

# 정책연구 최종보고서

과 제 명	국문	태양광 · 풍력에너지 기상지원을 위한 추진방향 연구		
	영문	A study on the direction of promotion for solar and wind energy meteorological support		
주관연구기관 (공동연구기관)	기 관 명	소 재 지	대 표	
	(주)웨더피아 (한국기후변화학회) (환경생태기상ICT융합포럼)	서울시 영등포구 (서울시 서초구) (서울시 영등포구)	임상욱 (노동운) (남상호)	
주관연구책임자 (공동연구책임자)	성 명	소 속	진 공	
	문인찬	(주)웨더피아	경영학	
총 연구기간 (당해년도)	2022. 1. 24. ~ 6. 23. ( 5 개월 )			
총 연구비 (당해년도)	일금 오천팔백이십만 원 (₩ 58,200,000)			
총 참여연구원 (당해년도)	총 12 명	책임연구원	4 명	
		연구원	2 명	
		연구보조원	4 명	
		보조원	2 명	
연구 주요내용	<p>2022년도 정책연구의 최종보고서를 붙임과 같이 제출합니다.</p> <p style="text-align: center;">붙임 : 최종보고서 30 부, 요약보고서 10 부</p> <p style="text-align: center;">2022 년 6 월 23 일</p> <p style="text-align: center;">주관연구책임자    문 인 찬    인</p> <p style="text-align: center;">주관연구기관장    임 상 욱    직인</p> <p style="text-align: center;">기 상 청 장 귀 하</p>			

태양광 · 풍력에너지 기상지원을 위한 추진방향 연구의  
최종보고서를 별첨과 같이 제출합니다.

2022 년 6 월 23 일

주관연구책임자

문 인 찬 인

주관연구기관장

임 상 욱 직인

(옆면)

(앞면)

연구  
과  
제  
명

태양광 · 풍력에너지 기상지원을 위한 추진방향 연구  
(A study on the direction of promotion for solar and  
wind energy meteorological support)

2  
0  
2  
2  
년

2022년

기  
상  
청

기 상 청

## 제 출 문

본 보고서를 “태양광·풍력에너지 기상지원을 위한 추진방향 연구”  
최종보고서로 제출합니다.

- 주관연구기관명 : (주)웨더피아
- 공동연구기관명 : 한국기후변화학회
- 공동연구기관명 : 환경생태기상ICT융합포럼
- 연 구 기 간 : 2022년 1월 24일 ~ 6월 23일
- 주관연구책임자 : 문인찬
- 참 여 연 구 원
  - (주)웨더피아 임상욱
  - (주)웨더피아 강서영
  - (주)웨더피아 권윤택
  - (주)웨더피아 곽현신
  - (주)웨더피아 김성민
  - (주)웨더피아 김완희
  - (주)웨더피아 황지원
  - (주)웨더피아 한응재
  - (주)웨더피아 박소연
  - (사)한국기후변화학회 김하나
  - 환경생태기상ICT융합포럼 장영진

2022년 6 월 23 일

기상청장 귀중

# 목 차

---

I. 연구개요	1
1. 연구의 배경 및 필요성	1
2. 연구의 목표	1
3. 연구의 내용 및 범위	2
II. 주요 현황 분석	3
1. 태양광·풍력에너지 기술개발 관련 국내외 주요정책 동향	3
1.1. 국내외 정책 동향 분석	3
1.2. 국내외 사회 동향 분석	46
1.3. 국내외 산업 동향 분석	56
2. 국내외 태양광·풍력에너지 분야 관측·기술개발 동향 분석	65
2.1. 국내 재생에너지 분야 관측·기술개발 동향	65
2.2. 국외 재생에너지 분야 관측·기술개발 동향	81
2.3. 기술 수준 분석	89
3. 태양광·풍력 발전단지 현황 조사·분석	120
3.1. 태양광 발전단지 현황 조사	120
3.2. 풍력 발전단지 현황 조사	124
III. 태양광·풍력에너지 분야 기상지원방안	137
1. 발전량 예측에 필요한 기상정보 도출	137
1.1. 태양광·풍력 발전량 예측에 활용되는 기상정보 및 기술	137
1.2. 발전량 예측에 필요한 기상정보 및 기술 목록화	162
2. 수요자 요구사항 분석	163
2.1. 수요조사	163
2.2. 수요조사 결과 델파이 검증	189
2.3. 분야별 니즈 도출	195
2.4. 전문가 의견 수렴	202
3. 맞춤형 기상정보 산출을 위한 기상청 내외 현황 분석	208
3.1. 활용 가능 기상청 내부 자료 현황	208
3.2. 활용 가능 기상청 외부 자료 현황	210

4. 재생에너지 분야 지원방안	210
4.1. 종합적 분석을 통한 핵심가치 도출	210
4.2. 태양광·풍력 에너지 분야 기상지원 방안 도출	212
5. 태양광·풍력 에너지 관련 산업계 지원 및 협력방안	214
5.1. 국가별 사례분석	214
5.2. 산업계 지원 및 협력방안	234
6. 이해관계자 협의체 구성(안)	236
6.1. 협의체 구성 추진 개요	236
6.2. 협의체 구성 및 운영 체계(안)	237
IV. 태양광·풍력에너지 분야 기상지원을 위한 추진전략	240
1. 발전 목표 및 추진전략 방향	240
1.1. SWOT 분석을 통한 내·외부 환경분석	240
1.2. Cross-SWOT 분석 및 전략 방향 수립	241
2. 추진전략 체계	243
2.1. 정책 비전 및 목표	243
2.2. 전략 체계	244
2.3. 전략 과제	246
2.4. 주요 수요 니즈와의 연계성	247
3. 전략별 추진계획	248
V. 기대효과 및 활용 방안	271
VI. 종합 제언	275
VII. 참고문헌	277
VIII. 부록	280
1. 주요 용어 정리	280

# 표 목차

<표 1> 신재생에너지 지원제도 유형 및 특징 .....	4
<표 2> 신재생에너지 가격지원제도 유형 및 단점 .....	4
<표 3> 국가별 신재생에너지 발전 지원 현황 .....	6
<표 4> 제3차 에너지기본계획 주요 내용 .....	8
<표 5> 제8차 전력수급 기본계획의 최대전력 전망 대비 실적치 비교 .....	17
<표 6> 국내 RE10 이행수단 .....	18
<표 7> 분산에너지 활성화 추진 전략 내용 .....	21
<표 8> 지역별 신재생에너지 확대 및 관련 산업육성 방안> .....	26
<표 9> 국가별 재생에너지 보급 목표 .....	29
<표 10> 태양광·풍력 발전량 비중에 따른 단계별 구분 .....	39
<표 11> 2021년도 IRENA 회원국 의무분담금 납부 순위 .....	40
<표 12> 유연성 자원 종류 및 확보 방안 .....	41
<표 13> 유연성 강화방안별 비용 .....	41
<표 14> 주요국의 신재생에너지 R&D 지출 규모 .....	44
<표 15> 주요국의 신재생에너지 R&D 지출 비중('18) .....	45
<표 16> 분야별 재생에너지 R&D 투자 순위 .....	45
<표 17> 태양광 및 풍력 발전 관련 국내 이슈 .....	49
<표 18> 국가별 태양광 및 풍력 관심도 비중 비교 .....	54
<표 19> 한국에너지기술연구원 신재생에너지 자원지도(태양광) .....	78
<표 20> 한국에너지기술연구원 신재생에너지 자원지도(풍력) .....	79
<표 21> 신재생에너지 학술지 .....	90
<표 22> 신재생에너지 학술지의 인용횟수 순위 TOP10 .....	91
<표 23> 신재생에너지 학술지의 논문에 등록된 키워드 순위 TOP20 .....	91
<표 24> 한국태양에너지학회 논문집 .....	92
<표 25> 한국태양에너지학회 논문집의 인용횟수 순위 TOP10 .....	93
<표 26> 한국태양에너지학회 논문집의 논문에 등록된 키워드 순위 TOP20 .....	94
<표 27> 풍력에너지저널 개요 .....	94
<표 28> 풍력에너지 저널의 인용횟수 순위 TOP10 .....	95
<표 29> 풍력에너지 저널의 논문에 등록된 키워드 순위 TOP20 .....	96
<표 30> '태양광' 키워드의 논문 인용횟수 순위 TOP10 .....	97
<표 31> '풍력' 키워드의 논문 인용횟수 순위 TOP10 .....	98
<표 32> 논문 분석 정량지표 .....	98
<표 33> 특허 검색 대상 지역 및 기간 .....	101

<표 34> 특허 분석지표 .....	101
<표 35> 신재생에너지 구간별 출원 현황 .....	102
<표 36> 신재생에너지 국가별 출원 점유율(Top5) .....	102
<표 37> 신재생에너지 국가별 피인용 지수 .....	103
<표 38> 태양광 분야의 출원건수 기준 상위 출원인 .....	104
<표 39> 풍력 분야의 출원건수 기준 상위 출원인 .....	105
<표 40> 환경기상 산업의 기술 체계 中 기상 .....	107
<표 41> 기상 기술별 IP(지적재산권) 활동력 분석 결과 .....	107
<표 42> 기상 기술별 IP(지적재산권) 기술력 분석 결과 .....	108
<표 43> 기상융합 지표 분석 .....	109
<표 44> 녹색기술센터의 기후기술 수준조사 근거 .....	111
<표 45> 태양광·풍력 세부분류 .....	112
<표 46> 태양광 분야 세부기술별 주요 5개국의 기술수준 및 기술격차 .....	113
<표 47> 태양광 분야의 기술격차 해소방안 .....	113
<표 48> 풍력 분야 세부기술별 주요 5개국의 기술수준 및 기술격차 .....	115
<표 49> 풍력 분야의 기술격차 해소방안 .....	115
<표 50> 한국과학기술기획평가원 기술수준평가 추진 근거 .....	116
<표 51> 한국과학기술기획평가원 기술수준평가 개요 .....	116
<표 52> 고효율 태양전지 기술 분야 주요국 기술수준, 연구단계 역량 및 연구개발 활동경향 ..	117
<표 53> 고효율 태양전지 기술 분야 선도국 대비 국내 활동력 .....	117
<표 54> 고효율 태양전지 기술 분야 선도국 대비 국내 기술력 .....	117
<표 55> 풍력발전 기술 분야 주요국 기술수준, 연구단계 역량 및 연구개발 활동경향 ..	118
<표 56> 풍력발전 기술 분야 선도국 대비 국내 활동력 .....	119
<표 57> 풍력발전 기술 분야 선도국 대비 국내 기술력 .....	119
<표 58> 지역별 육상태양광 발전사업 협의 실적 및 개발 면적 .....	121
<표 59> 지역별 태양광 발전소 설치 현황 및 설비 용량 .....	122
<표 60> 최근 5년간 발전회사별 태양광 발전설비용량 .....	124
<표 61> 국내 지역별 풍력 설비용량 및 점유율 .....	125
<표 62> 국내 주요 풍력단지 현황 .....	127
<표 63> 사업자별 설비용량 및 점유율 .....	127
<표 64> 사업자별 설비용량 및 점유율(총괄현황) .....	127
<표 65> 풍력발전소 기상관측장비 현황 .....	129
<표 66> 옹진군 풍황계측기 공유수면 점·사용 허가현황 .....	131
<표 67> 공공데이터 - 발전소 기상 정보 .....	132
<표 68> 일사량 예측 기법에 관한 연구 요약 .....	139
<표 69> 태양광발전 예측기법 특징 .....	140



<표 70> 미국 SPSC 기관별 태양광발전 데이터 요구사항 .....	141
<표 71> 미국 SPSC 기관별 기상데이터 측정설비 현황 .....	141
<표 72> 미국 SPSC 기관별 확률론적 예측 모델 도입 여부 .....	142
<표 73> 미국 SPSC 기관별 적용 중인 예측 모델 유형 .....	143
<표 74> 태양광·풍력 모니터링 시스템 .....	145
<표 75> 태양광 발전량 예측모델 목록 .....	149
<표 76> 에코브레인 발전량 예측서비스 .....	156
<표 77> 풍력 발전량 예측모델 목록 .....	158
<표 78> 한국에너지기술연구원의 풍력 발전 예보 모형 및 활용 데이터 .....	159
<표 79> 건물 에너지 관리 시스템 .....	160
<표 80> 태양광·풍력 발전량 예측에 활용되는 기상정보 및 기술 .....	162
<표 81> 태양광 분야 수요조사 결과 .....	165
<표 82> 태양광 분야 수요조사 응답자 특성 .....	166
<표 83> 풍력 분야 수요조사 결과 .....	176
<표 84> 풍력 분야 수요조사 응답자 특성 .....	177
<표 85> 델파이 검증에 참여한 전문가 위원 .....	189
<표 86> 태양광 분야 내용 타당도 분석 결과 .....	191
<표 87> 풍력 분야 내용 타당도 분석 결과 .....	193
<표 88> 에너지 분야 기상기후 융합서비스 .....	208
<표 89> 국가별 재생에너지 분야 기상청의 역할 특징 및 시사점 도출 .....	226
<표 90> 국가별 재생에너지 분야 민간사업자의 역할 및 시사점 도출 .....	233

# 그림 목차

---

[그림 1] 신재생 가격지원제도 도입 국가 추이 .....	3
[그림 2] 신재생 가격지원제도 유형별 차이점 .....	5
[그림 3] 국가별 신재생 지원제도 및 운영현황 요약 .....	5
[그림 4] 에너지기본계획의 구조 .....	7
[그림 5] 재생에너지 발전량 비중 보급 목표 이행방안 .....	10
[그림 6] 재생에너지 3020의 R&D 로드맵 .....	11
[그림 7] 스마트그리드 도입에 따른 전력시장 변화 .....	12
[그림 8] 재생에너지산업 경쟁력 강화방안 .....	13
[그림 9] 한국판 뉴딜의 구조 .....	15
[그림 10] 기존계획 대비 제5차 신재생에너지 기본계획의 주요 특징 .....	16
[그림 11] 에너지 탄소중립 혁신전략의 전략체계 .....	20
[그림 12] 재생에너지 발전량 예측제도 도입에 따른 변화 예시 .....	22
[그림 13] 태양광 분야 기술개발 전략 .....	24
[그림 14] 풍력 분야 기술개발 전략 .....	24
[그림 15] 2022년 새만금 핵심 추진과제 .....	27
[그림 16] 미국 에너지시장 이중정산제도 .....	32
[그림 17] 풍력발전단지 기후예측정보 활용 예시 .....	38
[그림 18] 글로벌 공공부문 에너지 기술별 R&D 투자 비중(1974~2019) .....	43
[그림 19] 국가별 재생에너지 R&D 지출 규모 .....	43
[그림 20] 2019년 IEA 회원국별 에너지 R&D 예산 .....	44
[그림 21] 태양광 뉴스 키워드 .....	48
[그림 22] 태양광 뉴스 감성 추이 .....	48
[그림 23] 풍력 뉴스 키워드 .....	49
[그림 24] 풍력 뉴스 감성 추이 .....	49
[그림 25] 태양광 에너지 국가별 관심도 .....	52
[그림 26] 태양광 뉴스 관심도 추이 .....	52
[그림 27] 풍력 에너지 국가별 관심도 .....	53
[그림 28] 풍력 뉴스 관심도 추이 .....	53
[그림 29] 태양광 및 풍력 국가별 관심도 비교 .....	54
[그림 30] 태양광 및 풍력 관심도 추이 비교 .....	55
[그림 31] 2018년 세계 재생에너지 분야 일자리 현황 .....	55
[그림 32] 전력산업구조의 변화 .....	57
[그림 33] 국내 연도별 신재생에너지 생산량 .....	58

[그림 34] 국내 연도별 신재생에너지 전력거래량 .....	58
[그림 35] 신재생에너지 발전량 및 발전비율 .....	59
[그림 36] 에너지원별 발전량 및 신재생에너지 비중 .....	60
[그림 37] 세계 태양광 보급 현황 .....	61
[그림 38] 글로벌 누적 풍력발전 설비용량 .....	62
[그림 39] 세계 최종에너지 중 재생에너지 비중(2019) .....	63
[그림 40] 전세계 태양광 발전용량 .....	63
[그림 41] 전세계 풍력 발전용량 .....	64
[그림 42] 사용자 맞춤형 풍황자료 인터페이스 화면 구현 예시 .....	66
[그림 43] 국내 태양광(좌), 풍력(우) 누적 설비용량 .....	66
[그림 44] 우리나라 태양과 풍력 기상자원지도(예시) .....	67
[그림 45] 서울특별시 햇빛지도 예시 서울 전역 태양광에너지 음영분석도(좌)와 강남구 태양광에너지 음영분석도(우) .....	68
[그림 46] 대전광역시 햇빛지도 예시 .....	69
[그림 47] 재생에너지 이용률 정보 제공 서비스 (이용률 화면 예시) .....	70
[그림 48] E-on solution 구축 사례 모습 .....	71
[그림 49] 한전 KDN 햇빛지도 사용화면 .....	72
[그림 50] 한국에너지기술연구원의 태양에너지 자원량 산정방법 .....	73
[그림 51] 한국에너지기술연구원의 풍력에너지 산정방법 .....	75
[그림 52] 에너지기술연구원 부유식 라이다 .....	76
[그림 53] 1996-2019년 한반도 연별 일사량 추세 .....	77
[그림 54] 위성자료의 연평균 태양 에너지 .....	77
[그림 55] 해줌홈 애플리케이션 .....	80
[그림 56] NREL National Solar Radiation Database 데이터 뷰어 예시 .....	82
[그림 57] 구글 선루프 프로젝트 예시 .....	82
[그림 58] 구글 재생에너지 산업 구축 .....	83
[그림 59] 스코틀랜드 부유식 풍력발전단지 구조 .....	84
[그림 60] Energy & Meteo Systems GmbH 의 태양광, 풍력 전력량 예측과정 .....	86
[그림 61] IRENA Global Atlas for Renewable .....	87
[그림 62] Vaisala의 ‘Forecaster for solar and wind energy’ 예시 .....	88
[그림 63] National Map - 호주 .....	89
[그림 64] 덴마크 에너지 인공섬 .....	89
[그림 65] 신재생에너지 학술지의 연도별 논문 수 .....	90
[그림 66] 한국태양에너지학회 논문집의 연도별 논문 수 .....	93
[그림 67] 풍력에너지저널의 연도별 논문 수 .....	95
[그림 68] ‘태양광’ 키워드의 논문 연도별 논문 수 .....	96

[그림 69] ‘풍력’ 키워드의 논문 연도별 논문 수 .....	97
[그림 70] 태양광 분야의 논문 활동력 .....	99
[그림 71] 태양광 분야의 논문 기술력 .....	99
[그림 72] 풍력 분야의 논문 활동력 .....	100
[그림 73] 풍력 분야의 논문 기술력 .....	100
[그림 74] 태양광과 풍력 분야의 특허기술력 및 연구 활동도 .....	106
[그림 75] MATRIX 분석을 통한 부상기술 도출 .....	109
[그림 76] 풍력 분야 기술수준 및 기술격차 .....	114
[그림 77] 고효율 태양전지 기술 분야 활동력 및 기술력 .....	118
[그림 78] 풍력발전 기술 분야 활동력 및 기술력 .....	119
[그림 79] 환경평가 대상 육상태양광 발전사업의 지역 분포(2004.01~2018.08) .....	121
[그림 80] 국내 태양광 발전량 현황(2020) .....	123
[그림 81] 국내 풍력발전단지 현황 .....	126
[그림 82] 풍력발전 허가용 풍황계측기 설치 현황 .....	131
[그림 83] 태양광 발전 개발절차 .....	134
[그림 84] 육상풍력발전 개발절차 .....	135
[그림 85] 해상풍력발전 개발절차 .....	136
[그림 86] ELRAS 서비스 예시 .....	143
[그림 87] 스페인 신재생에너지 운영 시스템 .....	144
[그림 88] 스페인 SIPREÓLICO .....	144
[그림 89] 국립기상과학원의 태양광 발전량 예측 개요 .....	149
[그림 90] (좌) 우리나라 태양광 예측정보 (우) 우리나라 풍력 예측정보(예시) .....	149
[그림 91] 태양광 발전량 예측서비스 구성도 .....	151
[그림 92] ‘한전 KDN 햇빛지도’ 서비스 실제 화면 .....	151
[그림 93] SolarRadiation Tool 태양광에너지 산출 절차 .....	152
[그림 94] 서울시 태양광 ScreeningLogic .....	153
[그림 95] 서울시 태양광 시설의 설치방향, 설치각도에 따른 계절별 일사효율 분석 ..	153
[그림 96] 서울특별시 햇빛지도 .....	153
[그림 97] 해준 태양광 발전량 예측 예시 .....	154
[그림 98] 에코브레인의 발전량 예측 프로세스 .....	155
[그림 99] 에코브레인의 풍력 발전량 산정 프로세스 .....	156
[그림 100] 에코브레인의 풍력 발전량 표출 예시 .....	156
[그림 101] 탭스페이스의 공공데이터를 접목한 제로에너지 자동화 설비제어 솔루션 ..	161
[그림 102] 탭스페이스의 BEMS 활용 전략 .....	161
[그림 103] 기상청의 태양광 발전량 예측 정보 .....	209
[그림 104] 기상청의 태양광 발전량 시뮬레이션 서비스 .....	209

[그림 105] 종합분석을 통한 핵심가치 및 기상지원 방향 .....	212
[그림 106] ESRL 조직도 .....	214
[그림 107] 후베이성 풍력 예측 지도 .....	218
[그림 108] 재생에너지 분야 기상정보 및 서비스 제공 분야 예시 .....	219
[그림 109] VisualEyes™ 서비스 화면 .....	220
[그림 110] Decider 서비스 화면 .....	220
[그림 111] (좌) 독일의 2022년 1월 복사 총량 지도 (우) 1월의 월간 복사 총량의 평균 (1981-2010년) .....	221
[그림 112] 2022년 1월의 cold wave 지도 .....	222
[그림 113] 글로벌 기후 데이터의 월별값 제공 .....	222
[그림 114] (좌)1991-2020 글로벌 복사 월별 합계와 비교한 독일의 2022년 복사 월별 합계. (우) 1991-2020 전국 복사 연간 총량과 독일 연간 변화 비교. ....	223
[그림 115] 호주 기상청 일별 지역별 일사량 지도 .....	225
[그림 116] 미국 Xcel Energy 바람예보 시스템 .....	227
[그림 117] The Weather Company 세계 일사량 예보 지도 .....	228
[그림 118] Goldwind SE 구조도 .....	230
[그림 119] Weathernews에서 제공하고 있는 에너지 기상 서비스 도식화 .....	231
[그림 120] Weathernews에서 제공하는 서비스 목록 .....	231
[그림 121] ENeAPI 서비스 내용 .....	232
[그림 122] 산업계 지원을 위한 국외 사례 벤치마킹 요소 도출 .....	234
[그림 123] 태양광 · 풍력에너지 분야 기상지원 민관협의체 .....	238
[그림 124] Cross-SWOT 분석결과 및 전략적 방향성 도출 .....	242

# 의도적 공란

## 1. 연구의 배경 및 필요성

전 지구적 기후위기 대응을 위한 탄소중립 전략 추진에 있어서 친환경적인 전력 생산 및 활용 확대는 탄소중립 실현에 가장 중요한 요소로 부각됨에 따라 신재생에너지 발전량 예측에 중대한 영향을 미치는 에너지기상 기술 개발은 필연적이다.

국제사회의 아젠다인 2050 탄소중립 실현을 위해 전 세계적으로 신재생에너지 확대를 통한 저탄소·친환경 경제사회로의 가속화에 따라 국내 역시 정책적 노력을 지속하고 있다. 해외 국가들은 신재생에너지 비중을 확대하는 한편 태양광, 풍력 등 변동성 에너지의 출력 유연화를 위한 제도적 수단을 활용하고 있으며, 국내는 탄소중립 정책 추진을 위해 ‘2050 탄소중립위원회’를 출범하고, ‘탄소중립·녹색성장 기본법’을 제정하는 등 적극적인 대응 노력을 기울이고 있다.

친환경 에너지 발전 비중 확대에 따라 재생에너지 설비 규모가 확대되면서 안정적 계통운동을 위한 정확한 재생에너지 발전량 예측이 필요하고, 이러한 탄소중립 실현 정책을 위해 상세 기상정보의 수요 증가에 대한 대응체계 마련이 필요한 실정이다.

태양광·풍력에너지 등 변동적 재생에너지는 출력예측 불확실성과 출력 변동성으로 전력계통 운영에 부정적 영향을 미칠 수 있으므로 태양광·풍력 등 재생에너지의 안정적 운영에 필요한 상세 기상정보를 제공하여 발전량 예측 정확도를 높여 전력망 안정을 통해 저탄소 경제로의 신속한 전환이 가능하다.

또한, 태양광·풍력 발전설비 시설 점검을 통한 운용의 효율성 제고 및 활용 기간 연장을 위해 정확한 기상정보를 활용하고, 재생에너지 발전량 예측을 통해 재생에너지 변동성으로 인해 발전기를 추가 가동·정지하거나 증·감발 등을 통해 비용 절감을 기대할 수 있으며, 나아가, 발전량 예측을 위한 기상정보의 수집·처리·활용, 사물인터넷 기술을 통한 실시간 정보 취득, 전기저장장치 등을 활용한 발전량 제어 등 새로운 사업모델 확산에도 기여할 것으로 기대된다.

## 2. 연구의 목표

본 연구의 최종목표는 탄소중립 실현 정책에 기여하고 저탄소·친환경 경제사회로의 신속한 전환을 위해 태양광·풍력 에너지 분야의 기상실황 및

예측정보 제공을 위한 체계적인 추진 방향을 정립하여 태양광·풍력 에너지 분야 기상서비스 추진에 필요한 기술적·과학적 타당성 근거를 확보하기 위함이다.

### 3. 연구의 내용 및 범위

#### 3.1 국내외 태양광·풍력에너지 분야 주요 현황 조사·분석

태양광·풍력에너지 기술개발 관련 국내외 주요정책 동향 및 현황을 파악하기 위해 2050 탄소중립 전략, 제5차 신재생에너지 기본계획 등 관련 법·제도를 조사하고, 국내 관련 부처 업무 현황과 기상 R&D 중장기로드맵 등을 조사하였으며, 세계기상기구 에너지 부문 서비스 지침, 국제에너지기구 재생에너지 통합 지침 등 글로벌 주요정책을 조사하여 국제 정세를 파악하여 시사점을 도출하였다.

국내외 태양광·풍력에너지 분야 관측·기술개발 현황을 파악하기 위해 국내 전력거래소, 한국전력, 한국에너지기술연구원, 에너지 공기업, 지자체 및 민간기업 등과 해외 기상청, 해외 연구소, 민간기업 등에서 개발하고 있는 기술 동향을 조사 분석하여 시사점을 도출하였다.

또한, 태양광·풍력 발전단지(전력거래소, 한국전력공사, 지자체 등) 현황을 조사·분석하였다.

#### 3.2 태양광·풍력에너지 분야 수요자 요구사항 조사·분석 및 지원방안 제시

태양광·풍력에너지 분야에 필요한 기상정보 도출과 수요자 요구사항을 분석하기 위해 설문조사 및 델파이 검증, 전문가 회의, 정책 포럼을 개최하였다.

태양광·풍력에너지 분야 맞춤형 기상정보를 산출하기 위해 청 내외 현황을 파악하여 관측, 수치모델, 위성 등의 활용 가능성을 조사하였고, 이러한 현황조사와 수요 분석을 통해 재생에너지 분야 관련 기상지원 방향을 제시하였다.

또한, 태양광·풍력에너지 관련 산업계 지원 및 협력방안을 모색하고 재생에너지 분야 기상서비스 의사결정 이해관계자 협의체 구성, 역할, 운영 방안 마련 등을 통해 정례적인 소통 채널 구축을 위한 방안을 제시하였다.

#### 3.3 태양광·풍력 에너지 분야 기상지원을 위한 추진전략

저탄소 친환경 사회로의 변화 흐름에 따라 태양광·풍력에너지 분야 기상지원을 위한 명확한 정책 목표 수립을 위해 예측정보 생산 등 기술개발의 비전과 목표를 설정하여 추진전략을 마련하고, 기대효과와 활용방안을 제시하였다.



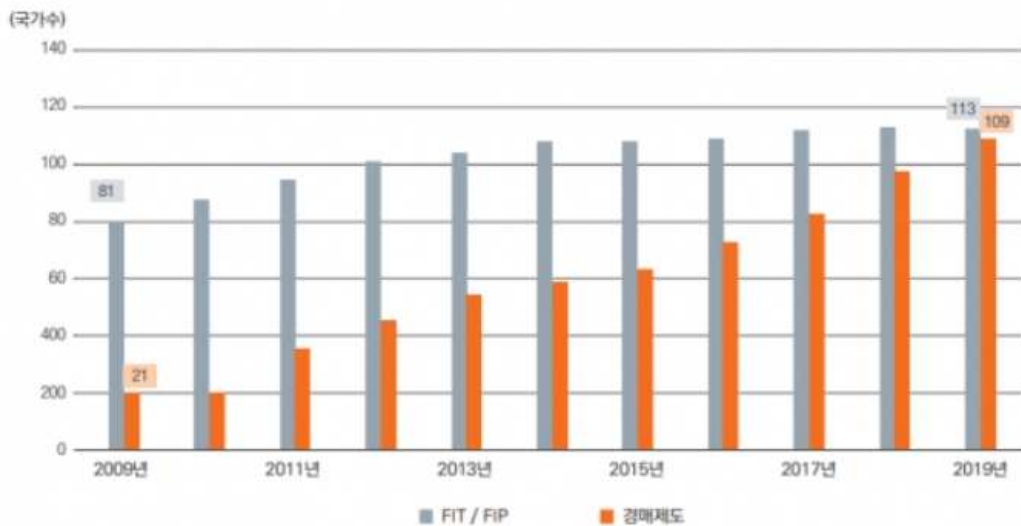
## 1. 태양광·풍력에너지 기술개발 관련 국내외 주요정책 동향

### 1.1 국내외 정책 동향 분석

#### 1.1.1 현황 개요

재생에너지 정책의 동인이 과거 석유파동, 원전사고 등 이슈에 대응하기 위한 에너지 공급 다변화에서 최근 RE100, ESG, 탄소중립 등의 기후변화 대응 이슈로 전환되고 있다.

전 세계 143개(2019년 기준) 국가들은 신재생에너지 시장기반 조성을 위한 다양한 지원제도를 마련하여 추진 중이다. 가장 보편적인 제도는 발전차액지원제도(FIT)로 113개 국가에서 채택 중이며, 한국 등 34개 국가는 재생에너지 의무할당제(RPS)를 채택하고 있다. 경매제도 도입 및 확대를 지속하고 있으며(2009년 21개국→2019년 109개국, 2019년까지 누적 경매용량 244GW), 중국, 인도의 성장으로 아시아지역의 경매시장이 큰 폭으로 성장하고 있다.



출처: 전기저널, 주요국 신재생에너지 지원제도 현황 및 변화과정, 2021

[그림 1] 신재생 가격지원제도 도입 국가 추이

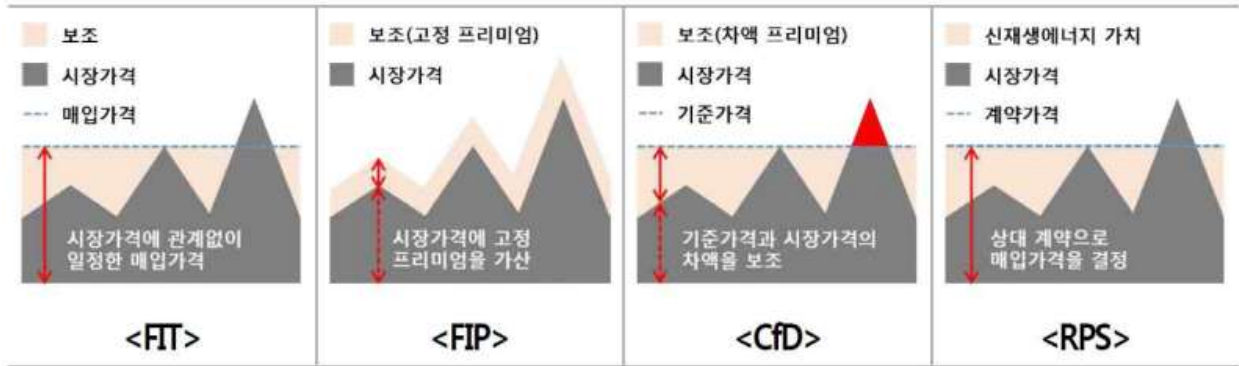
신재생에너지 지원제도는 크게 가격지원제도, 세금지원제도, 금융 지원제도, 기타 지원제도의 4가지 유형으로 구분되며, 지원제도 도입 초기에는 재생에너지 가격지원 정책 패러다임을 펼치다가 기술개발 및 비용하락 등으로 시장이 성장해감에 따라 시장 기반 형성 정책 패러다임으로 전환되고 있다.

<표 1> 신재생에너지 지원제도 유형 및 특징

구분	유형	정의	특징
가 격 지 원 제 도	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ RPS(재생에너지 의무할당제)</li> <li>▪ FIT(발전차액 지원제도)</li> <li>▪ FIP(발전이익 보조제도)</li> <li>▪ CfD(차액결제 지원제도)</li> </ul>	가격 보조를 통해 확실한 수익을 보장하거나 가격 헷지(hedge) 기능 등을 통해 신재생 전력 확대를 지원하는 제도	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 사업 리스크 경감에 따른 투자자 진입 촉진</li> <li>▪ 시장 확대에 효과적</li> <li>▪ 재정부담 증가 및 전기요금 인상 가능성 존재</li> </ul>
세 금 지 원 제 도	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 세금감면</li> <li>▪ 세액공제</li> </ul>	신재생 관련 세금 감면 또는 세액 공제 혜택을 통해 신재생 사업의 수익성을 높이는 제도	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 가격지원과 함께 추가 인센티브로 활용</li> <li>▪ 법인세 감면을 통한 투자자 유인 촉진</li> <li>▪ 투자자 저변 확대 효과 발생</li> </ul>
금 융 지 원 제 도	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 저금리 융자</li> <li>▪ 성공불 융자*</li> </ul> <p>* 사업 성공 시 돌려받는 융자</p>	금융비용 절감을 지원하여 투자를 유인하는 제도	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 금융비용 절감을 통한 사업 경제성 강화</li> <li>▪ 연동금리를 통한 시장 상황 적시 반영</li> </ul>
기 타 지 원 제 도	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ R&amp;D 보조금</li> <li>▪ 기타 편의성 증대</li> </ul>	보조금, 행정절차 간소화, 편의성 증대 등 혜택을 제공하는 제도	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 초기 투자금 절감으로 투자자 유인</li> <li>▪ 중장기적 재생에너지 확대 환경 조성</li> <li>▪ 기술력이 낮은 발전원에 대한 개발 지원</li> </ul>

<표 2> 신재생에너지 가격지원제도 유형 및 단점

구분	정의	유형	단점
FIT (발전차액 지원제도)	신재생 전력을 정부가 고시한 기준가격으로 우선 매입	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 신재생발전 사업자에게 수익 보장</li> <li>▪ 리스크를 발전사업자가 아닌 정부가 부담하여 신규 진입 장벽이 낮음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 시장변동을 반영하지 않아 비용을 고려한 가격설정이 어려움</li> </ul>
FIP (발전이익 보조제도)	시장 판매 의무를 기반으로 도매가격과 기준가격의 차액만큼을 보조	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 시장 변동성을 반영하여 지원 수준 결정(프리미엄 금액이 도매시장 가격과 연동)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 장기비용을 반영한 정확한 프리미엄 금액 설정이 어려움</li> </ul>
CfD (차액결제 지원제도)	FIT와 유사하지만, 기준가격 초과 시 차액을 환원	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ FIP와 비교하여 수익 예측이 용이</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 제도 설계가 복잡</li> <li>▪ 공급과잉 리스크 존재</li> </ul>
RPS (재생에너지 의무할당제)	발전량 또는 판매량에 일정 비율을 신재생으로 생산하도록 의무화	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 전력 가치와 환경 가치를 시장에 맡기는 간단한 방식</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 제도 설계가 복잡</li> <li>▪ 보조금액이 과잉/과소가 될 가능성 존재</li> </ul>



출처: 한국전력공사 경영연구원, 2019

[그림 2] 신재생 가격지원제도 유형별 차이점

재생에너지 지원제도를 비롯한 정책은 재생에너지원별 잠재량, 산업구조, 경제성, 기술 수준, 국민 수용성 등 국가별 여건에 따라 시행되며, 주요국들은 세제 혜택, 금융지원 등 다양한 제도를 병행하고 있으며, 최근에는 발전차액 지원제도(FIT), 경매입찰제도를 통해 시장경쟁체제 기반으로 운영하는 추세이다.

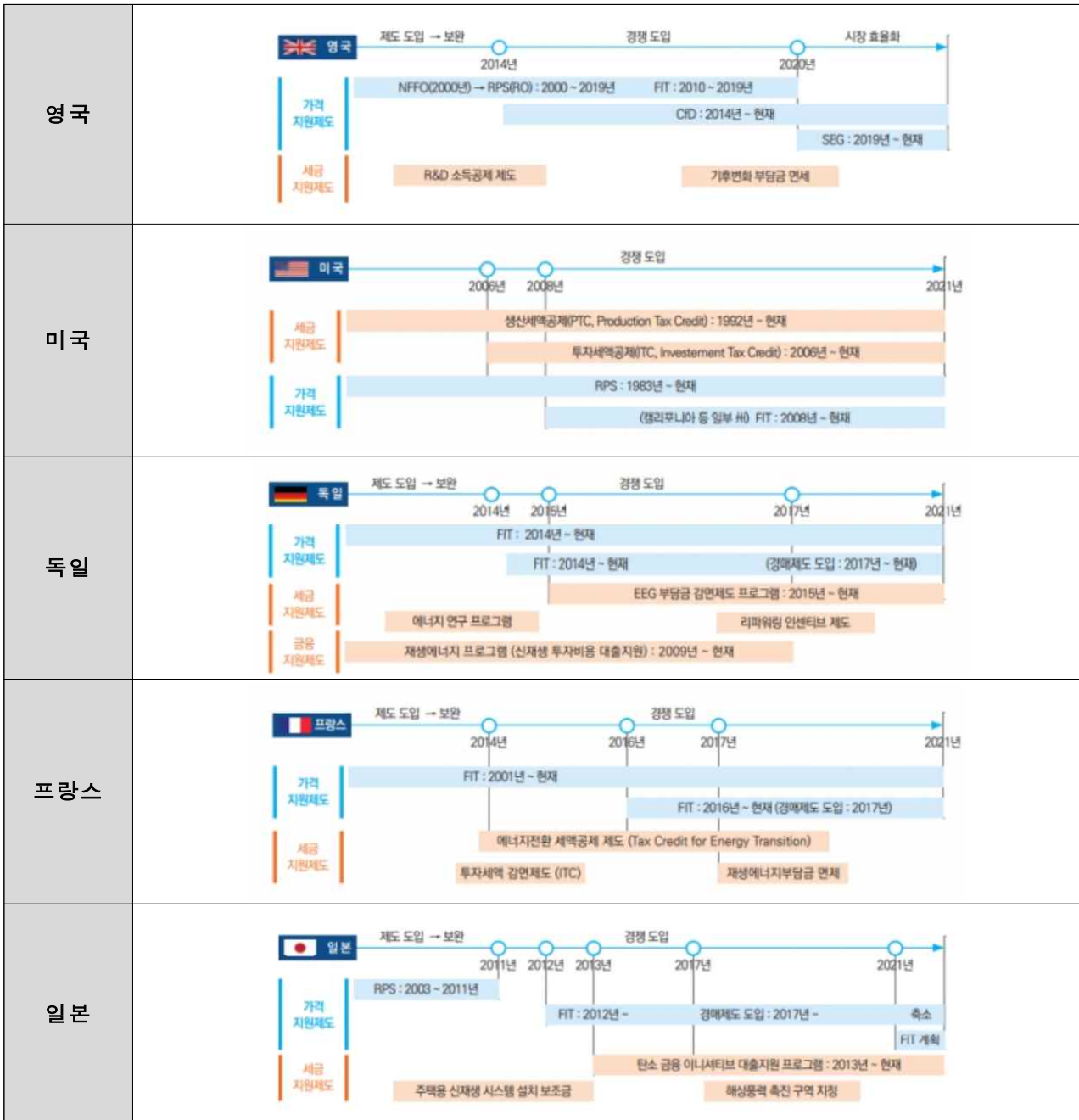
재생에너지 의무할당제도(RPS)를 기반으로 하는 미국은 지속적인 세금혜택과 적용 범위 확대를 통해 막대한 투자금을 유치하며 재생에너지 확대를 견인하고 있으며, 미국, 영국, 독일 등 선진국들은 초기에는 가격지원 정책 기조를 발전차액 지원제도(FIT)를 채택하고, 시장이 성숙하면 발전이익 보조제도(FIP)로 전환하는 추세이다.

국가	지원 제도	세부현황
 영국	<b>가격 지원제도</b> (경매시장 활용)	최근 FIT 제도 폐지 (SEG, CfD 혼용)
 미국	<b>세금 인센티브 지원</b> (민간투자 활성화 정책)	<b>RPS제도, 세제혜택</b> (주별 독립적인 프로그램 운영)
 독일	<b>가격 지원제도</b> (경매시장 활용)	FIT, FIP, 직접거래제도, 경매입찰 제도 등 혼합 운영
 프랑스		기존 FIT 제도에 FIP, 경매입찰 등을 추가 도입
 일본		RPS제도를 FIT로 변경, 2021년부터 FIT 제도 시행

출처: 전기저널, 주요국 신재생에너지 지원제도 현황 및 변화과정, 2021

[그림 3] 국가별 신재생 지원제도 및 운영현황 요약

<표 3> 국가별 신재생에너지 발전 지원 현황



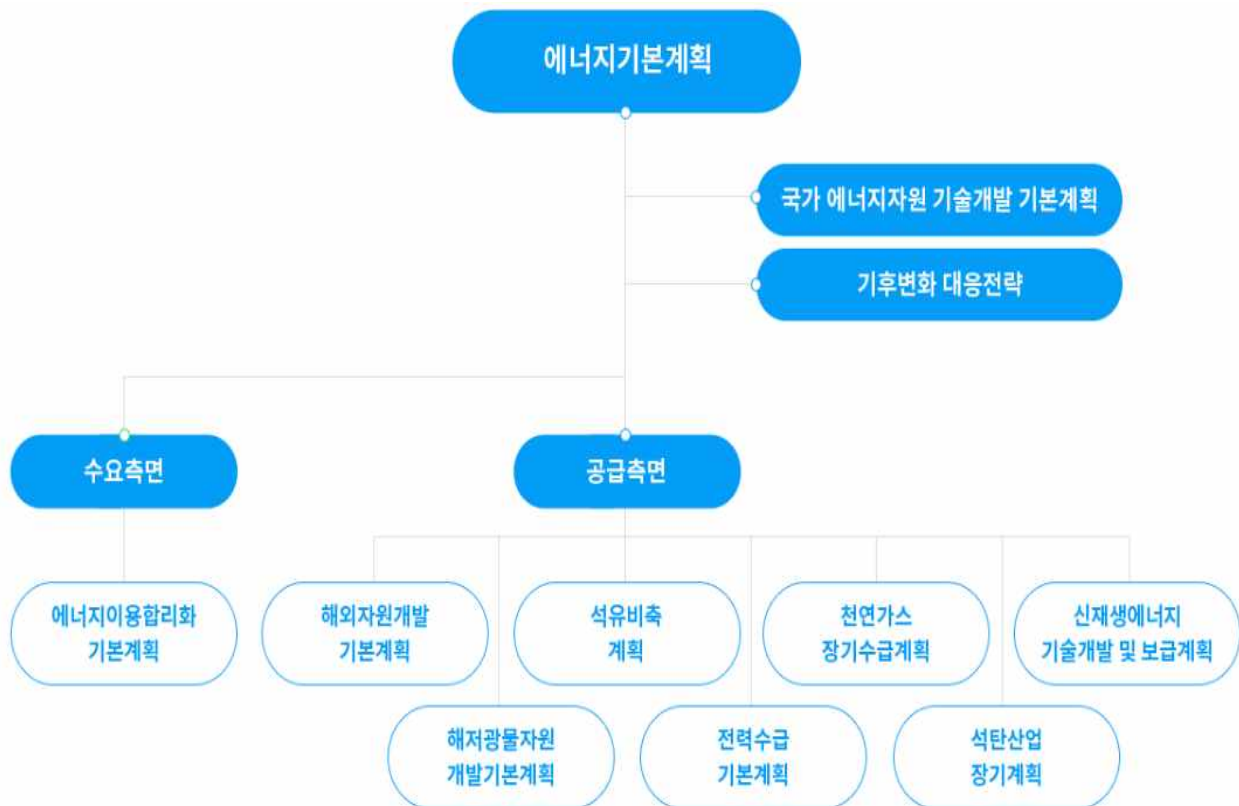
출처: 전기저널, 주요국 신재생에너지 지원제도 현황 및 변화과정, 2021

## 1.1.1 국내 태양광·풍력에너지 분야 주요 정책 동향

### 1.1.1.1 중앙정부

#### □ 국가 에너지기본계획 (2008, 관계부처 합동)

국가 에너지기본계획은 에너지 분야 최상위 법정 계획으로, 수립 시점부터 향후 20년간의 수요 및 공급, 에너지 확보, 에너지 관련 기술, 인력양성 등이 포함된 종합적인 계획이다. 제1차 기본계획(2008~2030)은 재생에너지 비중을 2006년 2.24%에서 2030년에는 11%까지 확장하고, 제2차 기본계획(2014~2035)은 에너지 안보, 온실가스 감축, 산업구조 변화 등을 고려한 신재생 확대 전략을 제시하였다. 제3차 기본계획(2019~2040)은 2017년 7.6%인 재생에너지 발전 비중을 2040년 30~35%로 확대하고, 태양광 발전 단가 절감, 고효율화, 대형·부유식 해상풍력 실증 등의 기술개발에 집중투자 하는 전략이다.



출처: 산업통상자원부, 제3차 에너지기본계획, 2017

[그림 4] 에너지기본계획의 구조

<표 4> 제3차 에너지기본계획 주요 내용

구분	내용	
비전	에너지전환을 통한 지속가능한 성장과 국민 삶의 질 제고	
목표	2040년까지 재생에너지 발전 비중 30~35% 달성	
중점 추진 과제	에너지 정책 패러다임을 소비구조 혁신 중심으로 전환	소비효율 38% 개선('17년 대비), 수요 18.6% 감축('40, BAU 대비) 부문별 수요관리 강화, 수요관리 시장 활성화
	깨끗하고 안전한 에너지믹스로 전환	원전은 점진적으로 감축하고 석탄은 과감하게 감축 재생에너지 발전 비중 30~35%로 확대 미세먼지를 저감하고 2030 온실가스 감축로드맵 이행
	분산형 참여형 에너지 시스템 확대	분산형 전원 확대, 계통체계 정비 전력 프로슈머 확대, 지자체 역할·책임 강화
	에너지산업의 글로벌 경쟁력 강화	재생에너지 등 미래 에너지산업 육성 전통에너지산업 고부가가치화, 원전산업 핵심생태계 유지
	에너지전환을 위한 기반 확충	전력·가스·열 시장제도 개선 에너지 빅데이터 플랫폼 구축

출처: 산업통상자원부, 제3차 에너지기본계획, 2019

#### □ 그린에너지 산업 발전 전략 (2008, 산업통상자원부)

그린에너지 산업 발전 전략은 성장 동력화를 9대 중점분야(태양광, 풍력, 수소·연료전지, IGCC<sup>1)</sup>, LED, 전력IT, GTL/CTL<sup>2)</sup>, CCS<sup>3)</sup>, 에너지저장)로 선정하고 인프라 기반조성을 위한 정책을 수립하였으며, 후속으로 그린에너지 전략로드맵(2009, 2011)을 제시하였다.

#### □ 신재생에너지 산업 발전전략 (2010, 관계부처 합동)

신재생에너지 산업 발전전략은 2015년 태양광 및 풍력 분야 세계시장 15% 점유를 목표로 설정하고 세계 5대 신재생에너지 강국 달성을 위해 ① 전략적 R&D 및 사업화, ② 산업화 촉진 시장 창출, ③ 수출산업화 촉진, ④ 기업 성장기반 강화 등의 전략을 발표하였으며, 후속으로 제2차 그린에너지 전략로드맵(2011) 발표하여 88개 전략품목 288개 핵심기술을 획득하기 위한 전략 방향, 연도별 R&D 일정, 사업화 전략, 투자 소요액을 제시하였다.

1) IGCC : 'Integrated Gasification Combined Cycle' 의 약자로 석탄가스화복합화력발전소를 의미

2) GTL/CTL : GTL(Gas-to Liquid)로 천연 가스를 가솔린 또는 디젤 연료로 전환하는 화학 공정/CTL(Coal to Liquid)로 석탄에서 합성 운송 연료를 생산하는 과정으로 석탄을 가스화하여 합성 가스를 생성한 다음 촉매에 의해 액체 연료로 전환되는 과정 포함

3) CCS : 'Carbon Capture and Storage' 의 약자로 이산화탄소 포집과 저장을 의미

#### □ 신·재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 개정 (2012, 산업통상자원부)

2010년, RPS(Renewable Energy Portfolio Standard, 신재생에너지 의무할당제) 도입을 핵심으로 하는 개정안이 국회 본회의를 통과하여 기존의 FIT 제도는 2011년 말까지 존속하고, 2012년부터 일정 규모 이상의 발전사업자에게 총발전량 중 일정량 이상을 신재생에너지 전력으로 공급하도록 의무화하는 RPS제도를 도입하여 재생에너지 보급 및 산업육성을 촉진하였다.

#### □ 신재생에너지 공급의무화제도(RPS) 고시 개정 (2016, 산업통상자원부)

기존 발전차액지원제도(FIT)\*가 가지는 ‘재정부담’이라는 한계점을 보완하고 신재생에너지의 보급 확대와 관련 산업을 육성하기 위해 RPS제도를 도입하여 500MW 이상의 일정 규모를 발전시설로 운영하는 사업자에게 신재생에너지 공급을 의무화하였다.

※ FIT: 생산된 전기의 거래 가격이 표준가보다 낮으면 차액을 정부에서 지원하는 정책이다.

#### □ 청정에너지 기술 발전 전략 (2016, 관계부처 합동)

UN 파리협정 시 우리나라를 비롯한 주요 선진국들의 「혁신미션(Mission Innovation) 선언」(’15.11.30)을 통해 청정에너지 공공부문 R&D 투자를 5년간 2배로 확대키로 약속하였으며, 우리 정부는 ‘혁신미션’을 계기로 기후변화 대응과 신산업 창출을 위한 기술기반 확대를 위해 관계부처 합동 「청정에너지기술 발전전략」을 수립하였다.

청정에너지 기술범위를 신재생에너지, 효율 향상, 수요관리, 탄소 포집·활용·저장 기술(Carbon Capture Utilization and Storage, CCUS), 원자력, 화력·송배전 6대 기술 분야로 선정하였고 세부기술영역으로는 태양광, 풍력, 바이오, 수소·연료전지가 포함된다.

#### □ 재생에너지 3020 (2017, 산업통상자원부)

재생에너지 발전 비중을 2030년까지 20%로 확대를 목표로, 2018년부터 2030년까지 총 48.7GW의 신규 설비를 구축하고, 신규 재생에너지 설비 가운데 95% 이상을 태양광·풍력으로 보급하는 목표를 수립하였다.



출처: 산업통상자원부, 재생에너지 3020 이행계획, 2017

[그림 5] 재생에너지 발전량 비중 보급 목표 이행방안

재생에너지 산업경쟁력 강화를 위한 단계별 R&D 전략을 수립하고, 태양광은 단기적으로는 단기 저감형 R&D를, 장기적으로는 차세대 기술 R&D를 추진하고, 풍력은 기술추격 및 단가저감형 R&D에서 장기적으로 차세대 기술 R&D를 추진한다는 계획을 세웠다.

이와 함께 한국형 FIT 제도의 도입을 명문화하였는데, 소형 태양광 가격 고정계약을 체결하게 하여 소규모 태양광 발전사업자(개인사업자 30kW 미만, 농·어·축산업인 또는 조합은 100kW 미만)에 대해 발전공기업이 고정 가격으로 전력을 거래하도록 함으로써 수익 안정과 전기 판매 절차의 편의성을 향상하는 목적으로 2018년 7월부터 5년간 한시적으로 시행되었다.

