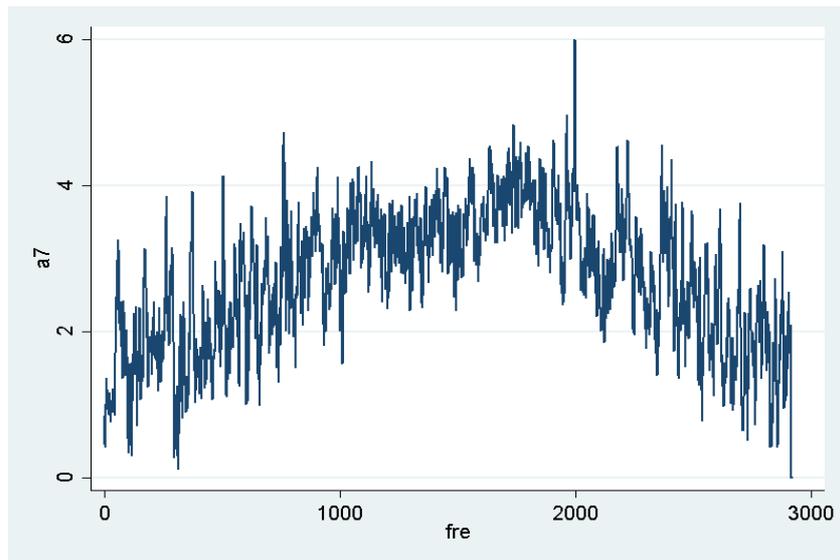
5. 지점 2, 전년도 기후 조건, 3MW 설비



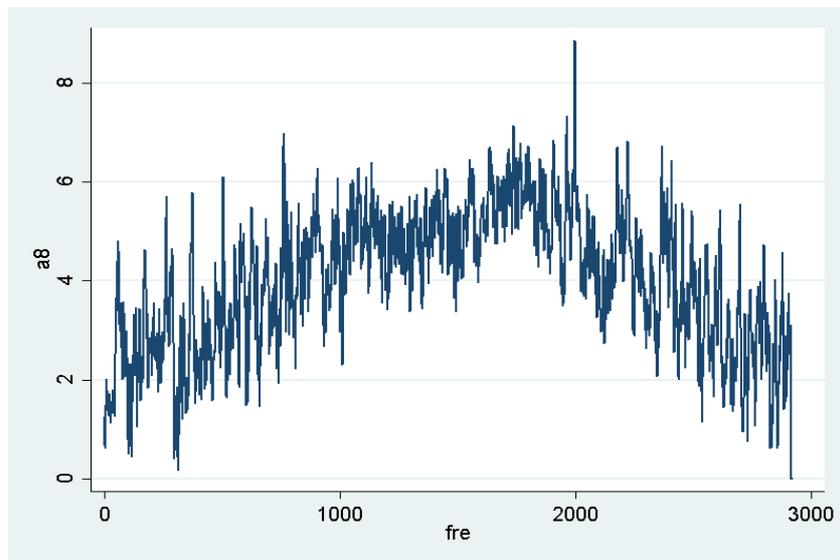
6. 지점 2, 전년도 기후 조건, 8MW 설비



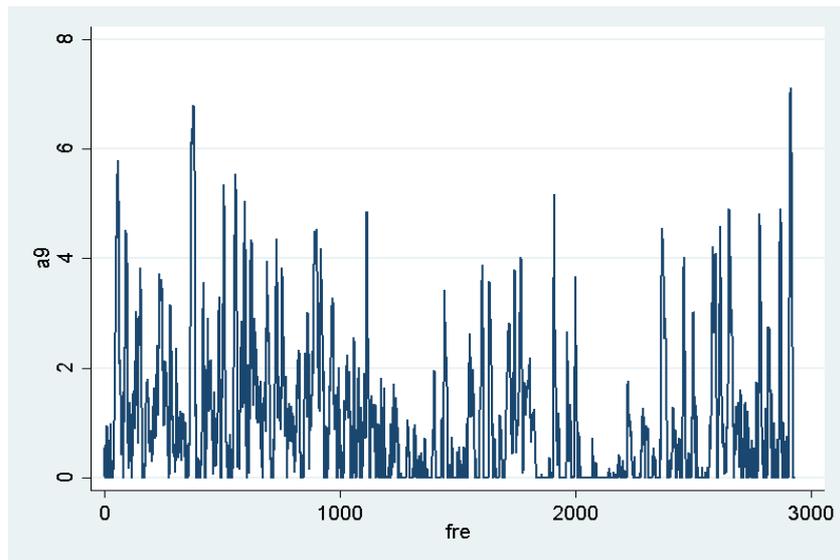
7. 지점 2, 5년 평균 기후 조건, 3MW 설비



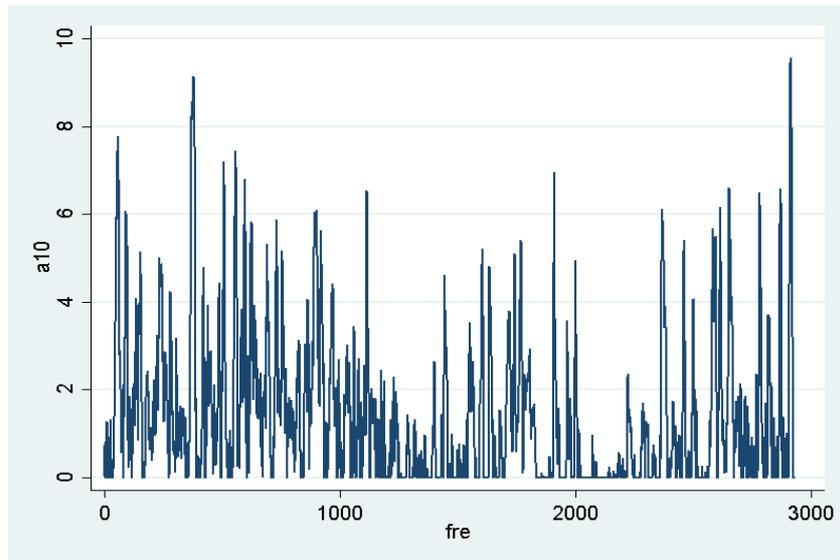