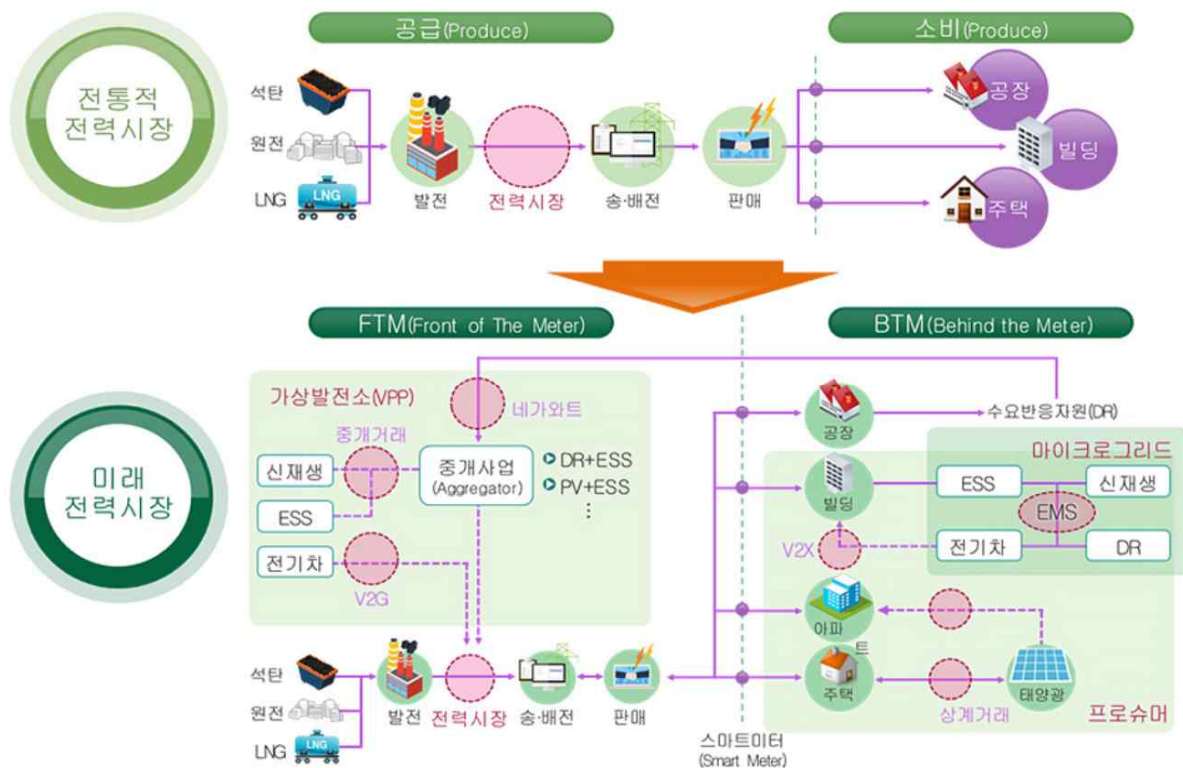




□ 제2차 지능형전력망 기본계획 (2018, 산업통상자원부)

전력망에 ICT(정보통신기술)를 융·복합하여 에너지 이용효율을 최적화하고 전력 분야에서 에너지신산업을 창출하기 위해, 스마트그리드 新 서비스 활성화, 스마트그리드 서비스 체험단지 조성, 스마트그리드 인프라 및 설비 확충, 스마트그리드 확산 기반 구축 등 4대 부문별 정책을 마련하였다.

2020년까지 실시간으로 신재생에너지 발전소를 감시·제어하는 ‘신재생 통합관제 시스템’을 전력거래소에 구축하고, 전력망 ICT 인프라 확충에 5년간 2조 5000억 원 투자 예산을 배정하는 등 관련 제도 정비 계획수립 및 실시간 전기 변동 요금제 도입을 통한 전력 수급 조절을 기대한다.



출처: 산업통상자원부, 제2차 지능형전력망 기본계획, 2018

[그림 7] 스마트그리드 도입에 따른 전력시장 변화

□ 재생에너지산업 경쟁력 강화 방안 (2019, 관계부처 합동)

관계부처 합동으로 재생에너지 산업을 신성장동력으로 육성하기 위한 기술경쟁력 강화 및 산업생태계 고도화 방안을 마련하기 위해 수출과 고용 측면의 정량적 목표를 제시하고 시장 경쟁 구도로의 전환, 산업생태계 경쟁력 보강, 해외 진출 촉진을 3대 전략으로 설정하였다.



출처: 관계부처 합동, 재생에너지산업 경쟁력 강화방안, 2019

[그림 8] 재생에너지산업 경쟁력 강화방안

재생에너지산업 경쟁력 강화를 위해 IoT, 빅데이터, AI, 5G 기반 통합 모니터링 운영체계를 구축하여 발전량 예측, 고장 예측, 운영관리, 유지보수 등 신 서비스 개발을 확산하고, 주민 수용성 강화를 위해 계획입지 제도를 도입하고, 발전소

주변 지역 범위를 합리화하며, 주민동의의 최소 기준을 마련하는 등 조치를 추진하였다.

#### □ 제4차 에너지기술개발계획 (2019~2028, 산업통상자원부)

제4차 에너지기술개발계획은 국가에너지 기본계획 정책 목표달성을 위한 R&D 추진전략, 중점 투자기술 분야 및 제도 운영 방안을 명확화하기 위해 16대 에너지 중점기술 분야를 제시하였다. 이 중, 태양광은 단가저감, 고효율화, 초고출 전지 상용화 기술개발을 중점기술 분야로 선정하고, 풍력은 초대형 해상풍력 터빈 및 부유식 풍력 개발 및 실증을 중점기술 분야로 설정하였다.

또한, 국가적 역량 결집을 위한 R&D 체계 구축방안을 위해, 단일 프로젝트에서 소재, 부품, 완성품 등 연관 과제들을 개발하는 플래그십 R&D를 추진하고 혁신 주체 간 연구개발과 사업화 연계 협력 강화 방안을 마련하며, 한계돌파형 도전적 R&D 및 산업간 융합연구를 강화하는 데 집중하였다.

신산업 창출을 위한 R&D 기반 강화를 위해 신기술 조기 실증 및 시험·인증 인프라 구축을 위한 투자를 확대하고 R&D-보급사업 연계체계를 마련하여 에너지 스타트업 및 벤처기업 육성과 공기업 주도의 사업화 지원을 강화하고, 기술확산 저해 규제를 완화하기 위한 기획-수행-실증 단계별 해결방안을 모색하였다.

지역적, 세계적 차원에서 R&D 저변 확대를 위해 지역 특화산업 및 기존 인프라와 연계한 에너지산업 융복합단지를 조성하고 공동연구 강화 및 각종 협의체 활성화를 통한 인프라 구축 및 촉진 방안을 제시하였다.

□ 한국판 뉴딜 종합계획 (2020, 관계부처 합동)



출처: 관계부처 합동, 한국판 뉴딜 종합계획, 2020

[그림 9] 한국판 뉴딜의 구조

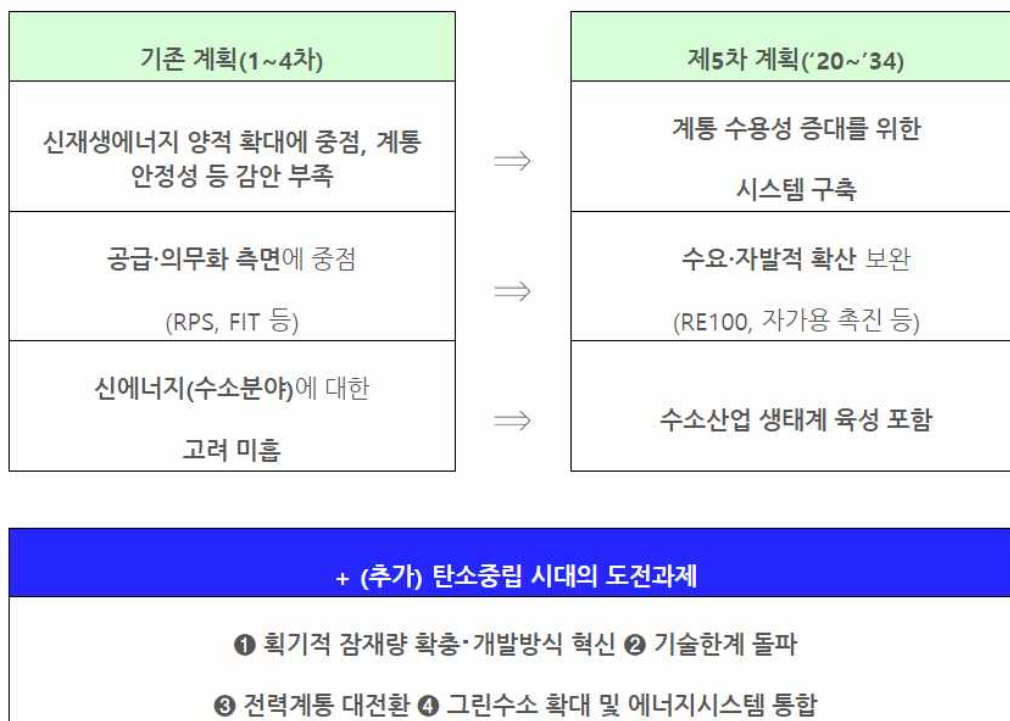
포스트 코로나 대응 사회·경제적 패러다임 대전환을 위한 정부 주도의 대규모 경기 부양책으로 크게 디지털 뉴딜, 그린 뉴딜, 안전망 강화로 3가지 정책을 수립하였다. 경제기반의 친환경·저탄소 전환 가속화를 위한 그린 뉴딜 정책은 신재생에너지에 국비 24.3조 원의 자원을 배정하고 에너지 발전 및 소비를 실시간 모니터링·제어하는 마이크로그리드 기반 스마트 그린 산단을 구축 목표로 설정하고 ICT 기반 자료수집 및 에너지 흐름 시각화, 전력망 통합관제센터 운영 등 전략을 마련하였으며, 또한, 해상풍력단지 실증단지 단계적 구축, RE100<sup>4)</sup> 및 기업 간 전력구매계약을(제3자 PPA<sup>5)</sup>) 지원하는 전략을 수립하였다.

4) RE100 : ‘Renewable energy 100%’ 의 약자로 2050년까지 기업 전력의 100%를 태양광·풍력 등 재생에너지로 전환하자는 국제 캠페인

□ 제5차 신재생에너지 기본계획 (2020~2034, 산업통상자원부)

제5차 신재생에너지 기본계획은 에너지 부문 최상위 계획인 에너지기본계획과 연계하여 신재생에너지 기술개발 및 이용·보급 촉진을 위한 목표와 과제를 제시한다. 석탄과 원자력 발전은 대폭 줄이고, 태양광·수소·풍력에너지 발전을 적극적으로 장려하는 에너지전환 정책이다.

2034년에는 에너지 중 신재생에너지 보급 비중을 13.7%(재생 12.4%, 신 1.3%)로, 발전량 비중은 25.8%(재생 22.2%, 신 3.6%)로 높여, 온실가스를 '17년 대비 4.7배 감축하겠다는 목표를 제시하였다. 신재생에너지 보급·시장·수요·산업·인프라 5대 혁신을 통해 '34년 주력 에너지원으로 도약하는 추진전략을 제시하였다.



출처: 산업통상자원부, 제5차 신재생에너지기본계획, 2019

[그림 10] 기존계획 대비 제5차 신재생에너지 기본계획의 주요 특징

□ 제9차 전력수급 기본계획 (2020, 산업통상자원부)

제9차 전력수급 기본계획은 분산형 전원확대와 친환경, 재생에너지 확대를 고려한 전력시장제도 개선을 목표로, 제8차 계획부터 재생에너지 보급을 태양광, 풍력 중심으로 확대하고 연소형 전원은 비중을 축소하며, 신규 설비의 대부분을 태양광, 풍력 등 청정에너지로 공급하여 보급은 폐기물·바이오 중심에서 태양광, 풍력 중심으로 전환을 촉구하는 계획이다.

5) PPA : ‘Power Purchase Agreement’ 전력구매계약의 뜻으로 전력시장을 통하지 않고 정부의 신재생에너지 거래지침에 따라 발전사업자와 한국전력간 전력거래계약을 체결하여 전력을 거래하는 제도

제8차 전력수급 기본계획의 수요전망이 '17~'18년 폭염 등 기온 변동성 확대에 의한 오차가 크게 증가함에 따라 제9차 계획에서는 산업구조 변화, 기온변동성 등을 고려하여 수요전망 방법론을 보완하여 예측오차를 최소화하고자 하였다.

<표 5> 제8차 전력수급 기본계획의 최대전력 전망 대비 실적치 비교

(단위: GW)

구분	'17년 동계	'18년 하계
8차 전망 VS. 실적치	85.2 VS. 88.2 (+3.0GW) * 평년대비 기온 4.9℃ 하락	86.1 VS. 92.5 (+6.4GW) * 평년대비 기온 3.6℃ 상승

출처: 산업통상자원부, 제9차 전력수급 기본계획, 2020

#### □ 해상풍력 발전방안 (2020, 관계부처 합동)

산업통상자원부, 해양수산부, 환경부 등 관계부처 합동으로 2030년까지 해상풍력 12GW 준공을 통한 세계 5대 해상풍력 강국으로의 성장을 주민과 함께하고, 수산업과 공존하는 상생여건 조성을 비전·미션으로 제시하였다. 정부주도 입지 발굴 및 인허가 간소화, 주민수용성 및 환경성 강화, 대규모 프로젝트 연계 산업경쟁력 강화 3대 추진방안을 제시하였고, 풍황정보를 포함한 입지정보도 구축, 해양입지 컨설팅, 인허가규제 개선을 통한 사업기간 단축, REC 가중치 개편, 해상풍력 지원센터 설립, 탄소저감 보증제도 실시 등 세부 전략이 포함되어 있다.

#### □ RE100 이행 지원방안 (2020, 산업통상자원부)

산업통상자원부, 국무조정실, 한국에너지공단, 한국전력공사, 한화솔루션 등이 참석한 그린뉴딜 정책간담회에서는 RE100 지원방안과 함께 고효율, 신시장, 저단가 중심 태양광 연구개발 혁신전략을 발표하였다.

RE100 이행 지원방안의 골자는 전기소비자가 재생에너지 전기를 선택적으로 구매하는 제도를 신설하고 관련 시스템을 정비하여 국내기업들이 RE100 캠페인에 참여하도록 독려하는 것이다. 이를 위한 제도로는 녹색 프리미엄제, 재생에너지공급인증서(REC) 구매, 제3자 PPA, 지분투자, 자가 발전이 있으며 자세한 내용은 아래 표와 같이 요약할 수 있다.

<표 6> 국내 RE10 이행수단

이행수단	개요
녹색 프리미엄제	<ul style="list-style-type: none"> <li>한전이 구입한 재생에너지 전력(RPS, FIT)에 대해 녹색 프리미엄을 부과하여 일반 전기요금 대비 높은 가격으로 판매(한전, '20.12월 1차 입찰)</li> <li>녹색 프리미엄 판매 재원은 에너지공단이 재생에너지 재투자 예정</li> </ul>
인증서(REC) 구매	<ul style="list-style-type: none"> <li>전기소비자가 RPS 의무 이행에 활용되지 않은 재생에너지공급인증서(REC)를 직접 구매</li> <li>RE100용 REC 거래 플랫폼 개설 예정(에너지공단, '21.1월)</li> </ul>
제3자 PPA	<ul style="list-style-type: none"> <li>한전을 중개로 재생에너지 발전사업자와 전기소비자 간 전력거래계약 체결 추진(한전, '21.1월)</li> </ul>
지분 투자	<ul style="list-style-type: none"> <li>기업 등 전기소비자가 재생에너지 발전사업에 직접 투자</li> </ul>
자가 발전	<ul style="list-style-type: none"> <li>기업 등 전기소비자가 자기 소유의 자가용 재생에너지 설비를 설치하고 생산된 전기를 직접 사용</li> </ul>

자료: 산업통상자원부 보도자료, 그린뉴딜 성과창출 위한 재생에너지 제도혁신 추진, 2020

글로벌 RE100과 한국형 RE100(K-RE100)의 차이점은 후자의 경우 전기사용량 및 참여유형에 제한없이 재생에너지를 구매하고자 하는 산업용, 일반용 전기소비자면 모두 참여가 가능하다는 것이다. 전기소비자가 한국에너지공단이 운영하는 K-RE100 시스템으로 재생에너지 전기를 사용하면 공단으로부터 재생에너지 사용확인서를 발급받아 RE100 이행 실적을 인정받게 된다.

2021년도 제도 시행 1년간 32개 대기업, 14개 중견·중소기업, 28개 공공기관 총 74개의 기관에서 참가하고 있다. 소비자들은 주로 저렴한 녹색 프리미엄 제도를 활용(76%)하는 것으로 나타났으며 다른 이행수단은 아직 경제성 문제로 확산이 지연되고 있다.<sup>6)</sup> 기업들은 장기계약으로 수급 안정성 확보에 용이한 직접 PPA 방식에 관심이 많으나 현시점에서 발전단가가 높기 때문에 단기간 내 활용은 어려운 실정이므로, 관련법 시행령 및 규칙 개정을 추진하고 있다. 이와 함께 산업통상자원부는 REC 거래 플랫폼을 구축하는 동시에 다양한 지원방안을 다각적으로 검토하고 있다.

□ 스마트 그린산단 실행전략 (2020, 산업통상자원부)

해당 정책은 스마트산단 전략(2018)을 한국형 디지털-그린 뉴딜이 융합된 전략으로 확장하여 스마트그린 산단으로 전환하고, 산단별 주력산업특성을 고려한 산업·공간·사람별 실행전략을 수립한다는 배경하에 수립되었다.

특히 공간 분야에서 그린과 디지털을 융합한 ‘저탄소 친환경 산단으로의 혁신’을 표방하며 신재생에너지 전환기업에 대한 투자세액공제 혜택과 산단

6) <http://www.keaj.kr/news/articleView.html?idxno=4481>



환경개선 펀드 사업 확대, 한국형 통합발전소(VPP, Virtual Power Plant) 도입, 에너지 자립형 RE100 산단 구축전략을 제시하였다.

구체적으로는 지능형 전력망과 스마트 물류·교통, 그린수소 생산 기반 등을 갖춘 스마트그린 산단 인프라를 조성하고, 재생에너지 발전시설에 대한 공유수면 점·사용료 감면 및 투자진흥지구 투자자·입주기업 대상 인센티브를 제공함과 동시에 30MW 규모 재생에너지 직접거래가 가능한 사업 기반인 재생에너지 전력구매계약 사업모델을 발굴하는 RE100 전력구매계약(PPA) 선도사업을 추진하고 있다.

#### □ 태양광 R&D 혁신전략 (2020, 산업통상자원부)

태양광 R&D 혁신전략은 글로벌 태양광 시장 선도를 위해 향후 5년간 3,300억 원의 예산을 고효율, 신시장, 저단가 3대 분야에 80% 이상 집중적으로 지원한다는 계획이다. 정책 보고서에 따르면, 현 정부 R&D의 문제점으로 지적되고 있는 분산형 지원, 대학 연구소 중심, 연구인프라 부족 등 한계를 극복하여 국내 산업계가 혁신성과를 창출하기 용이한 구조로 전환하고 단기 내 가시적 성과 창출을 위해 기업 수요, 지원 시급성, 성장 가능성 등이 높은 분야에 정부 재원을 집중적으로 투자할 방침이다.

태양광 R&D 혁신전략의 핵심은 대기업의 R&D 참여조건 완화를 통한 셀 모듈 기업 중심 R&D를 추진하고, 태양광 공동 R&D센터 구축을 통해 국내 태양광 업계의 협력형 기술개발 및 양산성 검증 등 지원을 확대하는 것이다.

즉, 기존의 차세대 태양전지 후보군 및 결정질 실리콘 분야에 대한 투자 대신 고효율 저단가 제품생산을 위한 기술개발과 함께 수상·해상 태양광 등 유휴공간 활용 확산 기술개발과 ICT 기술 기반 발전량 예측 및 유지보수(O&M) 산업 등 신시장·서비스를 선점하는 데 주력하고 있다.

#### □ 신재생에너지 공급의무화제도 '21년 소형태양광 고정가격계약 매입(한국형 FIT)참여 공고

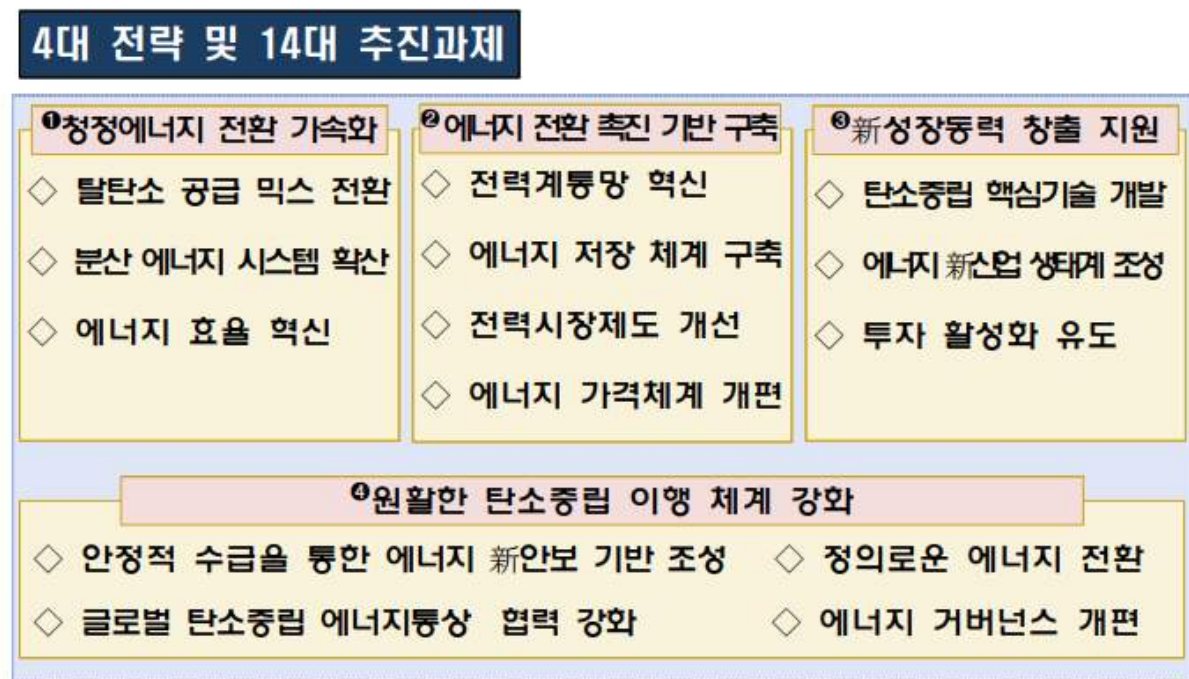
2021년 4월, 한국에너지공단은 한국형 FIT 제도에 동일사업자 참여 한도 조항을 신설하여 일반사업자 및 농·축산·어민은 누적 '3개', 조합은 누적 '5개' 까지 참여할 수 있다는 방침을 설정하였다. 또한, 1년 단위의 한국형 FIT 접수 기간을 반기별로 구분하여 6개월 단위(연 2회)로 운영하고, 고정가격 단가 결정방식 역시 'RPS 고정가격계약 경쟁입찰제도의 직전 경쟁입찰에서 결정된 100kW 미만의 낙찰 평균가격'으로 변경하였다.

이와 함께 2022년에는 탄소검증 모듈 사용에 관한 조항을 신설하여, 탄소검증

모듈을 사용한 경우에만 한국형 FIT 제도에 참여할 수 있도록 하고, 태양광 발전소의 출력감시, 예측, 평가 및 제어를 위해 정보제공장치(단말장치 등)를 설치하는 조건들에 대해 검토할 방침을 밝혔다.

□ 에너지 탄소중립 혁신전략 (2021, 관계부처 합동)

2021년 12월 관계부처 합동으로 2050 탄소중립 달성과 2030 국가 온실가스 감축 목표(NDC)<sup>7)</sup>의 원활한 이행을 위한 에너지 분야 중장기 비전과 정책과제를 수립하였고, 청정에너지 전환 가속화, 에너지전환 촉진 기반 구축, 신성장동력 창출 지원, 원활한 탄소중립 이행체계 강화의 4대 전략과 14대 추진과제를 통해 재생에너지의 획기적 확대(2050년 70.8%), 에너지 효율 선진화('18년 대비 에너지 단위 개선을 2050년 40% 이상) 등의 목표를 제시하였다.



출처: 관계부처합동, 에너지 탄소중립 혁신전략, 2021

[그림 11] 에너지 탄소중립 혁신전략의 전략체계

태양광에 대해 범부처 입지·인허가 애로 해결 지원체계 구축을 통해 입지담당부처 중심으로 우선 공급이 가능한 신규입지 발굴·보급 확대를 추진하고, 풍력은 입지발굴부터 인허가 등 전주기 원스톱 지원체계 및 계획입지

7) 국가 온실가스 감축 목표(Nationally determined contribution, NDC): 2015년 프랑스 파리에서 열린 유엔기후변화회의에서 제안된 ‘파리기후변화협약’을 채택하며 지구 평균온도 상승 폭을 산업화 이전 대비 2℃ 이하로 유지하고 더 나아가 온도 상승 폭을 1.5℃ 이하로 제한하는 것을 목표로, 국가별 온실가스 감축 목표치 설정. 한국은 탄소중립 중간 목표를 제시한 NDC 2030에서 전망치(BAU) 대비 24.4%의 온실가스 감축을 목표를 설정하였으나 2021년 목표치를 40%로 상향 조정(관계부처 합동, 2030 국가 온실가스 감축목표[NDC] 상향안, 2021)

제도 도입, 규제개선·부유식 발굴 등을 통한 입지 잠재량을 확충한다. R&D 분야에서는 해상풍력 시스템, 부품복합단지 등 재생에너지 단지 인근에 연관기업 및 실증, 시험 설비를 집적하여 R&D-실증-생산-납품을 연계하는 재생에너지 단지 연계형 R&D를 추진한다.

□ 분산에너지 활성화 추진전략 (2021, 산업통상자원부)

분산에너지 활성화 추진을 위해 수요지 인근에서 저탄소 에너지를 스마트하게 생산·소비·거래하는 분산에너지 시스템을 구축하는 전략체계를 수립하여 태양광·풍력 등 재생에너지 증가에 따른 계통 변동성 확대 및 전력의 생산·소비 측면에서의 지역 간 불균형 해소를 도모하는 전략이 2021년에 수립되었다.

<표 7> 분산에너지 활성화 추진 전략 내용

구분	내용	
비전	수요지 인근에서 저탄소 에너지를 스마트하게 생산·소비·거래하는 분산에너지 시스템 구축	
목표	분산형 전원 발전 목표 : ('25) 17.0% → ('30) 19.0% → ('40) 30.0%	
기본 방향	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (인프라) 전력계통의 관리·수용 능력 강화</li> <li>▪ (생산·소비) 분산에너지의 생산·소비 확대</li> <li>▪ (시장) 분산에너지 친화적인 전력시장·제도 조성</li> </ul>	
정책 과제	<1단계> 분산에너지의 확대 기반인 전력계통의 관리·수용능력 강화	① 계통 인프라 구축을 통한 재생에너지 변동성 완화 ② 신규 유연성 자원 개발·도입을 통한 잉여전력 해소 ③ 에너지 슈퍼스테이션을 통한 자가발전 충전인프라 구축
	<2단계> 유인체계 마련 등으로 에너지 생산·소비의 분산화 확대	① 분산 편익 지원을 통한 분산에너지 생산 확대 ② 수요의 지역 분산 유도를 통한 전력 소비의 분산화 ③ 재생에너지 자가발전 유인책을 통한 자가소비 확대 ④ 마이크로그리드 기반 구축을 통한 지역내 생산·소비 체계 마련
	<3단계> 분산에너지의 전력시장 참여를 위한 시장·제도 조성	① 전력시장 개편을 통한 분산에너지 시장참여 유도 ② 통합발전소 제도 도입을 통한 재생에너지 관리능력 제고 ③ 배전계통 운영제도를 통한 지역별 관리체계 마련 ④ 지역별 송배전 이용요금제를 통한 분산형 망요금 마련
추진 전략	특별법 제정 (~'22) →	분산에너지 특구 지정·혁신 제도 실증(~'23) → 분산에너지 친화적인 에너지 시스템 확산(~'24)

출처: 산업통상자원부, 분산에너지 활성화 추진전략, 2021

분산에너지 특성을 고려한 전력시장 개편 및 분산에너지 시장참여 유도를 목적으로 분산에너지 친화적인 시장·제도를 조성하기 위해 신재생 발전량 예측·입찰제도를 도입하였다.

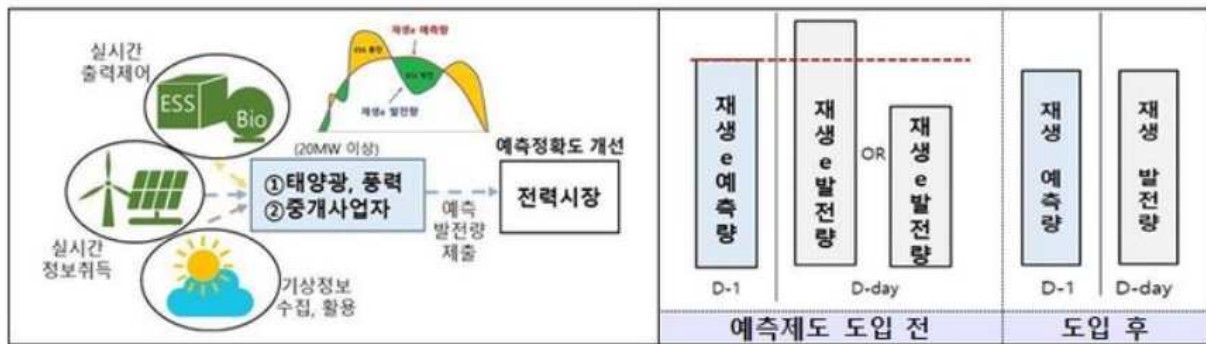
예측제도를 통해 재생에너지가 사전에 계획한 발전량을 예측하여 제출하고, 이를 이행했을 경우 SMP 外 추가적인 인센티브를 지급하며, 입찰제도에서는 개별 및 VPP 모집 자원이 20MW를 초과하는 신재생 발전기에 대한 발전량

입찰·용량요금을 지급하고, 출력제어에 대한 기회비용 보상을 추진한다. 이와 함께 재생에너지 발전량 예측·입찰제도에 참여하는 재생에너지 연계형 ESS에 대해 설치 규모, 계통 안정화 기여도를 종합 고려하여 편익을 지원하는 ‘재생에너지 연계형 ESS 계통 안정화 편익 지원’ 제도를 도입한다.

□ 재생에너지 발전량 예측제도 (2021, 산업통상자원부)

전력거래소는 2021년 10월 「전력시장운영규칙」 제14장에 재생에너지 발전량 예측제도 항목을 추가하였고, 이는 재생에너지 발전량 예측에 따른 전력계통안정 편익을 현금으로 돌려주는 인센티브 정책으로, 20MW 이상 태양광·풍력 발전사업자가 재생에너지 발전량을 거래 전일 예측해 제출하고, 당일에 오차율 8% 이내일 경우 정산금을 지급하는 제도이다.

20MW를 초과하는 재생에너지 개별 자원이나 재생에너지원 합산 20MW를 초과하는 예측형 집합자원을 대상으로 예측제도 등록시험을 통과한 발전/중개사업자만 정산금을 지급하고, 오차율이 8% 이하 시 3원, 6% 이하 시 4원 지급한다. 직전 3개월 평균 예측 오차율이 10% 이하일 때 해당 대상자원의 등록 자격은 이후 3개월 동안 연장, 참여 자원의 3개월간 평균 오차율이 10%를 넘으면 참여 대상에서 제외한다. 예측발전량은 전력거래소에 거래 전일 총 2회(1차: 10시 마감, 2차: 17시 마감) 제출하며, 등록자원의 설비용량 및 계량전력량을 고려하여 정산한다.



출처: 산업통상자원부 보도자료, 재생에너지 발전량 예측제도 도입, 2020.09.18.

[그림 12] 재생에너지 발전량 예측제도 도입에 따른 변화 예시

또한, 주체별 기상정보 기반 재생에너지 발전량 예측 관련 의무 사항을 부과하고 제주지역 공급과잉으로 인한 계통 주파수 안정성 저하, 자연재해 등 전력계통 비상 예상 또는 비상 발생 시 기상정보 활용기반 조치 절차를 마련한다.

- 전력거래소에 전력거래가격의 결정, 운영발전계획의 수립, 실시간 계통운영, 장·단기 전력 수급 분석 등을 위하여 전력수요를 예측할 의무 부과
- 신재생발전사업자에게 출력 감시, 예측, 평가 및 제어에 필요한 발전설비 특성자료, 출력정보, 예측정보, 발전단지 기상정보 등을 전력거래소 또는 송·배전 사업자에게 제공 의무 부과
- 1MW 초과 20MW 이하 풍력 발전기를 보유한 발전사업자는 풍향 계측기 등을 통한 발전기의 기상정보를 전력거래소 또는 송·배전 사업자에게 제공 의무 부과
- 1MW 초과 태양광 발전기를 보유한 발전사업자는 일사량계 및 외기온도계 등을 통한 발전기의 기상정보를 전력거래소 또는 송·배전 사업자에게 제공 의무 부과
- 1MW 초과 풍력, 태양광 및 연료전지 발전기를 보유한 발전사업자는 기상정보제공 설비를 갖추어 발전기의 실시간 정보를 원격으로 제공 의무 부과
- 20MW 초과 풍력 발전기를 보유한 발전사업자는 고정식 풍황계측타워 또는 원격감지계측기(소다(Sodar), 라이더(Lidar) 등) 등을 통한 발전기의 기상정보를 전력거래소 또는 송·배전 사업자에게 제공 의무 부과
- 전력설비 기술특성 자료심사를 위한 계통평가위원회에 전력계통 전산시스템 현황 및 개선 관련 사항 점검, 전력계통 신기술 도입 검토, 주요 전력계통 운영실적 분석 등 업무 수행 의무를 부과

#### □ 탄소중립기술혁신 추진전략 (2021, 과기정통부)

석탄 발전 비중, 제조업 비중이 높은 우리나라의 경우 ‘2050 탄소중립’ 실현은 도전적인 과제로, 이를 실현하기 위해 기술혁신이 중요하고 시급하다는 판단하에 전략이 마련되었고, 탄소중립 10대 핵심기술에 대한 2050년까지의 목표와 확보 전략을 제시하였다. 태양광 분야 기술개발 전략에 따르면, 향후 태양광 시스템의 적용을 수상·해상과 도시 등으로 확대할 전망이다. 다양한 입지환경에 특화된 기상예측정보가 활용되어야 하며, 태양광 발전 비중이 확대됨에 따라 기존에 설치되었던 태양광발전소에 대한 운영관리 및 유지보수 기술의 중요성이 두드러진다.

태양광 기술개발 전략					
중분류	현수준	단기(~'25)	중기(~'30)	장기(~'50)	목표
초고효율 태양전지	전지 효율 ~26.7% 모듈 효율 ~21%	탠덤 셀 초격차화	탠덤 셀 초고효율화		( <sup>'30</sup> )탠덤 셀 효율 35%, 모듈 30%
		모듈 장기안정성/고내구성 확보		상용화 적용	( <sup>'50</sup> )다중접합 셀 효율 40% 이상
태양광 시스템	수상태양광 시스템 설치 단가 13.5 억원/MW	수상/해상 태양광 시스템	내구성 및 경제성 확보		수상태양광 설치 단가 4( <sup>'30</sup> )/2.7( <sup>'50</sup> ) 억 원/MW
탄소중립 도시형 태양광	유연 태양전지 효율 ~20%	경량/유연/반투명/소감도 태양전지 고효율화(무기박막, 유기페로브스카이트, 유기 등)			( <sup>'30</sup> )초경량 유연 탠덤 셀 효율 30%
		고집적 기능성 모듈 개발		사업화	( <sup>'50</sup> )고집적 고내구성 모듈

출처: 한국에너지기술연구원, 탄소중립 기술혁신 추진전략-10대 핵심기술 개발 방향, 2021

[그림 13] 태양광 분야 기술개발 전략

풍력 분야는 풍력 단지 운전효율 향상을 위한 풍력 단지 운전 신뢰성 확보기술과 계통 연계 안정성 확보기술에 집중하며 풍력발전기 수명을 고려한 운영 및 유지관리를 위한 기상예측정보 제공 필요하다.

풍력 기술개발 전략					
중분류	현수준	단기(~'25)	중기(~'30)	장기(~'50)	목표
풍력핵심부품 효율향상	5.5MW (블레이드 길이:70m)	10~15MW급 대형 블레이드	시스템 실증	사업화	( <sup>'30</sup> )15MW급 핵심부품 실증/상용화 (블레이드 100m 이상)
		10MW급 직접 구동형 발전기/전력 변환기	실증/사업화		( <sup>'40</sup> )120MW급 핵심부품 실증
풍력발전기 대형화	발전용량 5.5MW	고정식 풍력 발전기 대형화	실증/사업화	시스템 실증/사업화	( <sup>'30</sup> )15MW급 고정식풍력 상용화 ( <sup>'35</sup> )15MW급 부유식풍력 상용화 ( <sup>'50</sup> )20MW급 부유식풍력 상용화
			부유식 풍력발전기 대형화		
풍력단지운영 효율향상	운전수명 20년	풍력단지 신뢰성 실증평가 기술	사업화		( <sup>'30</sup> )풍력발전 단지 운전 수명 25년
			육/해상 출력 예측 및 활용 기술		실증/사업화

출처: 한국에너지기술연구원, 탄소중립 기술혁신 추진전략-10대 핵심기술 개발 방향, 2021

[그림 14] 풍력 분야 기술개발 전략

□ 윤석열 정부 110대 국정과제 (2022, 제20대 대통령직인수위원회)

새로 출범한 윤석열 정부는 6대 국정목표 110대 국정과제를 제시하면서, 최근 글로벌 자원 수급 불확실성 정세에 대응하여 다양한 에너지원을 확대함으로써

에너지 자급률 제고 및 산업·일자리 창출을 도모한다는 방침을 밝혔다.

구체적으로는 ‘국정목표 2: 민간이 끌고 정부가 미는 역동적 경제’ 중 ‘약속 21. 에너지 안보 확립 및 에너지 新산업·新시장 창출’에서는 원전과 재생에너지의 조화 등을 고려하여, 에너지믹스를 합리적으로 조정하고 에너지·산업·수송부문 NDC 달성방안을 수정하는 전략이 포함되어 있다. 태양광, 풍력산업을 고도화하고 고효율·저소비형 에너지 수요관리 혁신, 4차산업 기술과 연계한 신산업 육성을 추진한다는 의미이다.

이어 ‘약속 41. 해양영토 수호 및 지속가능한 해양 관리’에서는 지자체 간 해상경계 확정, 해상풍력 등 해양개발 행위에 대한 상생·공존 체계 마련을 세부전략으로 제시하였다.

또한, ‘국정목표 4. 자율과 창의로 만드는 담대한 미래’에서는 ‘약속 16. 탄소중립 실현으로 지속가능한 미래를 만들겠습니다’를 목표로 제시하며 과학적인 탄소중립 이행방안 마련으로 녹색경제 전환 등의 세부 전략을 발표하였다.

### 1.1.1.2 지자체

#### □ 17개 광역지방자치단체 지역에너지계획 (2020. 5., 산업통상자원부)

지역에너지계획은 최종에너지 소비 감축, 재생에너지 발전비중, 분산전원 발전비중에 대한 2050년까지의 전략적 목표를 제시, 지역별 에너지 수급환경을 고려하여 신재생에너지 확대 및 관련 산업 육성방안을 제시하였다.

17개 지자체는 지역에너지계획을 통해 ‘25년까지 재생에너지 비중을 전체 발전량의 15.1%(제주 56.7%, 전북 49.4%, 세종 41.3%, 전남 39.1%, 서울 6.1% 등)로 상향, 분산전원 발전 비중을 22%(전북 50%, 강원 45.5%, 전남 43.6%, 충남 41.8% 등)로 확대하는 목표를 제시하였다.

※ 최종에너지 소비 목표치: '25년 기준 수요(BAU) 대비 8.7% 적은 2억 450만 TOE(석유환산톤)으로 제시

본 계획에서는 지역별 입지조건 및 특성을 고려하여 신재생에너지 확대 추진을 위한 효과적인 방안이 수립되었으며 그 상세 내용은 다음과 같다.

<표 8> 지역별 신재생에너지 확대 및 관련 산업육성 방안>

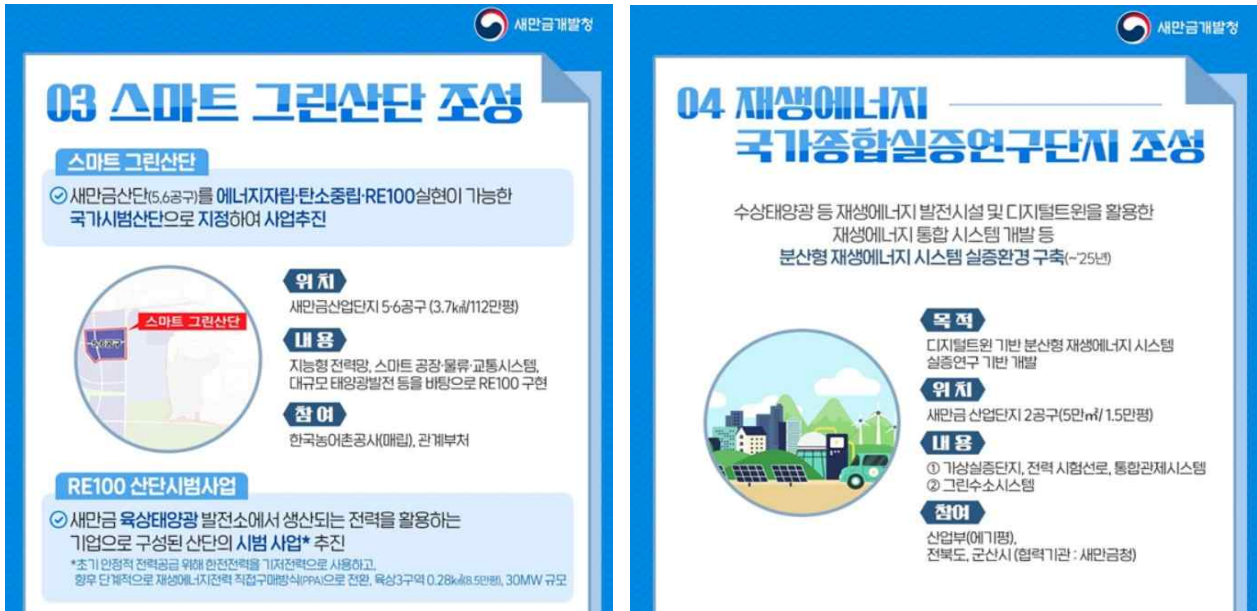
구분	추진내용	지역	지역별 주요계획
수도권	상업·제조업 시설의 밀집 특성을 고려	서울	건물(가정·상업 등) 에너지효율화(BRP), 건물형 태양광
		경기	스마트에너지 산단 조성(반월·시화), 기업 에너지효율개선 지원
		인천	섬 지역 해상풍력단지 조성, 공항 내 연료전지 설치
충청권	태양광 제조기업 및 연구개발 인프라 활용	충북	태양광산업 융복합단지 조성(음성, 진천), 에너지 산학융합지구(혁신도시)
		충남	RE100 혁신벨트 조성(도비도 에너지융복합타운, RE100 테크노밸리 등)
		대전	과학비즈니스벨트 제로에너지 시범단지, 수소제품 안전성 지원센터
		세종	수소연료전지발전소, 열병합발전소 및 지역난방공급시설
호남권	풍부한 재생에너지 입지 잠재량 고려	전북	새만금 수상태양광(2.8GW), 서남해 해상풍력단지(2.4GW)
		전남	영농형·수상 태양광, 해상풍력단지(안마도, 신안)
		광주	에너지산업 융복합단지, RE100 통합 에너지그리드 산단, 직류배전
영남권	중화학 공업 발달 및 석유화학 공정 부생수소 활용	울산	수소 시범도시, 동해가스전 부유식 해상풍력단지
		경남	풍력·가스터빈 생태계 육성, 수소 생산기지 및 액화·저장 플랜트
		경북	동해안 육·해상풍력 클러스터, 도심형 마이크로그리드
		대구	전기차 카셰어링 시범지구, 융복합 청정에너지 산
		부산	시민참여형 가상발전소(VPP), 에코델타 에너지자립도시
강원, 제주	풍황자원 활용	강원	육상풍력발전단지, 수소 R&D 특화도시(삼척)
		제주	육·해상 풍력발전지구, 전기차 확대 및 폐배터리 활용 비즈모델 발굴

출처: 지역과 지자체가 중심이 되어 에너지전환을 추진한다. (산업통상자원부, 2020. 보도자료)

## □ 전라북도

전라북도는 2018년 ‘새만금 재생에너지 선포’를 통해 총 3GW의 새만금 재생에너지 발전단지 조성 계획 추진 중으로 국내 최초로 RE100(필요 전력의 100%를 재생에너지로 조달)을 목표로 하는 스마트 그린 산단을 조성하여 재생에너지 싱크탱크로 도약하기 위해 산·학·연 집적단지과 신재생에너지 산업 전문인력양성센터를 설립하고, 한국에너지기술평가원 국가 종합 실증단지 등 연구기관을 유치하고 있으며, 군산 해역에는 기상 해양 관측 시스템을 구축해 대규모 해상풍력 발전기 설치를 위한 데이터를 축적하고 있다.





출처: N뉴스, 2022년 새만금개발청 핵심 추진과제 - ① 새만금 재생에너지 발전 및 활용, <https://m.news.nate.com/view/20220114n28052>

[그림 15] 2022년 새만금 핵심 추진과제

## □ 제주시

2021년 12월 신재생에너지 분야의 고품질 기상지원을 목적으로 제주지방기상청과 제주에너지공사는 ‘제주지역 신재생에너지 기반 에너지 시스템 실현을 위한 업무협약’을 체결하여 탄소 없는 섬, 제주(CFI 2030) 에너지 전환 정책을 지원하고 있다.

이 외에도 제주 스마트에너지시티 사업 추진을 위해 협업하고, 신재생에너지 안정적 운영을 위한 기상기후정보 지원, 기상관측장비 설치 및 자료수집 등에 관한 기술지원과 공동활용, 지역 신재생에너지 거버넌스 구축 및 운영 등을 공동 추진하며, 제주에너지공사와 기상청 업무협약으로 제주도의 바람과 햇빛을 지역별로 주야 간 풍속, 풍황, 풍량, 돌풍은 물론 일사, 일조량 등 세부 특성을 분석해 풍력과 태양광사업 운영에 최적 입지를 위한 기상 맵을 개발할 예정이다.

## □ 인천시

인천시는 인천형 신재생에너지 보급사업을 통해 2030년까지 총 8조 원의 사업비를 투입해 신재생에너지 보급률을 애초 목표 22%에서 35.7%로 끌어올릴 계획으로, 인천형 수소 경제, 해상풍력단지, 시민형 태양광사업을 주요 사업으로 선정하여 추진 중이다.

인천형 수소 경제 사업 추진을 위해 2008년 한국남동발전과 해상풍력 발전사업 업무협약을 체결하였으나 제도적 기반이 미비하여 2021년부터 해상풍력발전단지

조성 사업을 본격화하였다. 용유·무의·자일 300MW, 덕적도 외해 300MW 등 총 발전용량 600MW에 대한 해역 기본조사, 해역 점 사용허가를 거쳐 2020년 4월부터 사업성을 확인하였고, 2027년까지 총 19조 원을 투입해 3.7GW 규모의 해상풍력발전단지를 조성할 예정<sup>8)</sup>이다.

세계 최대 해상풍력 발전기업인 덴마크의 오스테드는 2026년까지 총 8조 원의 사업비로 275km<sup>2</sup> 해역에 1.6GW 규모의 해상풍력 발전단지 조성하는 계획에 대한 산자부의 발전사업 허가를 신청하였으며, 특수목적법인(SPC)인 ‘인천해상풍력1호 주식회사’와 ‘인천해상풍력2호 주식회사’를 설립하고 자기자본 100%로 사업비 자체 전액 조달할 예정이다.

시장형 에너지 사업인 시민형 태양광발전사업을 통해 발생한 이익을 배당금 형태로 조합원에게 배분하는 사업으로 에너지 소비량이 많은 산업체 및 건물 등 민간분야에 태양광 발전 설치자금 융자를 지원하고 태양광발전설비(300kW 이하) 설치비용의 최대 70%(최대 3억4000만 원) 범위 안에서 고정금리 1.8% 융자를 지원하는 사업이다.

### 1.1.1.3 시사점

국내 재생에너지 정책들은 재생에너지 비중을 ' 30년까지 20%, ' 40년까지 30~35%로 확대하는 중장기계획 및 로드맵을 마련함으로써 태양광·풍력 사업 확대를 위한 기초 인프라 및 법제 지원을 강화하고 계통연계 안정성 확보를 위한 기술 개발 및 전력시장 제도 개선을 추진하며 글로벌 정세 기조에 맞춰 대응 노력을 기울이고 있다.

국내 주요 지자체에서는 탄소중립 이행을 위한 재생에너지 발전량/설비 등 목표를 제시하고 재생에너지 발전 확대를 중점사업으로 추진하고 있으며 주민수용성 해결을 위한 지자체별 대응 전략을 수립하고 있다. 특히, 제주도와 전라북도는 국내 관련기관과의 협력 인프라 구축 전략을, 인천은 해외 공공 및 민간기관과의 협력 확대 전략을 추진함에 따라 탄소중립 사회로의 변화 흐름에 따른 명확한 정책 목표를 수립하고 관련기관과의 긴밀한 협력체계를 구축하여 지속가능한 에너지로의 전환에 동참하고 있다.

탄소중립 목표 이행을 위한 태양광·풍력에너지 발전시설의 대규모 증설로 발전계통 불안정성이 증대될 것으로 예상된다. 이에 따라 재생에너지 공급 및 전력수요 예측을 위한 고품질의 기상정보에 대한 수요가 확대될 것으로 전망된다. 또한, 발전사업자 측면에서는 재생에너지 발전량 예측제도 시행으로 1MW 규모 이상의 발전사업자의 기상정보 제공이 의무화되어 향후 발전시설에 기상계측기

8) [https://www.incheon.go.kr/IC010205/view?repSeq=DOM\\_0000000003963887&repDt=2022-01-12](https://www.incheon.go.kr/IC010205/view?repSeq=DOM_0000000003963887&repDt=2022-01-12)

설치 및 기상정보 제공 필요성이 증가할 것으로 예상되므로 이에 대한 기상청의 기상지원이 필요하다.

### 1.1.2 국외 태양광·풍력에너지 분야 주요 정책 동향

#### □ 주요국 재생에너지 보급 목표

최근 주요국들은 재생에너지 지원정책을 강화하며 지속적으로 신규 발전설비 용량을 증가시키는 추세이다. 국제에너지기구(IEA, International Energy Agency)는 2025년 세계 발전량 중 3분의 1이 재생에너지로 충당될 것으로 전망하고 있는 등 재생에너지의 미래를 매우 낙관적으로 보고 있다. 또한, 유럽 국가들은 최근 러시아-우크라이나 전쟁을 계기로 대러시아 에너지 의존을 탈피하기 위해 전원 믹스에서 재생에너지 비중 목표를 상향 조정하는 등 노력을 기울이고 있다.

<표 9> 국가별 재생에너지 보급 목표

국가	정책 유형	목표																								
미국	에너지소비	-																								
	전력부문	<ul style="list-style-type: none"> <li>29개 주 및 워싱턴 D.C. 재생에너지 의무할당제(RPS) 시행</li> </ul>																								
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>주</th> <th>하와이</th> <th>캘리포니아</th> <th>뉴욕</th> <th>워싱턴 D.C.</th> <th>콜로라도</th> <th>코네티컷</th> <th>미네소타</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RPS 비율</td> <td>100%</td> <td>100%</td> <td>70%</td> <td>100%</td> <td>30%</td> <td>40%</td> <td>25%</td> </tr> <tr> <td>목표 연도</td> <td>2045</td> <td>2045</td> <td>2030</td> <td>2032</td> <td>2020</td> <td>2030</td> <td>2025</td> </tr> </tbody> </table>	주	하와이	캘리포니아	뉴욕	워싱턴 D.C.	콜로라도	코네티컷	미네소타	RPS 비율	100%	100%	70%	100%	30%	40%	25%	목표 연도	2045	2045	2030	2032	2020	2030	2025
		주	하와이	캘리포니아	뉴욕	워싱턴 D.C.	콜로라도	코네티컷	미네소타																	
RPS 비율	100%	100%	70%	100%	30%	40%	25%																			
목표 연도	2045	2045	2030	2032	2020	2030	2025																			
EU-28	에너지소비	<ul style="list-style-type: none"> <li>2020년까지 최종에너지<sup>9)</sup>소비에서 재생에너지 20%</li> <li>2030년까지 최종에너지소비에서 재생에너지 32%</li> </ul>																								
	전력부문	<ul style="list-style-type: none"> <li>2030년까지 재생에너지 발전량 비중 57%</li> </ul>																								
독일	에너지소비	<ul style="list-style-type: none"> <li>2030년까지 최종에너지소비에서 재생에너지 42%</li> <li>2040년까지 최종에너지소비에서 재생에너지 45%</li> </ul>																								
	전력부문	<ul style="list-style-type: none"> <li>2030년까지 재생에너지 발전량 비중 57%</li> </ul>																								
영국	에너지소비	<ul style="list-style-type: none"> <li>2020년까지 최종에너지소비에서 재생에너지 15%</li> </ul>																								
	전력부문	<ul style="list-style-type: none"> <li>(스코틀랜드) 2020년까지 재생에너지 발전량 비중 100%</li> <li>(웨일스) 2030년까지 재생에너지 발전량 비중 70%</li> </ul>																								
프랑스	에너지소비	<ul style="list-style-type: none"> <li>2020년까지 1차 에너지<sup>10)</sup>소비에서 재생에너지 23%</li> <li>2030년까지 1차 에너지소비에서 재생에너지 33%</li> </ul>																								
	전력부문	<ul style="list-style-type: none"> <li>2030년까지 재생에너지 발전량 비중 40%</li> </ul>																								

9) 최종에너지 : 제품의 생산 또는 활동을 위해 에너지원이 연료 또는 비에너지의 목적으로 산업, 수송, 가정, 상업, 공공부문에서 최종 소비되는 에너지

10) 1차에너지 : 1차에너지 소비량으로 타 에너지로 전환되기 위해 투입되는 에너지와 산업, 수송, 가정, 상업, 공공

덴마크	에너지소비	-
	전력부문	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 2020년까지 재생에너지 발전량 비중 50%</li> <li>▪ 2050년까지 재생에너지 발전량 비중 100%</li> </ul>
일본	에너지소비	-
	전력부문	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 2030년까지 재생에너지 발전량 비중 24%</li> </ul>
한국	에너지소비	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 2020년까지 1차 에너지소비에서 재생에너지 6.1%</li> <li>▪ 2030년까지 1차 에너지소비에서 재생에너지 11%</li> </ul>
	전력부문	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 2030년까지 재생에너지 발전량 비중 20%</li> <li>▪ 2040년까지 재생에너지 발전량 비중 35%</li> </ul>
중국	에너지소비	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 2020년까지 1차 에너지소비에서 재생에너지 15%</li> <li>▪ 2030년까지 1차 에너지소비에서 재생에너지 20%</li> </ul>
	전력부문	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 2030년까지 재생에너지 발전량 비중 35%</li> </ul>
인도	에너지소비	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 2030년까지 최종에너지소비에서 재생에너지 40%</li> </ul>
	전력부문	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 2022년까지 재생에너지 발전량 비중 10%</li> </ul>
UAE	에너지소비	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 2050년까지 최종에너지소비에서 재생에너지 44%</li> </ul>
	전력부문	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 2050년까지 재생에너지 발전량 비중 44%</li> </ul>
브라질	에너지소비	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 2030년까지 최종에너지소비에서 재생에너지 45%</li> </ul>
	전력부문	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 2030년까지 재생에너지 발전량 비중 23%</li> </ul>
호주	에너지소비	-
	전력부문	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 2020년까지 재생에너지 발전량 비중 23%</li> </ul>
멕시코	에너지소비	-
	전력부문	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 2030년까지 재생에너지 발전량 비중 38%</li> <li>▪ 2050년까지 재생에너지 발전량 비중 50%</li> </ul>
인도네시아	에너지소비	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 2025년까지 1차 에너지소비에서 재생에너지 23%</li> <li>▪ 2050년까지 1차 에너지소비에서 재생에너지 31%</li> </ul>
	전력부문	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 2020년까지 재생에너지 발전량 비중 23%</li> <li>▪ 2025년까지 재생에너지 발전량 비중 26%</li> </ul>

자료: 환경부, 한국 재생에너지 동향과 대응정책, 2020

### 1.1.2.1 미국

#### □ 가격지원제도

미국은 RPS 중심의 신재생에너지 가격지원제도 보급정책을 운영하고, 州별 실정에 맞게 다른 제도와 혼용하고 있으며 일부 州는 FIT 제도를 운영하고 있다. 2019년 기준 RPS는 30개 주와 DC에서 운영 중이나 최근 넷미터링<sup>11)</sup>과 세금혜택 중심 지원정책을 확대하고 있다. 캘리포니아·뉴저지 등 34개 주는 넷미터링을 의무화하고 있으며, 이 제도의 영향으로 태양광 발전 설비 투자가 증가하였다.

2008년 캘리포니아주 등에서 FIT 제도를 도입하였으며 2012년부터 기술별 차등 기준가격을 적용한 가격지원방식을 확립하였다. 추후 대부분 목표를 상향 조정하거나 달성 시기를 앞당겼고, 소매판매의 50% 이상을 재생에너지로 공급하는 목표를 설정하였다.

#### □ 인센티브 제도

연방정부는 생산세액공제(PTC), 투자세액공제(ITC)를 시행하였다. PTC는 150kW 이상의 발전시설을 운전 개시 후 10년간 상한선 없이 단위전력 생산량 당 일정 금액을 공제하며 해당 제도의 연장 및 소멸 이슈에 따른 신규 풍력 설비 규모 변동성이 발생하기도 한다. 반면, ITC는 재생에너지 설비 및 기술 투자비에 대해 일정 비율을 세액 공제하는 조치로, 태양광과 풍력 발전 시설 투자 시 30% 투자세액 공제하며 태양광은 2020년 이후 점진적으로 지원이 축소된다.

또한, 세금 자산화 제도, 가속 상각법, 일시상각제도, 신재생에너지 생산 인센티브(REPI, Renewable Energy Production Incentive)<sup>12)</sup>를 도입하고 연방정부 차원의 대출 보증 프로그램, 재생에너지 채권 등 금융 지원을 제공하여 각종 세제 혜택 및 인센티브를 지급하였으며 미국 내 투자유치 확대하고, 재생에너지 관련 대출 장기상환 및 보증 프로그램을 통해 자금 조달 안정화를 도모하였다.

#### □ 정책 기조

미국은 분산전원 및 해상풍력 확대, 산업육성 지원 정책 기조를 지속한다. 그 중에서도 넷미터링, 연안 임대 제도, 세이프가드 관세 부과 조치로 자국 재생에너지산업을 보호하였다.

또한, 전력계통 유연화를 위해 하루 전 시장과 실시간 시장을 별도 정산하는

11) 넷미터링(Net Metering): 소규모 재생에너지 발전설비를 이용하여 자가소비하고 남은 잉여 전력을 전력회사에 공급하고 전력회사는 공급받은 전력량을 상계하고 소비한 전력량에 대하여 전기요금을 청구하는 제도

12) 신재생에너지 생산 인센티브 : 신재생에너지 생산설비에서 생산 판매되는 전력에 대해 생산이 시작된 시점부터 10년 동안 일정 금액 인센티브로 지급

이중정산제도를 도입하였는데 이는 전력이 흐르는 모선(node)별로 송전 혼잡 발생 여부를 고려하고 혼잡비용을 반영하여 가격을 차등해 결정하고 지역별 한계가격(LMP, Locational Marginal Pricing)<sup>13)</sup>을 기준으로 정산한다. 그리고 하루 전 시장에서 낙찰량과 익일 전력거래량 간에 물량 차이가 발생하면 실시간 시장가격을 적용하여 해당 사업자의 거래를 정산한다.



출처: 한전경제경영연구원, 미국 전력도매시장 운영 현황 및 거래유형 분석, 2017

[그림 16] 미국 에너지시장 이중정산제도

바이든 정부의 친환경 정책 가속화로 신재생에너지 비중 확대가 전망되나 미·중 무역갈등 등 난관이 존재한다. 2050년까지 미국 내 전력 중 태양광 공급 비율 45% 목표를 제시하고 2조 달러 규모의 인프라 투자 계획을 발표하며 태양광 세금 공제 10년 연장하는 등의 지원정책을 발표하여 신재생에너지 비중이 확대를 예상하지만 태양광 발전 패널의 핵심 소재인 중국산 폴리실리콘의 수입 금지 검토로 태양광 발전시설 설치비용 증가에 대한 우려가 많다.

### 1.1.2.2 중국

#### □ 정책 기초

중국은 석탄 소비 감소 및 비화석에너지의 발전 및 소비 의무화 정책을 지속 추진하는 방식을 통한 재생에너지로의 전환을 추진하고 있다.

13) 지역별한계가격(LMP): 에너지비용에 지역별 혼잡비용과 손실비용 포함한 가격

중국은 재생에너지법(2006)을 제정하여 재생에너지 총량 목표, 전력 의무 매입, 전력매입 가격, 송배전회사의 비용 부담, 자금 지원을 명문화하였으며 지방정부를 중심으로 경매제도를 도입 및 추진하고 이를 FIT 기준가격 설정에 활용하였다. 또한 FIT 제도를 운용하며 정부 주도로 분산형 재생에너지 시장을 형성하다가 최근 국제무역 분쟁과 재생에너지 보조금에 따른 재정부담 증가 문제를 해결하기 위해 2016년과 2017년에 걸쳐 RPS와 녹색전력증서 거래제도를 도입하고 2018년 태양광 발전 관련 사항의 통지를 발표하는 등 시장 요소를 도입하였다.

최근 에너지 발전 14.5 계획(2021-2025, 2021)을 통해 2025년 비화석에너지소비 비중 20%를 달성하고, 2030년을 탄소 정점으로 2060년까지 탄소중립 실현한다는 정책을 수립하였다. 2025년까지 재생에너지 소비량(10억 tce), 발전량(3,300TWh), 전력 소비 비중(33%, 수력 제외 18%), 발전 이외 부문에서의 재생에너지 이용(6천만 tce)과 관련한 세부 목표를 제시하였는데, 이는 2020년 대비 소비량과 발전량을 50%로 증가한 목표치이다.

### 1.1.2.3 EU

#### □ 주요 정책

EU는 2008년 채택한 2020 기후·에너지 패키지 가운데 재생에너지 지침(Renewable Energy Directive, RED) EU 회원국에 대해 재생에너지 비중 증대를 위한 국가 의무목표를 부여하여 차등 추진을 유도한다. 국가별 상이한 출발지점 및 재생에너지 잠재량을 반영하여 10(몰타)~49(스웨덴)%의 범위에서 재생에너지 목표 비중을 부과하며 EU 전체 재생에너지 소비 비중을 2020년까지 20%로 확대하는 정책을 마련하였다.

EU 집행위원회는 2008년부터 각 회원국 정부 지원계획에 환경부문 정부 지원 가이드라인(Environmental Aid Guidelines, EAG)을 적용하였는데 재생에너지 정부 지원액의 약 80%가 발전차액지원제도(FIT), 녹색인증제도(green certificate, GC) 등 운영보조금(operating aid)의 형태로 지급되어 EU 회원국의 재생에너지 산업이 크게 성장될 전망이다.

또한, 2019년 2050년 탄소 중립 목표를 제시함과 동시에 에너지, 산업 및 순환경제, 건물, 수송부문의 탈탄소 전환을 추구하는 유럽 그린 딜(European Green Deal) 발표하였다. 해상풍력을 활용한 재생에너지 전략을 발표하고 재생에너지를 에너지 효율 개선 장치 및 기타 지속 가능 수단들과 결합한 스마트통합(smart integration) 시스템으로 연결하여 관리중이다.

EU 집행위는 2020년 연안 재생에너지(the EU Strategy on Offshore renewable Energy)전략을 발표하여 유럽의 연안 해상풍력을 2030년 최소 60GW, 2050년

300GW로 늘릴 것을 제안한다. 이를 실현하기 위한 수단으로 투자, 지역협력, 법적 프레임워크, 공급망 강화 및 혁신지원을 제시하며 이외에도 부유식 해상풍력과 태양광 등 다른 新기술과 해양에너지 역시 2050년까지 40GW로 늘릴 계획이다.

### 1.1.2.4 영국

#### □ 가격지원제도

영국은 2019년 이전까지 다양한 신재생에너지 가격지원제도를 병행하여 시장 확대를 견인하였다. 초기 정책은 전력 판매사업자에게 전력 판매량의 일정 비율을 신재생에너지로 공급하는 것을 의무화하고 신재생에너지 발전의무인증서(Renewable Obligation Certificates; ROCs)의 계수를 활용하는 방식으로 전원믹스를 조정하였다. 1990년 영국은 전력산업 구조개편 및 에너지공급 다변화 측면에서 원자력과 재생에너지 도입 활성을 위해 비화석연료 의무화제도(Non-Fossil Fuel Obligation, NFFO)<sup>14)</sup>를 도입하였으며 글로벌 환경 규제가 강화됨에 따라 재생에너지 산업을 활성화하기 위해 기존 제도를 보완해 2000년 신재생에너지 의무비율할당제도(Renewable Obligation, RO)<sup>15)</sup>를 도입하였다. 2010년에는 5MW 미만의 재생에너지 설비(태양광, 풍력, 수력, 열병합 등)에 대해 FIT 제도를 시행하였다.

2014년에는 전력시장 개혁의 하나로 CfD 제도를 도입하고 더불어 경쟁 입찰을 활용해 기준가격을 결정하도록 규정하는 등 전반적인 보조금 관리 강화와 시장 경쟁 체계를 도입하였으며 2015년에는 육상풍력 및 태양광에 대한 CfD를 폐지하고 해상풍력 집중적으로 지원하였다. 2019년 시장 효율화를 위해 비화석연료 의무화제도(NFFO), 신재생의무비율 할당제도(RO), FIT 등 가격지원제도를 종료하고 차액결제계약(CfD)<sup>16)</sup>, 스마트 전력보장제도(SEG)<sup>17)</sup>를 도입하여 운영하고 있다. 또한, 소규모 설비에 스마트 미터기 설치 및 계량을 의무화하고 SEG 제도를 도입하여 분산형 스마트 에너지시스템 구축 촉진하였다.

#### □ 인센티브 제도

R&D 소득공제 제도, 기후변화 부담금, 재생에너지 기업 탄소기금 제도, 각종

14) NFFO: 가격지원제도의 일종으로 정부가 일정 기간 가격을 보장하면서 지역의 전력 판매사업자에게 원자력이나 신재생 전력을 구매하도록 강제하는 제도

15) RO: RPS제도와 동일한 제도로 전력 판매사업자에게 전력 판매량의 일정 비율을 신재생 전력으로 공급하는 것을 의무화하고 신재생에너지 공급인증서(Renewable Obligation Certificates, ROC)를 발급

16) CfD: 경매 입찰에 의해 FIT 가격을 결정하는 방식

17) SEG: 스마트 미터기 설치 및 계량을 의무화하고 25만 가구 이상의 전력수요를 보유한 전력 판매회사에 구입을 의무화



보조금 및 기금 등 제도를 통해 신재생에너지 확대를 촉진하였다. 재생에너지에 대한 세제 혜택 등 다양한 인센티브를 제공하고, 재생에너지 기업의 기술개발과 상업화를 위한 비용(성공 조건, 25만 파운드 상한)을 지원하였으며 재생 열에너지 보조금(Renewable Heat Incentive)을 통해 태양광 패널 등 재생 열에너지 생산 설비 설치비용 일부를 지원하였다.

또한, 재생 수송 연료 의무제도(Renewable Transport Fuel Obligation)를 도입하여 일정 비율의 수송 연료를 재생에너지원으로 연도록 규정하였으며 재생에너지 기술개발 촉진을 위해 지원되는 기금인 신기회기금(New Opportunities Fund) 마련하였다. 20MW 이상 해상풍력 설비비용을 최대 40%까지 지원하는 해상풍력 자본보조금(Offshore Wind Capital Grants)을 도입하고, 자국 내 산업을 보호하는 조치로 2013년 저가 중국산 부품에 대응해 최소한의 수입가격을 공시한 최소수입가격 조치를 시행하였다.

### 1.1.2.5 독일

#### □ 정책기조

두 차례 석유파동과 체르노빌 원전사고를 계기로 탈원전 및 재생에너지 확대 필요성이 증가했으며 유엔기후변화협약(UNFCCC, United Nations Framework Convention Climate Change) 등 국제활동에 참여 및 1991년 세계 최초 지역 단위 FIT 제도를 도입하는 등 90년대 최초의 신재생에너지 공급 관련 법안 발의 및 국제기구 의무 이행을 강화하였다.

#### □ 가격지원제도

2000년 재생에너지법(Renewable Energy Sources Act, EEG)을 통해 FIT 제도를 전국 단위로 확대 시행하였다. 이후 2020년까지 온실가스 배출량을 1990년 기준 40% 감축한다는 목표를 수립하고 FIT 제도를 통해 신재생에너지 부문의 투자를 촉진하였으며 정부의 지원에 힘입어 신재생에너지원의 발전 비중이 사민-녹색 연정 집권 기간인 1999~2005년 사이 5%에서 10%로 증가하기도 했다. 이러한 독일의 FIT 제도의 성공은 유럽을 비롯해 세계 각국의 FIT 제도 채택에 큰 영향을 미쳤다.

2014년 정부의 재정부담이 가중되어 재생에너지법(EEG 2.0) 개정을 통해 FIT 지원금을 축소하고 기존의 일부 EEG 부담금 면제를 단계적으로 폐지하는 한편 FIP 제도를 도입하였으며 일정 규모 이상 설비에 직접거래제도(Direct Marketing) 제도와 경매입찰제도를 도입하는 등 시장 경쟁체제 정책으로 점차 전환하여 운영하였다.

## □ 인센티브 제도

정부 소유 은행인 KfW(Kreditanstalt für Wiederaufbau)가 운영하는 재생에너지 금융 지원 프로그램(KfW Renewable Energy Program)은 풍력, 수력, 지열, 바이오, 열병합 등 재생에너지 설비 투자비용에 고정 저금리로 최대 20년간 5,000만 유로 이하의 장기 신용대출을 지원한다. 에너지 연구 프로그램(Energy Research Program)을 통해 재생에너지 및 에너지효율 향상에 관련한 기술개발을 지원하며 리파워링 인센티브 제도로 노후화된 재생에너지 설비를 최신 설비로 교체하도록 보조금을 지원하거나 교체 시 금융 상환조건 개선, 경매 시 우대 조건을 제공하였다.

### 1.1.2.6 일본

#### □ 재생에너지 정책

2011년 후쿠시마 원전 사태 이후 에너지 가격 변동 및 에너지 자립도 저하를 극복하기 위한 에너지 안정공급 확보, 에너지효율 증진, 친환경 및 에너지 안전성 제고(3E+S: Energy Security, Economic Efficiency, Environment) + S(Safety)) 등의 에너지 정책 핵심목표로 설정하였다.

2021년 경제산업성이 발표한 ‘에너지 기본계획안’은 신재생에너지를 최우선 주력 전원으로 전환하는 계획으로 총 에너지 수요를 절약하면서 해당 에너지의 구성비 중 비화석에너지의 비중을 낮추고 신재생에너지\*의 비중을 2030년까지 36~38%로 상향시키는 전략을 포함하고 있다.

※ 재생에너지(36~38%)의 구성비: 태양광 15%, 수력 10%, 풍력 6%, 바이오매스 5%, 지열 1%

또한, 재생에너지 비중 확대 및 시장 자유화를 통한 신성장동력 창출을 지향하는 제도로 발전-송배전-판매의 전력시장 구조에서 발전 및 판매 분야를 자유화하는 시장제도를 확립하였다.

#### □ 가격지원제도

가격지원제도의 경우 시행착오를 거치며 현지 실정에 맞게 조정된 부분적 FIT 제도를 도입하였다. 2003년부터 RPS를 도입하였으나, 도입목표가 낮고 경제성이 낮은 에너지원의 보호 방안이 미흡하여 2012년 6월 종료되었다. 2009년부터 태양광 잉여전력 매입제도<sup>18)</sup>, 2012년 7월부터는 장기적으로 신재생에너지원 전량 매립을 의무화하는 고정가격매입제도(FIT)를 시행한 이후 신재생에너지 발전설비는

18) 주택용 태양광을 대상으로 발전량이 자가 사용량을 초과하는 경우, 초과한 발전량을 고정가격으로 10년간 전력 회사에 판매하는 부분적 FIT

연평균(2012~2017년) 26% 속도로 증가하는 등 큰 효과를 보였으며 신재생에너지원 전력 공급단가를 낮추기 위한 시장제도(경쟁입찰제도)를 도입·운영하였다. 2015년에는 FIT 운영기준을 전면 개정하고 태양광 발전 설비 입찰제 도입 및 검토하였으며 태양광 설비 매매단가의 결정 시기를 설비 설치 완료 시점으로 개정하고, 장시간 설치 완료가 되지 않은 설비의 허가 취소 등을 반영하였다. 또한, 가정·기업의 전기요금 부담을 경감하기 위해 더욱 낮은 가격으로 전력을 제공하는 발전사업자가 우선적으로 참여할 수 있도록 하는 경쟁체제 도입을 검토하였다.

2020년 6월 부담금이 지속적으로 상승하는 상황에서 FIT에 대한 개편 요구가 증가하였고 이에 따라 시장가격 연동형 지원제도인 ‘FIP’<sup>19)</sup>를 도입하는 개정된 재생에너지 특별조치법을 통과되었다. 이에 따라 시장가격/수요량이 낮은 시간대에 전력을 축적하여 수요와 시장가격이 높은 최고조 시간대에 공급할 인센티브가 생기기 때문에 전력수요에 따라 공급량도 연동하여 변동되어 보다 안정적인 전력 공급이 가능할 것으로 예상된다.

## □ 세금지원제도

금융지원제도로는 탄소 금융 이니셔티브(Carbon Society Establishment Finance Initiative)가 있다. 탄소 금융 이니셔티브는 재생에너지 설비 투자에 저금리 대출 지원, 재생에너지 투자 녹색 펀드, 임대료 지원 등을 포함하고, 녹색 펀드에는 24개 프로젝트에 88억 엔, 대출 지원 프로그램은 총 21억 엔 등을 지원한다.

기타 지원제도로는 수소 사회와 분산형 전원시스템 구현을 위한 연료전지 보급 확대를 목표로 에너팜(ENE-FARM) 설치를 위한 보조금 정책이 있다. 에너팜은 도시가스 및 LP가스에서 생산한 수소를 이용해 가정에 전력과 온수를 공급하는 가정용 연료전지 시스템으로, 2019년까지 2009년 대비 100배 이상 증가한 약 34만 대가 보급되었다. 2030년까지 해상풍력 10GW 규모의 설비 목표를 달성하기 위해 총 5개 지역을 촉진 구역으로 지정하고 일반해역에 장기점용을 허용하는 등의 지원정책이 진행되고 있다.

## 1.1.2.7 국제기구

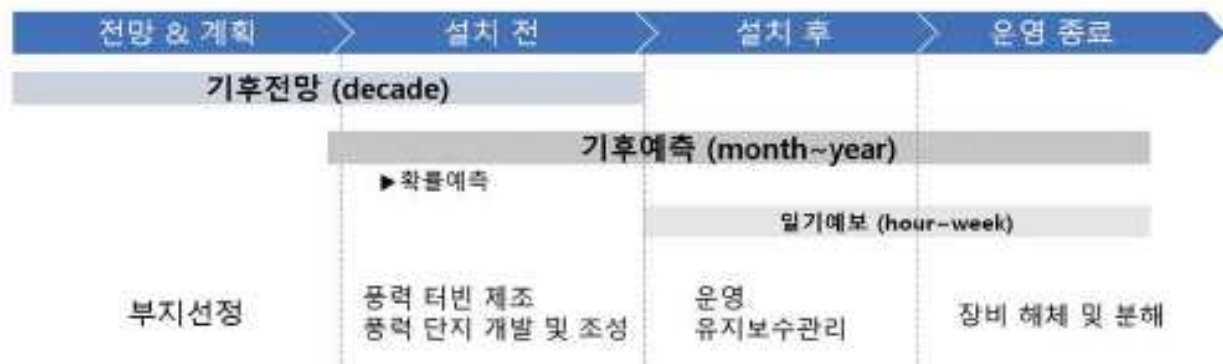
### □ UN

UN은 기후변화 대응 국제기구로서 전 지구적 차원의 탄소중립 이행 및 신재생에너지 의무 확대 역할을 수행하였다. 1992년 UN 기후변화협약(UNFCCC) 체결 및 1997년 교토의정서 발의로 신기후체제를 형성하였으며 2016년

19) FIP: 시장가격에 연동돼 시장가격에 일정 금액의 프리미엄을 가산해 가격을 산정하는 방식

파리협정에서 주요국들은 혁신 미션(Mission Innovation) 선언을 통해 청정에너지 공공부문 R&D 투자를 5년간 2배 확대하는 공약을 제시했다. 파리협정 이후 동 협정 제4조 제19항에 근거하여 지구 평균기온 상승을 2°C 이하로 유지하고, 나아가 1.5°C를 달성하기 위한 장기저탄소발전전략(LEDS)과 국가 온실가스 감축목표(NDC)를 제출하기로 합의하였으며 2019년 기후변화 정상회담(UN Climate Change Summit 2019)에서 10개 지역, 100개 이상의 도시를 포함해 77개국이 2050년까지 탄소중립을 위해 노력할 것에 동참 약속하였다.

2017년 UN 산하 기상학 전문 기구 WMO는 풍력단지 개발 및 운영 단계별 기후 예측정보 활용 방향성 제시하였다. 풍력 발전 입지 선정부터 풍력 발전 운영 종료에 이르는 전 주기에 걸쳐 기상예측정보에 기반한 의사결정을 통해 균등화발전비용(Levelized Cost of Energy)을 낮출 수 있을 것으로 예상하였다.



출처: WMO, Climate Services for affordable wind energy, WMO Bulletin Vol66(2)

[그림 17] 풍력발전단지 기후예측정보 활용 예시

## □ 국제에너지기구(IEA)

국제에너지기구는 회원국들의 석유공급위기를 공동으로 대처하기 위한 에너지 정책 포럼 및 에너지기술 연구협력체제이다. 국제에너지기구는 석유공급위기 에 대한 대응체계 유지 및 개선하며 비회원국, 산업계 및 타 국제기구들과의 협력을 통한 에너지 정책 합리화를 촉진한다. 국제 석유 시장에 대한 정보시스템 운영하며 에너지 이용효율 개선, 대체에너지원 개발 협력 및 지원을 통한 에너지 수급구조를 개선하고 환경과 에너지 정책의 조화를 지원한다.

각 회원국의 에너지 정책체계에 대한 IEA 사무국과 다른 회원국에 의한 검토와 정책권고, 세계 에너지 시장 전망 및 에너지원별 시장분석을 수행하며 에너지 전환 시대를 대비하는데 필요한 정책 패키지를 연구하여 우수사례를 공유하기 위해 본 자료를 발간하는 등 에너지 포럼 활동을 통해 회원국 간 협력체계 공고화를 추진한다.

장기협력상설그룹(Standing Group on Long-term Cooperation: SLT)에서는 회원국들의 에너지 정책이 IEA의 공동목표와 부합하는가에 대한 평가를 통해 정책 방향을 권고하고, 에너지 시장분석 및 수요전망, 환경 관련 연구 등을 통해 지속가능한 발전과 국제 에너지 시장의 효율적 운영 등을 위해 논의한다. 비회원국위원회(Committee on Non-Member Countries: CNMC)는 비회원국의 에너지정책과 에너지 부문의 주요발전사항, 에너지공급 안보에 미치는 영향 등의 이슈를 논의하고, 비회원국 및 타 국제기관과의 협력 촉진 업무를 수행한다.

에너지연구개발기술위원회(Committee on Energy Research and Technology, CERT) 활동을 통해 에너지기술 관련 연구·개발·시범·보급의 국제협력을 촉진을 위한 에너지기술협력 프로그램을 운영하며 동 프로그램 지원을 위해 산하에 화석연료 분야, 신재생에너지 분야, 에너지 최종 이용 분야, 핵연료 분야의 기술영역별 전문가로 구성된 4개의 실무그룹을 운영하는 등 회원국 대상 에너지 분야 기술 부분 협력 지원을 추진한다.

또한, 회원국의 에너지기술 및 에너지효율에 관한 정책분석 및 신기술의 전망과 보급전략 등 정책자문을 수행하며 2017년에는 안정적 계통운영을 위해 단계별 태양광·풍력 발전기의 예측발전량 확보 방안을 제시하였다.

<표 10> 태양광·풍력 발전량 비중에 따른 단계별 구분

구분	태양광·풍력 비중	태양광·풍력 관리에 대한 권고사항
1단계	0~3%	태양광·풍력 기술적 요구조건(가시성, 전력품질 등) 검토
2단계	3~15%	개별 태양광·풍력 예측발전량 확보 및 예측시스템 구축
3단계	15~25%	태양광·풍력 변화에 대응하기 위한 유연성 자원 발굴
4단계	25~50%	전력계통 안정도 유지를 위한 대체자원 확보

출처: IEA, Getting Wind and Sun Onto the Grid, 2017

## □ 국제재생에너지기구(IRENA)

국제재생에너지기구는 재생에너지 보급 확대를 위한 국제협력 강화를 위한 재생에너지 분야 정책자문 및 기술이전, 글로벌 시나리오 구축 등 재생에너지 전담 국제기구이며 163개 회원국 및 EU 등이 가입되어있다.

국제재생에너지기구는 각국의 재생에너지 비중 확대를 위한 재생에너지 로드맵(REmap) 제시하며 2030년까지 전 세계 재생에너지 보급 비중을 두 배로 확대하기 위한 국별/지역별 재생에너지 전망 분석을 지원한다. 그 중 REmap 2030은 전 세계 에너지 믹스에서 재생에너지가 차지하는 비중을 2014년 18%에서 2030년 36%로 두 배 확대 목표를 제시하며 국제적 공조체제 강화와 적극적인 재생에너지 지원정책 추진을 강조하였다.

재생에너지 능력 평가(RRA, Renewable Readiness Assessment)는 회원국의 재생에너지 개발 잠재성을 분석하며 청정에너지회랑(CEC, Clean Energy Corridor)은 지역별 전력망 연결사업 추진을 위한 가능성 분석을 지원한다. 또한, 재생에너지 프로젝트 개발 촉진 서비스(Project Facilitation)를 통해 재생에너지원별 현황 정보, 투자 가능한 재생에너지 프로젝트 정보, 재생에너지 프로젝트 관련 정보 제공한다.

<표 11> 2021년도 IRENA 회원국 의무분담금 납부 순위

구분	국가	비중(%)	분담금(USD)
1	미국	21.9	4,572,231
2	일본	10.923	2,280,505
3	중국	8.939	1,866,233
4	독일	7.210	1,505,263
5	프랑스	5.483	1,144,709
6	영국	5.036	1,051,388
7	이탈리아	4.230	883,115
8	러시아	3.485	727,578
9	스페인	2.756	575,381
10	호주	2.637	550,538
11	한국	2.301	483,804
<b>2021년 의무부담금 총계</b>			<b>22,230,423</b>

출처: 외교부, 국제재생에너지기구(IRENA) 약황, 2021

국제재생에너지기구는 유연성 자원의 종류 및 계통 유연성을 확보하는 방안을 크게 4가지 유형으로 구분하여 제시하였다. 재생에너지 확산 초기 단계에서는 계통 운영 개선, 전력망 인프라 확충, 공급측 유연성 자원 확보 등이 효율적이라고 밝혔다.

<표 12> 유연성 자원 종류 및 확보 방안

구분	주요 확보 방안	계통 효과
공급측 유연성 자원	화력발전 리트로핏(Retrofit; 성능개선)	화력발전 성능(반응속도, 용량 등)을 개선하여 변동성 대응
	재생E 발전 예측개선 및 인버터 유연운전	재생E 변동성 저감
수요측 유연성 자원	AI 수요관리 기술, 수요반응 제도 개선	수요반응 효율 개선 수요반응 활성화
	DSO <sup>20)</sup> 및 VPP <sup>21)</sup> 도입	배전단 DER <sup>22)</sup> (ESS, DR <sup>23)</sup> , 재생E 등) 최적으로 운영으로 유연성 공급
에너지저장 및 변환 장치	대규모 ESS <sup>24)</sup> 도입	ESS 제어로 계통 안정화 기여 초과공급 전력 저장 및 활용
	수소경제 활성화 및 변환기술 개선	섹터커플링 <sup>25)</sup> 경제성 확보 및 활성화
그리드 인프라	국가 간 계통 및 시장 연계	유연자원 공유 및 신뢰도 향상
	HVDC <sup>26)</sup> 등 신송전 기술 도입	재생 E 수용성 증대

출처: IRENA, Innovation landscape for a renewable-powered future, 2018

재생에너지 비중 증가 시 수요반응 제도 활성화, 분산자원 감시·제어 등을 통한 수요측 유연성 공급 방안의 효율성 및 경제성의 효율성이 상대적으로 우위이며 재생에너지 비중이 더욱 증가해 과잉 공급이 문제가 될수록 ESS 및 섹터 커플링의 효율성이 증가한다고 밝혔다.

<표 13> 유연성 강화방안별 비용

←저비용				고비용→	
운영개선	수요반응 (수요측 유연성)	공급측 유연성	그리드 인프라	에너지 저장장치	섹터커플링 (수요측 유연성)

출처: IRENA, Power system flexibility for the energy transition, 2018

20) DSO : ‘Distribution System Operator’ 의 약자로 배전계통운영자를 뜻함

21) VPP : ‘Virtual Power Plant’ 의 약자로 가상발전소를 뜻함

22) DER : ‘Distributed Energy Resources’ 의 약자로 분산형 에너지 자원을 뜻함

23) DR : ‘Demand Response’ 의 약자로 수요반응을 뜻함

24) ESS : ‘Energy Storage System’ 의 약자로 에너지저장시스템을 뜻함

25) 섹터커플링 : 서로 다른 에너지 섹터를 통합한다는 의미로 재생에너지로 생산하고 남은 전기를 다른 에너지로 전환해 저장, 활용하는 기술

26) HVDC : ‘High Voltage Direct Current’ 의 약자로 초고압 직류송전 기술을 의미하며 발전소에서 생산된 교류 전력을 직류로 변화하여 송전하고, 수 전점에서 교류로 변화하여 전력을 공급하는 방식

## □ 신재생에너지기술전문가그룹(EGNRET)

신재생에너지기술전문가그룹은 연 2회 EGNRET\* 회의 참석 및 부문별 신재생에너지 산업 동향을 발표하며 신재생에너지 관련 정보 교환, 기술협력 및 상업화 촉진 등 전문가 그룹의 협력사업을 추진한다. 대한민국은 2012년부터 2014년 부의장국을 수행하였다.

※ EGNRET : Expert Group on New & Renewable Energy Technologies

### 1.1.2.8 시사점 및 벤치마킹 방안

#### □ 주요 국가별 재생에너지 분야 시사점

주요 국가들은 FIT, RPS 등 가격지원제도와 인센티브 등 재생에너지 친화적 시장·제도 설계, 투자 유치 및 보조금 재원 마련을 위한 방안 등 재생에너지 산업의 질적 성장을 도모한다. 또한, 탈화석연료, 저탄소 에너지에 따른 산업구조 변화를 촉진하여 신성장동력을 창출하고 수요처 연계 전력 직거래, VPP, O&M 시스템 및 거버넌스 강화를 통해 과잉공급 해결책을 마련하는 등 재생에너지 전환 정책을 실현하고 있다.

#### □ 주요 국제기구 중장기 전략 시사점

에너지 효율 개선을 위한 태양광/풍력에 대한 기후기상 예측 정보를 활용할 수 있는 방향성 제시가 요구되고 있으며 공급, 수요, 에너지 저장 및 변환장치, 그리드 인프라 측면의 효율성 제고 방안 마련이 시급하다.

단계별 변동성 관리 추진을 위해 전체 전력계통에서 재생에너지 발전량 비중에 따른 변동성 관리 전략 제시가 필요하며 재생에너지 비중이 3~15%에 해당하는 한국은 IEA가 국가별 전력계통 안정을 위해 권고한 개별 태양광·풍력 예측발전량 확보 및 예측시스템을 구축을 통해 에너지기술 및 에너지효율에 관한 정책 및 신기술 보급을 위한 실천이 이루어져야 한다.

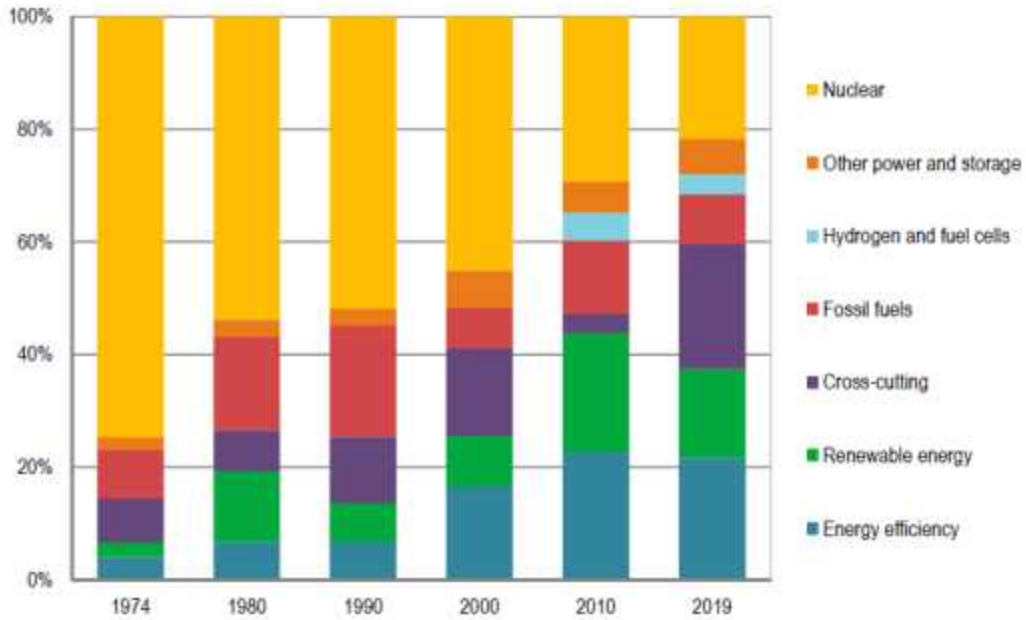
### 1.1.3 국가별 신재생에너지 기술개발 및 이용에 대한 지원정책·동향

#### □ 개요

2019년 기준 세계 주요국 정부의 공공부문 에너지 R&D 지출은 약 300억 달러로, 전년 대비 약 3% 증가하였다. 에너지 R&D 지출의 80%는 CCUS<sup>27)</sup>, 신재생에너지, 원자력, 수소, ESS, 스마트그리드 등 저탄소 기술에 투자되었다.

27) CCUS : 'Carbon Capture, Utilization & Storage' 의 약자로 이산화탄소를 포집·저장하는 CCS(Carbon Capture, Storage) 기술과, 포집하여 활용까지 수행하는 CCU(Carbon Capture, Utilization)기술 포함하는 개념

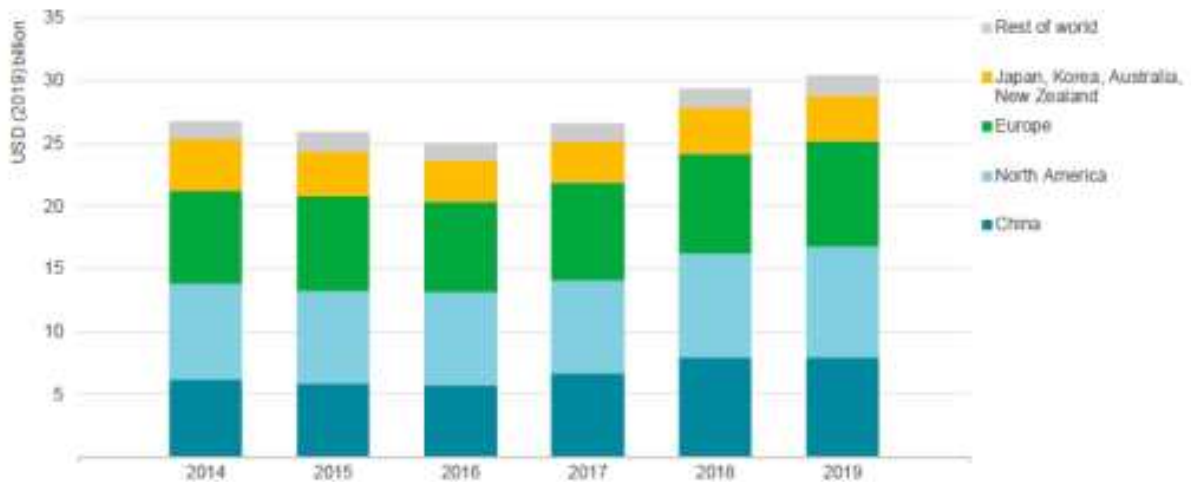




출처: IEA, Energy Technology R&D Budgets, 2020

[그림 18] 글로벌 공공부문 에너지 기술별 R&D 투자 비중(1974~2019)

2019년 글로벌 신재생에너지 투자는 소규모 태양광에 대한 투자 증가로 인해 전년 대비 1% 증가한 2,822억 달러였으며, 글로벌 해상풍력 투자액은 전년 대비 19% 증가한 299억 달러이다. 투자 지출액은 북미, 유럽, 중국 순으로 많았으며 미국과 유럽은 법제 기반 투자를 강화하였다.

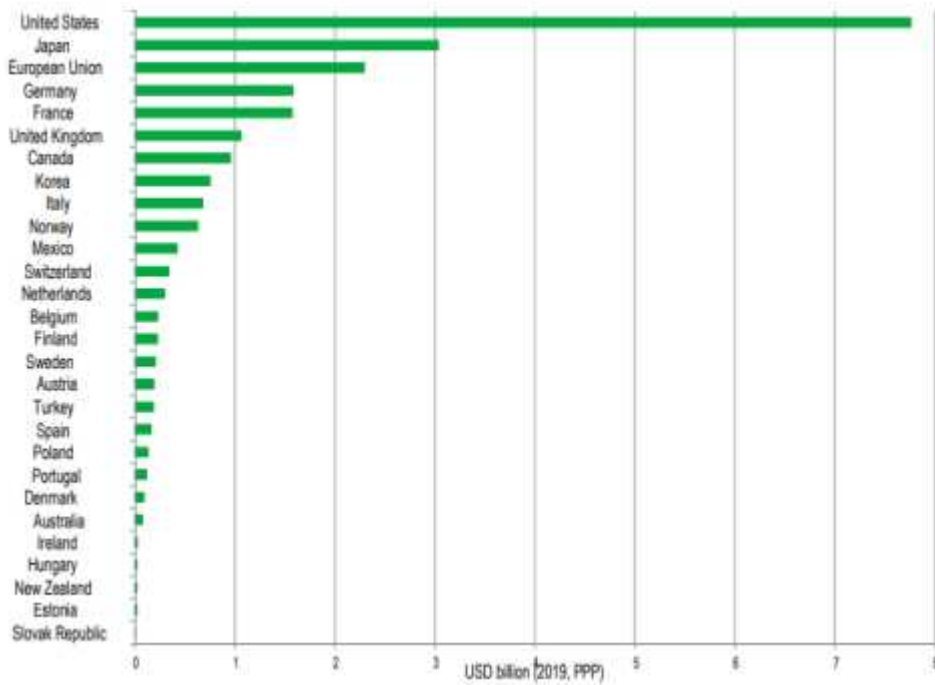


출처: IEA, World Energy Investment 2020, 2020

[그림 19] 국가별 재생에너지 R&D 지출 규모

미국, 영국, 프랑스, 독일, 일본 등 해외 주요국의 R&D 지출 규모는 증가 추세이며 2019년 IEA 회원국의 에너지 R&D 지출액은 미국 약 77억 달러, 일본 약 30억 달러이며 한국은 약 7억 달러 규모이다.

단위: 억 달러, 2019 PPP



출처: IEA, Energy Technology RD&D Budgets, 2020

[그림 20] 2019년 IEA 회원국별 에너지 R&D 예산

2018년 기준 연평균증가율에서는 프랑스가 9.6%로 가장 높고, 투자 금액 기준으로는 미국이 가장 높은 것으로 확인된다.

<표 14> 주요국의 신재생에너지 R&D 지출 규모

(단위: 2019년 PPP \$mill, %)

국가	1990년	2000년	2010년	2018년	연평균 증가율
프랑스	13.7	22.4	164.2	180.4	9.6
독일	166.9	126.5	293.6	285.6	1.9
일본	124.9	158.2	204.3	471.0	4.9
영국	43.3	9.3	285.2	112.6	3.5
미국	191.8	303.1	1,531.2	768.7	5.1
한국	-	-	229.4	187.0	-2.5

자료: OECD I-Library 홈페이지, IEA Energy Technology RD&D Statistics, 2020

국가별 지리 및 산업환경에 따라 신재생에너지 중점 투자 분야 상이하게 나타났다. 프랑스는 태양광(46.6%)과 바이오(41.7%), 독일은 태양광(47.2%)과 풍력(30.4%), 영국은 풍력(53.7%)과 태양광(29.3%), 미국은 태양광(37.2%)과 바이오(36.2%), 일본은 풍력(61.1%)의 비중이 높은 편으로 나타났으며, 한국은 태양광(50.4%)이 과반수 이상의 비중을 차지하고, 이어 풍력(27.9%)의 비중이 높은

것으로 확인되었다.

<표 15> 주요국의 신재생에너지 R&D 지출 비중('18)

단위: 2019년 PPP \$mill, %

구분	프랑스	독일	일본	영국	미국	한국
태양광	73.6 (46.6%)	127.6 (47.2%)	62.2 (14.7%)	25.5 (29.3%)	246.0 (37.2%)	75.4 (50.4%)
풍력	8.8 (5.6%)	82.2 (30.4%)	258.7 (61.1%)	46.7 (53.7%)	93.7 (14.2%)	41.7 (27.9%)
바이오	65.8 (41.7%)	39.3 (14.5%)	74.2 (17.5%)	14.3 (16.4%)	239.8 (36.1%)	26.6 (17.8%)
지열	9.7 (6.1%)	21.2 (7.8%)	28.0 (6.6%)	0.5 (0.6%)	82.4 (12.4%)	6.0 (4.0%)
계	157.9	270.3	423.1	87.0	661.9	149.7

자료: OECD I-Library 홈페이지, IEA Energy Technology RD&D Statistics, 2020

주요 국가별 신재생에너지 기술 분야 R&D 투자 순위를 살펴보면 중국이 태양광 및 풍력에너지 보급 및 투자를 주도하고 있는 것으로 확인된다. 태양광 및 풍력 분야에서 중국이 1위를 차지하고 있으며 뒤이어 미국의 투자 규모가 큰 편이다.

<표 16> 분야별 재생에너지 R&D 투자 순위

분야	1	2	3	4	5
재생에너지 발전과 연료 투자	중국	미국	일본	인도	대만
1인당 재생에너지 발전과 연료 투자	아이슬란드	덴마크	스웨덴	독일	호주
지열 발전용량	터키	인도네시아	케냐	코스타리카	일본
수력 발전용량	브라질	중국	라오스	부탄	타지키스탄
태양광 용량	중국	미국	인도	일본	베트남
태양열 발전용량	이스라엘	중국	남아프리카	쿠웨이트	프랑스
풍력 용량	중국	미국	영국	인도	스페인
태양열 온수용량	중국	터키	인도	브라질	미국
바이오디젤 생산	인도네시아	브라질	중국	인도	캐나다
연료에탄올 생산	미국	브라질	중국	인도	캐나다

자료: REN21, Renewables 2020 Global Status Report, 2020

### 1.1.4 시사점

국내에서는 탄소중립 이행을 위한 친환경 재생에너지 확대 정책을 지속 추진하고 있으며, 한정된 자원 활용 극대화를 위한 기상정보 제공의 필요성 증대되고 있다. 「재생에너지 3020 이행계획」에서는 2030년까지 국내 재생에너지

발전량 비중 20% 달성을 목표로 제시하였으나 2020년 신재생에너지 보급통계에 따르면, 신재생발전량은 누적설비용량인 18.87%에 비해 신재생에너지 발전 비중은 7.43%(43,062GWh)로 낮게 나타났다. 태양광·풍력 R&D 방향성을 살펴보면, 향후 발전시설이 수상·해상·도시 등으로 확대될 예정이므로<sup>28)</sup> 다양한 입지환경에 특화된 기상 예측정보 활용이 필요해질 것으로 전망된다.

해외에서는 환경 및 국제정치 등 글로벌 이슈에 대응한 재생에너지로의 전환 및 비중 확대 필요성이 지속적으로 증가하는 추세이다. 신기후체제 출범 이후 기후변화 및 탄소중립 의제가 주요 이슈로 부상되었는데 UN, IEA, IRENA 등 국제기구들을 중심으로 국가 간 협력 및 의무 분담을 확대하고 있으며 최근 유럽 국가들은 대러시아 에너지 의존 탈피를 위한 재생에너지 비중 목표치를 상향 조정하였다.

또한, 글로벌 공공부문의 태양광 및 풍력에너지에 대한 R&D 투자 또한 지속적으로 확대하는 추세이다. 2019년 글로벌 신재생에너지 투자는 소규모 태양광에 대한 투자 증가로 인해 전년 대비 1% 증가한 2,822억 달러였으며, 글로벌 해상풍력 투자액은 299억 달러로 전년 대비 19% 증가하였다.

## 1.2. 국내외 사회 동향 분석

### 1.2.1 국내 태양광·풍력에너지 분야 주요 사회 동향

#### □ 코로나 19의 영향

2020년에는 코로나 19 장기화로 인한 경기침체로 국내 전력 판매량이 전년 대비 2.5% 감소하였다. 소비심리 악화 및 생산활동 위축의 영향으로 1인당 전력소비량이 2020년 기준 9,826kWh로 2019년(10,039kWh) 대비 감소하였으나(e-나라지표) 유틸리티 규모의 신재생에너지 프로젝트는 낮은 운영비와 장기계약을 통한 수익 보장으로 전력수요 감소의 영향을 크게 받지 않았다.

사회적 거리두기의 영향으로 주택용 에너지의 판매량만 증가하였고 향후 재택근무, 온라인판매, 디지털 전환에 따라 지속적 전력수요 증가가 예상된다. 또한, 전자상거래, 배달서비스, 원격진료, 온라인 banking, 원격수업, 가상현실 경험 등으로 비대면 방식 비즈니스 모델의 활용이 증가할 전망이다. 아시아태평양 지역의 ‘실내에서의 소비’ 규모는 2019년 1조 2천억 달러에서 2025년 3조 달러로 급성장할 것으로 전망하고 있다.

여름철 기온 상승으로 인한 전력수요 또한 증가할 것으로 예상되며 2021년

28) 과기정통부, 탄소중립 기술혁신 추진 전략, 2021

정부는 「여름철 전력 수급 전망 및 대책」에서 8월 둘째 주 최대 전력수요를 94.4GW로 예측하였으며, 역대 여름철 전력수요 추이를 보면 등락을 반복하며 상승하였다.<sup>29)</sup>

## □ 인구구조 변화

고령화 사회로의 진입 및 혼인율 급감 현상이 가속화되나, 대도시를 중심으로 1인 가구가 확산함에 따라 전기사용량 또한 증가할 것으로 보인다. 산업연구원(KIET)의 자료에 따르면 2019년 1인 가정 비중은 29.8%로 향후 지속적인 증가세를 보이며 2028년에 이르면 33.2%에 도달할 것으로 전망했다. 1인 가구의 인당 전기사용량이 4인 가구의 2.6배이기 때문에 1인 가정 비중이 증가되면 전기사용량도 또한 증가될 것이다.

또한, 기후변화 취약계층에 대한 사회적 책임 문제가 발생할 수 있다. 기후변화로 인한 폭염 등 이상 기후가 빈번하게 발생하면서 노인, 영유아, 기초생활수급자, 옥외근로자와 사회적 약자에 대한 관련물품 및 서비스 제공, 시설설치, 비용제공 등 지원이 필요하다.

## □ 노동구조 및 기업문화 개선

환경, 사회, 지배구조를 중시하는 ESG 경영이 화두로 떠오르고 있으며, 국내 ESG 투자 규모는 2018년 약 27조 원을 기록하였다. 국내 주요 기업들은 장기적인 관점에서 친환경 및 사회적 책임경영과 투명경영을 통해 지속가능한 발전을 추구하는 정책을 펼칠 것이다.