8. 지점 2, 5년 평균 기후 조건, 8MW 설비



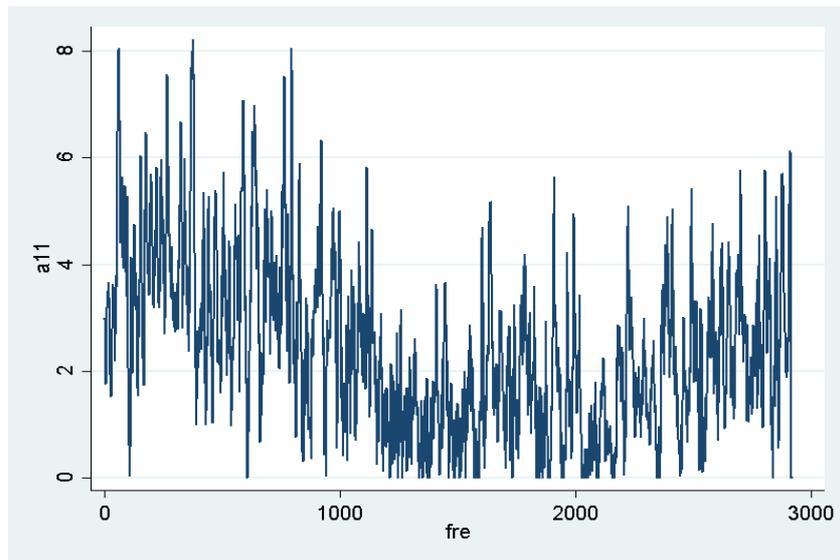
9. 지점 3, 전년도 기후 조건, 3MW 설비



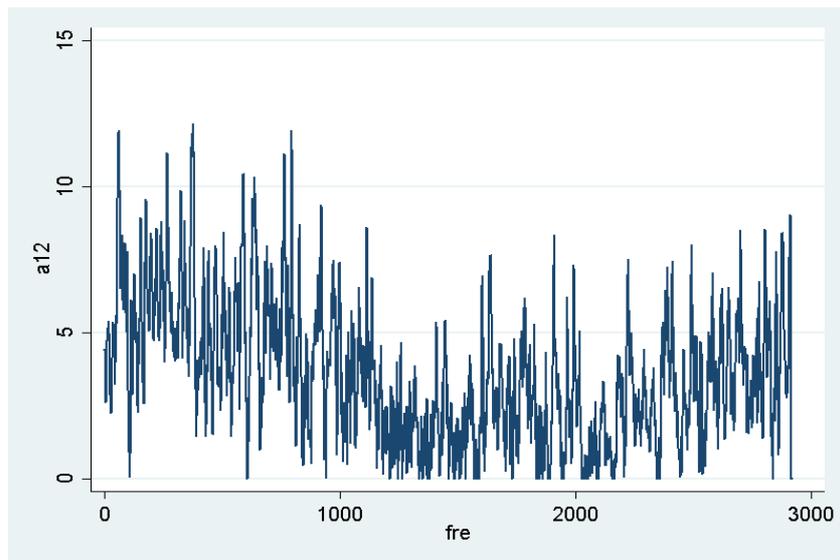
10. 지점 3, 전년도 기후 조건, 8MW 설비



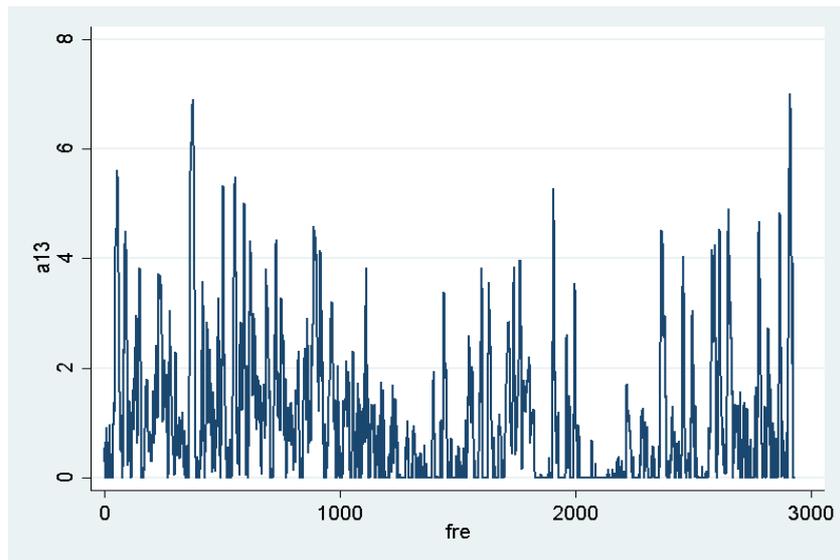