## □ 재생에너지 관련 키워드 및 감성 추이

답서치에서 최근 5년간(2017~2022)의 뉴스 데이터를 바탕으로 국내 태양광 및 풍력 뉴스 키워드와 감성 변화 추이를 조사하였다. 최근 5년간의 태양광 관련 검색 키워드를 살펴보면 탄소중립과의 연관성이 높은 것으로 확인된다. 특히 태양광 발전 관련 사업들에 관련한 검색어 키워드가 다수 나타났으며, 정부의 탄소중립 및 원전 정책이 연관 키워드로 나타났으며 부정적인 키워드인 ‘우려’는 중국의 강세에 따른 국내기업의 사업 철회 등 이슈와 연관되는 것으로 확인된다.

29) 산업통상자원부, 여름철 전력 수급 전망 및 대책, 2021

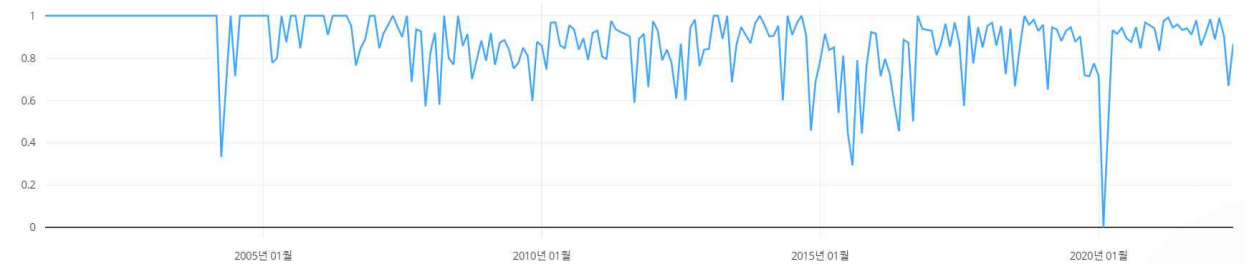




출처: 딥서치 (검색일자: 2022.03.02.)

[그림 23] 풍력 뉴스 키워드

풍력은 자원외교 등 해외투자 실적 및 에너지기업의 실적 이슈, 한전의 신재생에너지 사업에 대한 타당성 이슈 등으로 2020년 초 부정적 인식이 크게 나타난 모습을 보였다.



출처: 딥서치 (검색일자: 2022.03.02.)

[그림 24] 풍력 뉴스 감성 추이

국내 뉴스 기사를 중심으로 태양광 및 풍력에너지 분야의 주요 이슈를 정리하면 다음과 같다.

<표 17> 태양광 및 풍력 발전 관련 국내 이슈

유형	주제	내용
긍정적 이슈	탄소저감 효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>IPCC 보고서를 인용하여 재생에너지의 온실가스 감축 기여도 측면에서 잠재적 효과가 원전보다 높을 것으로 추정</li> <li>단 2기가톤을 넘어설 경우에는 발전시설 면적이 확대됨에 따라 태양광·풍력의 감축 효과 대비 비용이 이전보다 증가(한겨레, 2022.04.04.)<sup>34)</sup></li> </ul>
	열섬효과 차단	<ul style="list-style-type: none"> <li>태양광 패널을 주차장에서 활용하는 것은 지표면 온도를 낮추고 탄소를 줄이는 최적의 솔루션이라는 비영리 멀티미디어 플랫폼 에일클라이미트커넥션의 주장 소개(스마트시티투데이, 2022.03.22)<sup>35)</sup></li> </ul>
	먼지 제거 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>미국 매사추세츠공과대학(MIT) 기계공학 교수 크리파 바라나시카 이끄는 연구팀은 정전기적 반발력을 이용해 물이나 술 없이 먼지 입자를 제거하는 방안을 마련해 이런 문제를 해결한 연구 결과를 과학 저널 '사이언스 어드밴시스'(Science Advances)에 발표<sup>36)</sup></li> </ul>
	기술 개발 및 해외 수출	<ul style="list-style-type: none"> <li>국내 업체는 레이저 기술을 통해 고도별 바람의 세기와 형태를 측정할 수 있는 국산 해상풍력 라이다다비를 최초로 개발하여 노르웨이, 호주, 캐나다에 수출(한경 경제, 2021.03.10.)<sup>37)</sup></li> </ul>
	주민과의	<ul style="list-style-type: none"> <li>주민참여형 사업으로 추진된 신안 지도읍 태양광 발전소의 이익</li> </ul>

	수익 공유	<ul style="list-style-type: none"> <li>배당금 지급 및 신규 인구 유입 사례 소개(이투데이, 2022.04.04.)<sup>38)</sup></li> <li>주민 태양광 패널 설치 후 전기세 요금 대폭 절감 사례 소개(한국일보, 2021.10.03)<sup>39)</sup></li> </ul>
	일자리 창출 효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>해외기관 보고서에 따르면 재생에너지 투자, 조립 사업<sup>40)</sup>, 화석연료 수입 중단으로 인한 경제효과 등으로 한국에 2030년까지는 약 81만~86만 개의 일자리가 생길 것으로 분석되며, 이는 원자력의 두 배 수준(경향신문, 2022.03.17.)<sup>41)</sup></li> <li>해상풍력 개발에 의한 관광 효과 창출 및 관광 수요 증가 사례 소개(국토일보, 2021.07.08.)<sup>42)</sup></li> </ul>
	동식물 생태계 강화	<ul style="list-style-type: none"> <li>해상풍력 단지를 인공적인 어초로 활용함으로 인해 생물들에게 새로운 서식지를 제공한 사례 소개(위키리스크한국, 2022.04.05)<sup>43)</sup></li> </ul>
	환경오염 최소화	<ul style="list-style-type: none"> <li>한국중부발전은 전라남도 영광군의 폐염전 용지 100만㎡에 '영광 태양광발전단지' 준공(연합뉴스, 2020.11.17.)<sup>44)</sup></li> <li>한국중부발전은 산업·농공단지 태양광발전 사업을 위해 보령시·김제시와 업무협약을 맺고 친환경 에너지 인프라스트럭처 구축과 공공에너지 자립화를 추진(매일경제, 2021.05.10.)<sup>45)</sup></li> </ul>
부정적 이슈	제주도 발전소 전력 과잉생산	<ul style="list-style-type: none"> <li>수요예측 없이 재생에너지 발전 설비에 투자한 결과, 공급과잉으로 태양광·풍력 발전 가동 중단 발생 빈도 급증(조선비즈, 2022.04.12.)<sup>46)</sup></li> <li>향후 4~5년 내에 육지에서도 재생에너지 발전 섀다운 발생 가능(조선비즈, 2021.04.15.)<sup>47)</sup></li> </ul>
	전력수요 예측 미비	<ul style="list-style-type: none"> <li>공식 전력시장 내 태양광만 공식 집계에 포함되어 PPA와 자가발전 태양광의 수급량 실제 파악 미비(한경경제, 2021.08.10.)<sup>48)</sup></li> <li>구름이 많이 끼면서 고온다습하거나 한겨울 햇빛 없이 난방 수요가 많은 날 전력 수요 급증시 블랙아웃 발생(한경 경제, 2021.08.10.)<sup>49)</sup></li> </ul>
	풍력 예측 오차	<ul style="list-style-type: none"> <li>지구 자전 주기, 태양 위치 등의 정보를 바탕으로 일사량을 계산하는 태양광과 달리 풍력은 풍향, 풍속 등을 예측하는 것이 어려운 편(산업일보, 2022.01.25.)<sup>50)</sup></li> <li>“발전량 예측제도 설계 당시 태양광을 중심으로 만들어졌기 때문에 실시간으로 발전율이 급변하는 풍력은 오차율을 맞출 수 없는 문제로 풍력은 발전량 예측제도 1, 2차 실증사업에 모두 탈락한 상황(전기신문, 2021.07.08.)<sup>51)</sup></li> <li>풍력은 날씨의 영향을 크게 받고 한 발전기가 전체 용량에서 차지하는 비중이 많아 고장 시 예측 오차율이 크게 높아져 10% 이내 예측 오차율 달성 사실상 불가능→발전량 예측제도 1,2차 실증 탈락으로 업계 불만 대두(전기신문, 2021.06.21.)<sup>52)</sup></li> <li>집합전력 내에 오차율이 낮은 태양광에 풍력이 편승할 수 있어 세부 조건 고민 필요(전기신문, 2021.09.13.)<sup>53)</sup></li> </ul>
	제주도 출력제한 계획 반발	<ul style="list-style-type: none"> <li>재생에너지 인허가 남발로 전력 과잉생산 상태인데 민간 태양광 발전에 대해 출력제한이 이루어지지 않는 상태여서 발전사업자들이 출력제한 계획에 항의(제주의 소리, 2022.03.17.)<sup>54)</sup></li> <li>현행법상 풍력발전 허가권은 도지사에게 있지만 발전규모 3MW 이상 태양광은 산업통상자원부장관이 인허가권 행사(제주의소리, 2022.03.17.)<sup>55)</sup></li> </ul>
	풍력 가격 현실화	<ul style="list-style-type: none"> <li>고비용의 투자가 필요한 풍력의 경우 다른 재생에너지원 계약단가를 종합해 가중평균 후 정산단가 산정되어 사업수익성 저하 문제 발생(이투뉴스, 2021.10.5.)<sup>56)</sup></li> </ul>
	경쟁입찰 불공정	<ul style="list-style-type: none"> <li>수급불균형으로 계통한계가격(SMP) 및 재생에너지공급 인증서(REC) 가격 폭락, RPS 고정가격 경쟁입찰 관련 정보 비공개 개선 필요(에너지신문, 2021.01.13.)<sup>57)</sup></li> </ul>
	태양광 및 풍력 주민수용성	<ul style="list-style-type: none"> <li>태양광 설비 설치 규제 완화를 위한 농지법이 개정되면서 농촌진흥지역의 농지까지 발전시설이 확대되어 중소 임차농 및 농지가격에게 타격(프레시안, 2021.10.18.)<sup>58)</sup></li> </ul>



		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 발전업체 관계자와 지역 주민은 정부의 지자체 태양광 및 풍력 이격거리 표준화 추진에 대해 기존 지자체 조례 사문화 우려 표명(한국농정, 2022.03.06)<sup>59)</sup></li> <li>▪ 육상풍력발전시설의 소음, 산림훼손, 보상, 해양풍력발전시설의 농어촌·해양생태계 파괴, 조업구역 축소, 선박 항행 장애 등 문제로 주민 반발<sup>60)</sup></li> </ul>
--	--	--

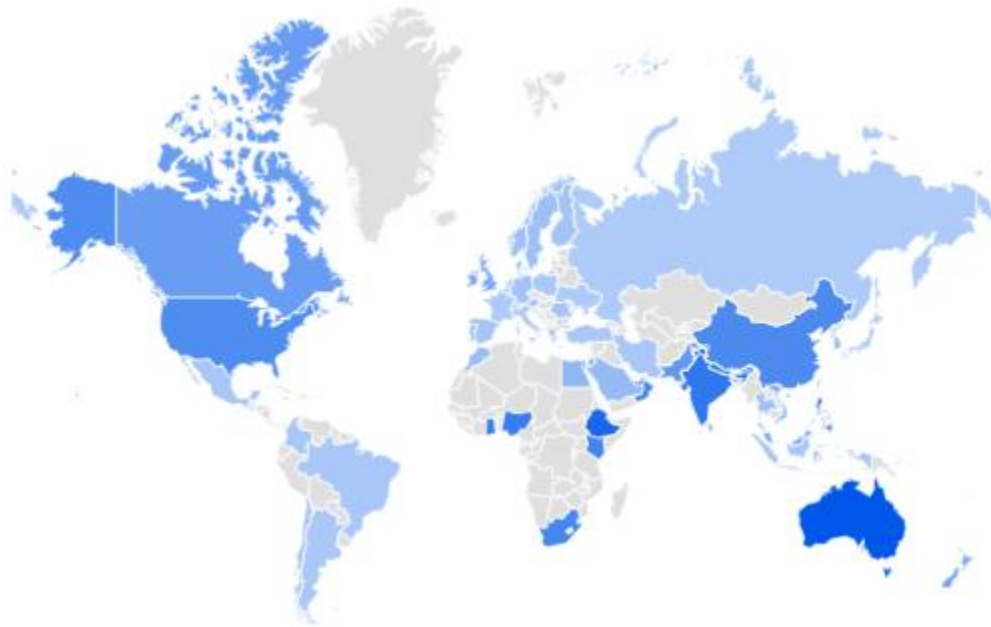
출처: 문헌자료를 종합하여 작성(검색일자: 2022.03.19)

- 34) <https://www.hani.co.kr/arti/society/environment/1037522.html>
- 35) <https://smartcitytoday.co.kr/news/articleView.html?idxno=22770>
- 36) <https://m.mk.co.kr/news/business/view/2022/03/230101/>
- 37) <https://www.hankyung.com/economy/article/2021031052801>
- 38) <https://www.etoday.co.kr/news/view/2120022>
- 39) <https://m.hankookilbo.com/News/Read/A2021091016390001135>
- 40) 조립사업 : 경제림 육성단지 중심의 내실있는 조립으로 목재의 안정적 자급기반 구축 및 생태적·환경적으로 아름답고 가치있는 친환경 산림자원 조성
- 41) <https://m.khan.co.kr/environment/environment-general/article/202203171643001#c2b>
- 42) <https://www.ikld.kr/news/articleView.html?idxno=237370>
- 43) <https://www.wikileaks-kr.org/news/articleView.html?idxno=112432>
- 44) <https://www.yna.co.kr/view/AKR20201117142400003>
- 45) <https://www.mk.co.kr/news/special-edition/view/2021/05/446150/>
- 46) <https://biz.chosun.com/industry/company/2022/04/12/KM73AZPJSFEEDV5PJDDFKRJV/>
- 47) [https://biz.chosun.com/site/data/html\\_dir/2021/04/14/2021041402419.html](https://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2021/04/14/2021041402419.html)
- 48) <https://www.hankyung.com/economy/article/2021081050341>
- 49) <https://www.hankyung.com/economy/article/2021081050821>
- 50) <https://www.kidd.co.kr/news/225617>
- 51) <https://www.electimes.com/news/articleView.html?idxno=220007>
- 52) <http://www.electimes.com/news/articleView.html?idxno=219070>
- 53) <http://www.electimes.com/news/articleView.html?idxno=222671>
- 54) <http://www.jejuori.net/news/articleView.html?idxno=400561>
- 55) <http://www.jejuori.net/news/articleView.html?idxno=400561>
- 56) <https://www.e2news.com/news/articleView.html?idxno=236315>
- 57) <https://www.energy-news.co.kr/news/articleView.html?idxno=74929>
- 58) <https://www.pressian.com/pages/articles/2021101810032975903#0DKU>
- 59) <http://www.ikpnews.net/news/articleView.html?idxno=46759>
- 60) <http://www.hdhy.co.kr/news/articleView.html?idxno=15171>

## 1.2.2 국외 태양광·풍력에너지 분야 주요 사회 동향

### □ 트렌드 분석

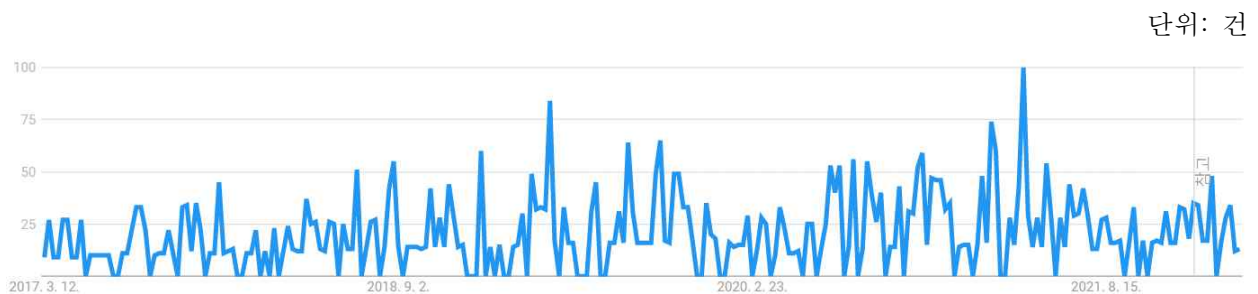
구글 트렌드 DB를 통해 최근 5년간 글로벌 태양광 풍력에너지 분야 주요 검색 추이를 확인하였다. 범위는 ‘전 세계’, 기간은 검색일 기준 ‘지난 5년’으로 설정하고 ‘solar energy’, ‘wind power’를 검색 키워드로 하여 ‘뉴스 검색’ 대상 분석을 수행하였으며 태양광의 경우 오스트레일리아, 에티오피아, 자메이카, 인도, 네팔 등 국가에서 관심도가 높게 나타났다.



출처: 구글 트렌드 (검색일자: 2022.03.11.)

[그림 25] 태양광 에너지 국가별 관심도

지난 5년간 태양광 관련 뉴스 관심도 추이는 일정한 추세 없이 등락을 반복하고 있고 2019년 전반과 2021년 2월경 일시적으로 급증하였다.

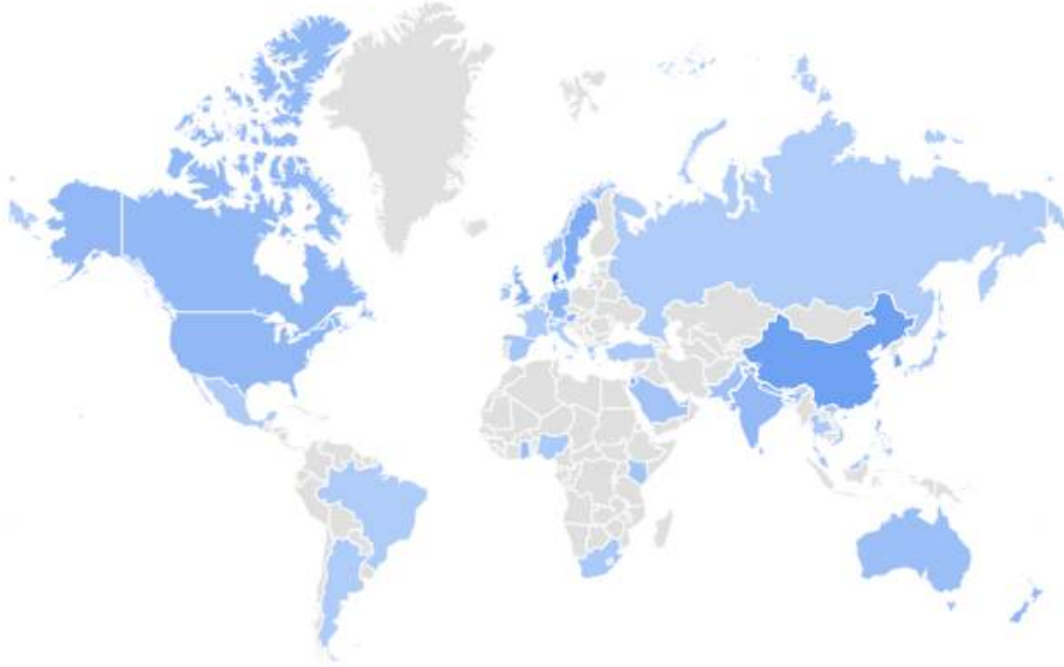


출처: 구글 트렌드 (검색일자: 2022.03.11.)

\*참고: 구글 데이터 수집 시스템 개선 기준(2022.01.01.)

[그림 26] 태양광 뉴스 관심도 추이

풍력의 경우 덴마크, 세인트헬레나, 한국, 중국, 스웨덴 등 국가에서 관심도가 높게 나타났다.



출처: 구글 트렌드 (검색일자: 2022.03.11.)

[그림 27] 풍력 에너지 국가별 관심도

지난 5년간 풍력 관련 뉴스 관심도 추이는 2020년 이후 증가 추세를 보이고 있고, 2021년 2월 14일~20일 기간동안 급증하는 모습을 보였다. 이는 미국 텍사스 지역 블랙아웃 사태가 대대적으로 보도된 결과로 추정된다. 일부 언론사들은 주정부가 재생에너지 비중을 급격하게 늘린 결과, 한파로 풍력 터빈이 얼어붙어 전력 공급에 예 큰 영향을 미쳤다고 지적하였다.



출처: 구글 트렌드 (검색일자: 2022.03.11.)

\*참고: 구글 데이터 수집 시스템 개선 기준(2022.01.01.)

[그림 28] 풍력 뉴스 관심도 추이

태양광 및 풍력에 대한 글로벌 관심도 비교 분석 결과, 전 세계적으로 태양광에 관한 관심이 더 높은 편이나 영국, 독일, 오스트리아, 스웨덴, 요르단, 파키스탄, 네팔, 일본에서는 풍력이 태양광보다 우세하며 중국은 보합을 유지하는 것으로 나타났다.

● solar energy ● wind power



출처: 구글 트렌드 (검색일자: 2022.03.11.)

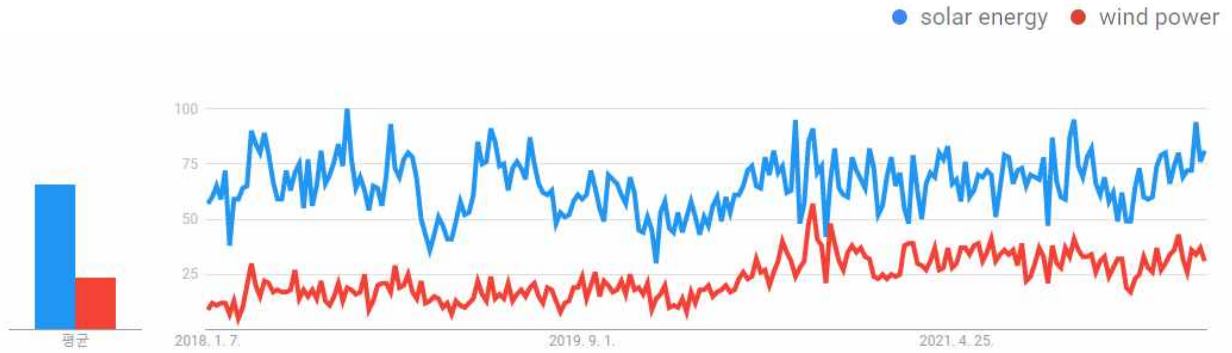
[그림 29] 태양광 및 풍력 국가별 관심도 비교

<표 18> 국가별 태양광 및 풍력 관심도 비중 비교

국가명	태양광 관심도(%)	풍력 관심도(%)
미국	66	34
중국	50	50
영국	48	52
독일	39	61
일본	29	71
오스트리아	36	64
파키스탄	36	64
러시아	72	28
캐나다	67	33
인도	73	27
한국	59	41
스페인	50	50
우크라이나	100	0
페루	100	0
브라질	87	13
네팔	0	100
요르단	0	100

출처: 구글 트렌드 (검색일자: 2022.03.11.)

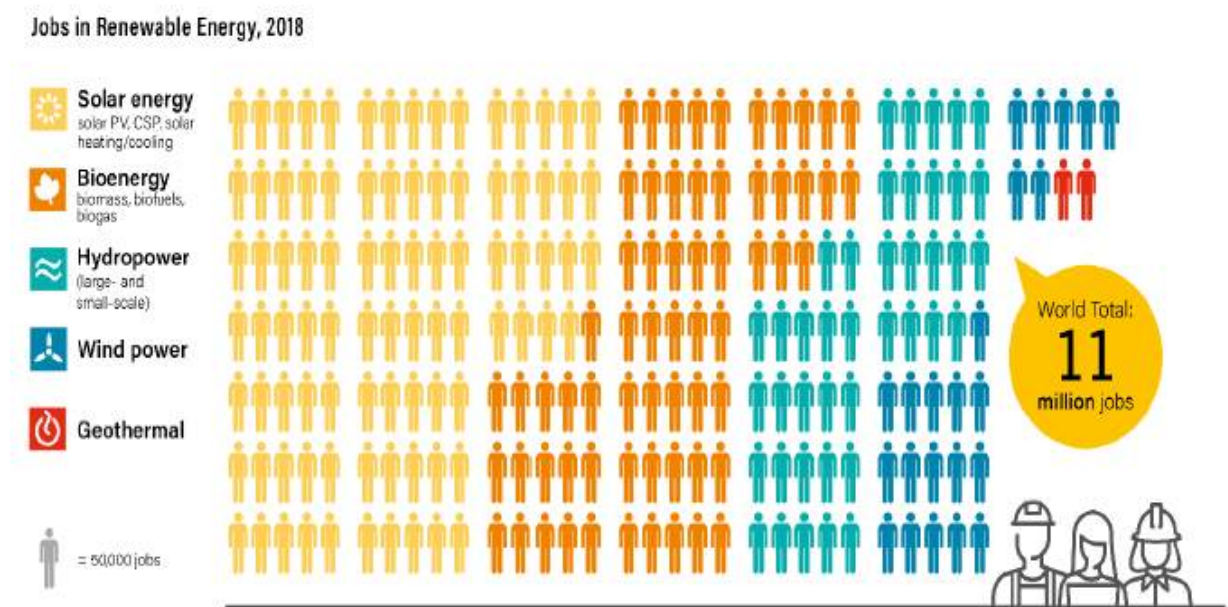
태양광 및 풍력 관련 구글 웹 검색량 추이 비교는 전반적으로 태양광에 대한 관심도가 더 높게 나타났으나 최근 풍력에 대한 검색량이 증가하면서 차이가 작아진 것을 확인하였다.



출처: 구글 트렌드 (검색일자: 2022.06.20.)

[그림 30] 태양광 및 풍력 구글 웹 검색량 추이 비교

## □ 고용 추이



출처: REN21, Renewables 2020 Global Status Report, 2020

[그림 31] 2018년 세계 재생에너지 분야 일자리 현황

전 세계적으로 재생에너지 시장이 커지고 관련 산업이 지속 성장함에 따라 일자리 수도 늘어나는 추세이다. 2018년에는 전 세계적으로 재생에너지 산업의 직·간접적 종사자 수는 1,100만 명에 육박하였으며 태양에너지, 바이오에너지, 수력, 풍력 순으로 고용의 규모가 큰 것으로 나타났다.

### 1.2.3 시사점

#### □ 국내외 사회동향

재생에너지 산업이 성장함에 따라 태양광 및 풍력에너지에 대한 사회적 관심도도 일정한 수준을 유지하고 있으며, 관심도는 국가/지역마다 차이가 존재한다. 전 세계적으로는 태양광 에너지에 관한 관심이 풍력에너지 대비 우세한 편이나 영국, 독일, 오스트리아, 파키스탄, 일본 등 재생에너지 전력 비중이 높은 국가에서는 풍력이 우세한 것으로 보인다.

코로나 19 및 1인 가구 확대, 여름철 기온 상승 등 사회구조의 변화에 따라 전력수요가 지속해서 증가할 것으로 예상된다. 또한, 탄소중립 이행 등 친환경 에너지 전환 확산에 따라 재생에너지의 필요성에 대한 인식 및 수요도 지속적으로 증대됨이 예상된다.

국내 언론사들을 중심으로 전력계통 불안정 초래, 환경파괴, 사업성 우려, 주민 수용성 등 재생에너지 확대에 따른 부정적 이슈 및 여론이 확대되고 있어 태양광·풍력 지원 정책 및 사업 추진에 제약요인으로 작용할 것으로 보인다.

#### □ 이슈 종합

계통운영 안정성 이슈에 대한 대응책으로 발전량 예측 기술 개선이 필요하며 사회 이슈 대응형 산업 지원방향 설정이 필요하다. 또한, 수익 공유형 태양광 사업·해상풍력 사업을 통한 사업 수익성 확보 및 주민 수용성 제고 방안 마련이 필요하다.

### 1.3. 국내외 산업 동향 분석

#### □ 국내 전력산업구조

여러 차례의 구조개편을 통해 한전 주도의 일원화된 체계에서 발전과 판매 부문이 독립된 구조로 개편되었다. 과거 대비 경쟁 요소가 도입되었으나 송배전과 판매가 분리되어 판매시장이 개방되는 수준까지로의 구조개편은 아직 이루어지지 않고 있다. 재생에너지 공급확대로 변동성 및 과전압 이슈가 발생함에 따라 송배전 시스템 운영자가 분리되어야 한다는 의견이 제기되고 있다.

기간	구조	근거/참여자
80년대 이전		<ul style="list-style-type: none"> <li>·자연독점</li> <li>·규모의 경제</li> <li>·공공 유틸리티</li> <li>·서비스 비용</li> </ul>
80년대 후반 ~현재		<ul style="list-style-type: none"> <li>·경쟁시장</li> <li>·규모의 경제 약화</li> <li>·TSO, ISO, PX</li> </ul>
현재~미래		<ul style="list-style-type: none"> <li>·DER 촉진</li> <li>·ICT와 RES 통합</li> <li>·프로슈머와 DSO의 등장</li> </ul>

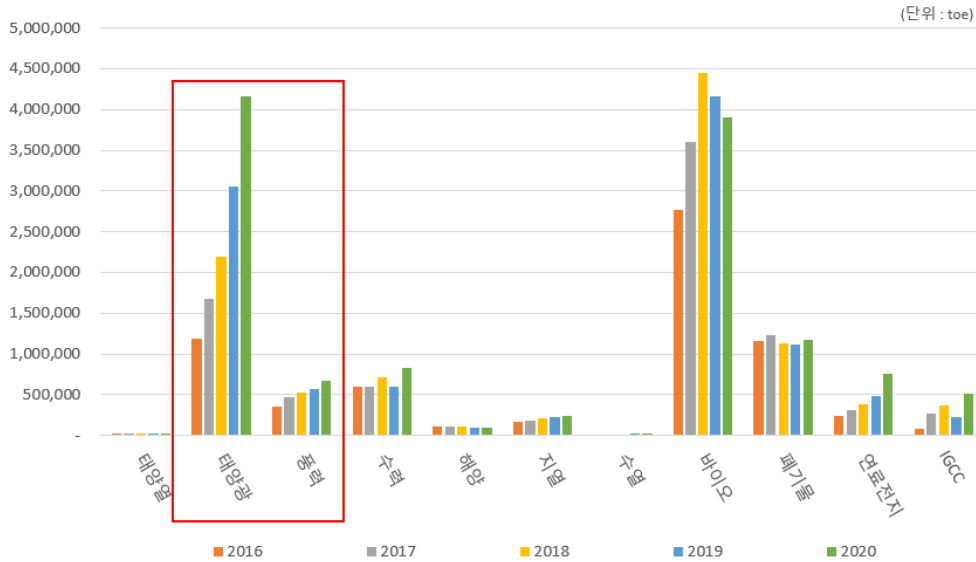
※ TSO: 송전시스템운영자, ISO: 독립계통운영자, PX: 전력거래소, DER: 분산형자원,  
 ICT: 정보통신기술, RES: 재생에너지, DSO: 배전시스템운영자  
 출처: 서울에너지공사(2018), 배전계통운영자의 기능과 구조

[그림 32] 전력산업구조의 변화

### 1.3.1 국내 재생에너지원별 이용 현황 및 동향

#### □ 신재생에너지 생산량

한국에너지공단에 따르면 최근 5년 동안의 신재생에너지 생산량은 그림 34와 같다. 그중 태양광, 풍력, 지열, 수열, 연료전지는 증가 추세이며 2020년에는 태양광에너지 생산량이 가장 많았다.

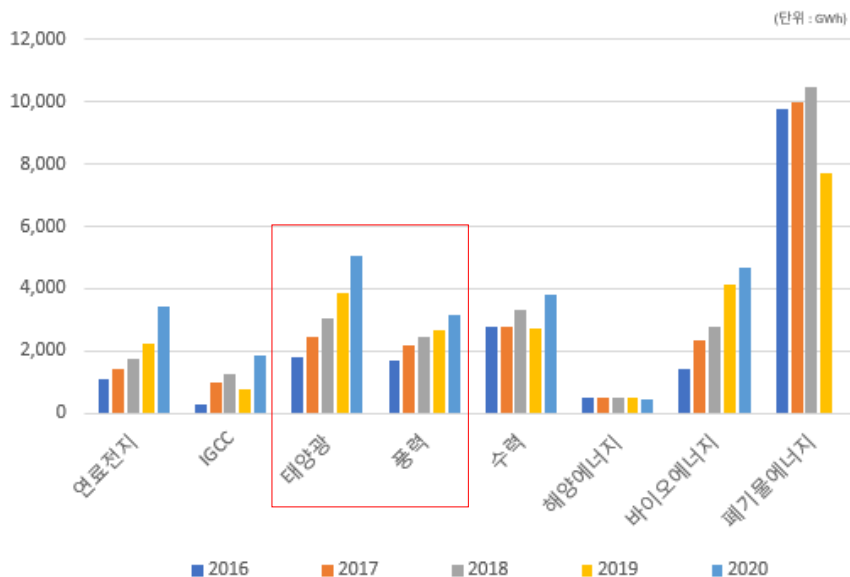


출처: 한국에너지공단, 2020년 신재생에너지 보급통계 재구성, 2021

[그림 33] 국내 연도별 신재생에너지 생산량

### □ 신재생에너지 전력거래량

전력거래소에 따르면 2020년 신재생에너지 전력거래량은 그림35와 같으며 그 중 연료전지, 태양광, 풍력, 바이오에너지의 전력거래량은 최근 5년간 증가 추세이며 2020년 태양광에너지의 전력거래량이 가장 많았다. 폐기물에너지는 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법(’19.10)」 개정으로 ’19년 10월부터 신재생에너지에서 제외되었다.



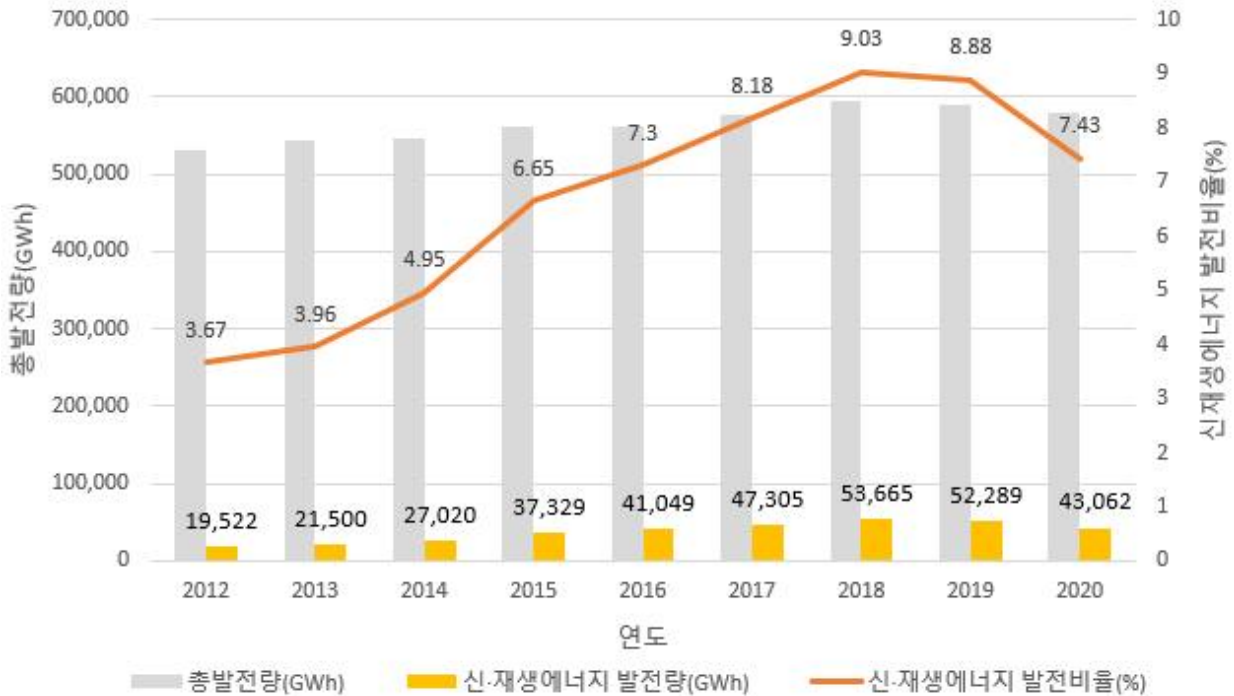
출처: 전력거래소, 2020년 전력시장 통계 재구성, 2021

[그림 34] 국내 연도별 신재생에너지 전력거래량



## □ 신재생에너지 발전량과 발전비율

한국에너지공단의 ‘신재생에너지 보급통계’ 자료를 이용한 국가지표체계의 신재생에너지 발전비율은 2001년 0.04%에 불과하였으나 2018년 9.03%로 지속해서 증가하였다. 반면 2019년부터 ‘신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 개정(’19.10.01 시행)에 따라 비재생폐기물이 제외되면서 신재생에너지 발전비율이 감소된 것으로 추정된다.



출처: 국가지표체계, 신재생에너지발전비율 재구성, <https://www.index.go.kr/unify/idx-info.do?idxCd=4293>, 검색일: 2022-02-22

\* 신재생에너지 발전비율 = (신재생에너지발전량/총발전량) x 100

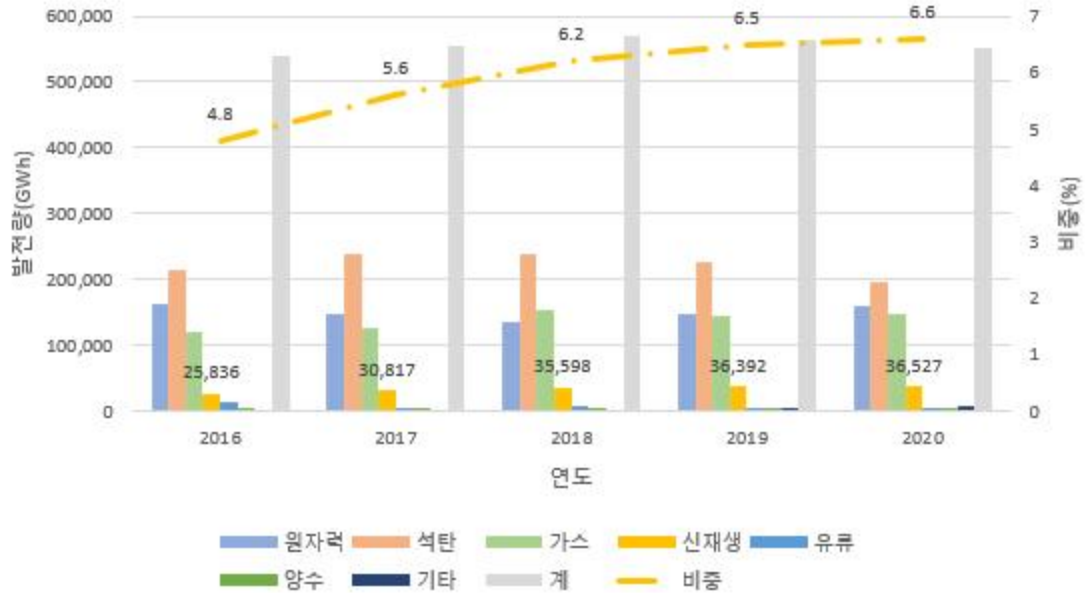
\* 총발전량은 양수발전을 포함, 신재생에너지 총발전량은 사업자용, 사용자용, 신재생소규모자가용 합계

\* 2019년부터 ‘신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 개정(’19.10.01 시행)에 따라 비재생폐기물 제외

[그림 35] 신재생에너지 발전량 및 발전비율

## □ 에너지원별 발전량 현황

한국전력공사의 ‘월별/연도별 한국전력통계’ 자료를 이용한 e-나라지표의 에너지원별 발전량 현황은 그림36과 같다. 신재생에너지의 발전량은 미미하지만 증가 추세이며 전체 에너지원 발전량 대비 신재생에너지의 비중 또한 증가 추세이다.



출처: e-나라지표, 에너지원별 발전량 현황 재구성,

[https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx\\_cd=1339](https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1339), 검색일: 2022-02-22

\* 본 통계표상 신재생에너지 발전량은 자가용 발전량 미포함한 수치, 사업용 설비만을 집계

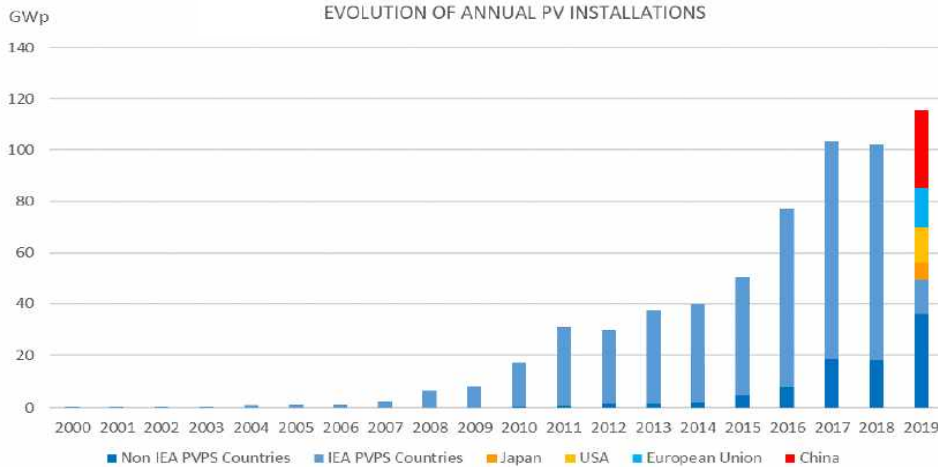
\* 2019년부터 '신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 개정('19.10.01 시행)에 따라 비재생폐기물 제외

[그림 36] 에너지원별 발전량 및 신재생에너지 비중

### 1.3.2 국외 재생에너지원별 이용 현황 및 동향

#### □ 태양광에너지 분야 국외 산업 동향

세계 태양광 발전시스템 설치시장은 2004년 1GW를 초과한 이후 43% 이상의 폭발적인 복합연평균성장률(CAGR)을 나타내며 급성장하였고 2015년에 약 50GW를 초과하는 시장규모에 이르렀다. 2019년에는 약 115GW의 설치량을 기록하고, 세계 누적설치용량은 2019년 645GW로 나타났다.



출처: 국제에너지기구(IEA), Snapshot of Global PV Markets 2020, 2020

[그림 37] 세계 태양광 보급 현황

신재생에너지 백서에 따르면 태양광에너지 기술과 관련하여 결정질 실리콘 태양전지가 전 세계 태양전지 시장을 주도하고 있다. 2007년까지는 결정질 실리콘 태양전지가 90% 이상의 시장 점유율을 나타내었으나, 폴리실리콘 가격의 상승에 의한 박막 태양전지의 보급 확대에 인하여 한때 점유율이 80%대로 감소한 바 있으나 2011년 들어 폴리실리콘 가격의 하락 및 수급불균형에 따라 결정질 실리콘 태양전지/모듈의 가격이 급락하면서 다시 시장을 주도하는 상황이다.

박막 태양전지의 선두 기업으로는 CdTe<sup>61)</sup> 모듈을 생산하는 미국의 First Solar사와 CIGS<sup>62)</sup> 모듈을 생산하는 일본의 Solar Frontier사가 있으며 이들 두 기업에 국한되면서 산업생태계가 상대적으로 취약하여 박막 태양전지의 시장 점유율이 낮은 특징이 있다.

2013년 하반기부터 폴리실리콘 가격이 안정화되어 모듈 수급 불균형이 해소됨에 따라 결정질 실리콘 태양전지를 중심으로 시장이 점차 안정적으로 성장하는 모습이며, 이러한 추세가 최근까지 유지되면서 결정질 실리콘 태양전지 시장이 전체 시장의 95% 이상을 점유하고 있다.

박막 태양전지가 결정질 실리콘 태양전지에 대한 경쟁력을 확보하기 위해서는 저가 및 고기능성, 신규 응용 분야로의 진출이 필요할 것으로 보이며, 박막 태양전지 시장은 2020년 이후부터 서서히 성장할 것으로 예측된다.<sup>63)</sup>

61) CdTe : ‘Cadmium-Telluride’ 의 약자로 Cd(II 족)와 Te(VI 족)가 결합된 직접 천이형 화합물 반도체

62) CIGS : ‘Copper Indium Gallium Selenide’ 의 약자로 태양빛을 전력으로 변환하기 위해 사용되는 박막 태양전지

63) 산업통상자원부·한국에너지공단, 신재생에너지 백서, 2020

## □ 풍력에너지 분야 국외 산업 동향

2020년 기준 풍력 산업은 글로벌 신재생에너지 설비용량의 26.2%를 차지하고 있다. 2010년부터 2015년까지 연평균 17%, 2015년부터 2020년까지 연평균 11%의 성장을 보였다. 2015년이 설비용량 증가 추이의 변곡점이 된 까닭은 신재생발전량의 급속한 증가에 따른 재정부담을 해소하기 위해 많은 국가가 경매제를 도입한 결과로 추정할 수 있다.<sup>64)</sup>



출처: KMI, 풍력산업 동향 및 기상정보 활용 사례, 2021 재인용; GWEC, Global Wind Report 2021, 2021

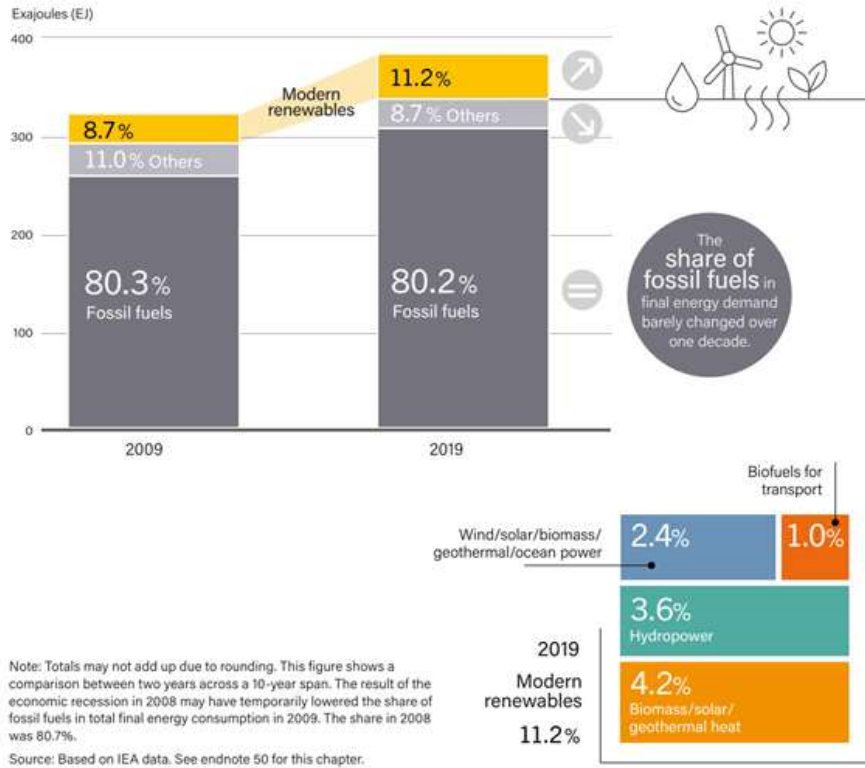
[그림 38] 글로벌 누적 풍력발전 설비용량

주목할만한 점은 전체 발전설비 용량에서 육상 풍력 위주의 발전설비 비중에서 해상풍력의 비중이 2010년 3GW에서 2020년 35GW로 증가한 것이다. 육상 풍력은 부지 부족 등 제약이 있어 지속적인 확대가 어려우나, 해상풍력은 풍황이 우수하여 설비 이용률이 높고 최근 터빈 및 풍력 시스템 대형화 등 기술발전으로 높은 사업비용이 하락함에 따라 신규 설비 투자가 급증할 것으로 전망되고 있다.

## □ 국외 재생에너지 이용 현황

REN21에서 발간한 ‘Renewables Global Status Report 2021’에 따르면 현대적 재생에너지(Modern Renewables)는 2009년 8.7%에서 2019년에는 11.2%로 총 2.5p 증가하였으며 그 중 열에너지 4.2%, 수력 3.6%, 재생에너지 2.4%, 수송 바이오 연료 1.0% 순으로 비중을 차지한다.

64) 경북테크노파크, 국내외 해상풍력 정책동향 및 시장조사, 2020

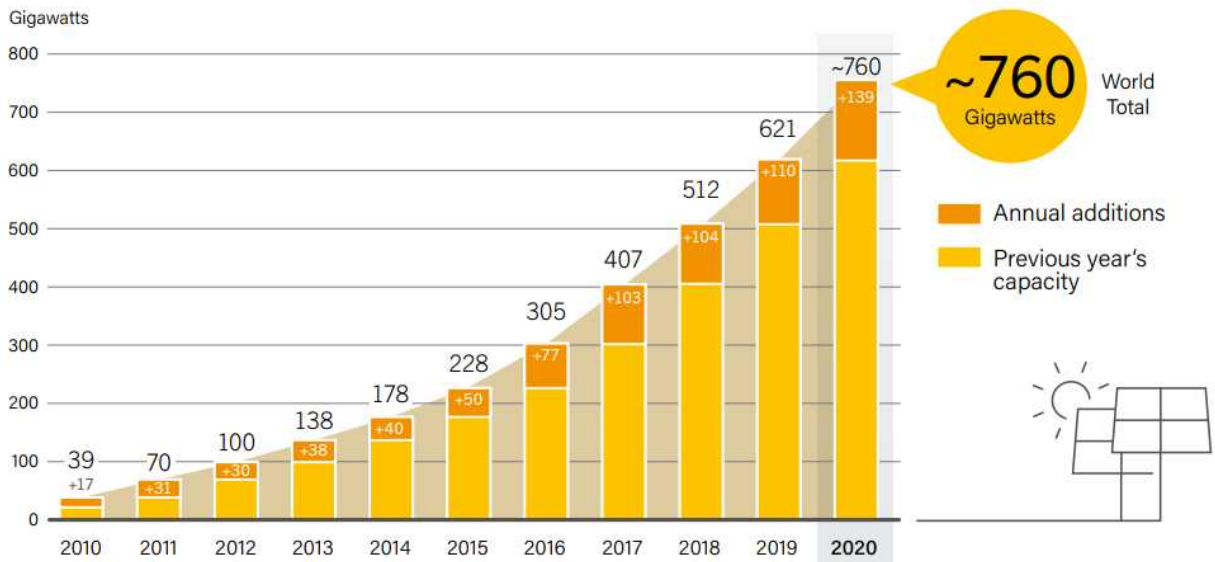


출처: REN21, RENEWABLES 2021 GLOBAL STATUS REPORT, 2021

[그림 39] 세계 최종에너지 중 재생에너지 비중(2019)

### □ 태양광

REN21에서 2020년에 전 세계적으로 약 139GW의 태양광 발전 용량이 추가되었으며, 총 누적 발전 용량이 760GW로 급격하게 상승 중이라고 밝혔다.

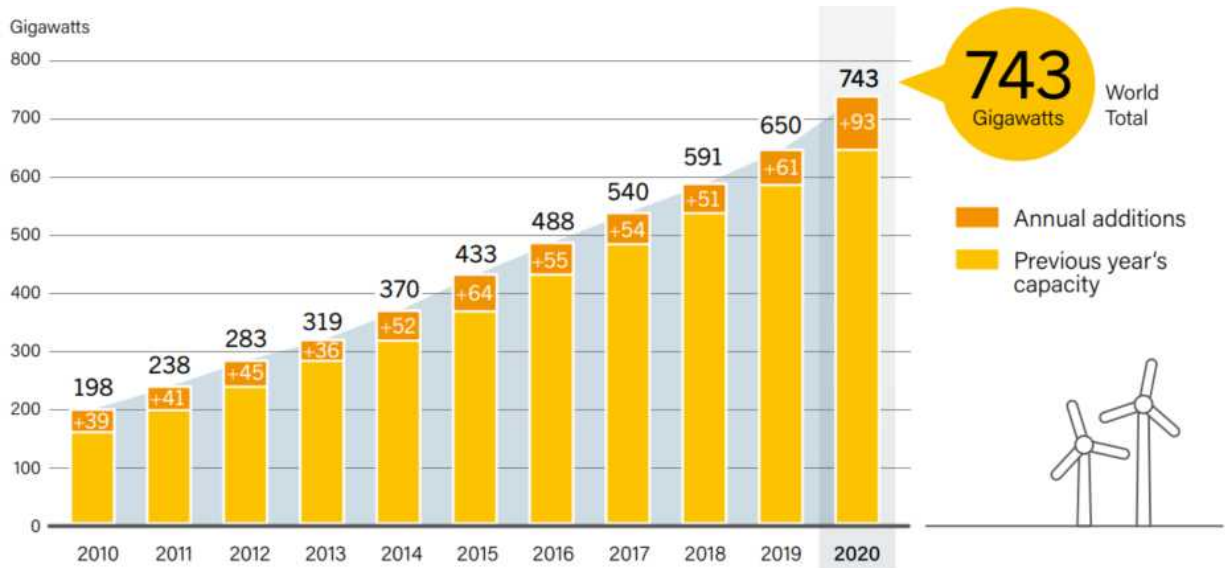


출처: REN21, RENEWABLES 2021 GLOBAL STATUS REPORT, 2021

[그림 40] 전세계 태양광 발전용량

### □ 풍력

REN21에 따르면 2020년 전 세계적으로 약 93GW의 풍력 발전 용량이 추가되었으며 총 누적 743GW(육상 707.4GW, 나머지 해상)로 2014년 풍력 발전 용량보다 두 배 이상 증가되었다고 밝혔다.



출처: REN21, RENEWABLES 2021 GLOBAL STATUS REPORT, 2021

[그림 41] 전세계 풍력 발전용량

### 1.3.3 시사점

#### □ 태양광 산업

전 세계적으로 온실가스 배출량 감축 목표(넷제로, Net-Zero)로 인한 에너지 전환 정책 실현으로 재생에너지 비중이 꾸준히 증가하였으며 앞으로도 상승세를 이어갈 것으로 전망된다. 특히 높은 접근성 및 경제성을 확보한 태양광 발전 전환이 가속화될 것으로 예상된다.

국내 신재생에너지 보급 및 산업 발전량뿐만 아니라 재생에너지 발전비율이 국외보다 저조한 실정이므로 태양광 에너지 발전효율 증대를 위한 기상정보 제공이 필요하다.

#### □ 풍력 산업

전 세계적으로 풍력 시장규모는 아직 작으며 특정 소수 기업이 독점하는 상황이나 전체적으로 봤을 때 풍력발전은 꾸준히 증가 추세이며 육상풍력과 비교하면 해상풍력은 높은 발전 단가 및 설치 비용으로 초기 시장단계 상황이다. 따라서 산업기반 마련을 위한 대책이 필요하다.

## 2. 국내외 태양광·풍력에너지 분야 관측·기술개발 동향 분석

### 2.1 국내 재생에너지 분야 관측·기술개발 동향

#### □ 산업계 기술 현황

결정질 실리콘 태양전지의 경우 국내기업을 중심으로 세계적 기술 수준을 보유하고 있으나 고효율 태양전지와 같은 전략 기술에 대해서는 단계별 사업화가 필요하다. 현재 고효율 태양전지 기술개발을 위해 태양전지 뒷면에 반사층을 만들어 효율을 높이는 PERC 태양전지에 이어 Bifacial 태양전지, n-type 태양전지 등 다양한 태양전지 기술개발이 진행되고 있다. 국내에서는 페로브스카이트 태양전지, 유기 태양전지 등의 연구개발이 세계 최고 수준의 경쟁력을 가지고 있으며, 상용화를 위한 대면적화 공정기술, 안정성 확보 및 원가절감 기술확보가 필요하다. 또한, 기후변화 위기 대응 및 저탄소 청정에너지공급확대를 위해 수상태양광, 해상태양광, 영농형태양광은 산·학·연 클러스터를 통해 연구 및 사업화가 추진되고 있다.<sup>65)</sup>

#### □ 정부 차원의 기술지원

정부 차원에서는 신재생에너지 보급지원사업 개편을 통해 건물 일체형 태양광 발전 시스템(BIPV, Building-Integrated Photovoltaic) 지원을 강화하고 있으며, 이는 우리나라의 좁은 국토의 지리적 단점을 보완하고, 차별화된 기술로 미래 시장을 선도할 것으로 기대된다. 산업통상자원부에서 발표한 ‘그린뉴딜’ 5대 과제를 정부가 2025까지 투자할 것으로 밝혔으며 과제 중 하나인 그린 스마트스쿨(15조 3,000억 원)은 전국 2,890개 초·중·고등학교에 태양광 발전 시설을 설치할 계획이며, 그린 리모델링(5조 4,000억 원)을 공공임대주택 22만 5,000호와 어린이집, 보건소, 의료기관 2,170개에 태양광을 설치할 예정이다. 또한, 태양광, 풍력 등 신재생에너지 산업생태계 육성을 위해 그린에너지 분야에 11조 3,000억 원을 투입해 대규모 R&D·실증 사업과 태양광 설비 설치사업이 진행예정이다.

우주 태양광 발전 분야에서는 정부가 2018년 제3차 국가우주개발진흥계획 ‘미래 게임 체인저 기술’로 우주태양광 발전용 송수신장치 기술을 선정하였고, 무선 송전 기술과 우주 태양광 발전 위성기술 개발도 추진하고 있다.<sup>66)</sup>

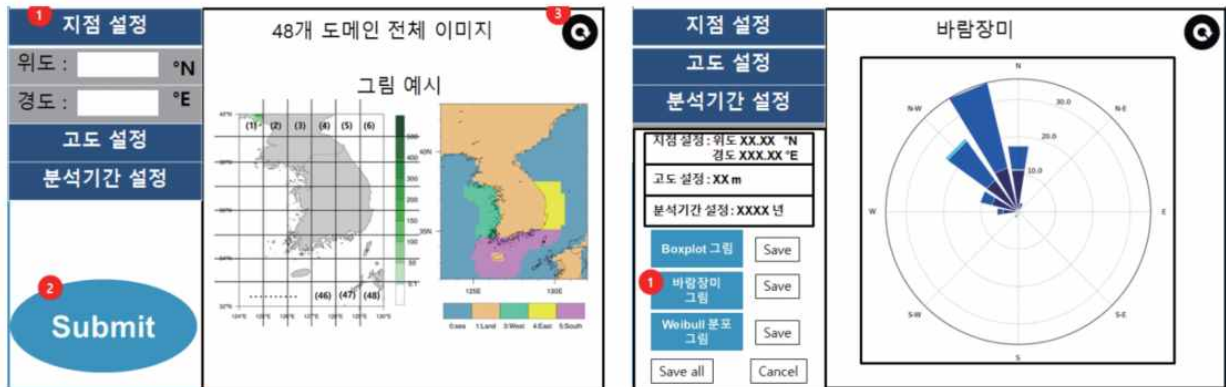
#### 2.1.1 기상청

65) 한국산학기술학회.2021.태양광 정책 및 기술 동향분석

66) 한국산학기술학회.2021.태양광 정책 및 기술 동향분석

## □ 기상청의 ‘맞춤형 풍황자료 생산도구’

기상청은 수요자 맞춤형 풍황자료 생산도구를 개발하여 원하는 지역의 풍력 발전 고도에 대한 풍황정보를 가시화하여 나타내는 프로그램을 개발하였다. 풍황정보는 상자수염 분포, 바람장미, Weibull 분포 등을 제공하며 해상 영역, 고도, 분석 기간을 설정하여 영역별 정보 표출이 가능한 인터페이스를 개발하여 정보를 제공한다.

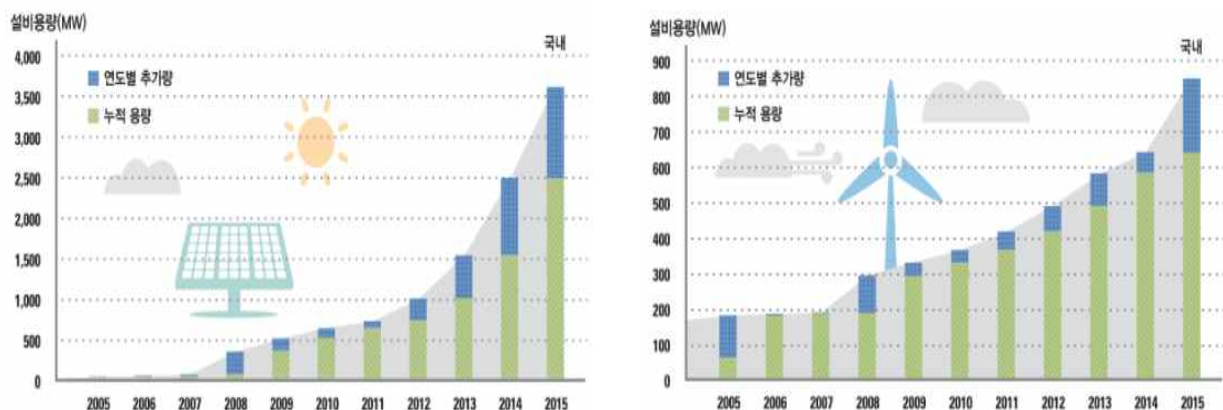


출처: 한국기상산업기술원, 풍력산업 동향 및 기상정보 활용 사례, 2021

[그림 42] 사용자 맞춤형 풍황자료 인터페이스 화면 구현 예시

## □ 국립기상과학원 풍력·태양광 기상자원지도

최근 국가 신재생에너지 산업의 육성과 지원이 활발해지면서 기상·기후 변화에 민감한 신재생에너지 관련 기상자원(풍력 및 태양광) 정보에 대한 수요가 나날이 증가함에 따라 국립기상과학원에서는 풍력·태양광 기상자원에 대한 진단 및 예측정보 생산 기술을 개발하고 있다.<sup>67)</sup>



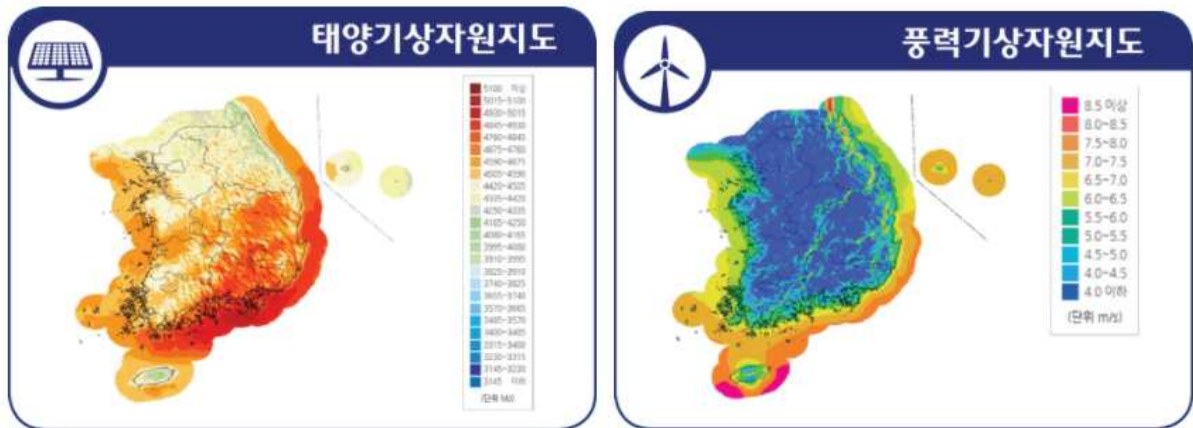
출처: 국립기상과학원 웹사이트 <http://www.greenmap.go.kr/kr/introduce01.do> (검색일: 2022.02.16.)

[그림 43] 국내 태양광(좌), 풍력(우) 누적 설비용량

67) 국립기상과학원 웹사이트 <http://www.greenmap.go.kr/kr/introduce01.do> (검색일: 2022.02.16.)



국립기상과학원에서 제공되는 태양기상자원지도로 우리나라에서 햇빛(일사량)이 강한 곳을 알 수 있으며, 햇빛은 직접 전달되기도 하며 공기로 산란하므로, 직달일사, 산란일사, 전천일사 등의 태양기상자원지도를 개발하였다. 풍력기상자원지도는 우리나라에서 바람이 강한 곳을 알 수 있으며, 풍속은 고도가 높아질수록 강해지기 때문에 지상 50m, 80m 고도에 대한 풍력기상자원지도를 개발하였다.



출처: <http://www.greenmap.go.kr/kr/introduce02.do> (검색일: 2022.02.16.)

[그림 44] 우리나라 태양과 풍력 기상자원지도(예시)

## 2.1.2 지사체

### □ 서울특별시- 햇빛지도<sup>68)</sup>

햇빛지도는 주변 건물 간의 영향을 고려하고 건물 지붕이나 옥상에 입사되는 태양에너지 잠재량을 산출하여 태양광 입사 에너지를 지도상에 표출한 것으로 한국에스지티/새한항업 컨소시엄에서 서울 관내 전 지역(605km<sup>2</sup>)에 대해 햇빛지도 및 태양광 정보시스템을 구축하였다. 서울연구원에서 2001년~2011년간의 서울시 기상정보를 분석하여 서울형 파라미터를 도출하고, 개별 건물에 대한 태양광발전량, 탄소배출 저감량, 비용절감액을 시뮬레이션할 수 있는 Screening Logic을 개발하여 적용하였다.

또한, 서울시의 지역적 특성을 고려한 햇빛 알고리즘을 반영하여 개별 건물에서 확보할 수 있는 태양광에너지를 시뮬레이션할 수 있어, 시민들의 에너지 절약의 중요성을 인식하고, 참여할 수 있는 동기를 부여한다. 지역 단위로 태양광에너지 활용을 위한 기초자료 및 정책 결정을 위한 데이터를 제공하여, 태양광에너지

68) 서울특별시 햇빛지도 웹사이트 <http://solarmap.seoul.go.kr/intrcn/intrcnSummary.do> (검색일: 2022.02.16.)

활용 잠재성이 높은 지역을 선정하여 우선적인 투자를 통해 태양광발전사업의 효율성을 증대할 수 있다.



출처: 서울특별시 햇빛지도 웹사이트 <http://solarmap.seoul.go.kr/intrcn/intrcnSummary.do> (검색일: 2022.02.16.)

[그림 45] 서울특별시 햇빛지도 예시  
서울 전역 태양광에너지 음영분석도(좌)와 강남구 태양광에너지 음영분석도(우)

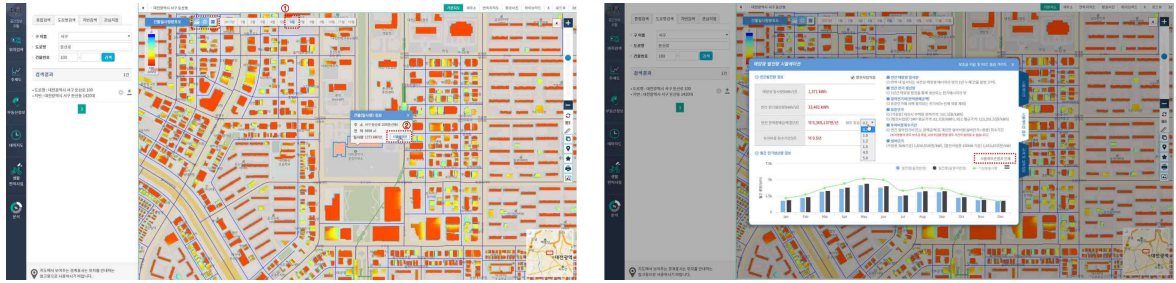
#### □ 대전광역시- 햇빛지도<sup>69)</sup>

한국에너지기술연구원은 “위성영상 기반 입체형 BIPV 태양광 발전량 예측 기술”을 개발하였다. 해당 기술은 위성영상을 기반으로 BIPV(지붕형, 창호형, 벽면형 태양광 발전시설)의 성능을 예측하고 경제성을 분석하는 기술로 3차원의 입체형 태양자원지도로 표출하며 세계 최고 수준의 일사량 예측 정확도를 보인다.

Google Sunroof, SUNSPot, Solar Atlas 등 국외 태양광 발전량 예측 기술은 지붕형에만 적용되는 반면 해당 기술은 세계 최초 Full-3D 입체형 태양자원지도를 제공하여 창호형, 벽면형 BIPV 예측/평가가 가능하다.

해당 솔루션은 공간해상도 1km 이하의 위성영상인 고해상도의 천리안 기상위성으로부터 전일사량 및 직달일사량을 산출하며 공간정밀도 1m 이하의 디지털 건물모델을 이용하여 주위 건물, 지형, 그림자 차폐 등 주위 환경에 대한 영향을 산정한다.

69) 한국에너지기술연구원, 한국에너지기술연구원 사업화유망기술 VOL.3, 2019



출처: 한국에너지기술연구원, [https://gis.daejeon.go.kr/images/solar/seed\\_user\\_manual.pdf](https://gis.daejeon.go.kr/images/solar/seed_user_manual.pdf) (검색일: 2022.06.22.)

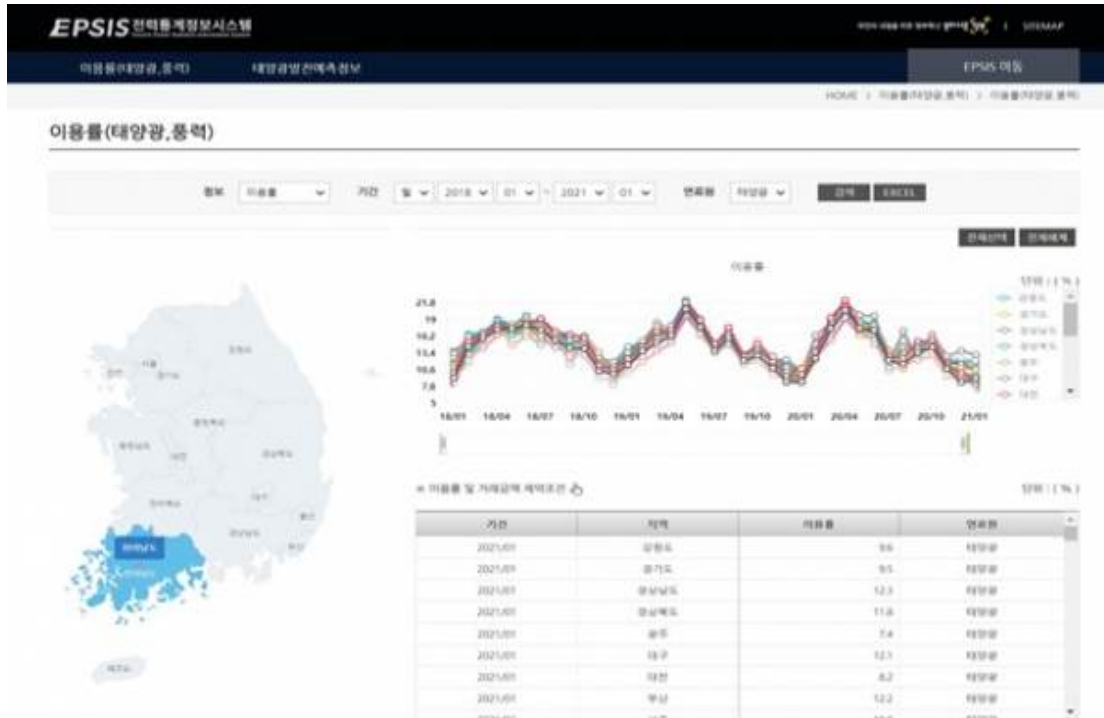
[그림 46] 대전광역시 햇빛지도 예시  
(좌) (우) 태양광 발전 시뮬레이션

## 2.1.3 전력거래소

### □ 전력거래소

전력거래소와 해죽은 행정 단위별로 태양광·풍력 등 신재생에너지 이용률 정보 제공 서비스를 위한 시스템을 구축하였다.<sup>70)</sup> 전력거래소는 기상청의 기상 데이터를 활용한 발전량 예측정보와 자사에서 보유한 전력시장 참여 재생에너지 데이터를 활용하여 지역별 이용률 정보 등을 제공하는 ‘재생에너지(태양광발전과 풍력발전) 이용률 정보 제공 서비스’를 ’22년 1월 28일부터 제공하고 있다. 동 서비스는 각종 기상 조건 및 태양광 발전소 고유정보를 통해 미래 발전량을 예측하는 해죽의 기술을 활용하고 있다. 이를 통해 대한민국 지도 기반에 GUI(Graphic User Interface)·그래프·표 등을 활용한 데이터를 제공함으로써 사용자 편의를 고려하였으며 재생에너지 특성상 일사량·바람 등 지역 여건에 영향을 받아 지역별로 발생하는 수익 차이에 대한 정보 제공을 통해 신규 재생에너지 사업에 대한 타당성 분석이나 사업성 판단에 활용될 데이터를 제공한다. 재생에너지 투자자 수익성 제고와 새로운 전력 비즈니스 참여 기회 제공에 역할을 하는 한편 정부의 2030년 국가 온실가스 감축목표(NDC) 달성에 도움을 줄 것으로 기대된다.

70) 에너지타임즈, 전력거래소 지역별 재생E 이용률 정보 제공 2022.01.28.  
<https://www.energytimes.kr/news/articleView.html?idxno=61380> (검색일: 2022.02.16)



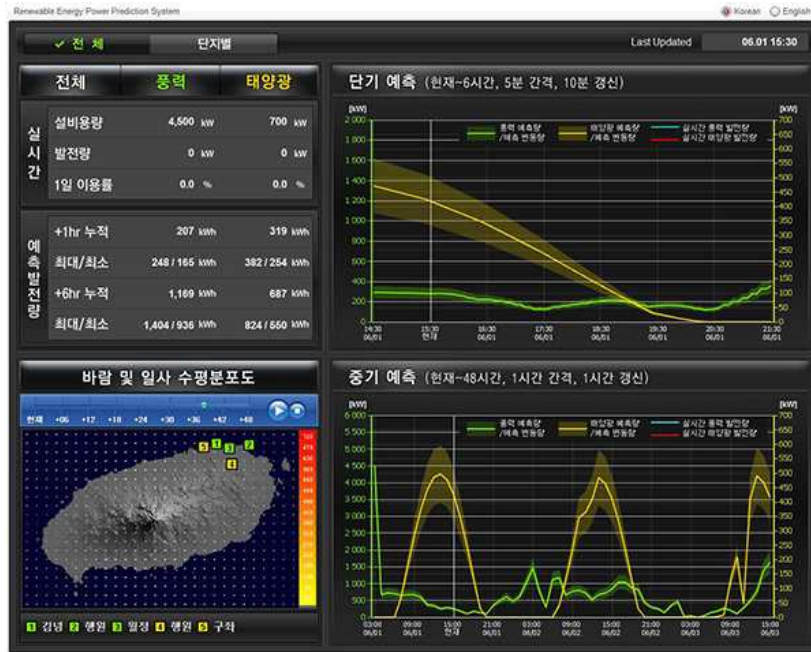
출처: EP SIS 전력통계정보시스템 웹사이트 <http://epsis.kpx.or.kr/epsisnew/selectMain.do?locale=>  
(검색일: 2022.02.16)

[그림 47] 재생에너지 이용률 정보 제공 서비스 (이용률 화면 예시)

전력거래소와 에코브레인은 태양광풍력 발전량 예측 솔루션, E-on solution<sup>71)</sup>을 제공하고 있다. E-on solution은 신재생에너지의 안정적인 전력계통 연계를 위해 전력거래소와 에코브레인이 함께 공동 개발한 시스템으로 기상상태에 따라 변동성이 큰 에너지원인 바람과 일사량을 예측하고 기상예측 정보에 발전기나 발전단지 정보를 적용해 발전단지별 발전량을 산정한 후 사업자에게 제공한다. 이 시스템은 현재 시점부터 향후 48시간까지의 단기 및 중기 발전량 예측정보를 제공하며, 6시간 이내의 단기 예측정보는 5분 간격으로 예측되어 10분마다 업데이트되고 6~48시간의 중기 예측정보는 1시간 간격으로 예측하고 1시간마다 업데이트된다.

에코브레인은 태양광·풍력 발전량 예보 기술을 기반으로 신재생에너지 통합 모니터링 시스템과 가상발전소(VPP) 통합 운영 플랫폼, 에너지저장장치(ESS)와의 연계 솔루션 등을 제공하고 있으며, 전력거래소와 한국전력연구원 등 에너지 관련 기관과 공기업에서 적극적으로 활용할 뿐만 아니라 최근에는 포스코에너지와 같은 대기업에서 신규 사업 수행을 위해 에코브레인의 솔루션을 구축해 사용하고 있다.

71) 솔라투데이.에코브레인, 기상정보 기반으로 신재생에너지 컨설팅 한다.2018.04.01.  
<http://www.solartodaymag.com/news/articleView.html?idxno=6295> (검색일: 2022.02.16)



출처: 솔라투데이.에코브레인, 기상정보 기반으로 신재생에너지 컨설팅 한다.2018.04.01.  
<http://www.solartodaymag.com/news/articleView.html?idxno=6295> (검색일: 2022.02.16)

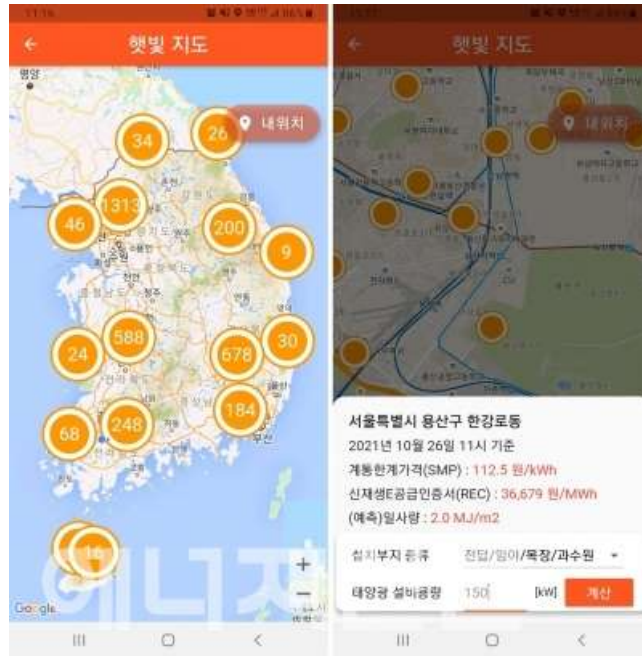
[그림 48] E-on solution 구축 사례 모습

## 2.1.4 한국전력공사

### □ 한전 KDN - 햇빛지도<sup>72)</sup>

한전 KDN의 햇빛지도 서비스는 AI 기반 태양광 발전량 예측서비스를 모든 국민이 무료로 확인할 수 있으며 스마트폰 앱을 통해 제공한다. 이 서비스는 기상정보와 미세먼지 농도를 기반으로 인공지능 딥러닝 기술을 적용해 태양광 발전량을 실시간 예측하며, 평균적인 일사량과 일조시간을 이용하는 기존 방식과 차별성을 두고 있다. 지도에서 선택한 지역의 태양광 발전량과 관련 수익을 추정할 수 있으며 실제 운영 중인 태양광 발전소의 발전량 예측뿐만 아니라 예상 발전량과의 실시간 비교 기능까지 제공하고 있다.

72) 에너지신문 2021.10.28 AI기반 ‘한전KDN 햇빛지도’ 서비스 전국단위 확대 제공 <http://www.energy-news.co.kr> (검색일: 2022.02.16)



출처: 에너지신문 2021.10.28 AI기반 ‘한전KDN 햇빛지도’ 서비스 전국단위 확대 제공  
<https://www.energy-news.co.kr/news/articleView.html?idxno=78939> (검색일: 2022.02.16.)

[그림 49] 한전 KDN 햇빛지도 사용화면

한국전력공사 전력연구원은 기존 풍력자원 관측 방법인 기상탑 설치 대신 윈드라이다 방식을 통해 풍력발전단지 개발에 필요한 정보 수집하였다. 윈드라이다는 레이저를 이용하여 대기 중 에어로졸의 움직임을 측정해 풍향과 풍속을 측정하며 윈드라이다로 관측을 대체할 경우, 기존 기상탑 설치비의 1/3 정도로 비용을 감소할 수 있으며 유지보수 비용 또한 절감할 수 있는 장점이 있다.

※ 3차원 스캐닝 라이다(군산풍력발전 인근) 설치('16.1.), 1차원 수직 라이다(고창시험센터 앞바다 해상기상탑(HeMOSU-1))에 설치('16.8)하여 성능 실증 착수

## 2.1.5 한국에너지기술연구원

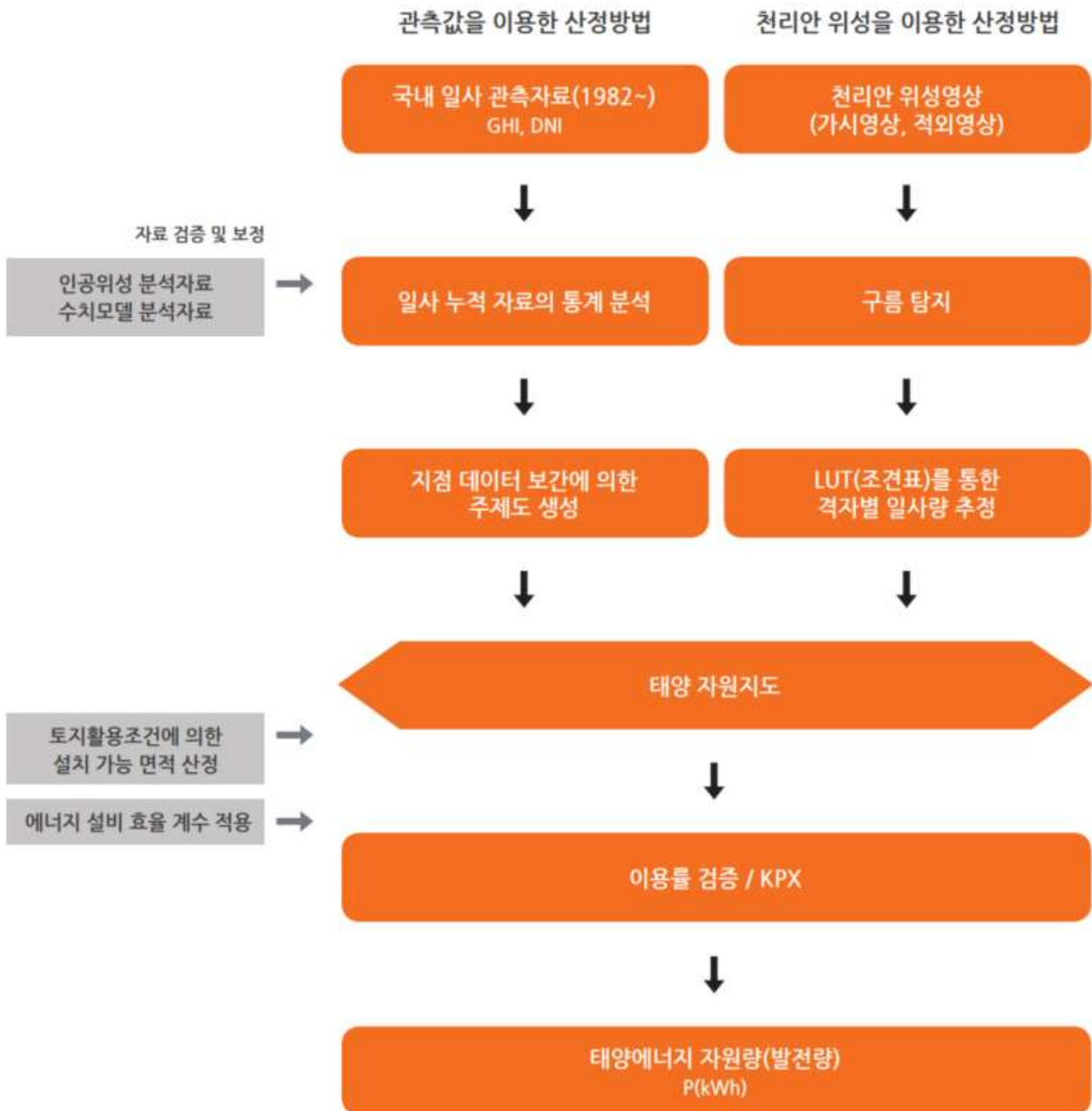
### □ 태양에너지 자원지도<sup>73)</sup>

한국에너지기술연구원에서는 전국 16개 지점의 일사량 관측자료를 토대로 총 53종의 태양에너지 자원지도 주제도를 생성하고 있다. 1982년부터 전국 16개 지점에서 관측한 수평면 전일사량(GHI, Global Horizontal Irradiance)과 법선면 직달일사량(DHI, Direct Normal Irradiance)으로 일일 누적 일사량을 산출하고 이를 시간 규모에 따라 연평균, 계절 평균, 월 평균으로 변환한 후 공간 보간법을 적용하여 공간분포를 계산한다. 태양광 발전(PV) 시스템은 직달일사, 산란일사를

73) 한국에너지기술연구원, 신재생에너지 자원지도 3.0 - 표준화 및 예보기술 개발, 2016

모두 고려한 수평면 전일사량을 활용하며 집광형 태양열 발전시스템에서는 직달일사만을 고려하는 등의 방식으로 태양광 발전 설비 효율을 고려하여 태양에너지 발전량을 예측한다.

태양광 PV 발전시스템의 최적 운영을 위한 최적 경사각과 최적 경사면을 제공하며, 태양에너지의 시공간적인 변동성을 파악하기 위한 운량, 에어로졸 광학깊이, 구름물 광학깊이 정보 등을 태양에너지 주제도에 포함하고 있다.



출처: 한국에너지기술연구원, 신재생에너지 자원지도 출판물-태양에너지, 2019

[그림 50] 한국에너지기술연구원의 태양에너지 자원량 산정방법

## □ 풍력에너지 자원지도<sup>74)</sup>

한국에너지기술연구원에서는 독자 개발한 수치해석기술과 국내·외 기관에서 제공하는 기상관측 재해석자료 데이터를 바탕으로 규모별 풍력자원지도를 생산하고 있다.

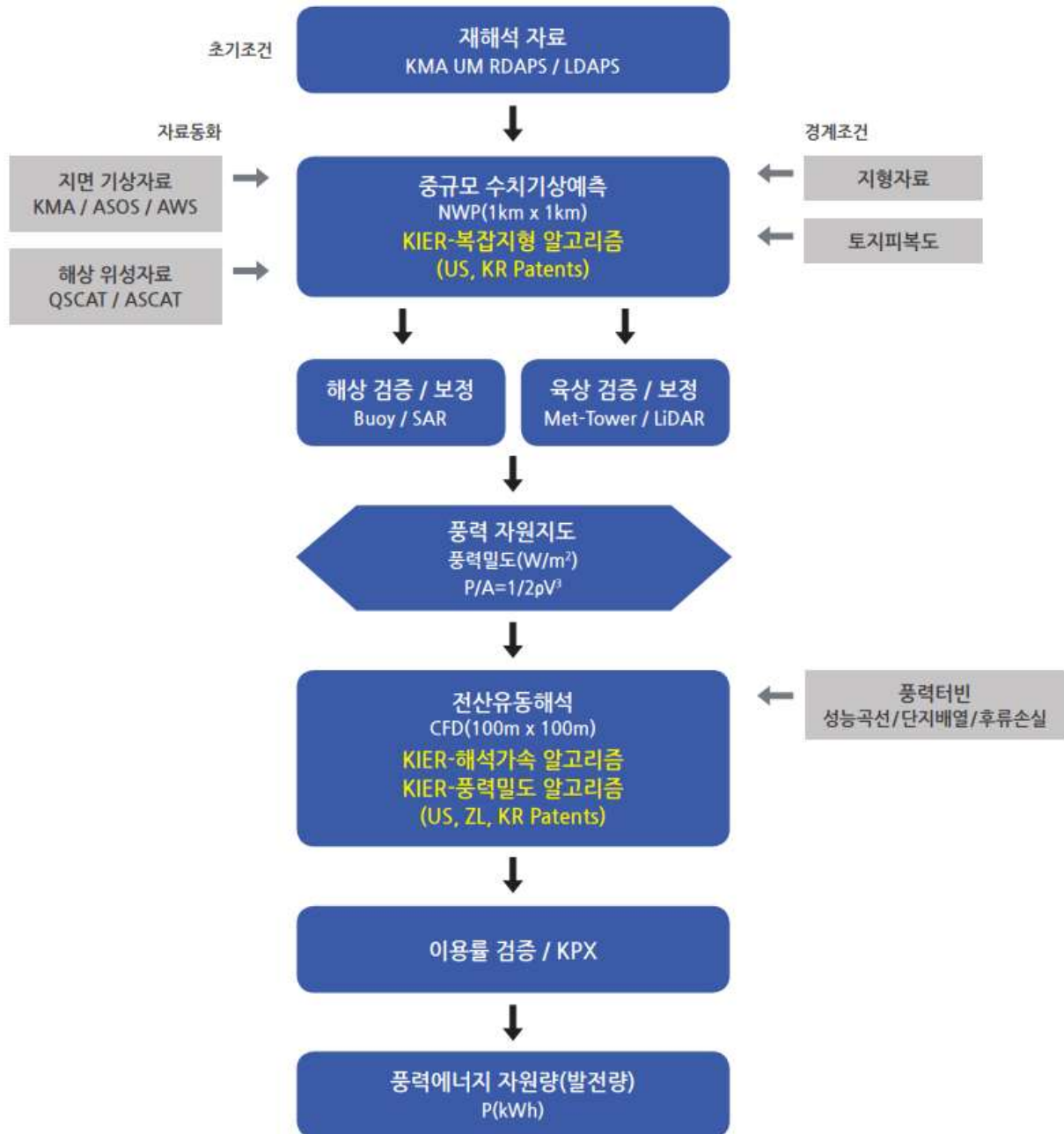
풍력자원지도는 전 지구 규모(50km 내외), 중규모(1km 정도), 수십~수백m 단위의 미규모로 구분하고, 전지구 규모 풍력자원지도는 미해양대기국의 국립환경예보센터(NCEP), 미항공우주국(NASA), 유럽중기예보센터(ECMWF)에서 생산한 자료를 활용하고 있다. 중규모는 중규모 수치기상예측모델(NWP), 재해석자료 또는 기상청(KMA)의 수치모델 대기장, 지형도, 토지피복도 등을 초기 및 경계자료로 사용하고 추가적으로 종관기상관측소(ASOS)와 자동기상관측소(AWS)의 지상 측정자료 및 QuikSCAT, ASCAT 위성 등 해상 측정자료를 반영하고 있으며, 검·보정을 위해서는 부이, 합성개구레이더(SAR, Synthetic Aperture Radar) 위성자료, 기상탑, 라이다 자료를 추가 활용함으로써 데이터 신뢰도를 향상하고 있다.

미규모는 재해석 자료나 중규모 NWP 모델의 바람장을 경계자료로 전산유동해석 모델링을 통해 표준 풍력터빈의 성능곡선, 단지배열, 후류손실 등을 고려한 풍력발전량을 산정한다.

---

74) 한국에너지기술연구원, 신재생에너지 자원지도 3.0 - 표준화 및 예보기술 개발, 2016





출처: 한국에너지기술연구원, 신재생에너지 자원지도 출판물-풍력에너지, 2019

[그림 51] 한국에너지기술연구원의 풍력에너지 산정방법

### □ 부유식라이다<sup>75)</sup>

부유식 라이더는 일정 범위를 계류하며 지상 200m까지 10단계로 나눠 설정한 높이별 풍속·풍향을 측정하는 장비이다. 한국에너지기술연구원은 해상풍력단지 개발을 위한 풍력 자료 관측을 위해 부유식 라이더를 이용하여 기상탑 대비 관측 유효성 검증을 시행하였다.

75) 한국에너지기술연구원, 해상풍력단지 개발을 위한 부유식 라이더 검증, 2020



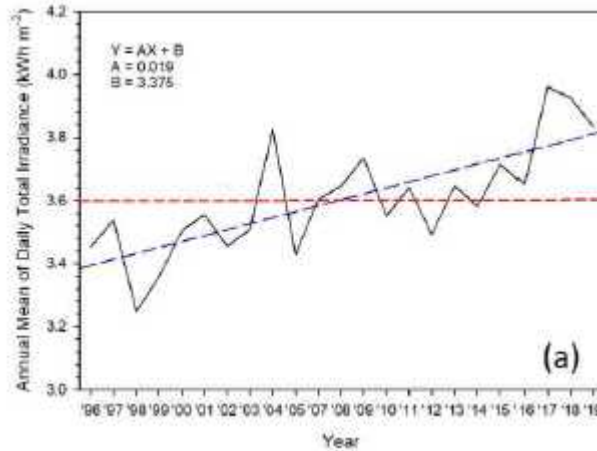
출처: Electric Power Journal, 해상풍력 타당성조사, '부유식 라이다'로 부담 던다,  
<http://www.epj.co.kr/news/articleView.html?idxno=14073>, 검색일(2022-04-20)

[그림 52] 에너지기술연구원 부유식 라이다

한국에너지기술연구원은 위성 자료의 일사량 자료를 기반으로 태양광에너지 이론적 자원량을 분석하였다.<sup>76)</sup> 1996년부터 2019년까지 위성 자료에서 제공하는 일사량 자료를 기반으로 한반도 지역의 태양광에너지 이론적 자원량을 데이터베이스화하여, 태양광발전 가능성을 판단하였다. 태양광에너지의 이론적 잠재량은 1996년부터 2019년까지 시간이 지날수록 증가하였으며, 영남지역이 호남지역보다 잠재량이 큰 것으로 나타났고, 강원도 지역은 지형 효과로 인해 효율이 낮게 나타났다.

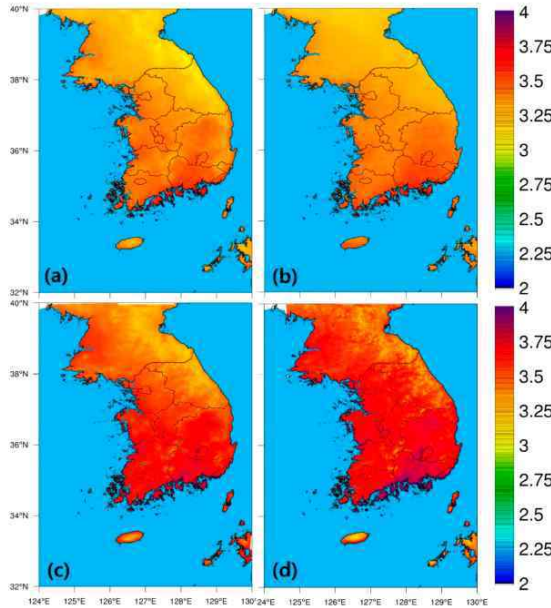
국가 태양광 자원량 지도를 이용하여 발전단지 설계 및 국내 신재생에너지 보급계획 수립 기반자료로 활용 가능하며 위성 자료는 10분 간격으로 한반도 전체에 일사량 정보를 제공하므로 해당 자료를 이용하여 태양광발전 가능성 분석이 가능하며, 2018년 발사된 Geo-KOMPSAT-2A를 활용한 고해상도 자료를 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

76) Kim, C.K.et al “Solar Resource Potentials and Annual Capacity Factor Based on the Korean Solar Irradiance Datasets Derived by the Satellite Imagery from 1996 to 2019.” Remote Sensing, 13, 3422, 2021



출처: KMI, 기상정보 활용 신재생 에너지 연구 동향 분석, 2021

[그림 53] 1996-2019년 한반도 연별 일사량 추세



출처: KMI, 기상정보 활용 신재생 에너지 연구 동향 분석, 2021

[그림 54] 위성자료의 연평균 태양 에너지  
(a): GMS-5, (b): GOES-9, (c): MTSAT-1R/2, (d): COMS

또한, 신재생에너지 자원지도 및 자원지도 분석 시스템<sup>77)</sup>을 통해 원하는 지점의 자원정보의 세부 측정 데이터를 제공 중이다.

77) 신재생에너지 데이터센터 홈페이지,  
<https://kier-solar.org/user/main.do;jsessionid=7F17A100113AAEE32592C05ED6B35DAD>, 검색일(2022-04-20)

<표 19> 한국에너지기술연구원 신재생에너지 자원지도(태양광)

지도명	범위	평균	지도명	범위	평균
법선면 직달일사량(전일)	국내(대한민국)	월평균	수평면 전일사량	국외(동아시아)	계절평균
법선면 직달일사량(전일)	국내(대한민국)	계절평균	수평면 전일사량	국내(한반도)	월평균
법선면 직달일사량(전일)	국내(대한민국)	연평균	수평면 전일사량	국내(한반도)	-
법선면 직달일사량(청명일)	국내(대한민국)	월평균	수평면 전일사량	국내(한반도)	계절평균
법선면 직달일사량(청명일)	국내(대한민국)	계절평균	수평면 전일사량	국내(대한민국)	계절평균
법선면 직달일사량(청명일)	국내(대한민국)	-	수평면 전일사량	국내(대한민국)	연평균
수직면 일사량(남향)	국내(대한민국)	월평균	수평면 직달일사량	국내(대한민국)	월평균
수직면 일사량(남향)	국내(대한민국)	계절평균	수평면 직달일사량	국내(대한민국)	-
수직면 일사량(남향)	국내(대한민국)	-	수평면 직달일사량	국내(대한민국)	연평균
수평면 산란일사량	국내(대한민국)	월평균	천리안위성 법선면 직달 일사량	국내(대한민국)	-
수평면 산란일사량	국내(대한민국)	계절평균	천리안위성 수평면 전일사량	국내(대한민국)	-
수평면 산란일사량	국내(대한민국)	연평균	최적경사면(남동남서 향) 일사량	국내(대한민국)	연평균
수평면 전일사량	국외(동북아시아)	월평균	최적경사면(남향) 일사량	국내(대한민국)	연평균
수평면 전일사량	국외(동북아시아)	-	최적경사면(동서향) 일사량	국내(대한민국)	연평균
수평면 전일사량	국외(동북아시아)	계절평균	최적경사면(북동북서 향) 일사량	국내(대한민국)	연평균
수평면 전일사량	국외(동아시아)	월평균	최적경사면(북향) 일사량	국내(대한민국)	연평균
수평면 전일사량	국외(동아시아)	-			

출처: 신재생에너지 데이터센터 홈페이지, [https://kier-solar.org/user/map/map\\_gallery.do](https://kier-solar.org/user/map/map_gallery.do), 검색일(2022-04-20)

<표 20> 한국에너지기술연구원 신재생에너지 자원지도(풍력)

지도명	범위	지도명	범위
바람등급_120m	국내(한반도)	위성 CMOD-IF2 해풍	국내(소해역)
바람등급_120m	국내(대한민국)	풍력밀도_120m	국내(한반도)
바람등급_40m	국내(한반도)	풍력밀도_120m	국내(대한민국)
바람등급_40m	국내(대한민국)	풍력밀도_40m	국내(한반도)
바람등급_80m	국내(한반도)	풍력밀도_40m	국내(대한민국)
바람등급_80m	국내(대한민국)	풍력밀도_80m	국내(한반도)
와이블등급계수_120m	국내(한반도)	풍력밀도_80m	국내(대한민국)
와이블등급계수_120m	국내(대한민국)	풍력밀도_CF5R_50m	국외(전지구)
와이블등급계수_40m	국내(한반도)	풍력밀도_ERA-Interim_50m	국외(전지구)
와이블등급계수_40m	국내(대한민국)	풍력밀도_MERRA_50m	국외(전지구)
와이블등급계수_80m	국내(한반도)	풍속_120m	국내(한반도)
와이블등급계수_80m	국내(대한민국)	풍속_120m	국내(대한민국)
와이블등급계수_CF5R_50m	국외(전지구)	풍속_40m	국내(한반도)
와이블등급계수_ERA-Interim_50m	국외(전지구)	풍속_40m	국내(대한민국)
와이블등급계수_MERRA_50m	국외(전지구)	풍속_80m	국내(한반도)
와이블형상계수_120m	국내(한반도)	풍속_80m	국내(대한민국)
와이블형상계수_120m	국내(대한민국)	풍속_CF5R_50m	국외(전지구)
와이블형상계수_40m	국내(한반도)	풍속_ERA-Interim_50m	국외(전지구)
와이블형상계수_40m	국내(대한민국)	풍속_MERRA_50m	국외(전지구)
와이블형상계수_80m	국내(한반도)	풍향_120m	국내(한반도)
와이블형상계수_80m	국내(대한민국)	풍향_120m	국내(대한민국)
와이블형상계수_CF5R_80m	국외(전지구)	풍향_40m	국내(한반도)
와이블형상계수_ERA-Interim_50m	국외(전지구)	풍향_40m	국내(대한민국)
와이블형상계수_MERRA_50m	국외(전지구)	풍향_80m	국내(한반도)
위성 CMOD4 해풍	국내(소해역)	풍향_80m	국내(대한민국)
위성 CMOD5 해풍	국내(소해역)		

출처: 신재생에너지 데이터센터 홈페이지, [https://kier-solar.org/user/map/map\\_gallery.do](https://kier-solar.org/user/map/map_gallery.do), 검색일(2022-04-20)

## 2.1.6 민간 사업체

### □ 해줌 홈 애플리케이션

해줌의 홈 애플리케이션은 발전량 모니터링(주택 태양광 발전량 실시간으로 모니터링), 주변 발전소 패턴 비교(주택과 주변 발전소의 발전량 패턴 비교를 통해 발전소의 이상 여부 진단), 태양광 전기료 감면 계산기(주택과 발전소로 절감되는 전기료 계산), 우리 동네 태양광 지도(주택 주변 태양광 현황) 등을 제공한다.



출처: 구글플레이 웹사이트 <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.haezoom.home&hl=ko&gl=US>  
(검색일: 2022.02.16)

[그림 55] 해줌 홈 애플리케이션

### □ 매트로랩, 인코어드테크놀로지스, 한국그리드포밍

전력거래소는 재생에너지 변동성·간헐성 대응 신기술을 보유한 민간기업을 대상으로 정책지원을 추진하고 있다.

매트로랩은 전력거래소와 'IoT 스마트조명 활용 FAST DR(주파수연계수요감축) 실증 업무협약'을 체결('21.11.)한 뒤 한국복합물류 중부터미널에 IoT 스마트조명 4,298개를 설치해 FAST DR자원을 실증하고 있다. 인코어드테크놀로지스는 AIoT 기반으로 재생에너지 발전량을 예측하고 실시간 출력을 조정해 변동성을 관리하는 기술을, 한국그리드포밍은 인버터를 전압원으로 제어함으로써 전력망에 주파수 및 전압 조정능력을 제공하는 기술을 각각 보유하고 있다.

## 2.1.7 국내 기술 동향 시사점

### □ 재생에너지 분야 국내 기술 동향 시사점

태양광·풍력 발전은 에너지 문제를 극복할 최선의 대안으로 재생에너지 3020 이행계획 및 2050 탄소중립으로 대표되는 에너지 전환정책 등으로 인해 지속해서 발전할 것으로 예측되며 장차 기후변화 대응 및 에너지 자립에도 기여할 것으로 전망한다. 또한, 다가올 시장 확대기에 대비하여 국내기업의 차별화된 기술 선점 및 꾸준한 경쟁력 확보를 통해 우리나라의 미래성장동력 산업으로 성장할 수 있다.

기상상태에 따라 변동성이 큰 에너지원인 바람과 일사량과 관련한 정확한 데이터를 제공하고 효율적으로 활용하기 위한 추가적인 기술개발이 요구되며 관련 수요확인 및 의사결정을 위한 민관학계 등 다자간의 논의가 필요하다. 이를 위해 기존의 연구개발 투자 성과 분석을 바탕으로 연구개발 효율성을 높이고 원천기술 개발을 위한 투자 확대가 필요하다. 특히 정부 차원에서 고효율 초저가 태양광 미래기술을 선점하기 위한 연구개발 투자가 이루어지고 있으며 국내기업의 수출 시장 확대만큼 국가에너지 자립의 관점에서 내수시장의 확보가 중요하다.<sup>78)</sup>

## 2.2 국외 재생에너지 분야 관측·기술개발 동향

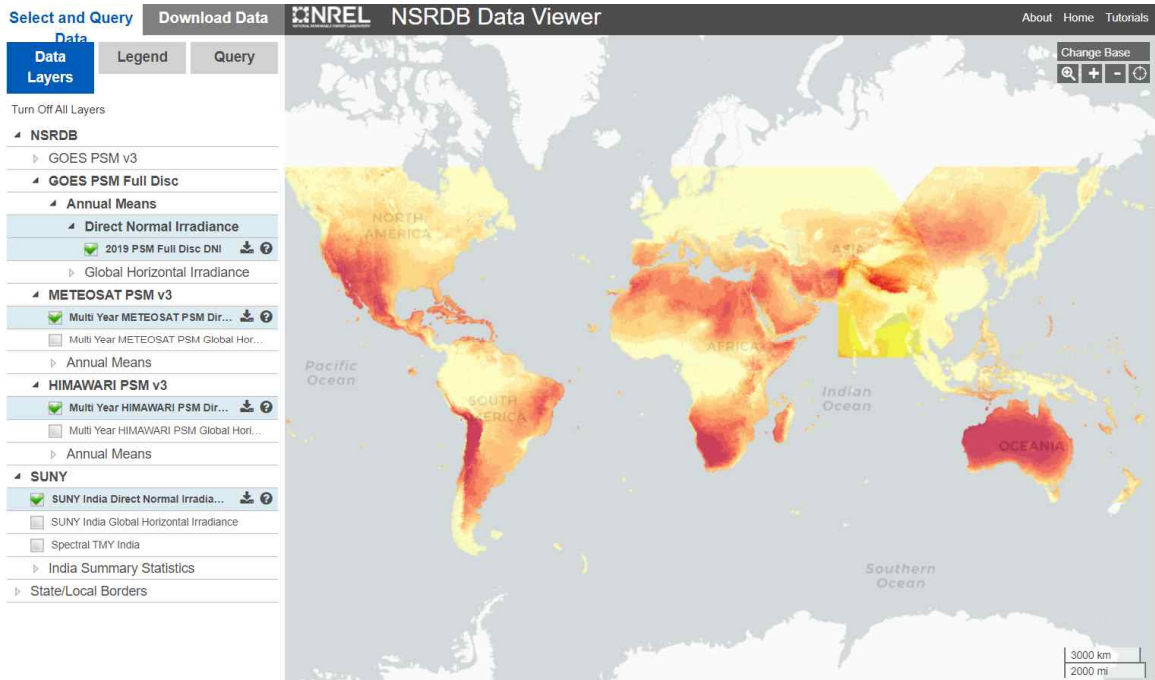
### 2.2.1 미국

미국의 ‘Sunshot Initiative’ 프로그램은 지역 주민들이 태양광 발전을 도입하여 탄소 배출량을 감축할 수 있도록 장려하고 있으며, 세부적으로 집광형 태양광 발전, 태양전지 개발, 시스템 통합, 소프트 및 기술의 상용화 등을 운영하고 있다. 태양전지 개발 분야에서는 제조 원가를 낮추고 태양전지 효율 및 성능 향상뿐 아니라 신뢰성 개선을 추진하고 있다. 또한 2019년 전력망에 연결된 발전원 중 40%가 태양광 발전으로 높은 비중을 차지하였고 2020년 설치 용량이 14GW에 달하였다.