11. 지점 3, 5년 평균 기후 조건, 3MW 설비



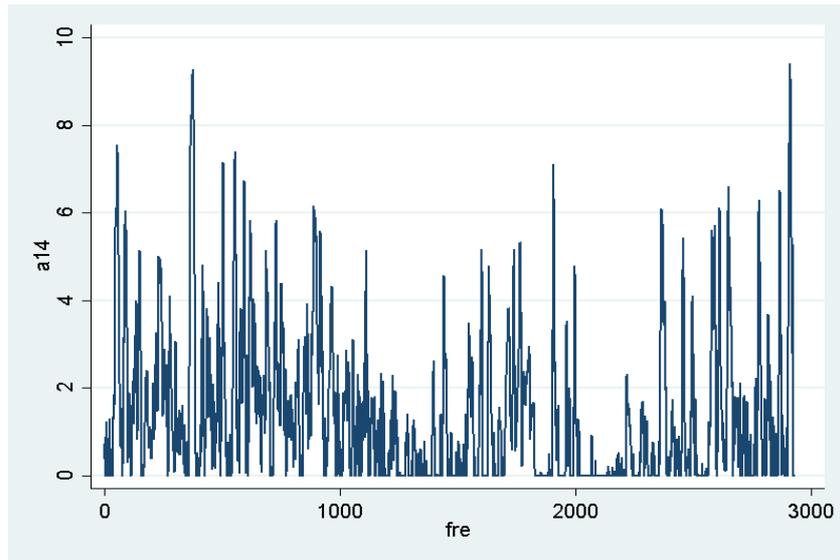
12. 지점 3, 5년 평균 기후 조건, 8MW 설비



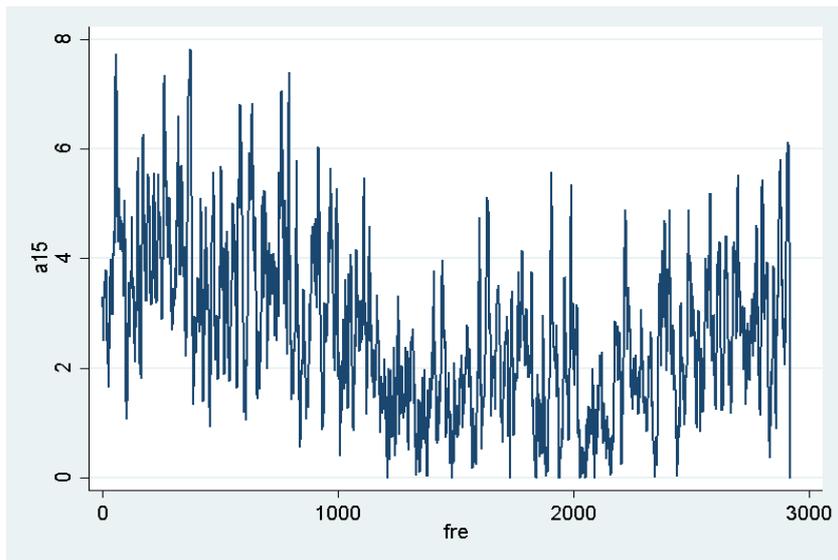
13. 지점 4, 전년도 기후 조건, 3MW 설비



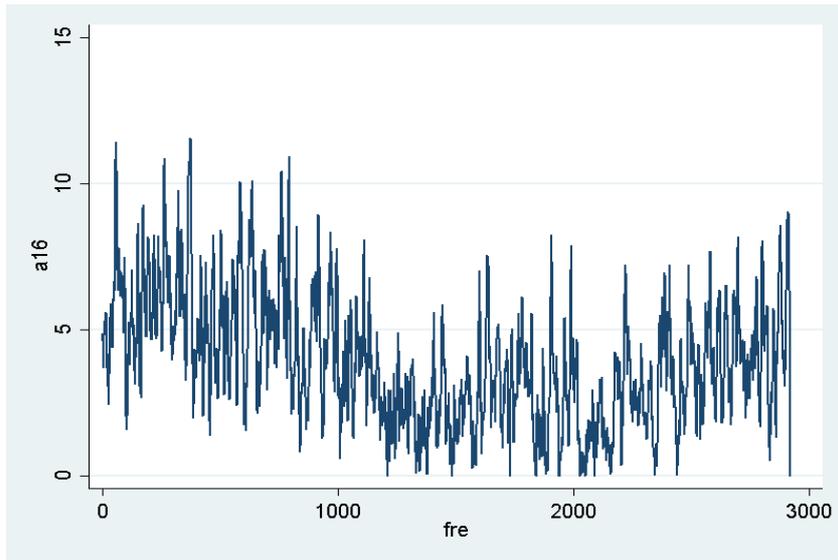
14. 지점 4, 전년도 기후 조건, 8MW 설비