미국 에너지국 (Department of Energy)의 자금지원을 받아 설립된 연구소인 미국 국가 재생에너지 연구소의 시스템 자문 모델(System Advisor Model, SAM)<sup>79)</sup>은 태양광, 풍력에너지 예측을 위한 관련 데이터를 국가 데이터베이스 프로그램을 활용해 웹사이트를 통해 무료 제공한다.

78) 산업통상자원부·한국에너지공단. 신재생에너지 백서. 2020

79) 국가 재생에너지 연구소 National Renewable Energy Laboratory 웹사이트 <https://sam.nrel.gov/weather-data.html>



출처: 국가 재생에너지 연구소 National Renewable Energy Laboratory 웹사이트  
<https://maps.nrel.gov/nsrdb-viewer> (검색일: 2022.02.16.)

[그림 56] NREL National Solar Radiation Database 데이터 뷰어 예시

구글이 2015년 시작한 프로젝트 Project Sunroof는 주소를 입력하면 해당 위치의 연간 일조량, 태양광 설치 시 예상 절감 비용, 지역 태양광 패널 설치 업체 정보를 확인할 수 있는 검색서비스이다. 지도 데이터로 지역의 이미지를 그리고 지붕을 3차원 모델화하고 주변 사물들에 의해 그늘이나 일사량의 변경 여부를 고려하여 태양광 발전량 현황을 보여준다.

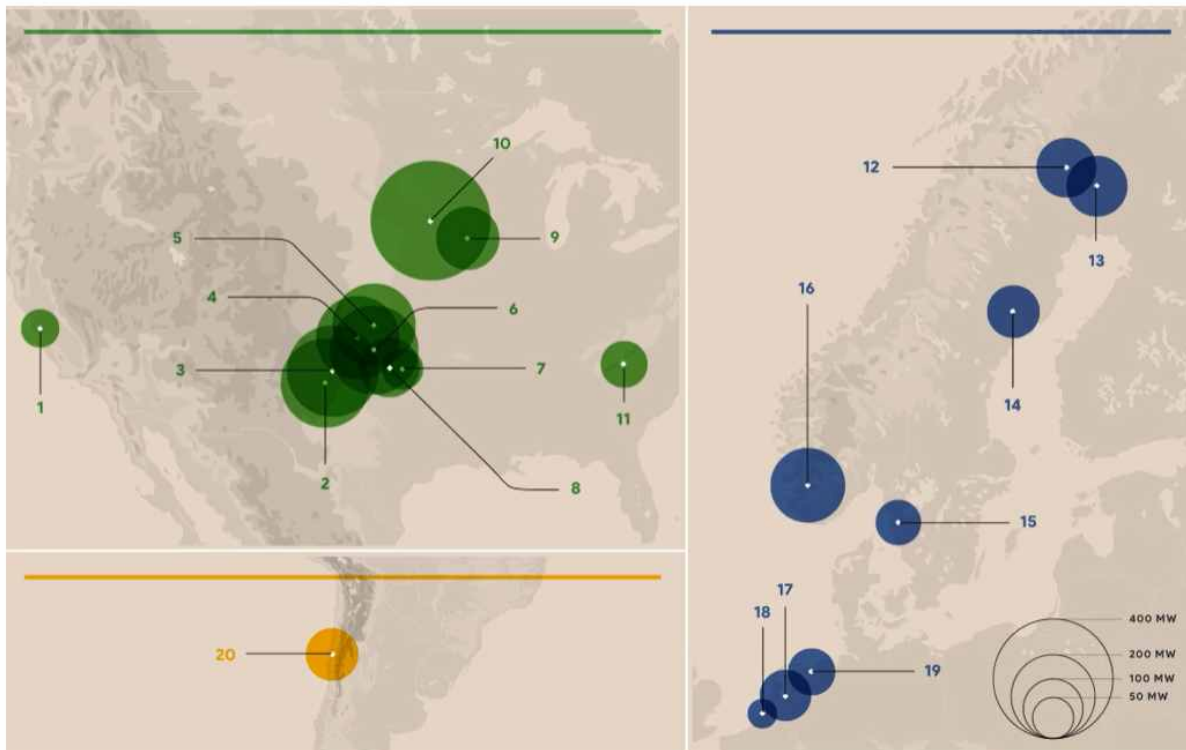


출처: 구글 선루프 프로젝트 웹사이트 <https://sunroof.withgoogle.com/> (검색일: 2022.02.16.)

[그림 57] 구글 선루프 프로젝트 예시



또한, 구글은 전 세계 2.6GW 이상의 풍력 및 태양열 발전소 총 20곳의 재생에너지 산업을 운영 중이다.<sup>80)</sup> 공공 유틸리티 법률에 따라 독점 기업만 판매를 허용한 규제가 있지만, 발전소에서 에너지를 구매한 다음 유틸리티에 판매하고 해당 재생에너지를 일반 전기로 재구매하여 공급중이다.



북미 : 1. 글든 힐스: 캘리포니아주 알라메다 카운티 2. 베일: 텍사스주 카스트로 카운티 3. 해피 해리퍼드: 텍사스주 데프 스미스 카운티 4. 블루스텝: 오올라호마주 버버 카운티 5. 시마원 밴드: 캔자스주 클락 카운티 6. 그레이트 서부: 오올라호마주 엘리스/우드워드 카운티 7. 캐나다 힐스: 오올라호마주 캐나다 카운티 8. 민코 II: 오올라호마주 그레디/캐도 카운티 9. 스토리 카운티 II: 아이오와주 스토리/하딘 카운티 10. MidAmerican Energy Wind VIII: 오브라이언 카운티, 아이오와 11. Rutherford 농장: 노스캐롤라이나주, Rutherford 카운티 유럽 : 12. Lehtirova: 스웨덴 13. Maevaara: 스웨덴 14. Jenasen: 스웨덴 15. Eolus Wind Farms: 스웨덴 16. Tellenes: 노르웨이 17. Beaufort: 네덜란드 18. Delfzijl: 네덜란드 19. Windpark Krammer: 네덜란드 남아메리카 : 20. 엘 로메로 : 칠레

출처: 구글 재생에너지 산업 구축 홈페이지

<https://about.google/intl/en-GB/stories/renewable-energy-is-boosting-economies/> (검색일: 2022.04.21.)

[그림 58] 구글 재생에너지 산업 구축

## 2.2.2 영국

해상풍력의 싹싹자이인 영국은 현재 세계 해상풍력 산업 시장의 35%를 차지한다.<sup>81)</sup> 해상풍력 강국인 만큼 영국 스코틀랜드 북동쪽의 피터헤드 해안을 따라 세계 최초 부유식 풍력 발전단지를 설치하였다.<sup>82)</sup> 해당 풍력단지는 기존 연안에 고정된 풍력발전과 달리 바다에 떠다니면서 부유 바람\*으로 전기 발전을 생산한다.

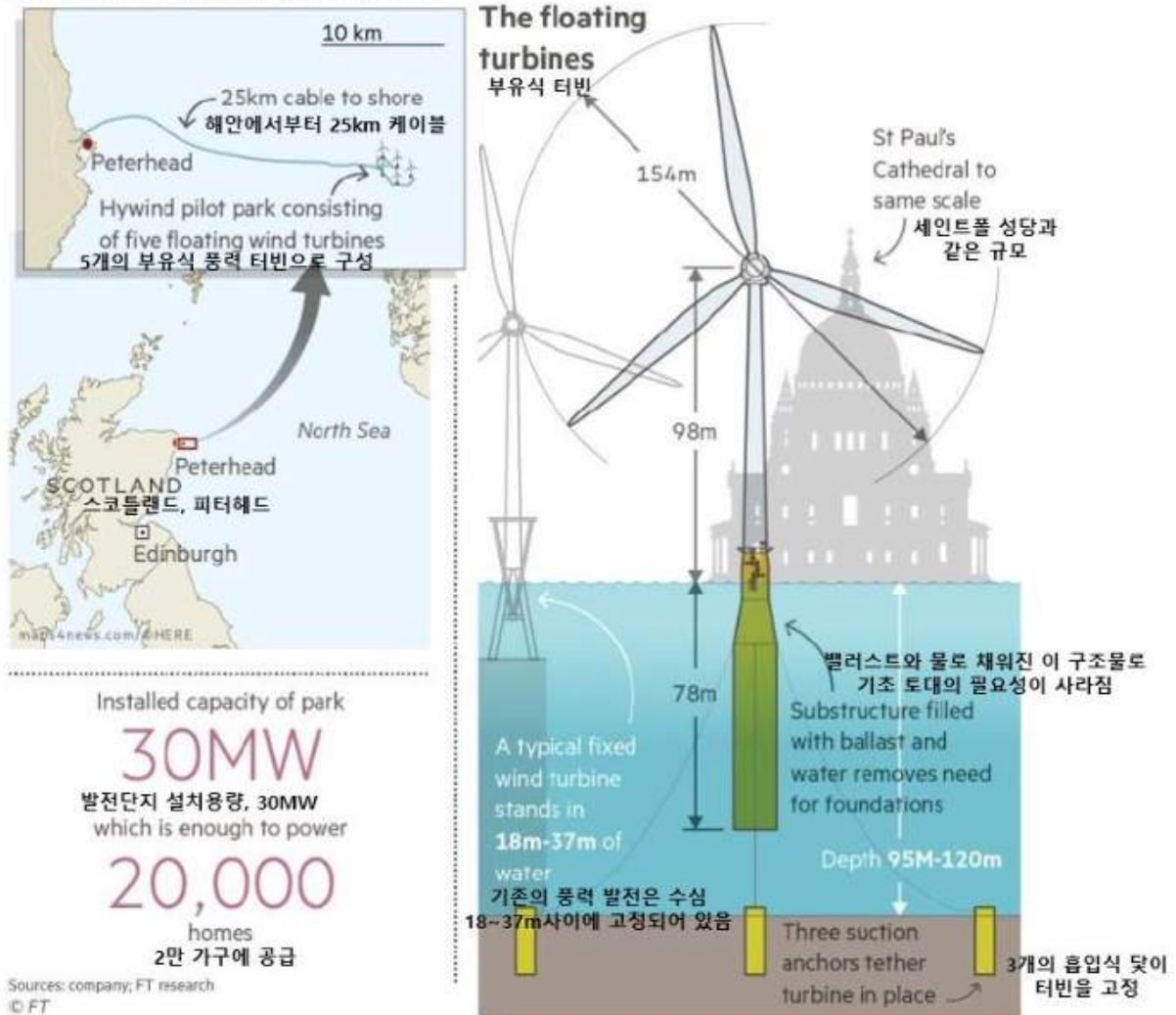
※ 부유 바람(floating wind)은 깊은 바다 위를 떠다니는 바람으로 안정적이고 강한 바람으로 전기 생산이 가능하다.

80) <https://about.google/intl/en-GB/stories/renewable-energy-is-boosting-economies/>

81) 이투뉴스, <https://www.e2news.com/news/articleView.html?idxno=238940>, 검색일 : 2022-04-21

82) Kotra 해외시장뉴스, 영국, 세계 최초 떠다니는 풍력발전단지 설치 착수, [https://dream.kotra.or.kr/kotranews/cms/news/actionKotraBoardDetail.do?SITE\\_NO=3&MENU\\_ID=180&CONTENTS\\_NO=1&bbsGbn=243&bbsSn=243&pNttSn=160430](https://dream.kotra.or.kr/kotranews/cms/news/actionKotraBoardDetail.do?SITE_NO=3&MENU_ID=180&CONTENTS_NO=1&bbsGbn=243&bbsSn=243&pNttSn=160430), 검색일 : 2022-04-21

## Statoil's Hywind pilot park



출처: Kotra 해외시장뉴스, 영국, 세계 최초 떠다니는 풍력발전단지 설치 착수,  
[https://dream.kotra.or.kr/kotranews/cms/news/actionKotraBoardDetail.do?SITE\\_NO=3&MENU\\_ID=180&CONTENTS\\_NO=1&bbsGbn=243&bbsSn=243&pNttSn=160430](https://dream.kotra.or.kr/kotranews/cms/news/actionKotraBoardDetail.do?SITE_NO=3&MENU_ID=180&CONTENTS_NO=1&bbsGbn=243&bbsSn=243&pNttSn=160430), 검색일 : 2022-04-21

[그림 59] 스코틀랜드 부유식 풍력발전단지 구조

영국 ZephIR은 나셀 라이다(Nacelle Lidar)<sup>83)</sup>를 제조하는 Wind LIDAR 제조업체로 해당 장비는 최대 200m 상공까지의 풍향, 풍속 관측이 가능하다.<sup>84)</sup> 해당 라이다를 활용하면 다른 센서가 필요 없어 유지보수 시간 및 비용 절감이 가능하며 국내 (주)써팩은 ZephIR 제품의 국내 공급사인 (주)비앤과 협력하여 해당 장비의 공급부터 설치까지 제공한다.

83) 나셀 라이다(Nacelle Lidar) : 풍력 터빈의 전체 전단 및 바람 프로파일을 측정하여 풍력 단지 내에서 생성된 후류와 같은 복잡한 흐름 조건을 자동으로 감지하는 라이다

84) 써팩주식회사 홈페이지, [http://serfac.co.kr/?page\\_id=1305](http://serfac.co.kr/?page_id=1305), 검색일 : 2022-04-21

### 2.2.3 일본

일본은 태양광 발전 로드맵(PV2030)<sup>85)</sup>과 태양광발전개발 전략을 발표하여 태양광발전 비용 절감, 신뢰성 향상, 산업의 고부가가치화 등을 추진하고 있으며, 그밖에 고성능 및 고신뢰성 태양광발전 비용 저감 기술개발을 위해 이중접합 백컨택형 태양전지와 고성능 CIS 태양전지<sup>86)</sup> 개발을 추진 중이다. 또한, 일본 NEDO<sup>87)</sup>는 태양광이 탑재된 차세대 자동차(EV<sup>88)</sup>, PHEV<sup>89)</sup>, HEV<sup>90)</sup> 기술개발을 실현하여 온실가스 감소 효과에 대한 기대가 크다. 우주 태양광발전 분야에서는 일본 JAXA가 우주 태양광발전으로 성층권 무선중계기 및 대형 전개 구조 레이더 안테나 위성기술을 검토 중이다.

### 2.2.4 중국

중국은 고효율 태양전지 보급 확대를 위한 Top Runner 프로그램을 추진하면서 고효율 태양전지에 대한 수요가 증가하고 있고, 론지 솔라는 2019년 양면 단결정 태양전지 효율 24.06%를 달성하였다.

### 2.2.5 독일

독일 글로벌 회사 Energy & Meteo Systems GmbH는 태양광, 풍력 전력량 예측 시스템(Wind and Solar Power Forecasts)<sup>91)</sup>을 통해 태양광 및 풍력 발전량을 예측한다. 양질의 태양광이나 풍력 발전량을 예측하기 위해 모든 메인 기상서비스로부터의 수치 데이터를 다양한 기상 통합 계산 모델(Suncast 모델)에 적용하여 정확하고 고도화된 예측이 가능하다.

Suncast 모델은 방사성 전환 계산(Radiative transfer calculation), 특수 기상 현상 모델링(Modelling special weather events), 장소별 전력 곡선(Site-specific power curve), 예측 불확실성(Forecast uncertainty)으로 구성되어 있다.

85) 태양광 발전 로드맵(PV2030) : ‘2030년까지 태양광 발전을 주요 에너지의 하나로 발전’ 시킬 것을 목표로 2004년에 수립된 일본의 기술개발 지침

86) CIS 태양전지 : 황동석(Chalcopyrite)형 결정 구조를 가진 I-III-VI<sub>2</sub>족 화합물 반도체(II-VI족 화합물 반도체의 II족 원소를 I족 원소와 III족 원소로 반씩 치환한 것)의 한 종류인 CuInSe<sub>2</sub>(CIS)를 광흡수층에 이용한 태양전지

87) NEDO : ‘New Energy and Industrial Technology Development Organization’ 지속가능한 사회 구현에 필요한 기술 개발을 촉진하여 혁신을 창출하는 일본 국가 연구 개발 기관

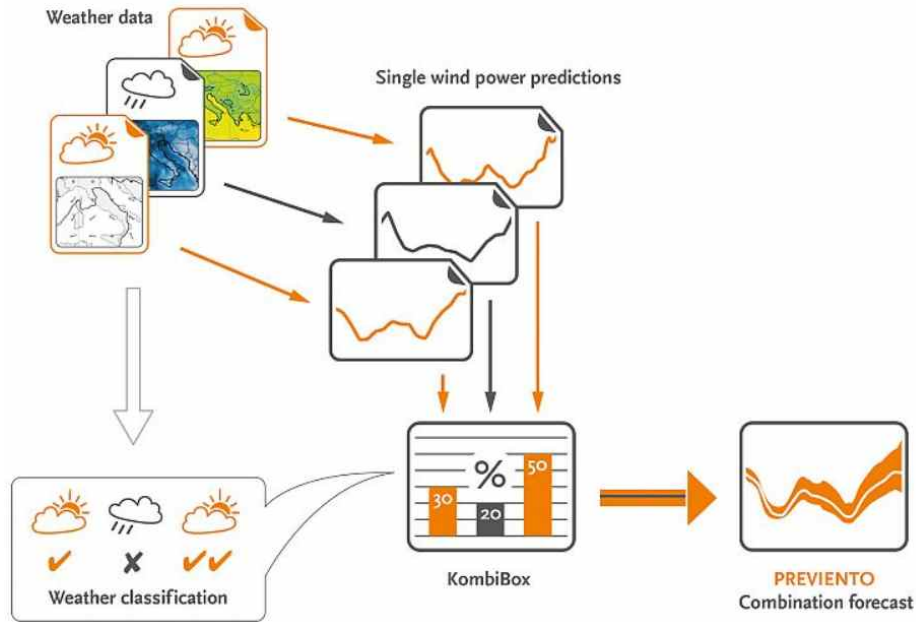
88) EV : ‘Electric Vehicle’의 약자로 순수 전기자동차를 의미하며 전기를 동력으로 움직이는 자동차

89) PHEV : ‘Plug-in Hybrid Electric Vehicle’의 약자로 하이브리드 전기차에 대용량 전기 배터리를 탑재한 자동차를 의미

90) HEV : ‘Hybrid Electric Vehicle’의 약자로 한 가지 동력원만을 사용하는 일반적 자동차와 달리 두 개 이상의 동력원에 의해 차체가 구동되는 차량

91) Energy & Meteo Systems 웹사이트

[https://www.energymeteo.com/products/power\\_forecasts/wind-solar-power-forecasts.php?gclid=EAIaIQobChMIp56zv5uG9gIVzqiWCh0nKQDGEAMYASAAEgLnPD\\_BwE](https://www.energymeteo.com/products/power_forecasts/wind-solar-power-forecasts.php?gclid=EAIaIQobChMIp56zv5uG9gIVzqiWCh0nKQDGEAMYASAAEgLnPD_BwE) (검색일: 2022.02.16.)



출처: Energy & Meteo Systems 웹사이트

[https://www.energymeteo.com/products/power\\_forecasts/wind-solar-power-forecasts.php?gclid=EAlaIqobChMIp56zv5uG9gIVzqiWCh0nKQDGEAMYASAAEgL9nPD\\_BwE](https://www.energymeteo.com/products/power_forecasts/wind-solar-power-forecasts.php?gclid=EAlaIqobChMIp56zv5uG9gIVzqiWCh0nKQDGEAMYASAAEgL9nPD_BwE) (검색일: 2022.02.16.)

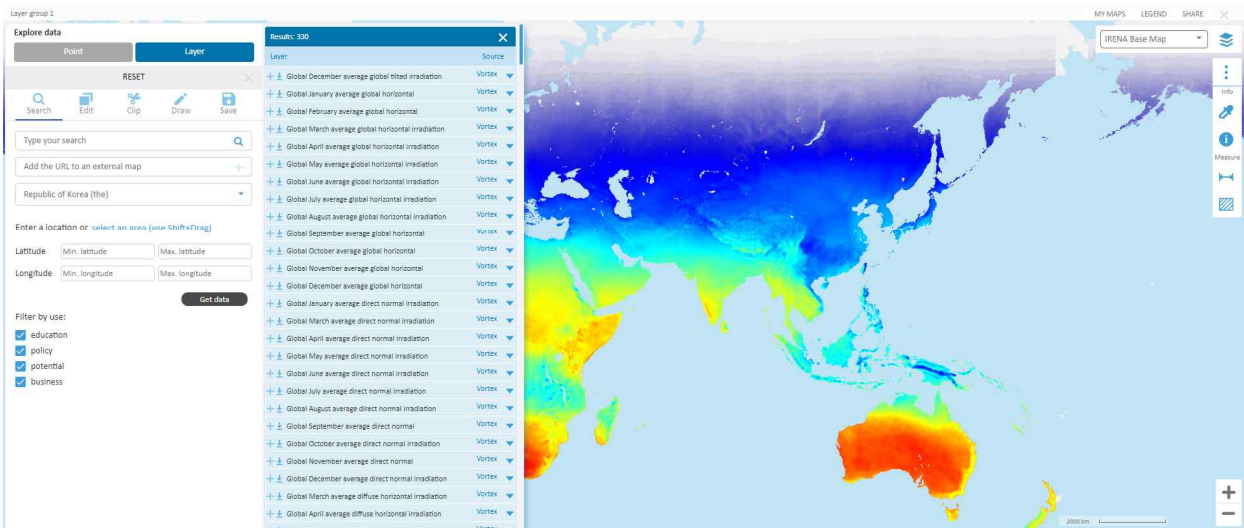
[그림 60] Energy & Meteo Systems GmbH 의 태양광, 풍력 전력량 예측과정

## 2.2.6 그 외

### □ 국제재생에너지기구(IRENA, International Renewable Energy Agency)

IRENA의 글로벌 재생에너지 아틀라스(Global Atlas for Renewable Energy)<sup>92)</sup>는 재생에너지(태양, 풍력, 수력, 바이오 에너지, 지열 및 해양 데이터) 잠재력 평가 정보를 무료로 제공하는 플랫폼이다.

92) IRENA Global Atlas for Renewable Energy, <https://globalatlas.irena.org/workspace>, 검색일 : 2022-04-21



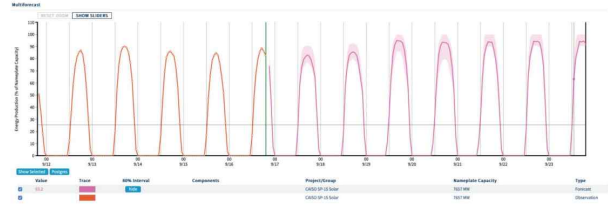
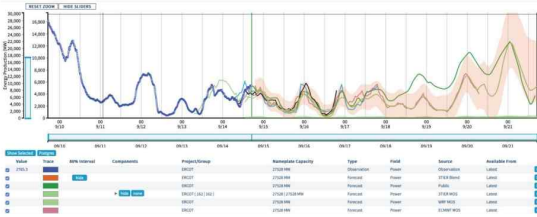
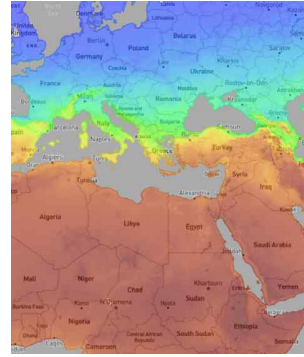
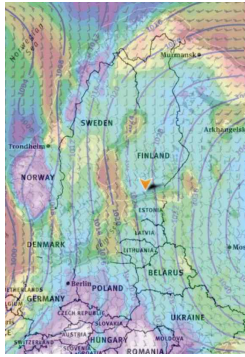
출처: RENA Global Atlas for Renewable Energy, <https://globalatlas.irena.org/workspace>, 검색일 : 2022-04-21

[그림 61] IRENA Global Atlas for Renewable

## □ 핀란드

핀란드 Vaisala의 ‘Forecaster for solar and wind energy’는 태양광 및 풍력에너지 예보를 제공한다.<sup>93)</sup> 풍력에너지 예보는 통계 알고리즘, 고도로 맞춤형 중규모 수치기상예측모델(NWP), 머신러닝 인공지능 모델 예보를 조합하여 제공한다. 풍력에너지의 현장별 예보는 기온, 강수량, 허브 높이 풍속에 대한 분석 등을 포함하며 10분마다 실시간 예측되며 지역 예보는 1시간 단위 시간, 일, 주 예측자료를 제공한다. 태양광에너지 예보는 모델링 기술을 통해 5분 ~ 240시간의 특정 조도 및 전력 예측 제공하며 태양광에너지의 현장별 예보는 전일조도, 전력예보, 과거예보 정보를 제공하며 6시간마다 업데이트되며 최대 60시간까지의 예측정보를 제공하며 지역 예측은 하루 전 예측으로 1시간 단위 0~6일 예측정보를 제공한다.

93) Vaisala, Vaisala Forecaster for solar and wind energy, 2020



출처: Vaisala 홈페이지, <https://www.vaisala.com/en/products/renewable-energy/forecaster>, 검색일 : 2022-06-27

[그림 62] Vaisala의 'Forecaster for solar and wind energy' 에서  
(좌) 풍력 (우) 태양광

## □ 호주

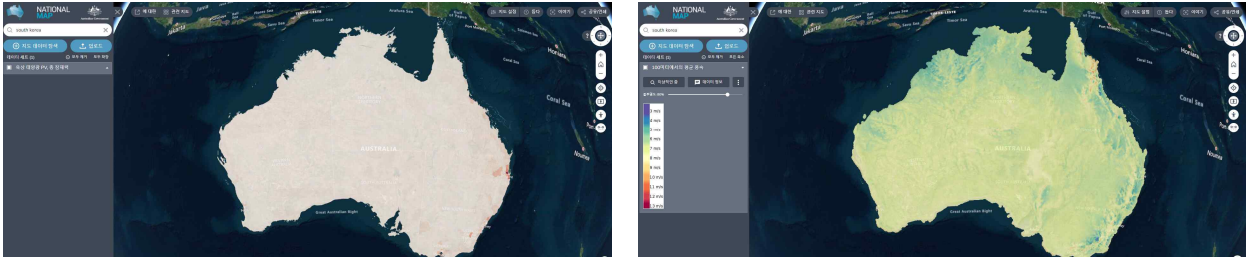
호주 재생에너지청의 재생에너지 지도(National Map)는 농업, 산림, 생태, 거주 등 주제별 지도를 제공하며 재생에너지인 바이오에너지, 지열, 수소, 해양, 태양광, 풍력 등 발전량을 지도에 표출하여 제공한다. 태양광은 옥상 태양광 PV(총 잠재력, Total Potential)<sup>94</sup>, 옥상 태양광 PV(지역 잠재력, Zone potential)<sup>95</sup>, 태양 위성 DNI 및 GHI(Solar Satellite DNI & GHI)<sup>96</sup>, 태양광 발전소 역사적 관측소(Solar Station Historical Observations)<sup>97</sup>, 대표적 기상연도(Typical Meteorological Year) 등 정보를 제공한다. 풍력은 ACT(Australian Capital Territory) - 80m에서의 풍속 평균, 100m에서의 평균 풍속, 150m에서의 평균 풍속, NSW(New South Wales Department of Industry) - 100m에서의 풍속, WAsP LIB files 등 정보를 제공한다.

94) Rooftop Solar PV, Total Potential : LGA(Local Government Area) 수준에서 사용 가능한 옥상 태양열 용량(MW) 및 연간 에너지 출력(GH)의 추정치 표출

95) Rooftop Solar PV, Zone Potential : 다양한 구역의 LGA 수준에서 사용 가능한 옥상 태양열 용량(MW) 및 연간 에너지 출력(GH)의 추정치 표출

96) Solar Satellite DNI & GHI : DNI는 'Solar direct normal irradiance' 태양 직사광선 조도로 광선에 수직인 표면에 떨어지는 태양에너지의 순간 강도이며 GHI는 'Solar global horizontal irradiance' 태양 전지구 수평 방사 조도를 의미

97) Solar Station Historical Observation :



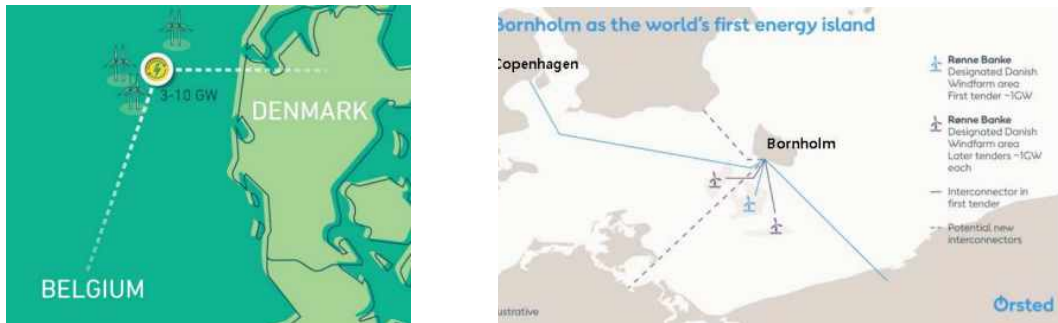
출처: National Map, <https://nationalmap.gov.au/>, 검색일 : 2022-04-21

[그림 63] National Map - 호주  
(좌) 태양광 PV(총 잠재력), (우) 풍력 100m 평균 풍속

## □ 덴마크

덴마크 의회는 2020년 6월 세계 최초 에너지 인공섬<sup>98)</sup> 건설을 계획했으며 총 2개의 에너지섬\*을 건설 예정이다. 2개 섬 중 하나인 빈되섬은 덴마크 북해 쪽에 건설되어 유럽 전력망 통합을 강화할 예정이며 나머지 발틱해 본홀름섬은 빈되섬과 달리 현존하고 있는 섬에 전력 허브를 구축 예정으로 덴마크뿐만 아니라 독일, 벨기에, 네덜란드에 전력을 공급할 계획이다.

※ 에너지 섬은 여러 개의 해상풍력 발전단지를 연결하여 생산된 재생에너지를 한곳에 모은 뒤 송출하는 방식을 사용하여 덴마크 본토나 이웃 국가들에 전력을 공급하거나 녹색 연료로 전환하여 항공, 선박, 대형 트럭 등에 공급하기 위한 발전단지를 의미함



출처: 한국에너지정보문화재단, 덴마크 에너지 인공섬, 2021

[그림 64] 덴마크 에너지 인공섬  
(좌) VindØ(빈되), (우) 발틱해 본홀름(Bornholm)

## 2.3 기술 수준 분석

### 2.3.1 논문 동향

#### □ 한국학술지 인용 색인 논문 동향 개요

논문 동향 파악을 위해 한국학술지 인용 색인의 “학술지별 연구 동향<sup>99)</sup>”,

98) 한국에너지정보문화재단, 덴마크 에너지 인공섬, 2021

99) 한국학술지 인용 색인 홈페이지, <https://www.kci.go.kr/kciportal/po/search/poSereResearchTrendList.kci>, 검색일 :

“키워드별 연구 동향100)” 활용하여 분석하였다. 학술지\*는 태양광·풍력 관련 분야의 학회지인 ‘신재생에너지’, ‘한국태양에너지학회 논문집’, ‘풍력에너지 저널’을 분석하였으며, 키워드로는 ‘태양광’, ‘풍력’을 분석하였다.

※ 한국학술지 인용 색인 조회된 학술지는 현재 KCI 등재/후보 학술지이거나 과거에 등재/후보였던 학술지이며 본 논문 동향에서 분석되는 학술지인 ‘신재생에너지’, ‘한국태양에너지학회 논문집’, ‘풍력에너지 저널’은 모두 KCI 등재 학술지(영향력 지수는 2020년 기준)

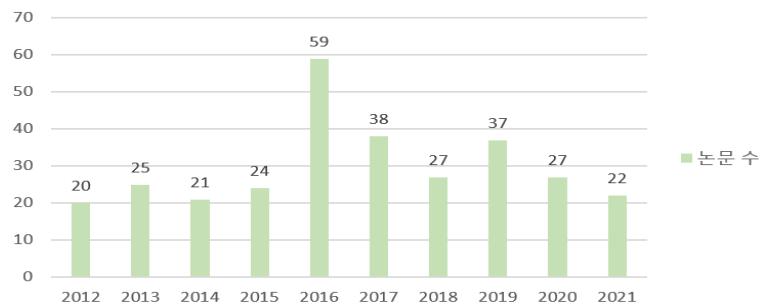
## □ 신재생에너지 학술지 연구 동향

‘신재생에너지’는 한국신·재생에너지학회에서 발행하는 연료 및 대체에너지 분야의 학술지로 2020년 기준 영향력 지수는 0.61로 나타났다.

<표 21> 신재생에너지 학술지

구분	설명
연구분야	공학 > 기계공학 > 에너지 및 동력공학 > 연료 및 대체에너지
ISSN	1738-3935
eISSN	2713-9999
창간 연도	2005 년
발행간기	연4회, 03월 25일, 06월 25일, 09월 25일, 12월 25일
최근 발행정보	2021 년 12 월 17(4)
언어	한국어, 영어
발행기관명	한국신·재생에너지학회
발행기관명(외국어)	The Korean Society for New and Renewable Energy

출처: 한국학술지 인용 색인 홈페이지, <https://www.kci.go.kr/kciportal/po/search/poSereResearchTrendList.kci>, 검색일 : 2022-03-14



출처: 한국학술지 인용 색인 홈페이지 재구성, <https://www.kci.go.kr/kciportal/po/search/poSereResearchTrendList.kci>, 검색일 : 2022-03-14

[그림 65] 신재생에너지 학술지의 연도별 논문 수

2022-03-14

100) 한국학술지 인용 색인 홈페이지, <https://www.kci.go.kr/kciportal/po/search/poLateRelaKwdList.kci>, 검색일 : 2022-03-14



‘신재생에너지’의 최근 10년간 논문 수는 총 300건으로 2016년에 연구 활동이 가장 활발한 것으로 나타났다. 최근 5년 이내 가장 많이 인용된 논문은 2018년 6월에 발행된 ‘태양광 시스템의 지역별 최적 방향 및 각도 연구: SAM을 활용한 시뮬레이션 사례분석’으로 11번 인용되었다.

<표 22> 신재생에너지 학술지의 인용횟수 순위 TOP10

순위	학술지명	발행년월	권(호)	논문명	인용횟수
1	신재생에너지	2018.06	14(2)	태양광시스템의 지역별 최적 방향 및 각도 연구: SAM <sup>101)</sup> 을 활용한 시뮬레이션 사례분석	11
2	신재생에너지	2017.09	13(3)	태양에너지 시스템에 적합한 표준기상데이터의 제작과 일사량 데이터 분석	10
3	신재생에너지	2017.03	13(1)	한국의 에너지용 바이오매스활용을 위한 농업부산물 잠재에너지량 추정 및 한국형 수거모델에 관한 연구	8
4	신재생에너지	2017.03	13(1)	실험계획법(2k 요인시험)을 활용한 날개각의 변화가 엠티전 펌프수차의 효율에 미치는 영향에 관한 연구	6
5	신재생에너지	2018.09	14(3)	북한 검덕광산 인근 지역 태양광 잠재량 분석및 최적 부지 선정	5
5	신재생에너지	2020.06	16(2)	해상풍력 주민수용성 연구: 군산 말도를 중심으로	5
5	신재생에너지	2018.03	14(1)	신·재생에너지 분야 국제공동연구현황 분석과 함의	5
5	신재생에너지	2019.06	15(2)	태양광 발전시설 입지 갈등에 대한 기초지자체 이격거리 규제의 정책과정 분석	5
9	신재생에너지	2019.09	15(3)	에너지저장장치(ESS) 활용 촉진 요금제도에 대한 경제성 분석	4
9	신재생에너지	2019.09	15(3)	유럽 주요국과 한국의 해상풍력개발 정부 정책 비교연구	4

출처: 한국학술지 인용 색인 홈페이지, <https://www.kci.go.kr/kciportal/po/search/poSereResearchTrendList.kci>, 검색일 : 2022-03-14

‘신재생에너지’ 학술지의 논문에 등록된 키워드는 신재생에너지, 태양광, 전산 유체역학, 복합재료, 해상풍력 순으로 나타났다.

<표 23> 신재생에너지 학술지의 논문에 등록된 키워드 순위 TOP20

순위	키워드명	이 학술지의 논문 수*	총논문수**	순위	키워드명	이 학술지의 논문 수	총논문수
1	신재생에너지	9	345	8	태양전지	3	88
2	태양광	8	84	8	재생에너지	3	169
3	전산유체역학	5	797	8	매립가스	3	28
4	복합재료	4	223	8	목재펠릿	3	13

101) SAM : ‘System Advisor Mode’의 약자로 미국 NREL에서 개발한 모델

4	해상풍력	4	46	15	수소	2	137
4	에너지전환	4	52	15	태양광효율	2	2
4	경제성분석	4	100	15	불확실성	2	601
8	주민수용성	3	12	15	수직축풍력터빈	2	5
8	풍력발전	3	56	15	이익공유	2	35
8	메탄	3	92	15	주민참여	2	539

출처: 한국학술지 인용 색인 홈페이지, <https://www.kci.go.kr/kciportal/po/search/poSereResearchTrendList.kci>, 검색일 : 2022-03-14

\* 신재생에너지 학술지 논문 중 해당 키워드가 등록된 논문 수

\*\* 한국학술지 인용 색인의 총 학술지의 논문 중 해당 키워드가 등록된 논문 수

## □ 한국태양에너지학회 논문집 연구 동향

‘한국태양에너지학회 논문집’은 한국태양에너지학회에서 발행하는 기타공학 분야의 학술지로 2020년 기준 영향력 지수는 0.46으로 나타났다.

<표 24> 한국태양에너지학회 논문집

구분	설명
연구분야	공학 > 기타공학
ISSN	1598-6411
eISSN	2508-3562
창간 연도	1978년 9월
발행간기	연6회, 2월 28일, 4월 30일, 6월 30일, 8월 30일, 10월 30일, 12월 30일
최근 발행정보	2022년 2월 42(1)
언어	한국어, 영어
발행기관명	한국태양에너지학회
발행기관명(외국어)	The Korean Solar Energy Society

출처: 한국학술지 인용 색인 홈페이지, <https://www.kci.go.kr/kciportal/po/search/poSereResearchTrendList.kci>, 검색일 : 2022-03-14



출처: 한국학술지 인용 색인 홈페이지 재구성, <https://www.kci.go.kr/kciportal/po/search/poSereResearchTrendList.kci>, 검색일 : 2022-03-14

[그림 66] 한국태양에너지학회 논문집의 연도별 논문 수

‘한국태양에너지학회 논문집’의 최근 10년간 논문 수는 총 603건으로 나타났으며 최근 5년 이내 가장 많이 인용된 논문은 2018년 2월 발행된 ‘제주지역 풍력발전 및 태양광발전의 전력계통 부하기여 분석’으로 11번 인용되었다.

<표 25> 한국태양에너지학회 논문집의 인용횟수 순위 TOP10

순위	학술지명	발행년월	권(호)	논문명	인용횟수
1	한국태양에너지학회논문집	2018.02	38(1)	제주지역 풍력발전 및 태양광발전의 전력계통부하기여 분석	11
2	한국태양에너지학회논문집	2018.08	38(4)	기상 환경 모니터링 데이터를 이용한태양광발전시스템 발전량 성능 분석	7
3	한국태양에너지학회논문집	2019.04	39(2)	실험에 의한 공기식 PVT 컬렉터의 열 · 전기 성능에 관한 연구	5
3	한국태양에너지학회논문집	2018.08	38(4)	학교 교실의 창호 환기 조절 모드에 따른 자연형냉방효과 연구	5
5	한국태양에너지학회논문집	2018.04	38(2)	풍력터빈 타워 하중 저감을 위한 타워 댐퍼 게인스케줄링 알고리즘 설계	4
6	한국태양에너지학회논문집	2018.04	38(2)	플러스에너지하우스 설계 및 에너지 성능 평가	3
6	한국태양에너지학회논문집	2018.06	38(3)	피라노미터 실측 일조량을 통한 직산 분리 모델과경사면 일조량 변환 모델에 관한 연구	3
6	한국태양에너지학회논문집	2018.1	38(5)	Electrochromic 창호 적용시 지역별 건물 냉난방 에너지 소비량 절감성능	3
6	한국태양에너지학회논문집	2019.06	39(3)	SARIMA 모델을 이용한 태양광 발전량 예보 모형 구축	3
6	한국태양에너지학회논문집	2019.12	39(6)	재생에너지 탄소인증제도의 개발 방향성에 관한 연구 : 국제무역규범 및 환경라벨링 관련 무역 분쟁사례분석을 중심으로	3

출처: 한국학술지 인용 색인 홈페이지, <https://www.kci.go.kr/kciportal/po/search/poSereResearchTrendList.kci>, 검색일 : 2022-03-14

‘한국태양에너지학회 논문집’의 논문에 등록된 키워드는 신재생에너지, 태양광발전 시스템, 태양광발전, 에너지 절약, 그린 리모델링 순으로 나타났다.

<표 26> 한국태양에너지학회 논문집의 논문에 등록된 키워드 순위 TOP20

순위	키워드명	이 학술지의 논문 수*	총논문수**	순위	키워드명	이 학술지의 논문 수	총논문수
1	신재생에너지	7	345	6	신재생에너지 (Renewableenergy)	3	7
2	태양광발전 시스템	5	22	6	시뮬레이션	3	1,203
2	태양광발전	5	58	6	태양광모듈	3	8
4	에너지절약	4	64	6	온실가스	3	340

4	그린리모델링	4	38	6	제로에너지 건축물	3	16
6	청천지수	3	3	6	성능비	3	4
6	관측기반 일사량	3	3	6	태양광	3	84
6	태양전지	3	88	6	열효율	3	32
6	건물일체형 태양광	3	4	6	창호	3	52
6	효율	3	111	6	잠재량	3	6

출처: 한국학술지 인용 색인 홈페이지, <https://www.kci.go.kr/kciportal/po/search/poSereResearchTrendList.kci>, 검색일 : 2022-03-14

\* 한국태양광에너지학회 논문집 중 해당 키워드가 등록된 논문 수

\*\* 한국학술지 인용 색인의 총 학술지의 논문 중 해당 키워드가 등록된 논문 수

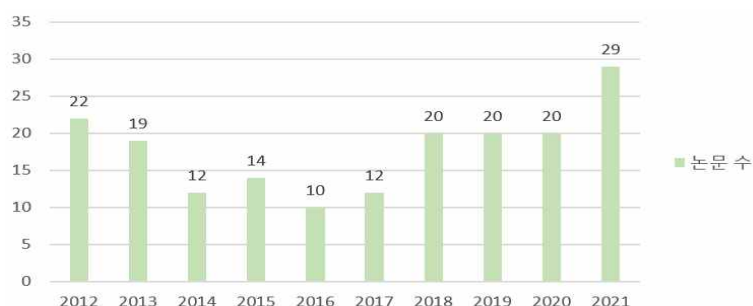
## □ 풍력에너지 저널 연구 동향

‘풍력에너지 저널’은 한국풍력에너지학회에서 발행하는 기타공학 분야의 학술지로 2020년 기준 영향력 지수는 0.80으로 나타났다.

<표 27> 풍력에너지저널 개요

구분	설명
연구분야	공학 > 기타공학
ISSN	2093-5099
eISSN	2733-9467
창간 연도	2010 년
발행간기	연4회, 03월 31일, 06월 30일, 09월 30일, 12월 31일
최근 발행정보	2021 년 12 월 12(4)
언어	한국어, 영어
발행기관명	한국풍력에너지학회
발행기관명(외국어)	Korea Wind Energy Association

출처: 한국학술지 인용 색인 홈페이지, <https://www.kci.go.kr/kciportal/po/search/poSereResearchTrendList.kci>, 검색일 : 2022-03-14



출처: 한국학술지 인용 색인 홈페이지 재구성, <https://www.kci.go.kr/kciportal/po/search/poSereResearchTrendList.kci>, 검색일 : 2022-03-14

[그림 67] 풍력에너지저널의 연도별 논문 수

‘풍력에너지 저널’의 최근 10년간 논문 수는 총 178건으로 꾸준히 증가 추세를 보였으며 최근 5년 이내 가장 많이 인용된 논문은 2017년 12월 발행된 ‘전력통계정보시스템 (EPSIS) 풍력발전자료에 의한 국내 풍력발전 현황 및 이용률 분석’으로 12번 인용되었다.

<표 28> 풍력에너지 저널의 인용횟수 순위 TOP10

순위	학술지명	발행년월	권(호)	논문명	인용횟수
1	풍력에너지저널	2017.12	8(2)	전력통계정보시스템(EPSIS) 풍력발전자료에 의한 국내 풍력발전 현황 및 이용률 분석	12
2	풍력에너지저널	2018.09	9(3)	재해석자료를 이용한 전지구 풍력자원의 장기간 통계분석	11
3	풍력에너지저널	2018.09	9(3)	피치 루프 개별 개인 스케줄링 기법을 통한 타워 하중 저감 제어	9
4	풍력에너지저널	2018.03	9(1)	Investigation on Promising Offshore Wind Farm Sites and their Wind Farm Capacity Factors considering Wake Losses in Korea	5
5	풍력에너지저널	2017.12	8(2)	피치 구동기의 대역폭과 MW급 풍력발전기의 출력 파워 응답 고찰	4
6	풍력에너지저널	2020.06	11(2)	풍력에너지저널 문헌검토에 의한 주제모델링	3
6	풍력에너지저널	2020.06	11(2)	육상풍력 입지지도 고도화 및 공공서비스를 위한 해외 사례 조사	3
6	풍력에너지저널	2019.03	10(1)	대용량 풍력발전단지의 손실저감을 위한 실시간 무효전력 할당제어 기법 연구	3
6	풍력에너지저널	2018.12	9(4)	새만금 가력도 풍력발전단지에 대한 연간발전량 예측 및 검증	3
6	풍력에너지저널	2017.06	8(1)	지반-파일 상호작용을 고려한 PS 콘크리트 해상풍력 구조물의 거동 해석	3

출처: 한국학술지인용색인 홈페이지, <https://www.kci.go.kr/kciportal/po/search/poSereResearchTrendList.kci>, 검색일 : 2022-03-14

‘풍력에너지 저널’의 논문에 등록된 키워드는 풍력 터빈, 해상풍력, 풍력 자원지도, 연간발전량, 지지구조물 순으로 나타났다.

<표 29> 풍력에너지 저널의 논문에 등록된 키워드 순위 TOP20

순위	키워드명	이 학술지의 논문 수*	총논문수**	순위	키워드명	이 학술지의 논문 수	총논문수
1	풍력터빈	12	47	11	해상풍력단지	3	23
2	해상풍력	7	46	11	전산유체역학	3	797
3	풍력자원지도	5	18	11	바람데이터	3	8

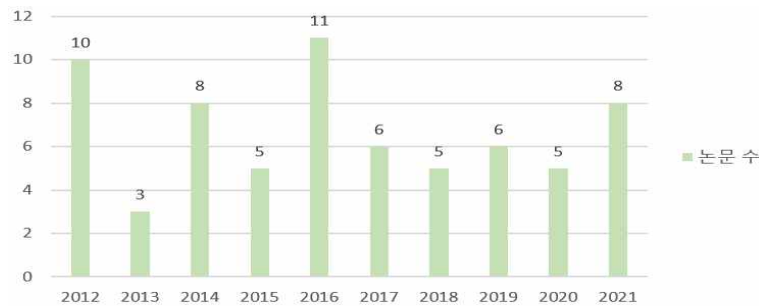
3	연간발전량	5	16	11	재생에너지	3	169
5	지지구조물	4	8	11	이용률	3	34
5	해상풍력발전단지	4	16	11	블레이드	3	37
5	요제어	4	6	11	풍향	3	37
5	풍력발전기	4	60	18	인버터기반전원	2	2
5	전력계통	4	13	18	구조해석	2	216
5	해상풍력발전기	4	20	18	풍동	2	26

출처: 한국학술지 인용 색인 홈페이지, <https://www.kci.go.kr/kciportal/po/search/poSereResearchTrendList.kci>, 검색일 : 2022-03-14

\* 풍력에너지 저널 논문 중 해당 키워드가 등록된 논문 수

\*\* 한국학술지 인용 색인의 총 학술지의 논문 중 해당 키워드가 등록된 논문 수

#### □ 키워드별 논문 동향 - 태양광



출처: 한국학술지인용색인 홈페이지 재구성, <https://www.kci.go.kr/kciportal/po/search/poSereResearchTrendList.kci>, 검색일 : 2022-03-14

[그림 68] '태양광' 키워드의 논문 연도별 논문 수

'태양광' 키워드의 최근 10년간 논문 수는 총 67건으로 나타났으며 최근 10년 이내 가장 많이 인용된 논문은 디지털 융복합연구 학술지에서 2017년 9월 발행한 'LDA 알고리즘을 활용한 태양광 에너지기술 특허 및 논문 동향 연구' 로 12번 인용되었다.

<표 30> '태양광' 키워드의 논문 인용횟수 순위 TOP10

순위	학술지명	발행년월	권(호)	논문명	인용횟수
1	디지털융복합연구	2017.09	15(9)	LDA 알고리즘을 활용한 태양광 에너지 기술 특허 및 논문 동향 연구	12
2	한국전자통신학회논문지	2015.06	10(6)	태양광발전소 원격 운영 관제를 위한 표준화 계측 및 수익형 운영모델에 관한 연구	11
3	한국전자통신학회논문지	2014.07	9(6)	독립형 태양광 가로등 통합제어기 개발	8

4	도시행정학보	2016.09	29(3)	에너지전환을 위한 태양광발전 활성화 방안 연구: 서울시를 중심으로	8
5	KIEAEJournal	2015.1	15(5)	외기 및 순환수 온도조건을 고려한 PVT-water 시스템의 성능실험	6
6	신재생에너지	2018.09	14(3)	북한 검덕광산 인근 지역 태양광 잠재량 분석 및 최적 부지 선정	5
7	신재생에너지	2016.09	12(3)	REC가격변동이 태양광투자에 미치는 영향에 대한 실증분석	4
8	한국지역개발학회지	2016.12	28(5)	태양광 발전시설 분포에 영향을 미치는 요인 연구	4
9	한국도시환경학회지	2017.03	17(1)	신재생에너지를 이용한 소규모 축산농가 축산폐수 전기분해/응집 처리공정기초 연구	4
10	한국철도학회 논문집	2017.04	20(2)	철도분야 태양광 발전 적용 확대를 위한 설계 단계에서의 태양광 발전량 예측 연구	3

출처: 한국학술지 인용 색인 홈페이지, <https://www.kci.go.kr/kciportal/po/search/poSereResearchTrendList.kci>, 검색일 : 2022-03-14

#### □ 키워드별 논문 동향 - 풍력



출처: 한국학술지 인용 색인 홈페이지, <https://www.kci.go.kr/kciportal/po/search/poSereResearchTrendList.kci>, 검색일 : 2022-03-14

[그림 69] '풍력' 키워드의 논문 연도별 논문 수

'풍력' 키워드의 최근 10년간 논문 수는 총 31건으로 나타났으며 최근 10년 이내 가장 많이 인용된 논문은 한국방재학회논문집에서 2016년 8월 발행한 '내부 구속 중공 철근 콘크리트 구조를 적용한 풍력 타워의 단면설계'로 4번 인용되었다.

<표 31> '풍력' 키워드의 논문 인용횟수 순위 TOP10

순위	학술지명	발행년월	권(호)	논문명	인용횟수
1	한국방재학회 논문집	2016.08	16(4)	내부 구속 중공 철근 콘크리트 구조를 적용한 풍력 타워의 단면설계	4
2	해양비즈니스	2014.08	(28)	국내 신재생에너지의 발전전략과 과제에 관한 연구	3

3	민속연구	2017.08	(35)	마을사회의 위기와 의례적 대응 - 풍력발전 반대 '산신제'에 대한 민속지적 연구 -	3
4	민속연구	2018.08	(37)	농민들의 저항과 마을 지식의 재구성-경북 영양군 H마을 풍력발전 반대운동의 민속지적 연구-	3
5	환경법연구	2018.08	40(2)	재생에너지 입지정책 도입의 의미와 과제	3
6	한국향해항만 학회지	2013.12	37(6)	해상 풍력 타워의 모노파일 기초에 대한 다층 지반 해석	2
7	한국기계가공 학회지	2014.02	13(1)	5MW 풍력용 피치드라이브의 유성기어Micro-geometry 최적화에 관한 연구	2
8	토지공법연구	2016.02	73(2)	풍력발전의 사회적 형평성 확보를 위한 법적 개선과제에 관한 연구	2
9	한국마린 엔지니어링학회지	2015.01	39(1)	풍력 레저선박의 돛 받음각과 횡력에 대한 복원력 특성	1
10	신재생에너지	2015.12	11(4)	한경·성산풍력 개발 및 운영사례와 발전방향	1

출처: 한국학술지인용색인 홈페이지, <https://www.kci.go.kr/kciportal/po/search/poSereResearchTrendList.kci>, 검색일 : 2022-03-14

#### □ 기후기술 수준 분석을 통한 태양광·풍력 분야 논문 분석

녹색기후센터에서는 2010년~2019년 최근 10년간 논문 데이터를 활용하여 논문 점유율, 논문 증가율, 논문 영향력 및 연구 주체 다양도 등 논문 정량지표를 제시하였다.

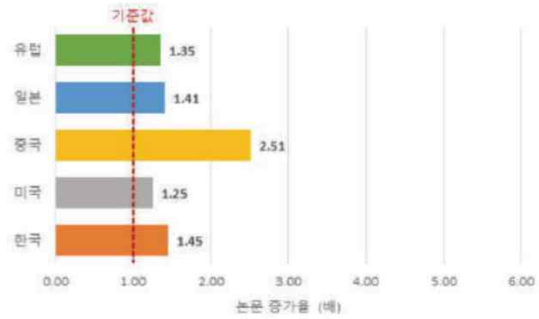
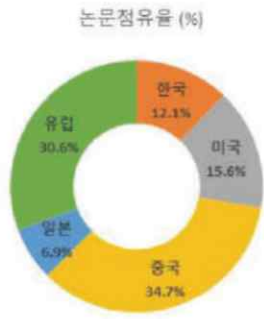
<표 32> 논문 분석 정량지표

측정 기준	지표	정의
활동 력	논문 점유율	$\frac{\text{특정기술에서 특정국가의 논문 건수}}{\text{특정기술의 전체 논문 건수}} \times 100(\%)$
	논문 증가율	$\frac{\text{특정기술에서 특정국가의 최근구간 논문 건수}}{\text{특정기술에서 특정구간 과거구간 논문 건수}}$ * 과거구간 : 2010-2014년, 최근구간 : 2015-2019년
기술 력	논문 영향력	$\frac{\text{특정기술에서 특정국가의 전체 논문의 인용된 횟수의 총합}}{\text{특정기술에서 특정국가의 전체 논문 건수}}$
	연구 주체 다양도	$1 - \frac{\text{특정기술에서 특정국가의 주요연구자 상위 5위가 참여한 논문 건수}}{\text{특정기술에서 특정국가의 전체 논문 건수}}$

출처: 녹색기술센터, 2020년 기후기술 수준조사 재구성, 2020

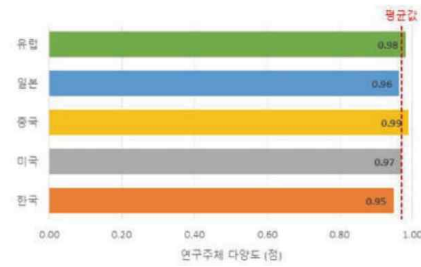
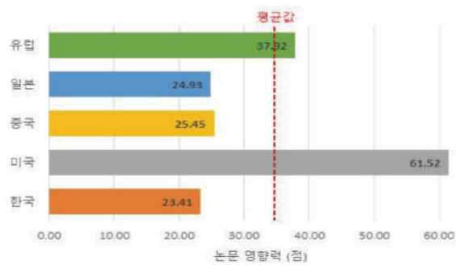
우리나라의 태양광 분야 논문 활동력 및 기술력을 살펴봤을때 논문 활동력의 지표인 논문 점유율은 4위, 논문 증가율은 2위이며 논문 기술력의 지표인 논문 영향력 및 연구 주체 다양도는 모두 5위로 나타나 연구는 활발히 진행되고 있으나 기술력은 저조한 것으로 나타났다.





출처: 녹색기술센터, 2020년 기후기술 수준조사, 2020

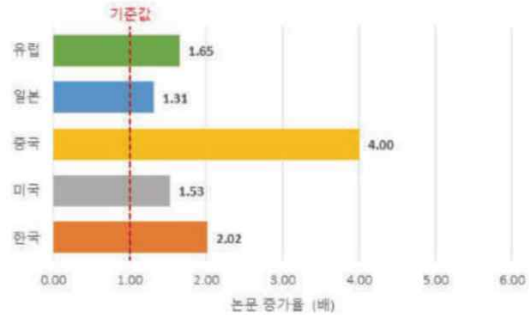
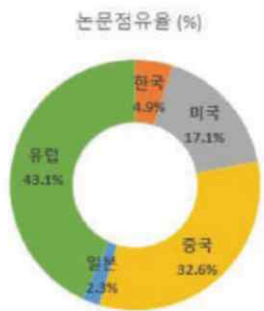
[그림 70] 태양광 분야의 논문 활동력  
(좌)논문 점유율 (우)논문 증가율



출처: 녹색기술센터, 2020년 기후기술 수준조사, 2020

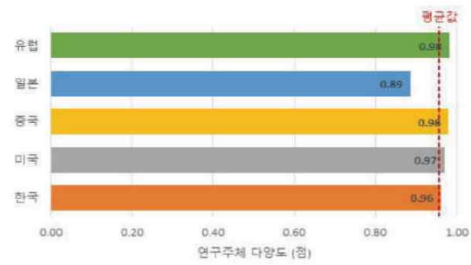
[그림 71] 태양광 분야의 논문 기술력  
(좌)논문 영향력 (우)연구주체 다양도

우리나라의 풍력 분야 논문 활동력 및 기술력을 살펴봤을때 논문 활동력의 지표인 논문 점유율은 4위, 논문 증가율은 2위이며 논문 기술력의 지표인 논문 영향력 5위, 연구 주체 다양도는 4위로 풍력 분야도 연구가 증가하고 있으나 주요국 대비 논문 기술력이 낮은 것으로 나타났다.



출처: 녹색기술센터, 2020년 기후기술 수준조사, 2020

[그림 72] 풍력 분야의 논문 활동력  
(좌)논문 점유율 (우)논문 증가율



출처: 녹색기술센터, 2020년 기후기술 수준조사, 2020

[그림 73] 풍력 분야의 논문 기술력  
(좌)논문 영향력 (우)연구주제 다양도

## 2.3.2 특허 동향

### □ 국내외 태양광·풍력 특허 동향 조사 개요

2019년 특허청(한국특허전략개발원)에서 발간한 특허 메가트렌드 분석 보고서(신재생에너지)를 활용하여 국내외 태양광·풍력 분야의 특허 동향을 파악하였다. 특허 검색 범위는 한국, 미국, 일본, 유럽, 중국 특허청이 포함된 IP5<sup>102)</sup> 지역이며 1998년 1월 1일 ~ 2019년 9월 30일까지 등록 또는 공개된 특허로 한정하였다.

<표 33> 특허 검색 대상 지역 및 기간

구분	설명
특허검색 대상 지역	한국, 미국, 일본, 유럽, 중국
특허검색 기간	1998년 1월 1일 ~ 2019년 9월 30일(출원일자 기준) - 1구간 : 1998~2002년 - 2구간 : 2003~2007년 - 3구간 : 2008~2012년 - 4구간 : 2013~2017년 * 미공개 특허가 다수 포함된 2018, 2019년은 구간에 포함하지 않음

출처: 특허청(한국특허전략개발원), 특허 메가트렌드 분석보고서(신재생에너지), 2019

특허 분석 시 5년 단위 구간을 설정하여 1구간부터 4구간까지 직관적으로 분석하였으며 구간 분석 시 특허 출원 후 공개까지 1년 6개월 정도 소요되기 때문에 미공개 특허가 포함된 2018, 2019년은 포함하지 않았다.

102) IP5 : 'Intellectual Property 5' 의 약자로 세계 5대 특허청인 대한민국, 미국, 중국, 일본 및 유럽 5개국 특허청 간 협의체를 의미

<표 34> 특허 분석지표

분석지표		내용
활동력	특허점유율	<ul style="list-style-type: none"> <li>전체구간 평균점유율, 4구간 평균점유율</li> <li>각 산업의 전체 출원특허 중 특정 기술의 출원특허 비중</li> <li>기술별 최근 구간 평균 점유율비(4구간/전체구간)를 분석하여 최근 기술개발이 활발한 핵심 기술 파악</li> </ul>
	특허증가율	<ul style="list-style-type: none"> <li>3, 4구간 특허증가율</li> <li>출원특허를 대상으로 하며, 최근 구간의 특허 증가율을 분석하여 최근 활동이 활발한 핵심 기술 파악</li> </ul>
	시장확보력	<ul style="list-style-type: none"> <li>전체구간 PFS, 4구간 PFS</li> <li>출원특허 대상으로, 출원특허의 패밀리 국가수 합계</li> <li>기술별 최근구간 평균 점유율비(4구간/전체구간)를 분석하여 최근 기술개발이 활발한 핵심 기술 파악</li> </ul>
기술력	특허인용율	<ul style="list-style-type: none"> <li>전체구간 피인용지수</li> <li>미국특허청의 등록특허가 대상</li> <li>기술별 피인용수를 분석하여, 주요 핵심기술 여부 판단</li> </ul>
	주요국 특허확보율	<ul style="list-style-type: none"> <li>전체구간 IP3 지수</li> <li>IP5(한국, 미국, 일본, 유럽, 중국) 특허청 중 3곳 이상에 동시 출원된 특허 비율</li> </ul>
	특허청구항수	<ul style="list-style-type: none"> <li>전체구간 평균 특허청구항 수</li> <li>등록 특허 대상으로, 등록 특허의 청구항 수 합계</li> </ul>

출처: 특허청(한국특허전략개발원), 특허 메가트렌드 분석보고서(신재생에너지), 2019

#### □ 국내외 태양광·풍력 특허 동향

신재생에너지 특허 출원 현황을 살펴보면 태양광은 3~4구간 증감률이 194.8%로 신재생에너지 중 가장 많이 증가하였으며, 풍력은 신재생에너지 중 연료전지 다음으로 가장 많은 수(출원 합계)를 차지하며 연구가 활발히 진행됨을 알 수 있다.

<표 35> 신재생에너지 구간별 출원 현황

구분	1구간	2구간	3구간	4구간	합계	4구간 점유율	3~4구간 증감률
바이오	207	586	1559	1939	4291	45.2%	24.4%
수력	70	154	505	420	1149	36.6%	-16.8%
수소에너지	904	1526	1566	1743	5739	30.4%	11.3%
수열	5	36	81	75	197	38.1%	-7.4%
연료전지	4,233	9998	7692	5700	27623	20.6%	-25.9%
지열	108	342	863	1025	2338	43.8%	18.8%
태양광	384	824	4267	12578	18053	69.7%	194.8%
태양열	836	1500	5114	4026	11476	35.1%	-21.3%
폐기물	2,565	2165	3573	4783	13086	36.6%	33.9%
풍력	1,276	3231	10365	9641	24513	39.3%	-7.0%
해양에너지	369	951	3102	3445	7867	43.8%	11.1%
합계	10,958	21,313	38,687	45,375	116,332	39.0%	17.3%

출처: 특허청(한국특허전략개발원), 특허 메가트렌드 분석보고서(신재생에너지), 2019

\* 1구간 : 1998~2002년, 2구간 : 2003~2007년, 3구간: 2008~2012, 4구간 : 2013~2017

출원인 국적별 출원 점유율에서 한국은 수력과 지열에서 높은 점유율을 보인다. 태양광에서는 중국(41.2%), 한국(18.9%), 미국(16.8%), 일본(11.0%), 독일(2.4%) 순으로 한국이 2순위이며 풍력에서는 중국(29.5%), 일본(17.7%), 한국(14.5%), 미국(12.0%), 독일(10.6%) 순으로 한국이 3순위이다.

<표 36> 신재생에너지 국가별 출원 점유율(Top5)

구분	일본	중국	미국	한국	독일	기타
바이오	24.2%	33.3%	12.8%	17.3%	2.4%	10.0%
수력	35.2%	4.7%	10.2%	38.5%	1.7%	9.7%
수소에너지	35.5%	23.9%	17.8%	8.4%	2.0%	12.4%
수열	34.5%	47.7%	3.0%	8.1%	0.0%	6.6%
연료전지	58.1%	7.2%	13.0%	11.1%	2.8%	7.8%
지열	13.6%	22.3%	21.2%	27.0%	3.0%	12.9%
태양광	11.0%	41.2%	16.8%	18.9%	2.4%	9.8%
태양열	12.9%	12.3%	29.8%	12.1%	6.7%	26.3%
폐기물	30.0%	27.1%	12.0%	17.2%	2.3%	11.4%
풍력	17.7%	29.5%	12.0%	14.5%	10.6%	15.7%
해양에너지	12.9%	34.2%	12.4%	18.2%	2.1%	20.2%
신재생에너지 산업 전체	28.1%	23.9%	15.2%	15.0%	4.6%	13.3%

출처: 특허청(한국특허전략개발원), 특허 메가트렌드 분석보고서(신재생에너지), 2019

특허의 질적 수준을 알 수 있는 피인용 지수를 살펴보면 한국의 태양광 분야 피인용 지수\*는 4.1로 선도국(일본 17.2%) 대비 23.9% 수준이며 풍력 분야 피인용

지수는 4.8로 선도국(미국 17.5%) 대비 27.6% 수준이다.

※ 피인용 지수 : 해당 특허가 후행 특허 또는 문헌에 얼마나 인용되어 있는지 환산한 지표로 특허의 질적 수준 파악에 이용한다.

<표 37> 신재생에너지 국가별 피인용 지수

구분	일본	중국	미국	한국	독일
바이오	15.5	1.6	23.1	1.2	25.0
수력	25.3	3.5	12.0	0.3	14.0
수소에너지	6.1	0.6	20.6	5.3	7.8
수열	0.0	6.0	4.0	0.0	0.0
연료전지	8.6	3.7	19.0	4.0	11.7
지열	5.5	4.0	11.1	3.4	15.1
태양광	17.2	1.7	15.9	4.1	11.9
태양열	14.8	3.4	15.9	2.8	8.3
폐기물	5.9	4.1	11.2	2.9	5.2
풍력	12.2	3.1	17.5	4.8	10.9
해양에너지	5.0	1.2	11.9	2.3	17.1

출처: 특허청(한국특허전략개발원), 특허 메가트렌드 분석보고서(신재생에너지) 재구성, 2019

신재생에너지 출원 건수 기준 상위 출원인을 살펴보면, STATE GRID CORPORATION OF CHINA가 216건(0.8%), 풍력은 MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES이 1,581건(4.7%)으로 가장 많은 특허 출원을 한 것으로 나타났다. 국내에서는 한국의 엘지전자가 태양광 분야에 113건 출원하여 상위 7위에 올랐다. 연구 주력 분야는 Utility용 시스템, 융복합 시스템, 실리콘계 태양전지/모듈 분야 순으로 연구가 활발하다.

<표 38> 태양광 분야의 출원건수 기준 상위 출원인

NO.	출원인	국적	건수	주력 1분야	주력 2분야	주력 3분야
1	STATE GRID CORPORATION OF CHINA	중국	216	융복합 시스템	Utility용 시스템	집광형 태양광 발전시스템(CPV)
2	SUNPOWER	미국	192	집광형 태양광 발전시스템(CPV)	융복합 시스템	실리콘계 태양전지/모듈
3	WUXI TONGCHUN NEW ENERGY TECHNOLOGY	중국	175	수상/해상 태양광	화합물계 태양전지/모듈	융복합 시스템
4	SHARP	일본	134	집광형 태양광 발전시스템(CPV)	공정 및 검사 장비	수상/해상 태양광
5	DOW GLOBAL TECHNOLOGIES	미국	126	융복합 시스템	건물일체형 태양광 발전시스템(BIPV)	공정 및 검사 장비
6	SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES	일본	124	집광형 태양광 발전시스템(CPV)	실리콘계 태양전지/모듈	Utility용 시스템
7	엘지전자	한국	113	Utility용 시스템	융복합 시스템	실리콘계 태양전지/모듈
8	민승기	한국	81	융복합 시스템	건물일체형 태양광 발전시스템(BIPV)	수상/해상 태양광
9	SUZHOU HAOFEN G ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGY	중국	77	유지보수장치	실리콘계 태양전지/모듈	융복합 시스템
10	CANON	일본	70	공정 및 검사 장비	염료감응 및 유기 태양전지/모듈	건물일체형 태양광 발전시스템(BIPV)

출처: 특허청(한국특허전략개발원), 특허 메가트렌드 분석보고서(신재생에너지), 2019

풍력 분야에서는 한국의 삼성중공업이 605건 출원으로 상위 5위에 올랐고, 연구 주력 분야는 요소 부품(전기 및 제어), 요소 부품(기계장치), 요소 부품(지지구조물) 순위로 연구가 활발하다.

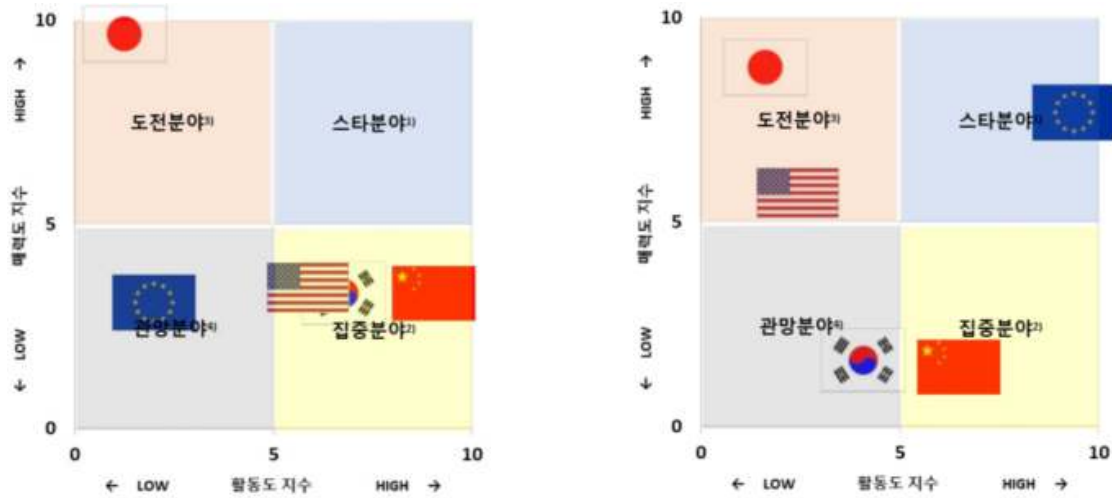
<표 39> 풍력 분야의 출원건수 기준 상위 출원인

NO.	출원인	국적	건수	주력 1분야	주력 2분야	주력 3분야
1	MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES	일본	1,581	요소부품 (전기 및 제어)	요소부품(기계장치)	요소부품 (지지구조물)
2	GENERAL ELECTRIC	미국	1,248	요소부품 (전기 및 제어)	요소부품(기계장치)	운영 및 유지보수
3	VESTAS WIND SYSTEMS	덴마크	1,019	요소부품 (전기 및 제어)	요소부품(기계장치)	요소부품 (지지구조물)
4	SIEMENS	독일	779	요소부품 (전기 및 제어)	요소부품(기계장치)	계통연계시스템
5	삼성중공업	한국	605	요소부품 (전기 및 제어)	요소부품(기계장치)	요소부품 (지지구조물)
6	WOBBEN PROPERTIES	독일	586	요소부품 (전기 및 제어)	계통연계시스템	요소부품 (지지구조물)
7	HITACHI	일본	513	요소부품 (전기 및 제어)	요소부품(기계장치)	요소부품 (지지구조물)
8	BEIJING GOLDWIND SCIENCE & CREATION WINDPOWER EQUIPMENT	중국	296	요소부품 (전기 및 제어)	요소부품(기계장치)	요소부품 (지지구조물)
9	대우조선해양	한국	254	요소부품 (전기 및 제어)	요소부품(기계장치)	단지시공
10	두산중공업	한국	214	요소부품 (전기 및 제어)	요소부품(기계장치)	단지시공

출처: 특허청(한국특허전략개발원), 특허 메가트렌드 분석보고서(신재생에너지), 2019

신재생에너지 분야 기술별 포트폴리오 분석은 특허기술력 및 연구 활동도에 대해 스타 분야, 집중 분야, 도전 분야, 관망 분야로 구분하였고, 태양광 분야에서 일본은 도전 분야에 속하며 한국, 중국, 미국은 집중 분야, 유럽은 관망 분야에 속하였다. 한국은 집중 분야로 특허 출원이 활발하나 충분한 특허기술력을 확보하지 못한 것으로 분석된다. 풍력 분야에서 유럽은 스타 분야 일본, 미국은 도전 분야, 중국은 집중 분야에 속하며 한국은 관망 분야로 특허기술력 및 활동도 전부 낮은 것으로 분석되었다.

- ※ 스타 분야 : 타 영역 대비 상대적으로 특허기술력도 높고 연구 활동이 높은 분야
- ※ 집중 분야 : 타 영역 대비 상대적으로 특허 출원은 활발하나, 충분한 특허기술력을 확보하지 못한 분야
- ※ 도전 분야 : 타 영역 대비 상대적으로 특허기술력은 높으나 연구 활동이 부족한 분야
- ※ 관망 분야 : 타 영역 대비 상대적 특허기술력도 낮고 활동도 높은 분야



출처: 특허청(한국특허전략개발원), 특허 메가트렌드 분석보고서(신재생에너지), 2019

[그림 74] 태양광과 풍력 분야의 특허기술력 및 연구 활동도  
(좌) 태양광 (우) 풍력

□ 국내의 기상융합 분야 특허 동향

환경산업의 기술 체계 중 기상융합은 기상정보를 기본으로 다양한 요구를 수용한 콘텐츠 제공 및 솔루션 기술을 의미하며 기상융합 분야의 특허 기술력 및 활동력은 다음 표와 같다.



<표 40> 환경기상 산업의 기술 체계 중 기상

산업	대분류	중분류	소분류	기술정의
환경기상	기상	기상관측	고층기상관측/장비/제어	고층기상관측/장비/제어 분야는 라디오미터관측분석, 라디오존데관측분석, 연직바람관측분석을 포함하고 있음
			원격기상관측/장비/제어	원격기상관측/장비/제어 분야는 기상라이다관측분석제어, 기상레이더관측분석제어, 기상위성용관측장비및부품, 위성기상관측분석관리, 위성기상관측정보통신망, 항공관측분석제어를 포함하고 있음
			지상관측/장비/제어	지상관측/장비/제어 분야는 관측기술복합화기반, 자동기상관측관리시스템, 자동기상관측장비및부품, 자동기상관측정보통신망기반을 포함하고 있음
			해양관측/장비/제어	해양관측/장비/제어 분야는 해양 기상 관측, 해양 부이를 포함하고 있음
		기상서비스	기상융합	기상정보를 기본으로 다양한 요구를 수용한 콘텐츠 제공 및 솔루션 기술
			기상조절	기상조절은 의도적인 기상조절로 보통 인공강우나 인공증설, 안개소산, 우박 억제, 폭풍우 완화 등이 이에 속함
			기상감정	기상재해 피해에 대한 과거 시점 재현 및 피해액 산정 기술
		기상예보	위험기상예보	위험기상예보 분야는 기타기상(폭설, 폭염, 한파, 우박, 낙뢰 등), PM1(황사, 연무 등), 태풍(강풍)예보, 해양기상(파랑, 해일 등), 호우예보를 포함하고 있음
			일반기상예보	여러 장소의 날씨, 기압, 풍향, 풍속, 기온, 습도 등의 정보를 모아, 대기와 지면 등의 상태를 예측하고 전하는 과학 기술

출처: 특허청(한국특허전략개발원), 특허 메가트렌드 분석보고서(신재생에너지), 2019

기상기술 중 기상융합 기술은 기상조절 다음으로 특허 점유율 비(4구간/전체구간)가 크며 최근 기술개발이 활발한 핵심기술로 파악된다.

<표 41> 기상 기술별 IP(지적재산권) 활동력 분석 결과

기술	점유율비	증가율	시장확보력비	종합 등급
고층기상관측/장비/제어	104.4%	70.3%	118.9%	6
원격기상관측/장비/제어	104.6%	93.1%	87.9%	6
지상관측/장비/제어	107.7%	103.0%	78.0%	5
해양관측/장비/제어	104.2%	63.9%	90.8%	5
기상융합	119.5%	108.1%	85.5%	6
기상조절	124.7%	130.6%	82.9%	6
기상감정	92.6%	81.9%	101.8%	6
위험기상예보	99.6%	76.5%	94.6%	6
일반기상예보	106.1%	119.0%	110.1%	7

출처: 특허청(한국특허전략개발원), 특허 메가트렌드 분석보고서(신재생에너지), 2019

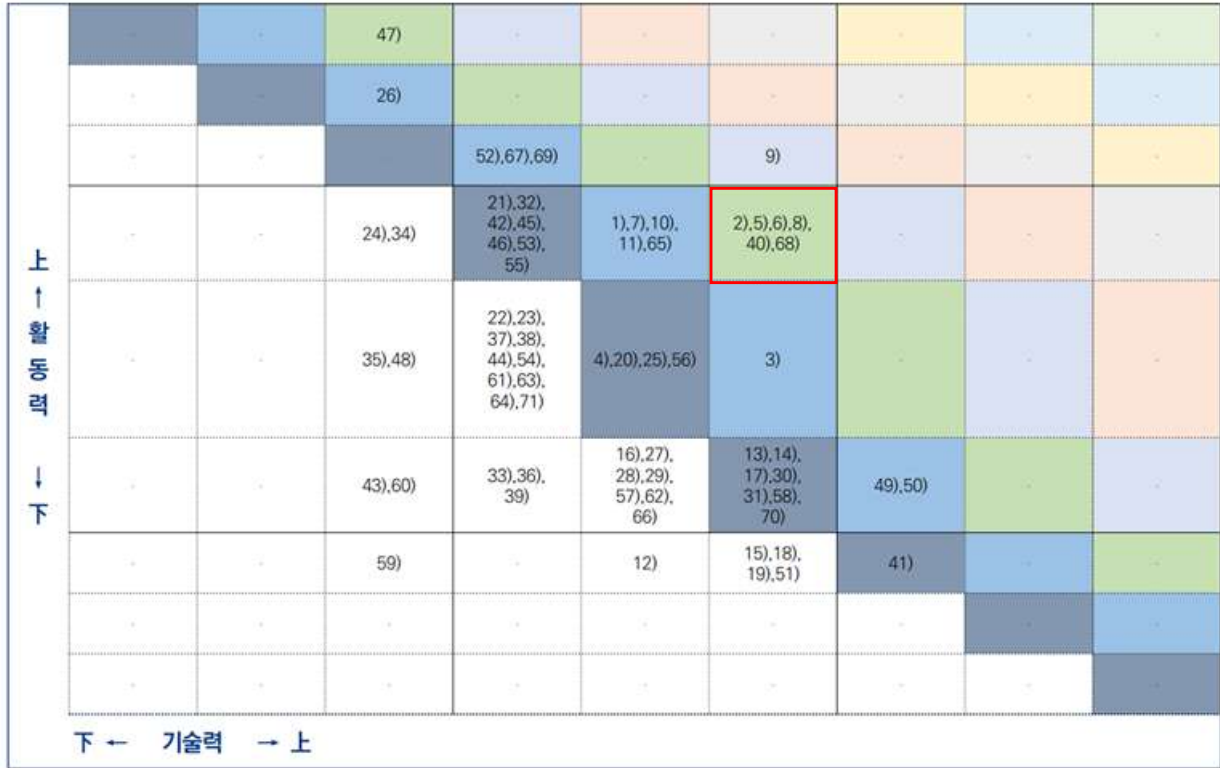
또한, 특허 인용률도 20.7p로 높은 축에 속하는 거로 나타났다.

<표 42> 기상 기술별 IP(지적재산권) 기술력 분석 결과

기술	특허 인용율	주요국 특허확보율	특허청구항수	종합 등급
고층기상관측/장비/제어	10.3	0.1	10.2	5
원격기상관측/장비/제어	21.9	0.2	12.3	6
지상관측/장비/제어	17.0	0.1	10.5	6
해양관측/장비/제어	11.7	0.1	8.7	5
기상융합	20.7	0.1	12.9	6
기상조절	25.0	0.0	12.2	6
기상감정	13.5	0.1	10.3	5
위험기상예보	22.9	0.1	11.2	6
일반기상예보	18.2	0.1	12.0	6

출처: 특허청(한국특허전략개발원), 특허 메가트렌드 분석보고서(신재생에너지), 2019

특허청 분석결과에 따르면, 환경기상 분야 총 71개의 세부기술 중 원격기상관측/장비제어, 기상융합, 기상조절, 위험기상예보, 일반기상예보 순으로 추천 기술이 선정되었다.



- 1) 고층기상관측/장비/제어, 2) 원격기상관측/장비/제어, 3) 지상관측/장비/제어, 4) 해양관측/장비/제어, 5) 기상융합, 6) 기상조정, 7) 기상감정, 8) 위험기상예보, 9) 일반기상예보, 10) 기후변화감시/분석, 11) 기후변화예측, 12) 탄소추적시스템, 13) CO2광물화기술, 14) CO2전환기술, 15) Hybrid 시스템, 16) CO2저장기술, 17) CO2포집(고정)기술, 18) CH4제어기술, 19) N2O제어기술, 20) 불화(F)가스 저장기술, 21) 원인규명, 22) 물질처리소재, 23) 입자상오염물질처리, 24) 보호·대응 기술, 25) 집진·저감기술, 26) 측정예보기술, 27) 오염원부문물질처리, 28) 물질처리소재, 29) 미량오염물질처리, 30) 계측 시스템, 31) 데이터 분석 시스템, 32) 오염원원천관리기술, 33) 용존성오염물질처리기술, 34) 입자상오염물질처리기술, 35) 하천유역및수계관리, 36) 지능형수환경상하수관리, 37) 하/폐수고도처리및관리, 38) 생물다양성보존, 39) 훼손지및녹화복원, 40) 생태계감시및보전통합시스템, 41) 사용후제품재제조, 42) 에너지회수, 43) 연료화기술, 44) 유용폐자원재활용, 45) 지진해일화산감지, 46) 지진해일화산관측, 47) 지구내부모델링, 48) 지진해일화산경보, 49) 생태모사, 50) 유니소재, 51) 유해물질대체(X-free), 52) 공정개선, 53) 공정설계, 54) 유해물질사용제거, 55) 오염지역집중복원관리, 56) 물리화학적처리기술, 57) 생물화학적처리기술, 58) 열적처리방법, 59) 지하수정화장치/관리, 60) 토양정화장치/관리, 61) 모니터링및관리시스템, 62) 환경규제대응기반기술, 63) 환경미생물유해인자대응, 64) 환경성질환경유해인자대응, 65) 대기환경오염도측정장치, 66) 소음/진동방지, 67) 수질환경오염도측정장치, 68) 오염도측정선진화, 69) 인체 위해성 진단 기술, 70) 모니터링및관리시스템, 71) 환경영향평가

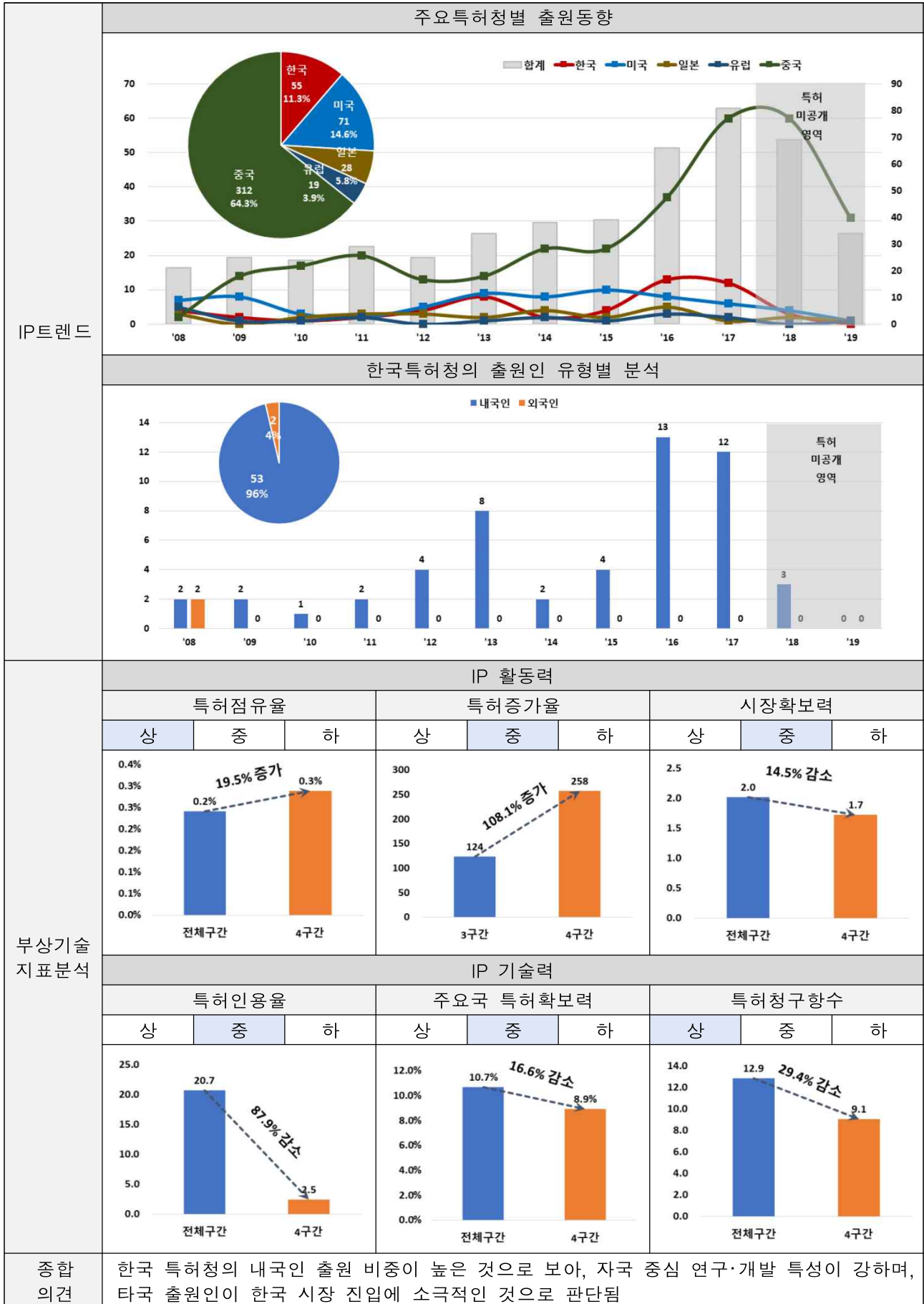
출처: 특허청(한국특허전략개발원), 특허 메가트렌드 분석보고서(신재생에너지), 2019

[그림 75] MATRIX 분석을 통한 부상기술 도출

한국의 기상융합 분야의 특허 활동력은 특허 점유율 19.5% 증가, 특허 증가율 108.1% 증가, 시장 확보력 14.5% 감소로 나타났고, 특허 개발이 활발히 이루어지고 있지만, 중국의 급격한 특허 출원으로 시장 확보력은 감소한 것으로 보인다. 기상융합 분야의 특허기술력은 특허 인용률 87.9% 감소, 주요국 특허 확보력 16.6% 감소, 특허 청구항 수 29.4% 감소로 기술력은 낮은 것으로 나타났다.

<표 43> 기상융합 지표 분석

대분류	기상	중분류	기상서비스	소분류	기상융합
기술 개요	■ 기술정의 및 범위 [정의] 기상정보를 기본으로 다양한 요구를 수용한 콘텐츠 제공 및 솔루션 기술 [핵심기술] ① 기상-융합정보기술, ② 기상-비즈니스 컨설팅 기술, ③ 응용기상, ④ 영향예보				



출처: 특허청(한국특허전략개발원), 특허 메가트렌드 분석보고서(신재생에너지), 2019

### 2.3.3. 분야별 국내 기술 수준 분석

#### 2.3.3.1 국내외 기술 수준 비교 분석

##### □ 기후기술 측면의 수준 조사 개요

녹색기술센터는 「저탄소 녹색성장 기본법」 제 26조에 근거하여, 매년 녹색기술 국가연구개발사업 현황에 대한 투자·성과분석을 시행하며 국무조정실 녹색성장위원회 안전(' 15.04)에 따라 2020년에 기후기술 분야 기술 수준 조사를 추진하였다.

<표 44> 녹색기술센터의 기후기술 수준조사 근거

법	설명
저탄소 녹색성장 기본법 제 26조(녹색기술의 연구개발 및 사업화 등의 촉진)	① 정부는 녹색기술의 연구개발 및 사업화 등을 촉진하기 위하여 다음 각 호의 사항을 포함하는 시책을 수립·시행할 수 있다. 1. “녹색기술과 관련된 정보의 수집·분석 및 제공”

출처: 녹색기술센터, 2020년 기후기술 수준조사, 2020

녹색기술센터 기후기술 수준 조사는 정부 부처 및 관련기관 관계자(225명), 실무전문가 그룹(2명), 전문위원회(222명), 기술 수준 조사 참여 전문가 그룹(1차 : 479명, 2차 : 454명)이 참여하여 분석하였다.

- ※ 정부 부처 및 관련기관 관계자 : 중앙부처, 정부산하 연구소, 공공기관 소속 관계자로 이루어져 있으며 기술 수준 조사 항목 선정을 위한 사전 수요조사에 참여하였다.
- ※ 실무전문가 그룹 : 계량 정보분석 전문가 2명으로 기후기술 논문·특허 유효성 검토 및 통계 분석 지원하였다.
- ※ 전문위원회 : 기후기술 분야별 전문가로 구성되어 있으며 기후기술 수준 조사대상 세부 기술군을 검토하였다.
- ※ 기술 수준 조사 참여 전문가 그룹 : 44대 기후기술별 산·학·연·관 소속 기술전문가(1차 : 479명, 2차 : 454명)로 전문가 델파이(1, 2차) 조사에 참여하였다.

기술 분야별 5~6명씩 총 222명의 전문가 검토를 통해 44대 기후기술별 세부 분류를 도출하였으며 그 중 태양광과 풍력 기술은 다음과 같다.

<표 45> 태양광·풍력 세부분류

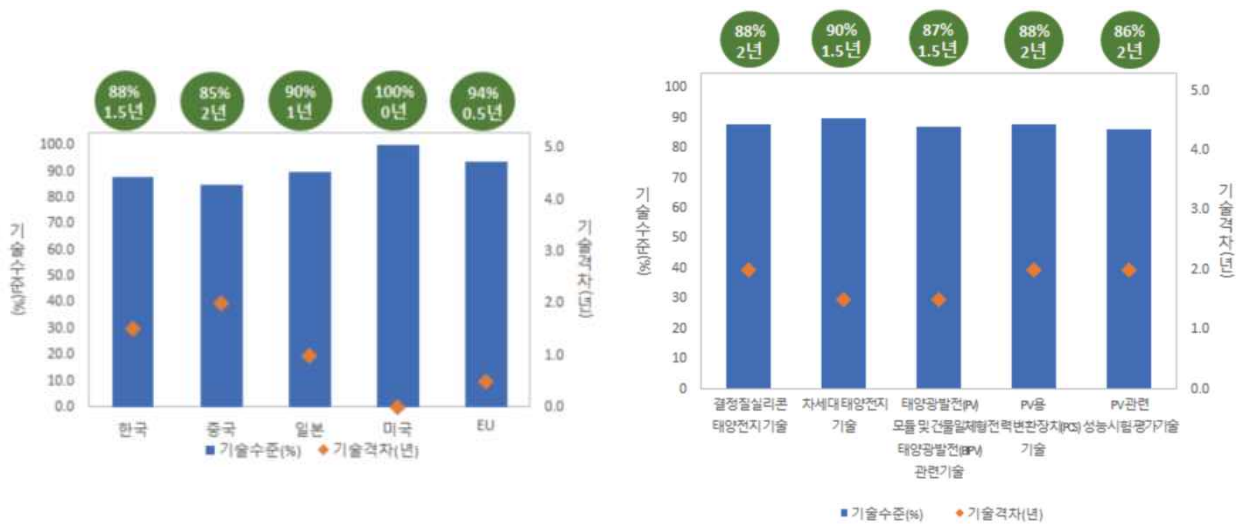
구분	세부분류
태양광	결정질실리콘 태양전지 기술
	차세대 태양전지 기술 (칼코지나이드 기반(CIGS, CZTS, CTS) 화합물 박막, 실리콘 박막, 염료감응 및 유무기 복합형 등)
	태양광발전(PV) 모듈 및 건물일체형 태양광발전(BIPV) 관련 기술
	PV용 전력변환장치(PCS) 기술
	PV 관련 성능시험·평가기술
풍력	풍력발전 시스템 및 부품 기술
	시스템 운송, 설치, 시공 기술
	단지 설계, 운영, 유지보수 기술
	계통 연계 기술

출처: 녹색기술센터, 2020년 기후기술 수준조사, 2020

### □ 태양광 분야 기후기술 수준 조사 결과

태양광 분야\*는 미국(100%), EU(94.0%, 0.5년), 일본(90.0%, 1.0년), 한국(88.0%, 1.5년), 중국(85.0%, 2.0년) 순으로 나타났으며 그 중 한국은 최고기술 보유국(미국) 대비 88%로 1.5년의 기술격차로 평가되었다.

※ 태양광 분야 기술 정의 : 태양광발전시스템 (태양전지, 모듈, 축전지 및 전력조정기, 직 교류 변환장치로 구성)을 이용하여 태양 빛 에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 기술이다.



출처: 녹색기술센터, 2020년 기후기술 수준조사, 2020

[그림 1] 태양광 분야 기술수준 및 기술격차

- 결정질실리콘 태양전지 기술 : 최고기술 보유국(미국) 대비 88%로 2.0년의 기술격차가 존재한다.
- 차세대 태양전지 기술 : 최고기술 보유국(미국) 대비 90%로 1.5년의 기술격차가 존재한다.

존재한다.

- 태양광발전(PV) 모듈 및 건물일체형 태양광발전(BIPV) 관련 기술 : 최고기술 보유국(미국) 대비 86.9%로 1.5년의 기술격차가 존재한다,
- PV용 전력변환장치(PCS) 기술 : 최고기술 보유국(미국) 대비 88%로 2.0년의 기술격차가 존재한다.
- PV 관련 성능시험·평가 기술 : 최고기술 보유국(미국) 대비 86%로 2.0년의 기술격차가 존재한다.

<표 46> 태양광 분야 세부기술별 주요 5개국의 기술수준 및 기술격차

세부 기술	한국		중국		일본		미국		EU	
	기술 수준 (%)	기술 격차 (년)	기술 수준 (%)	기술 격차 (년)	기술 수준 (%)	기술 격차 (년)	기술 수준 (%)	기술 격차 (년)	기술 수준 (%)	기술 격차 (년)
결정질실리콘 태양전지 기술	88.0%	2.0년	90.0%	2.0년	89.0%	2.0년	100%	0.0년	90.0%	2.0년
차세대 태양전지 기술	90.0%	1.5년	85.0%	2.0년	90.0%	1.0년	100%	0.0년	95.0%	0.5년
태양광발전(PV) 모듈 및 건물일체형 태양광발전(BIPV) 관련기술	86.9%	1.5년	85.9%	1.5년	90.9%	1.0년	100%	0.0년	93.9%	0.5년
PV용 전력변환장치(PCS) 기술	88.0%	2.0년	88.0%	2.0년	90.0%	1.5년	100%	0.0년	94.0%	1.0년
PV 관련 성능시험·평가기술	86.0%	2.0년	85.0%	2.0년	90.0%	1.0년	100%	0.0년	97.0%	0.5년

출처: 녹색기술센터, 2020년 기후기술 수준조사, 2020

태양광 분야의 기술격차 해소방안으로는 전체적으로 재정이 1순위이며 성과확산, 인프라, 국내 협력, 교육, 법/제도, 국제협력 순으로 분석되었다.

<표 47> 태양광 분야의 기술격차 해소방안

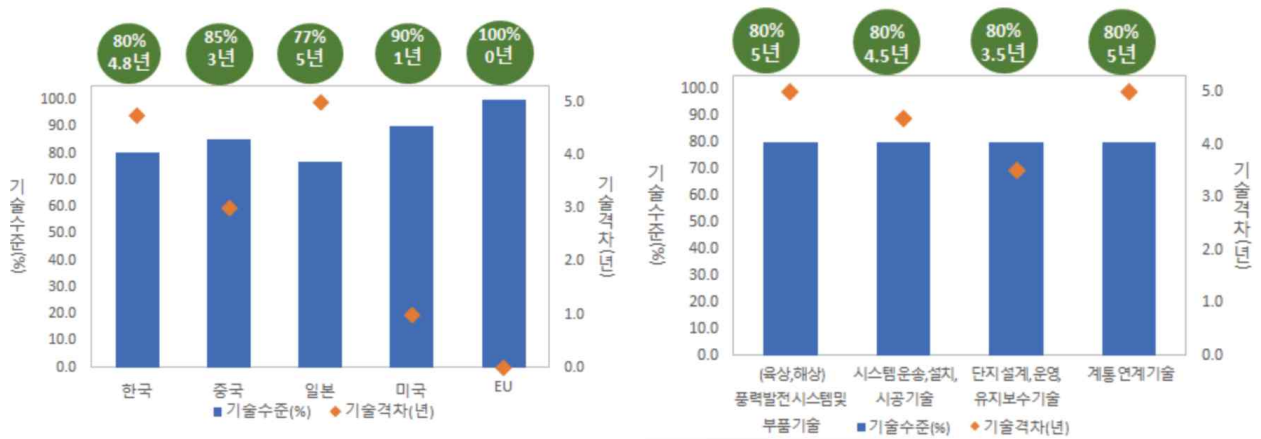
순위	태양광 분야 전체	결정질실리콘 태양전지 기술	차세대 태양전지 기술	태양광발전(pv) 모듈 및 건물일체형 태양광발전(BIPV) 관련 기술	PV용 전력변환장치(PCS) 기술	PV 관련 성능시험·평가기술
1순위	재정	재정	재정	재정	재정	재정
2순위	성과확산	성과확산	성과확산	국내협력	성과확산	인프라
3순위	인프라	국내협력	국내협력	인프라	교육	교육
4순위	국내협력	인프라	인프라	성과확산	국내협력	성과확산
5순위	교육	교육	교육	법/제도	인프라	국제협력
6순위	법/제도	법/제도	법/제도	교육	법/제도	법/제도
7순위	국제협력	국제협력	국제협력	국제협력	국제협력	국내협력

출처: 녹색기술센터, 2020년 기후기술 수준조사, 2020

## □ 풍력 분야 기후기술 수준 조사 결과

풍력 분야\*는 EU(100%), 미국(90.0%, 1.0년), 중국(85.0%, 3.0년), 한국(80.0%, 4.8년), 일본(77.0%, 5.0년) 순으로 나타났으며 그 중 한국은 최고기술 보유국(EU) 대비 80%로 4.8년의 기술격차로 평가되었다.

※ 풍력 분야 기술 정의 : 바람의 운동에너지를 회전 날개에서 흡수, 기계적 에너지로 변환하여 전력을 생산하는 발전기술이다.



출처: 녹색기술센터, 2020년 기후기술 수준조사, 2020

[그림 76] 풍력 분야 기술수준 및 기술격차

- 풍력발전 시스템, 부품 기술 : 최고기술 보유국(EU) 대비 80%로 5.0년의 기술격차가 존재한다.
- 시스템 운송, 설치, 시공 기술 : 최고기술 보유국(EU) 대비 80%로 5.0년의 기술격차가 존재한다.
- 단지 설계, 운영, 유지보수 기술 : 최고기술 보유국(EU) 대비 80%로 3.5년의 기술격차가 존재한다.
- 계통 연계 기술 : 최고기술 보유국(EU) 대비 80%로 5.0년의 기술격차가 존재한다.



<표 48> 풍력 분야 세부기술별 주요 5개국의 기술수준 및 기술격차

세부기술	한국		중국		일본		미국		EU	
	기술 수준 (%)	기술 격차 (년)	기술 수준 (%)	기술 격차 (년)	기술 수준 (%)	기술 격차 (년)	기술 수준 (%)	기술 격차 (년)	기술 수준 (%)	기술 격차 (년)
풍력발전 시스템 및 부품 기술	80.0%	5.0년	82.5%	3.0년	75.0%	5.0년	92.5%	1.0년	100%	0.0년
시스템 운송, 설치, 시공 기술	80.0%	4.5년	85.0%	3.0년	77.0%	5.0년	90.0%	1.0년	100%	0.0년
단지 설계, 운영, 유지보수 기술	80.0%	3.5년	88.0%	2.0년	79.0%	4.5년	92.5%	1.0년	100%	0.0년
계통 연계 기술	80.0%	5.0년	80.0%	3.0년	78.0%	5.0년	90.0%	1.0년	100%	0.0년

출처: 녹색기술센터, 2020년 기후기술 수준조사, 2020

풍력 분야의 기술격차 해소방안으로는 전체적으로 재정이 1순위이며 법/제도, 성과확산, 인프라, 국내 협력, 국제협력 순으로 분석되었다.

<표 49> 풍력 분야의 기술격차 해소방안

순위	풍력 분야 전체	풍력발전 시스템 및 부품 기술	시스템 운송, 설치, 시공 기술	단지 설계, 운영, 유지보수 기술	계통 연계 기술
1순위	재정	재정	재정	재정	재정
2순위	법/제도	법/제도	성과확산	법/제도	법/제도
3순위	성과확산	성과확산	법/제도	성과확산	성과확산
4순위	인프라	인프라	교육	인프라	인프라
5순위	교육	교육	인프라	교육	교육
6순위	국내협력	국내협력	국내협력	국내협력	국내협력
7순위	국제협력	국제협력	국제협력	국제협력	국제협력

출처: 녹색기술센터, 2020년 기후기술 수준조사, 2020

### 2.3.3.2 기술수준평가(에너지·자원) 측면의 국내외 기술 수준 비교 분석

#### □ 기술수준평가 개요

한국과학기술기획평가원(KISTEP)은 과학기술기본법 제14조 2항 및 과학기술기본법 시행령 제24조 2항에 근거하여 2년마다 국가중점기술에 대한 현황 및 발전 추이를 파악하고 과학기술 정책의 성과를 점검하기 위해 「제4차 과학기술기본계획(’18~’22)」상의 120개 중점과학기술에 대한 기술수준평가를 실시하였다.

<표 50> 한국과학기술기획평가원 기술수준평가 추진 근거

법	설명
과학기술기본법 제14조	② 정부는 과학기술의 발전을 촉진하기 위하여 국가적으로 중요한 핵심기술에 대한 기술수준을 평가하고 해당 기술수준의 향상을 위한 시책을 세우고 추진하여야 한다.
과학기술기본법 시행령 제24조(기술수준평가)	② 과학기술정보통신부장관은 법 제14조제2항에 따라 관계 중앙행정기관의 장과의 협의를 거쳐 소관 분야에 대한 기술수준평가를 2년마다 실시하여야 하고, 그 결과를 국가과학기술자문회의에 보고하여야 한다.