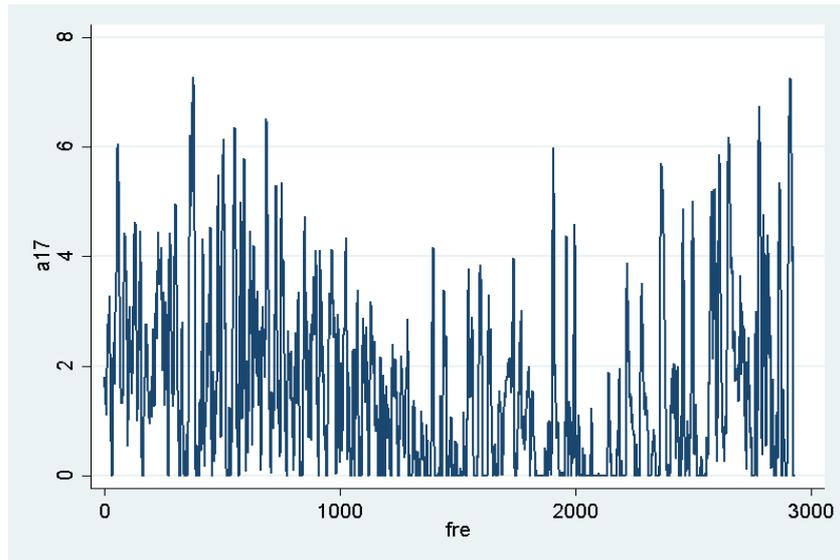
15. 지점 4, 5년 평균 기후 조건, 3MW 설비



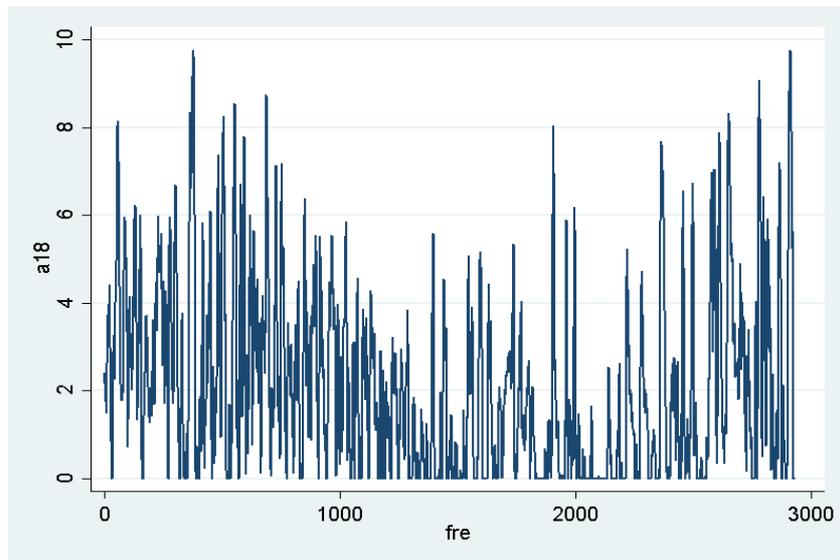
16. 지점 4, 5년 평균 기후 조건, 8MW 설비



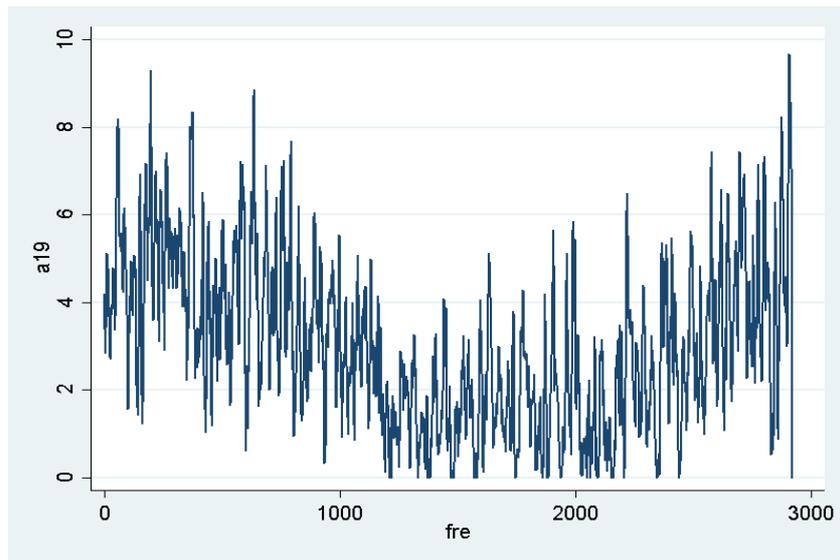
17. 지점 5, 전년도 기후 조건, 3MW 설비



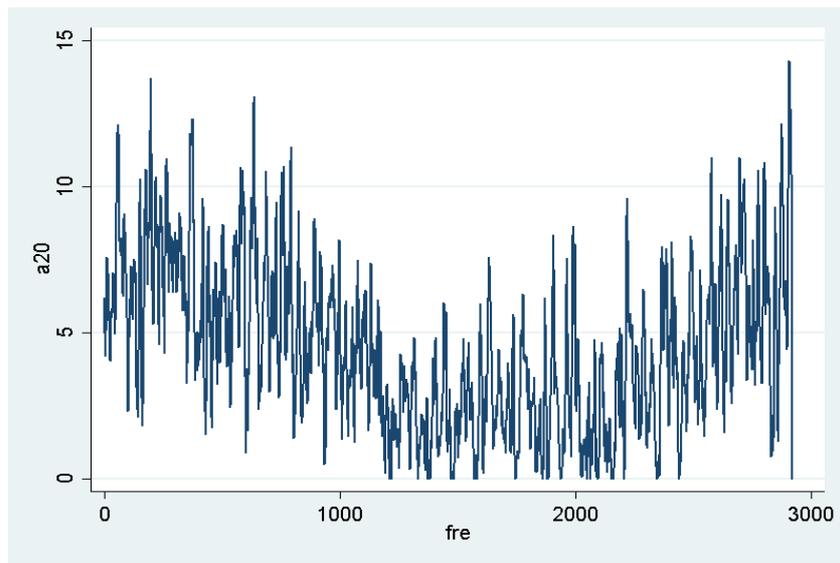
18. 지점 5, 전년도 기후 조건, 8MW 설비



19. 지점 5, 5년 평균 기후 조건, 3MW 설비



20. 지점 5, 5년 평균 기후 조건, 8MW 설비



## 해상풍력발전 확대 정책의 고용영향

- 발행연월일 | 2021년 12월 24일 인쇄  
2021년 12월 31일 발행
- 발행인 | 황 덕 순
- 발행처 | **한국노동연구원**  
☐☐☐☐☐☐☐ 세종특별자치시 시청대로 370  
세종국책연구단지 경제정책동  
☎ 대표 (044) 287-6080 Fax (044) 287-6089
- 조판·인쇄 | 창보문화사 (02) 2272-6997
- 등록일자 | 1988년 9월 13일
- 등록번호 | 제2015-000013호

※ 본 보고서의 내용은 한국노동연구원의 사전 승인 없이 전재 및 역재할 수 없습니다.

ISBN 979-11-260-0556-7 (비매품)