출처: 한국과학기술기획평가원(KISTEP), 2020년 기술수준조사, 2020

<표 51> 한국과학기술기획평가원 기술수준평가 개요

연구 내용	
대상	「제4차 과학기술기본계획('18~'22)」 상의 120개 중점과학기술
내용	120개 중점과학기술별 주요 5개국(한국, 중국, 일본, EU, 미국)의 기술수준(%) 및 기술격차(년)를 평가한다.
추진 방법	(정성평가) 평가 전문가(1,200명) 대상 2-라운드 온라인 델파이 조사를 통해 기술별 기술수준(%) 및 격차(년) 등 분석한다. * 산·학·연 비율을 고려하여 120개 중점과학기술별로 10명씩 선발 (정량분석) 논문·특허의 활동 추이와 기술력 측정 지표 및 포트폴리오 분석을 진행하여 대상 기술의 기술현황을 분석·도출한다.

출처: 한국과학기술기획평가원(KISTEP), 2020년 기술수준조사 재구성, 2020

## □ 태양광 발전 분야 기술수준평가 결과(고효율 태양전지 기술)

한국의 고효율 태양전지 기술 분야\* 기술 수준은 선도국(EU) 대비 90%로 1.0년의 격차 수준을 보이며 추격 국가로 나타났다.

※ 고효율 태양전지 기술 중점과학기술 개요

- 태양전지 상용화를 위하여 대량생산이 가능한 혁신적 제조 공정 기술
- 실리콘 웨이퍼를 사용하여 태양에너지를 직접 전기에너지로 전환하는 실리콘 태양전지 기술의 가격 경쟁력 확보를 위하여, 실리콘 사용량을 축소하고 핵심소재를 절감할 수 있는 기술 포함한다.
- 친환경 도시 맞춤형 차세대 건물 태양광 발전 기술 포함한다.
- 유기 태양전지, 나노 기반 태양전지, 화합물 박막 태양전지 등 차세대 고효율 태양전지 기술 포함한다.

<표 52> 고효율 태양전지 기술 분야 주요국 기술수준, 연구단계 역량 및 연구개발 활동경향

국가	기술수준			연구단계 역량		연구개발 활동경향 (점수***)
	수준(%)	격차(년)	그룹 (점수*)	기초 (점수**)	응용개발 (점수**)	
한국	90.0	1.0	추격(3.20)	우수(4.00)	우수(3.80)	상승(3.10)
중국	87.5	1.8	추격(3.10)	우수(3.70)	우수(3.90)	상승(3.00)
일본	97.5	0.3	선도(3.90)	우수(4.10)	우수(3.90)	유지(2.40)
EU	100.0	0.0	최고(3.80)	탁월(4.80)	탁월(4.70)	유지(2.20)
미국	93.0	0.5	선도(3.60)	우수(4.40)	우수(3.90)	유지(2.20)

출처: 한국과학기술기획평가원(KISTEP), 2020년 기술수준조사, 2020

\* 기술수준 그룹(4그룹)을 선도/최고(4점), 추격(3점), 후발(2점), 낙후(1점)로 하여 평균값을 계산하였다.

\*\* 연구단계별 역량 구간(5구간)을 탁월(5점), 우수(4점), 보통(3점), 미흡(2점), 부족(1점)으로 하여 평균값을 계산했다.

\*\*\* 연구개발 활동경향 구간(4구간)을 급상승(4점), 상승(3점), 유지(2점), 하강(1점)으로 하여 평균값을 계산했다.

5개 활동력 지표 중 중국이 3개의 지표에서 1위를 차지하고 있으며 한국은 모든 지표에서 2~4위 차지하였다.

<표 53> 고효율 태양전지 기술 분야 선도국 대비 국내 활동력

	논문 점유율	특허 점유율	논문 증가율*	특허 증가율**	해외출원도
선도국	EU	중국	중국	중국	EU
	32.9%	42.1%	311.6%	61.7%	6.1
한국	4위	2위	2위	2위	4위
	10.2%	24.4%	99.7%	-16.8%	2.2
5개국 평균***	-	-	123.1%	-7.2%	2.2

출처: 한국과학기술기획평가원(KISTEP), 2020년 기술수준조사, 2020

\* 논문 증가율은 과거구간('08~'13년), 최근구간('14~'19년)으로 나누어 분석했다.

\*\* 특허 증가율은 미공개구간을 제외하여 과거구간('08~'12년), 최근구간('13~'17년)으로 나누어 분석했다.

\*\*\* 논문 점유율 및 특허 점유율의 5개국 평균값은 모두 20%로 계산되기 때문에 5개국 평균값의 기재를 생략했다.

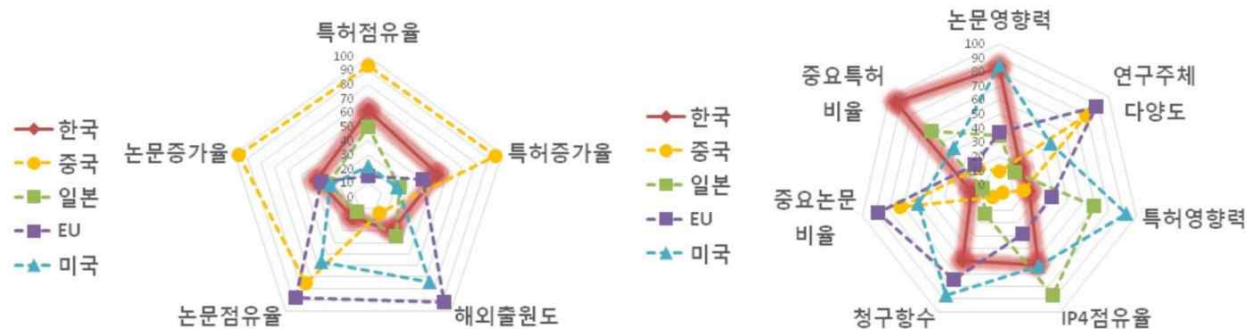
7개 기술력 지표 중 미국이 3개의 지표에서 1위를 차지하고 있으며 한국은 중요특허 비율에서 1위를 차지하고 있고 나머지 지표에서 2~4위를 차지하였다.

<표 54> 고효율 태양전지 기술 분야 선도국 대비 국내 기술력

	논문 영향력	특허 영향력	중요논문 비율	중요특허 비율	연구주체 다양도	IP4 점유율	특허 청구항수
선도국	미국	미국	EU	한국	EU	일본	미국
	33.1	7.7	33.8%	38.2%	0.94	30.8%	16.6
한국	2위	4위	4위	1위	4위	3위	3위
	32.8	2.8	10.5%	38.2%	0.80	23.0%	12.9
5개국 평균*	24.8	5.5	-	-	0.89	-	10.1

출처: 한국과학기술기획평가원(KISTEP), 2020년 기술수준조사, 2020

\* 중요논문 비율, 중요특허 비율 및 IP4 점유율의 5개국 평균값은 모두 20%로 계산되기 때문에 5개국 평균값의 기재를 생략했다.



출처: 한국과학기술기획평가원(KISTEP), 2020년 기술수준조사, 2020

[그림 77] 고효율 태양전지 기술 분야 활동력 및 기술력  
(좌) 활동력 (우) 기술력

### □ 풍력발전 분야 기술수준평가 결과

한국의 풍력발전 기술 분야\* 기술 수준은 선도국(EU) 대비 75%로 5.0년의 격차 수준을 보이며 기술수준은 추격 그룹으로 나타났고, 연구단계 역량은 보통으로, 연구개발 활동경향은 상승 구간에 포함되었다.

※ 풍력 중점과학기술 개요

- 바람의 운동에너지를 기계적 운동을 거쳐 전기에너지로 변환하는 기술로 블레이드, 축구동계, 전력변환계로 구성된다.
- 블레이드 : 바람의 운동에너지를 회전운동으로 변환, 축구동계 : 블레이드의 회전운동을 전력으로 변환, 전력변환계 : 회전운동을 전기에너지로 변환한다.
- 풍력발전에 대한 주민 수용성을 대폭 강화한 단지설계 및 운영기술 포함한다.

<표 55> 풍력발전 기술 분야 주요국 기술수준, 연구단계 역량 및 연구개발 활동경향

국가	기술수준			연구단계 역량		연구개발 활동경향 (점수***)
	수준(%)	격차(년)	그룹 (점수*)	기초 (점수**)	응용개발 (점수**)	
한국	75.0	5.0	추격(2.70)	보통(2.60)	보통(3.30)	상승(2.80)
중국	80.0	3.3	추격(3.00)	우수(3.50)	우수(4.00)	상승(2.80)
일본	76.5	4.0	추격(2.60)	우수(3.50)	보통(3.30)	유지(2.40)
EU	100.0	0.0	최고(4.00)	탁월(5.00)	탁월(5.00)	상승(3.10)
미국	90.0	1.0	선도(3.70)	탁월(4.80)	우수(4.40)	상승(3.00)

출처: 한국과학기술기획평가원(KISTEP), 2020년 기술수준조사, 2020

\* 기술수준 그룹(4그룹)을 선도/최고(4점), 추격(3점), 후발(2점), 낙후(1점)로 하여 평균값을 계산한다.

\*\* 연구단계별 역량 구간(5구간)을 탁월(5점), 우수(4점), 보통(3점), 미흡(2점), 부족(1점)으로 하여 평균값을 계산한다.

\*\*\* 연구개발 활동경향 구간(4구간)을 급상승(4점), 상승(3점), 유지(2점), 하강(1점)으로 하여 평균값을 계산한다.

5개 활동력 지표 중 중국이 3개의 지표에서 1위를 차지하고 있으며 한국은 논문 증가율에서 1위를 차지하였다.

<표 56> 풍력발전 기술 분야 선도국 대비 국내 활동력

	논문 점유율	특허 점유율	논문 증가율*	특허 증가율**	해외출원도
선도국	중국	중국	한국	중국	EU
	41.7%	46.8%	339.1%	75.4%	8.1
한국	4위	2위	1위	3위	4위
	3.8%	27.9%	339.1%	-26.0%	1.4
5개국 평균***	-	-	215.9%	11.3%	2.2

출처: 한국과학기술기획평가원(KISTEP), 2020년 기술수준조사, 2020

\* 논문 증가율은 과거구간('08~'13년), 최근구간('14~'19년)으로 나누어 분석한다.

\*\* 특허 증가율은 미공개구간을 제외하여 과거구간('08~'12년), 최근구간('13~'17년)으로 나누어 분석한다.

\*\*\* 논문 점유율 및 특허 점유율의 5개국 평균값은 모두 20%로 계산되기 때문에 5개국 평균값의 기재를 생략한다.

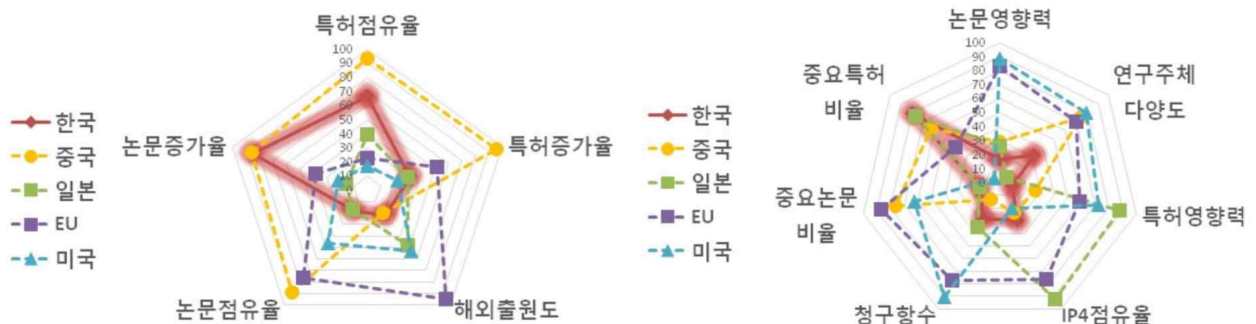
7개 기술력 지표 중 미국이 3개의 지표에서 1위를 차지하고 있으며 한국은 중요특허 비율에서 1위를 차지하였다.

<표 57> 풍력발전 기술 분야 선도국 대비 국내 기술력

	논문 영향력	특허 영향력	중요논문 비율	중요특허 비율	연구주체 다양도	IP4 점유율	특허 청구항수
선도국	미국	일본	EU	한국	미국	일본	미국
	9.8	7.0	38.2%	27.2%	0.91	45.2%	14.8
한국	5위	5위	4위	1위	4위	3위	4위
	3.8	0.8	2.6%	27.2%	0.81	10.2%	8.3
5개국 평균*	7.2	5.1	-	-	0.89	-	8.3

출처: 한국과학기술기획평가원(KISTEP), 2020년 기술수준조사, 2020

\* 중요논문 비율, 중요특허 비율 및 IP4 점유율의 5개국 평균값은 모두 20%로 계산되기 때문에 5개국 평균값의 기재를 생략한다.



출처: 한국과학기술기획평가원(KISTEP), 2020년 기술수준조사, 2020

[그림 78] 풍력발전 기술 분야 활동력 및 기술력  
(좌) 활동력 (우) 기술력

## 2.3.4. 시사점

### □ 태양광 발전 분야

중국 정부의 대규모 연구개발 지원으로 결정질 실리콘 태양전지 기술의 상업용 기술이 전 세계 생산 규모의 95%를 점유하고 있으나 기술적 측면에서는 선도그룹에 속하지 않는다고 판단된다.<sup>103)</sup>

한국은 주요 5개국 중 선도국 미국 대비 88%, 1.5년의 기술격차가 존재하며 그 중 차세대 태양전지 기술은 선도국 미국 대비 90%, 1.5년의 기술격차로 세부기술 중 가장 높은 기술 수준을 보인다. 태양광 분야의 기술격차 해소방안으로는 재정이 1순위로 집중투자가 필요하며 국제협력이 가장 낮은 순위로 나타나 국내 독자 개발에 힘써야 한다. 또한, 태양광 분야 특허 출원은 활발하나 충분한 특허기술력을 확보하지 못하여 집중 분야에 속하므로 기술개발에 투자할 필요가 있다.

### □ 풍력 발전 분야

일본은 정부 주도로 투자가 증가하여 풍력 발전 분야의 기술개발이 활발히 이루어지고 있으나 사업실적은 미미하며 시장이 미흡하여 전문인력 확보가 미흡하고 요소 부품 수입 의존도가 높다는 한계가 존재한다.<sup>104)</sup>

한국은 주요 5개국 중 선도국 EU 대비 80%, 4.8년의 기술격차가 존재하며 그중 단지 설계, 운영, 유지보수 기술은 선도국 EU 대비 80%, 3.5년의 기술격차로 세부기술 중 가장 높은 기술 수준을 보인다. 풍력 분야의 기술격차 해소방안으로는 재정, 법/제도가 상위 순위로 정책 보완 및 투자가 필요하다. 또한, 풍력 분야 아직 상대적 특허기술력도 낮고, 활동도도 낮은 관망 분야에 속하므로 연구개발 투자가 필요하며 내수시장 기반을 확보하기 위한 노력이 필요하다.

## 3. 태양광 · 풍력 발전단지 현황 조사 · 분석

### 3.1 태양광 발전단지 현황 조사

한국환경정책 · 평가 연구원에 따르면 2004년 1월부터 2018년 8월까지의 환경평가 대상 육상태양광 발전사업 지역 분포는 그림 79와 같으며 주로 서해안과 전남 목포, 경남 진주, 충남 서산 지역 등에 위치해 있다. 지역별로 보면 전남이 34.5%로 사업 건수가 가장 많고, 전북 20.4%, 경북 13.3%, 충남 12.4% 순으로 호남권에 집중적으로 분포되어 있다.

103) 녹색기술센터, 2020년 기후기술 수준조사, 2020

104) 녹색기술센터, 2020년 기후기술 수준조사, 2020



출처: 한국환경정책·평가연구원, KEI 포커스-육상태양광 발전사업의 환경평가 현황과 환경적 수용성, 2019

[그림 79] 환경평가 대상 육상태양광 발전사업의 지역 분포(2004.01~2018.08)

<표 58> 지역별 육상태양광 발전사업 협의 실적 및 개발 면적

지역	협의 실적(사업 건수)		개발 면적(ha)		평균 개발 면적(ha/건)
	건수	비율(%)	면적	비율(%)	
강원	290	(6.5%)	815	(7.8%)	2.8
경기	93	(2.1%)	217	(2.1%)	2.3
경남	289	(6.5%)	611	(5.9%)	2.1
경북	593	(13.3%)	1,577	(15.2%)	2.6
전남	1,534	(34.5%)	3,701	(35.6%)	2.4
전북	905	(20.4%)	1,608	(15.5%)	1.8
충남	551	(12.4%)	1,421	(13.7%)	2.6
충북	178	(4.0%)	430	(4.1%)	2.4
광역·특별시	10	(0.2%)	19	(0.2%)	1.9
합계	4,443	(100.0%)	10,400	(100.0%)	2.3

출처: 한국환경정책·평가연구원, KEI 포커스-육상태양광 발전사업의 환경평가 현황과 환경적 수용성, 2019

\* 제주도 1건과 개발 면적 정보가 누락된 2004년도 사업 1건 제외된 수치

재생에너지 클라우드 플랫폼에 따르면 지역별 태양광 발전소는 2020년 기준 전라북도가 18,668개소, 전라남도 12,115개소, 충청남도 9,941개소 순으로 호남권에 집중적으로 분포되어 있다. 설비용량은 전남이 1위, 전북 2위, 충남 3위 순이다.

<표 59> 지역별 태양광 발전소 설치 현황 및 설비 용량

구분	2017년까지 설치발전소 개소	2018년 설치발전소 개소	2019년 설치발전소 개소	2020년 설치발전소 개소	누적 발전소 개소 (2020년까지)	2020년 설비용량 (MW)
서울특별시	249	72	74	53	448	488
부산광역시	176	59	92	98	425	1235
대구광역시	151	60	175	156	542	903
인천광역시	208	85	162	112	567	915
광주광역시	512	156	237	192	1,097	2128
대전광역시	135	66	70	77	348	355
울산광역시	77	36	70	94	277	584
세종특별자치시	101	47	78	55	281	522
경기도	1,801	1,020	1,858	1,705	6,384	9023
강원도	1,455	865	1,325	1,545	5,190	11100
충청북도	1,637	507	1,597	2,015	5,756	7969
충청남도	2,840	1,134	2,511	3,456	9,941	19034
전라북도	6,899	2,142	3,821	5,806	18,668	25068
전라남도	4,877	1,182	2,352	3,704	12,115	29397
경상북도	2,445	1,079	2,155	3,013	8,692	16445
경상남도	1,485	678	1,433	1,538	5,134	9551
제주특별자치도	408	182	255	298	1,143	3730

출처: 재생에너지 클라우드플랫폼 재구성, [https://recloud.energy.or.kr/present/sub3\\_1\\_1.do](https://recloud.energy.or.kr/present/sub3_1_1.do), 검색일 : 2022-03-02

\* 설비확인이 2020.12월까지 완료된 발전소 대상 계산된 통계

\*\* RPS사업 태양광 발전소 기준 자료(연도 구분은 설치확인 일자 기준)

태양광 발전량은 전남 2,402.9MW, 전북 2,052.9MW, 충남 1,571.8MW, 경북 1,348.5MW 순으로 전남 지역에서 발전 용량이 높게 나타나지만, 발전소는 전북이 전남보다 많은 것으로 나타났다.





<표 60> 최근 5년간 발전회사별 태양광 발전설비용량

(단위: kW)

	2016	2017	2018	2019	2020
한국전력(주)	505	545	573	723	723
한수원(주)	15,961	21,107	21,366	26,420	42,844
남동발전(주)	18,665	32,427	32,996	33,045	33,922
중부발전(주)	10,873	12,045	12,372	15,008	15,008
서부발전(주)	26,875	33,262	46,060	47,105	48,099
남부발전(주)	6,260	6,260	17,080	23,365	26,116
동서발전(주)	10,483	13,885	20,207	24,196	48,811
포스코에너지(주)	16,469	16,469	16,469	16,469	14,469
GS EPS(주)	334	334	334	334	334
지역난방공사	1,347	1,347	1,347	1,347	2,421
동두천드림파워(주)	1,862	1,862	1,862	1,862	1,862
포천파워(주)	664	664	664	664	664
GS 파워(주)	-	-	996	-	4,017
수자원공사	10,450	11,872	15,105	14,967	14,927
(주)GS동해전력	-	2,995	2,995	2,995	5,101
SK E&S(주)	5,830	5,830	-	-	-
기타	3,589,741	4,901,407	6,939,435	10,296,604	14,315,474
소계	3,716,319	5,062,309	7,129,860	10,505,103	14,574,793

출처: KOSIS 발전회사별 발전설비용량,

[https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=388&tblId=TX\\_38803\\_A000A](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=388&tblId=TX_38803_A000A), 검색일 : 2022-03-02

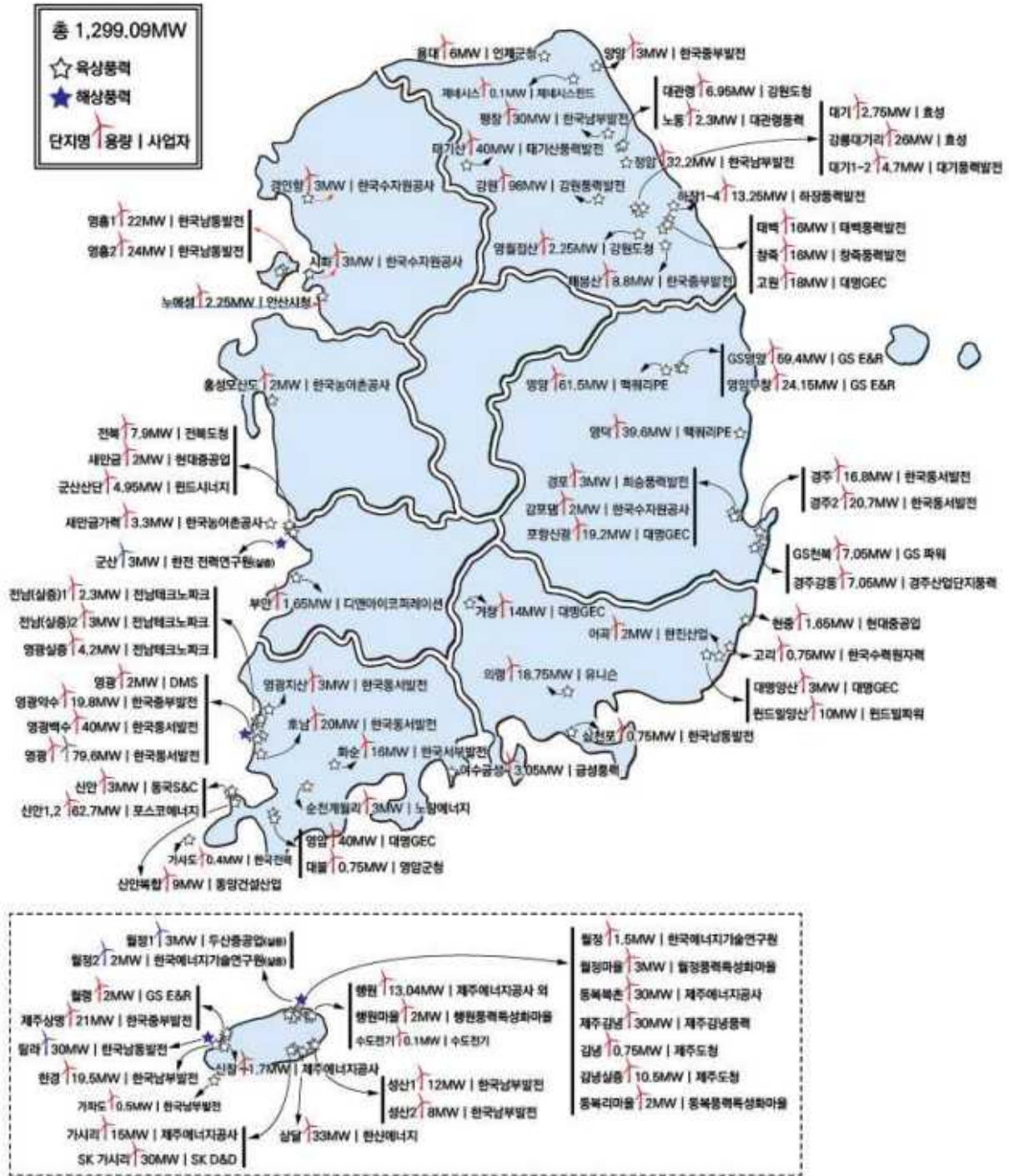
### 3.2 풍력 발전단지 현황 조사

한국풍력산업협회에서 발간한 2018 Annual Report를 한국에너지공단에서 재구성한 자료에 따르면 2018년 기준으로 국내 풍력 발전단지는 98개소, 설치용량은 1,299.09MW(635기)이고, 지역별 풍력단지 점유율은 강원도가 25.12%, 전라남도 24.00%, 제주도 20.83% 순으로 분포되어 있다. 국내 주요 풍력단지로는 강원, 영양, GS영양 순으로 국내 최대 풍력발전소인 강원 발전소에서 98,000MW의 단지 용량을 운영 중이다.

<표 61> 국내 지역별 풍력 설비용량 및 점유율

번호	지역	사업자수	단지수	설치기수	설비용량	점유율
1	강원도	12개사	24개소	171기	326,300kW	25.12%
2	전라남도	13개사	20개소	138기	311,800kW	24.00%
3	제주도	16개사	23개소	120기	270,590kW	20.83%
4	경상북도	8개사	11개소	121기	260,450kW	20.05%
5	경기도/인천	4개사	5개소	24기	54,250kW	4.18%
6	경상남도	5개사	6개소	40기	48,500kW	3.73%
7	전라북도	6개사	6개소	18기	22,800kW	1.75%
8	충청남도	1개사	1개소	1기	2,000kW	0.15%
9	울산	1개사	1개소	1기	1,650kW	0.13%
10	부산	1개사	1개소	1기	750kW	0.06%
계		-	98개소	635기	1,299,090kW	100%

출처: 한국풍력산업협회, 2018 Annual Report, 2019



출처: 한국풍력산업협회, 2018 Annual Report, 2019

[그림 81] 국내 풍력발전단지 현황

<표 62> 국내 주요 풍력단지 현황

번호	단지명	대수	단지용량(MW)	설치위치	준공일자
1	강원	49	98,000	강원도 평창군	2006.09
2	영양	41	61,500	경상북도 영덕군	2008.12
3	GS영양	18	59,400	경상북도 영양군	2015.08
4	울진현종산	15	53,000	경상북도 울진군	2019.03
5	영광(육상)	20	45,100	전라남도 영광군	2019.01
6	태기산	20	40,000	강원도 횡성군	2008.10
7	대명 영암	20	40,000	전라남도 영암군	2013.12
8	영광백수	20	40,000	전라남도 영광군	2015.05
9	영덕	24	39,600	경상북도 영덕군	2006.10
10	영광(해상)	15	34,500	전라남도 영광군	2019.01

출처: 한국풍력산업협회, 2018 Annual Report 재구성, 2019

국내 풍력발전은 민간발전사가 54.3%, 발전 자회사가 35.4%, 기타 7.3%, 지자체 3.0% 순으로 점유율을 차지하며, 사업자별로는 한국동서발전이 6개소 풍력단지를 운영 중이며 13.86%로 가장 많은 점유율을 보인다.

<표 63> 사업자별 설비용량 및 점유율

NO	사업자	단지수	설치기수	설치용량	점유율
1	민간발전사	45개소	334기	704,900kW	54.3%
2	발전자회사	24개소	208기	460,400kW	35.4%
3	기타*	21개소	62기	94,190kW	7.3%
4	지자체	10개소	31기	39,600kW	3.0%
계		100개소**	635기	1,299,090kW	100%

출처: 한국풍력산업협회, 2018 Annual Report, 2019

\* 기타 : 공사, 연구원, 학교, 특성화마을 등

\*\* 제주도 행원풍력단지의 경우 단지 내 사업자(제주에너지공사, 제주대학교, 제주도청)가 나누어져있어 중복 집계

<표 64> 사업자별 설비용량 및 점유율(총괄현황)

NO	사업자	단지수	설치기수	설치용량	점유율	비고
1	한국동서발전	6개소	82기	180,100kW	13.86%	발전자회사
2	한국남부발전	8개소	65기	134,200kW	10.33%	발전자회사
3	맥쿼리PE	2개소	65기	101,100kW	7.78%	민간발전사
4	강원풍력발전	1개소	49기	98,000kW	7.54%	민간발전사
5	대명GEC	5개소	41기	94,200kW	7.25%	민간발전사
6	GS E&R	3개소	26기	85,550kW	6.59%	민간발전사
7	한국남동발전	4개소	28기	76,750kW	5.91%	발전자회사
8	포스코에너지	3개소	20기	62,700kW	4.83%	민간발전사
9	제주에너지공사	5개소	40기	56,830kW	4.37%	기타(공사)
10	한국중부발전	4개소	24기	52,600kW	4.05%	발전자회사
11	태기산풍력발전	1개소	20기	40,000kW	3.08%	민간발전사
12	한신에너지	1개소	11기	33,000kW	2.54%	민간발전사
13	SK D&D	1개소	10기	30,000kW	2.31%	민간발전사
14	제주김녕풍력발전	1개소	10기	30,000kW	2.31%	민간발전사

15	효성	2개소	15기	28,750kW	2.21%	민간발전사
16	유니슨	1개소	25기	18,750kW	1.44%	민간발전사
17	한국서부발전	1개소	8기	16,000kW	1.23%	발전자회사
18	제주도청	2개소	3기	13,500kW	1.04%	지자체
19	하장풍력발전	4개소	7기	13,250kW	1.02%	민간발전사
20	윈드밀파워	1개소	4기	10,000kW	0.77%	민간발전사
21	전남테크노파크	3개소	3기	9,500kW	0.73%	기타(TP)
22	강원도청	4개소	7기	9,200kW	0.71%	지자체
23	동양건설산업	1개소	3기	9,000kW	0.69%	민간발전사
24	한국수자원공사	3개소	5기	8,000kW	0.62%	기타(공사)
25	전북도청	1개소	10기	7,900kW	0.61%	자자체
26	GS 파워	1개소	3기	7,050kW	0.54%	민간발전사
27	경주산업단지풍력발전	1개소	3기	7,050kW	0.54%	민간발전사
28	인제군청	1개소	7기	6,000kW	0.46%	지자체
29	한국농어촌공사	2개소	3기	5,300kW	0.41%	기타(공사)
30	윈드시너지	1개소	3기	4,950kW	0.38%	민간발전사
31	대기풍력발전	2개소	2기	4,700kW	0.36%	민간발전사
32	현대중공업	2개소	2기	3,650kW	0.28%	민간발전사
33	한국에너지기술연구원	2개소	2기	3,500kW	0.27%	기타(연구원)
34	금성풍력발전	1개소	2기	3,050kW	0.23%	민간발전사
35	노랑에너지	1개소	1기	3,000kW	0.23%	민간발전사
36	동국S&C	1개소	3기	3,000kW	0.23%	민간발전사
37	두산중공업	1개소	1기	3,000kW	0.23%	민간발전사
38	월정풍력특성화마을	1개소	1기	3,000kW	0.23%	기타(마을)
39	한전 전력연구원	1개소	1기	3,000kW	0.23%	기타(연구원)
40	희승풍력발전	1개소	2기	3,000kW	0.23%	민간발전사
41	대관령풍력	1개소	1기	2,300kW	0.18%	민간발전사
42	안산시청	1개소	3기	2,250kW	0.17%	지자체
43	DMS	1개소	1기	2,000kW	0.15%	민간발전사
44	동북리풍력특성화마을	1개소	1기	2,000kW	0.15%	기타(마을)
45	한진산업	1개소	1기	2,000kW	0.15%	민간발전사
46	행원풍력특성화마을	1개소	1기	2,000kW	0.15%	기타(마을)
47	디엔아이코퍼레이션	1개소	1기	1,650kW	0.13%	민간발전사
48	영암군청	1개소	1기	750kW	0.06%	지자체
49	한국수력원자력	1개소	1기	750kW	0.06%	발전자회사
40	제주대학교 산학협력단	1개소	1기	660kW	0.05%	기타(학교)
51	한국전력공사	1개소	4기	400kW	0.03%	기타(공사)
52	수도전기	1개소	1기	100kW	0.01%	민간발전사
53	제네시스윈드	1개소	1기	100kW	0.01%	민간발전사
계		100개소*	635기	1,299,090kW	100%	-

출처: 한국풍력산업협회, 2018 Annual Report, 2019

\* 제주도 행원풍력단지의 경우 단지 내 사업자(제주에너지공사, 제주대학교, 제주도청)가 나누어져있어 중복 집계

2020년도 현재 운영 중인 풍력 발전기 중 국산 발전기는 총 370기, 761.95MW로 전체의 46.4%를 차지하며, 국내 풍력 발전기 제조사는 유니슨, 두산중공업, 현대중공업, 한진산업, 효성, 대우조선해양, 삼성중공업, STX중공업, DMS, 제네시스에너지 등이 있다.<sup>105)</sup>

105) 한국풍력산업협회, 2016~2020년 국산 및 외산 풍력발전기 설치비율(누적)

### 3.2.1 1MW 이상 발전기의 기상관측장비 실제 도입 및 운영 현황

2018년, 산업부의 신재생 발전사업 허가기준 고시개정에 따라 풍력발전사업자는 발전사업허가 신청시 1년 이상의 풍황자원 계측 결과를 제출해야 한다. 이후 재생에너지 발전량 예측제도 도입에 따라 20MW 이상 태양광·풍력발전사업자 또는 1MW 이하 태양광·풍력을 20MW 이상 모집한 집합전력자원 운영자는 발전량 예측제도 참여를 위한 발전소 내 기상관측정보를 수집·제공할 필요성이 대두되었다.

#### □ 풍력발전소 기상관측장비 현황

전력거래소의 발전소 건설사업 추진현황에 따르면 2016년 2분기~2021년 4분기 내의 건설 중인 발전소의 기상관측장비 현황은 다음과 같다.

<표 65> 풍력발전소 기상관측장비 현황

NO	발전소명	발전회사	위치	용량	제작사	기상관측장비
1	고군산풍력	리미트솔라(주)	전라북도 군산시 옥도면 관리도, 방축도, 황경도 일원	99MW	두산중공업, GE	기상탑 설치('19.11)
2	신안어의 해상풍력 발전소	신안어의 풍력발전(주)	전라남도 신안군 지도읍 어의리 어의도 해상일원(북북서)	99MW	유니슨	기상탑 설치 및 풍황계측 실시('19.09)
3	천사어의 해상풍력 발전소	천사어의 풍력발전(주)	전라남도 신안군 지도읍 어의리 어의도 해상일원(북북동)	99MW	유니슨	기상탑 설치 및 풍황계측 실시('19.09)
4	삼척오두 풍력	한국동서발전(주)	강원도 정선군 화암면 건천리, 호촌리, 백전리, 삼척시 하장면 토산리, 갈전리, 추동리, 둔전리, 역둔리, 공전리 일원	99MW	미정	풍황계측기 설치('12.08)
5	정선임계 풍력	한국동서발전(주)	강원도 삼척시 하장면 중봉리 산1, 갈전리 산1, 정선군 임계면 용산리 산160-1, 도전리 산 64, 문래리 산1, 낙천리 산50번지 일원	99MW	미정	풍황계측기 설치('10.05)
6	포항스마일 풍력	한국동서발전(주)	경북 포항시 북구 죽장면 상옥리 산 20, 산15-1, 산15-2, 기북면 성법리 산1, 산2, 신평면 마북리 산2-1, 산12번지 일원	63MW	미정	풍황계측기 설치('11.07)
7	삼척도계 풍력	비에스에너지(주)	강원도 삼척시 도계읍 상덕리 산1-2번지 일원	42MW	미정	풍황계측 데이터 수집('18.02)
8	삼척철마 풍력	비에스에너지(주)	강원도 삼척시 원덕읍 기곡리 산170번지	50.4MW	GE	풍황계측기 설치('17.12) 풍황계측

						데이터 수집('17.09)
9	울진길곡 풍력	(주)부선	경상북도 울진군 매화면 길곡리 산1번지	99.2MW	미정	풍황계측 데이터 수집('16.12)
10	태백가덕산 풍력발전소	태백가덕산풍력발전(주)	강원도 태백시 원동 산13-1, 산97번지	43.2MW	Vestas	풍황계측기 설치('11.06)
11	영일풍력 발전소	(주)영일신재생 에너지	경상북도 포항시 남구 오천읍 갈평리 산272번지, 진전리 산 127번지 일원	90.1MW	미정	풍황자원 계측 진행 중('19.08~)
12	고성하일 풍력 발전소	지에스 이피에스(주)	경남 고성군 하일면 학림리 산 116번지 일원	33MW	미정	풍황계측기 설치('17.12)
13	해남 공항해상 풍력발전	공항해상풍력 발전(주)	전라남도 해남군 문내면 무고리 인근 공유수면	240MW	Vestas	풍황자원 조사(계측기 설치)('20.12)

출처: 전력거래소, 발전소 건설사업 추진현황, 2016~2021

에너지공단의 자료에 따르면, 2020년 말 기준 풍력발전 허가를 위한 풍황계측기는 총 135곳으로 설치된 것으로 확인된다.

2050 탄소중립 시나리오의 풍력 설비 용량 총 44GW를 확보하기 위해선 8800km<sup>2</sup>의 면적이 필요하며 이는 제주도 면적의 약 4.7배에 해당된다.<sup>106)</sup> 2050 탄소중립 시나리오의 태양광 설비 용량 총 464GW를 확보하기 위해선 6124km<sup>2</sup>의 면적이 필요하며 이는 서울 면적의 약 10배이며 전체 국토 면적의 6.1%에 해당된다.<sup>107)</sup> 만약, 전체 국토(2020년 12월 31일 기준 10만413km<sup>2</sup>)에 태양광을 설치하면 7607GW 설비 용량 확보가 가능하다. (전체 국토 100,413km<sup>2</sup> / 13.2km<sup>2</sup>\*)

※ 13.2km<sup>2</sup> = 태양광 1GW 당 필요한 면적

106) 조선일보, <https://www.chosun.com/national/transport-environment/2021/06/25/TVHVSBA4ZJEYLMRIPJD55FNKVA/>, 검색일 : 2022-03-22

107) 조선일보, <https://www.chosun.com/national/transport-environment/2021/06/25/GSFXHY32R5GPRJAMZUHCKJ3HPI/>, 검색일 : 2022-04-13





출처: 조선일보, 서·남해 어장 뒤덮을 풍력… 환경 평가도 없이 속도전,  
<https://www.chosun.com/national/transport-environment/2021/06/25/TVHVSBA4ZJEYLMRIPJD55FNKVA/>, 검색일 :  
 2022-03-22

[그림 82] 풍력발전 허가용 풍황계측기 설치 현황

웅진군 풍황계측기 설치 현황은 다음과 같으며 총 24개소(14개 업체)의 풍황계측기가 설치되어 있다.

<표 66> 웅진군 풍황계측기 공유수면 점·사용 허가현황

신청 업체별	기수	공유수면 점·사용허가	실시계획 승인 또는 신고	준공완료 신고	비고
(주)한국남동발전	1	신청접수('19.1) 점·사용허가고시('19.3)	실시계획변경승인(기간 연장)('19.09) 실시계획승인 고시('20.3)	준공완료 (20.11)	준공완료
씨엔아이레저산업	1	신청접수('19.1) 점·사용허가고시('19.3)	실시계획변경승인('19.09) 취소청문실시예정('20.12)		허가취소 예정
오스테드코리아	1	신청접수('19.9) 점·사용허가고시('19.11)	실시계획승인 고시('20.1)	준공완료 (20.5)	계측기운 영
	3	신청접수('20.6) 점·사용허가고시('20.8)	실시계획신고 고시('20.9)	준공완료 (20.11)	계측기운 영
케이에스파워	3	신청접수('19.10) 점·사용허가고시('19.12)	실시계획신고 고시('20.7) 실시계획 변경신고('20.11)	-	공사예정
제이씨에너지	2	신청접수('19.11) 점·사용허가고시('20.5)	-	-	실시계획 신고예정
경일종합기술공	1	신청접수('20.8)	실시계획신고	-	공사착수

사		점 • 사용허가고시('20.9)	고시('20.10)		예정
연평해상공력	1	신청접수('20.8) 점 • 사용허가협의중	연평주민 공청회 진행 보완 진행중('20.12)	-	보완보정
(주)그로우	1	신청접수('20.8) 점 • 사용허가협의중	군사훈련구역에 따른 불허가 통보('20.10)	-	불가통보
웅진풍력	1	점 • 사용허가고시('20.11)	-	-	실시계획 신고예정
	4	신청접수('20.9)-보완진행	자료 미제출에 따른 보완('20.09) 보완기간연장('21.1)		보완보정
(주)지엔코리아	1	신청접수('20.9) 점 • 사용허가고시('20.11)	-	-	실시계획 신고예정
서북해상공력	1	신청접수('20.9) 점 • 사용허가고시('20.11)	-	-	실시계획 신고예정
(주)캔디퀸즈	1	신청접수('20.9) 점 • 사용허가고시('20.11)	-	-	실시계획 신고예정
한반도 해상공력	1	신청접수('20.9) 점 • 사용허가고시('20.11)	-	-	실시계획 신고예정
인천그린풍력	1	신청접수('20.11) 점 • 사용허가고시('20.11)	보완서류 미제출에 따른 반려('20.12)	-	반려

출처: 한국뉴스, 인천 시민단체, 전력시장 우회 진입 비판 ...'오스테드'의 해상풍력발전에 강력 대응하겠다,  
<http://www.24news.kr/news/articleView.html?idxno=202327>, 검색일 : 2022-03-22

공공기관 발전소별 기상관측장비의 기상정보 제공 현황은 다음과 같다.

<표 67> 공공데이터 - 발전소 기상 정보

구분	주기	제공하는 기상 정보	발전소	출처
한국서부발전	일 2회	온도, 습도, 기압, 풍향, 풍속, 강수량	서인천	공공데이터포털, <a href="https://www.data.go.kr/data/15090251/fileData.do">https://www.data.go.kr/data/15090251/fileData.do</a> , 검색일 : 2022-03-21
	일 2회	[발전소 주변] 온도, 습도, 기압, 풍향, 풍속, 강수량	태안	공공데이터포털, <a href="https://www.data.go.kr/data/15090248/fileData.do">https://www.data.go.kr/data/15090248/fileData.do</a> , 검색일 : 2022-03-21
한국남부발전	시간별	온도, 습도, 기압, 풍향, 풍속, 강수량	부산, 남제주, 신인천, 하동	공공데이터포털, <a href="https://www.data.go.kr/data/15057071/openapi.do">https://www.data.go.kr/data/15057071/openapi.do</a> , 검색일 : 2022-03-21
	-	[급전속보] 전일실적 기상상태, 전일실적 최저온도, 전일실적 최고온도, 금일예상 기상상태, 금일예상 최저온도, 금일예상 최고온도	인천	공공데이터포털, <a href="https://www.data.go.kr/data/15056557/openapi.do">https://www.data.go.kr/data/15056557/openapi.do</a> , 검색일 : 2022-03-21
한국동서발전	실시간	[발전소 주변] 기압, 대기 안정도, 습도, 강수량, 온도, 풍향, 풍속	일산	공공데이터포털, <a href="https://www.data.go.kr/data/15056575/openapi.do">https://www.data.go.kr/data/15056575/openapi.do</a> , 검색일 : 2022-03-21

	일별	온도, 습도, 기압, 풍향, 풍속	-	공공데이터포털, <a href="https://www.data.go.kr/data/15040829/fileData.do">https://www.data.go.kr/data/15040829/fileData.do</a> , 검색일 : 2022-03-21
한국남동발전	5분 단위	온도, 습도, 풍향, 풍속, 강우감지	영흥도	공공데이터포털, <a href="https://www.data.go.kr/data/15002891/fileData.do">https://www.data.go.kr/data/15002891/fileData.do</a> , 검색일 : 2022-03-21
	일별	온도, 습도, 풍향, 풍속, 강수량, 기압, 대기안정도, 증발량, 일조시간, 전일강수량, 60분강수량, 금일강수량	분당, 삼천포, 영동, 영흥(내2리, 내6리, 선재도, 외1리, 외3리)	한국남동발전 정보공개포털, <a href="https://www.koenergy.kr/kosep/gv/nt/dt/nfdt18/main.do?menuCd=GV05020216">https://www.koenergy.kr/kosep/gv/nt/dt/nfdt18/main.do?menuCd=GV05020216</a> , 검색일 : 2022-03-21
한국수력 원자력 발전소	실시간	온도, 습도, 강수량, 풍속, 풍향	월성, 고리, 한빛, 한울, 새울	공공데이터포털, <a href="https://www.data.go.kr/data/15001081/openapi.do">https://www.data.go.kr/data/15001081/openapi.do</a> , 검색일 : 2022-03-21

출처: 저자 작성

### 3.2.2 태양광 · 풍력 발전단지 개발절차에 따른 기상정보 활용

#### □ 태양광 발전단지 개발절차

태양광 발전단지 개발절차 상 기상정보 활용 단계는 ‘사업타당성 검토’, ‘기초 설계’, ‘개발행위허가’, ‘설치공사’, ‘운전 개시’로 발전단지 허가를 위한 최소 조건부터 발전단지 건설 후 운영 중 모니터링까지 지속해서 기상정보를 활용한다. 사업 타당성 검토 단계에서는 발전단지의 기후 조건(일사량, 온도, 강수량 풍속 등)을 평가하며 햇빛지도를 통해 잠재발전량을 확인하는 등 사업지 타당성을 확보하고 경제성을 검토한다. 기초 설계 시 2D 분석, 3D 분석, 음영(그림자) 분석 등을 통해 사업부지의 방향을 검토한다. 개발행위허가 단계에서는 소규모 환경영향평가, 사전 재해 영향성 검토 등 발전단지 건설로 인한 경제성, 기술성 평가 및 환경성을 종합적으로 고려하여 사업을 계획하며 설치공사, 운전 개시 단계에서는 지속적인 기상 모니터링을 수행한다.

<p><b>1. 사업타당성검토</b> 사업자 or 시공업체</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 타당성 검토</li> <li>· 사업지 산출</li> <li>· 경제성 검토</li> </ul>	<p><b>2. 기초설계</b> 시공업체</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 부지면적 검토</li> <li>· 직방별 설계, 기자재 선정</li> </ul>	<p><b>3. 공사계약(사업주+시공업체)</b> 해당 행정관청(도, 시군구)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 계약, 인/허가서류준비(발전허가) : 서류 약17종(1개월 소요)</li> </ul>	<p><b>4. 기초설계/발전허가/한전PPA접수</b> 해당지역 한전지사</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 발전사업허가증 + 사업자등록증발급, 서류 약17종(2~3개월소요)</li> </ul>
<p><b>5. 실시설계</b> 시공업체</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 기자재확정</li> <li>· 구조를 사양확정, 구조진단</li> <li>· 설계도면</li> </ul>	<p><b>6. 개발행위허가</b> 해당행정관청(도, 시군구)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 농지/산지전용등 개발서류준비</li> <li>· 소규모환경영향평가, 사전 재해 영향성 검토등...</li> <li>· 개발행위규모에 따라 준비기간이 다름 (약2~6개월)</li> </ul>	<p><b>7. 공사계획신고</b> 해당행정관청(도, 시군구)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 감리배치확인서+설계도면 + 공사계획서 서류를 구비하여 신청</li> </ul>	<p><b>8. 설치공사</b> 시공업체</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 트럭공사(부지조성, 배수로, 기초)</li> <li>· 전기공사</li> <li>· 구조물 제작 및 설치</li> <li>· 모니터링, CCTC등</li> </ul>
<p><b>9. 사용 전 검사(준공)</b> 전기안전공사(한전)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 공사완료 후 안전관리자 선임, 기자재 시험성적서 및 도면 등 서류제출</li> </ul>	<p><b>10. PPA체결(전력수급계약)</b> 해당지역 한전지사</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 사업자 인감도장 지참, 해당 한전 지사방 문, PPA계약체결</li> <li>· 체결 후 계량기설치 (계량기 설치후, 발 전량 계량)</li> </ul>	<p><b>11. 사업개시신고</b> 해당 행정관청(도, 시군구)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 사용전 검사필증과 기타서류를 구비하 여 접수</li> </ul>	<p><b>12. 대상설비확인 (REC발급가능)</b> 한국에너지공단</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 필요서류를 구비하여 온라인으로 신청</li> </ul>
<p><b>13. REC발급</b> 한국에너지공단</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 온라인 통합관리시스템으로 접속 : 발전량 확인하고 REC발급신청</li> </ul>	<p><b>14. REC거래</b> 전력거래소(KPX)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 전력거래소 회원가입 후 REC거래</li> </ul>		

출처: 한국솔라시스템, 태양광발전 흐름도, <http://koreasolarsys.co.kr/coding/sub2/sub1.asp>, 2022-03-22

[그림 83] 태양광 발전 개발절차

□ 풍력 발전단지 개발절차

풍력 발전단지 개발절차 상 기상정보 활용 단계는 ‘입지검토’, ‘풍황자원 조사’, ‘발전단지 설계’, ‘운전개시’로 발전단지 허가를 위한 최소 조건부터 발전단지 건설 후 운영 중 모니터링까지 지속해서 기상정보를 활용한다. 입지검토 단계에서는 풍력기상자원지도와 풍황자료 생산도구를 참고하여 풍력발전 입지의 사전타당성을 분석하며 풍황자원 조사 단계에서는 풍황계측기 또는 라이다를 설치하여 1년 이상 자원을 측정·수집 및 불확도 분석을 수행한다. 발전단지 설계 단계에서는 바람지도, 전산 유동해석 등 단계를 거쳐 풍력발전 발전량을 추정하며 운전 개시 단계에서는 발전단지 건설 후 운영 시 관측자료를 수집하고 기상조건을 실시간 모니터링하여 기상악화 및 기상으로 인한 재난을 대비한다.

<p><b>1. 입지검토</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>풍황자원 및 기상조건 검토: 풍속, 풍향, 기상 등</b></li> <li>· 입지조건 검토: 환경, 산림, 문화재, 주민수용성 등</li> <li>· 계통연계 검토: 변전소 잔여 용량·송전선로 확인</li> <li>· 군 작전성 검토(국방부)</li> </ul>	<p><b>2. 풍황자원 조사</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 토지소유주 협의: 국공유지·사유지 확인</li> <li>· <b>풍황계측기 설치 및 자원 측정 (1년 이상)</b></li> </ul>	<p><b>3. 사업타당성 검토</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 마이크로사이팅</li> <li>- 발전단지 내 풍력 설비 배치</li> <li>· 사업성 평가</li> </ul>
<p><b>4. 발전사업 허가</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 사업계획 확정 및 설계</li> <li>· 지자체 및 주민수용성 관련 협의</li> <li>· 발전사업 허가</li> <li>· <b>※ 풍황계측기 설치 및 1년 이상 측정 자료 필수</b></li> <li>· ※ 주민의견 수렴절차 필수</li> </ul>	<p><b>5. 계통연계 신청</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 송전용 전기설비 이용 신청 및 계약 체결</li> </ul>	<p><b>6. 발전단지 설계</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <b>발전단지 설계</b></li> <li>- 진입도로 및 발전기 설치 관련 상세 설계</li> </ul>
<p><b>7. 인허가</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 환경영향평가(환경부)</li> <li>· ※ 주요 검토사항: 백두대간 포함 여부, 생태자연도 등급 등</li> <li>· 산지관리법 및 국유림의 경영 및 관리에 관한 법률에 따른 부지 이용 협의(산림청)</li> <li>· 개발행위허가 및 기타 인허가</li> </ul>	<p><b>8. 발전단지 건설</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 발전기 설치 및 진입, 관리도로 개설</li> <li>· 송전선로·관리도로 개설</li> <li>· 준공검사(지자체, 한국전기안전공사, 한국에너지공단)</li> </ul>	<p><b>9. 운전개시</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 발전소 준공 및 상업운전 개시</li> </ul>

출처: 한국기상산업기술원, 풍력산업 동향 및 기상정보 활용 사례, 2021

[그림 84] 육상풍력발전 개발절차

<p><b>1. 입지검토</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 풍황자원 및 설치여건 검토: 바람자원지도, 주민수용성 등</li> <li>· 계통연계 검토: 변전소 용량·송전선로 확인</li> </ul>	<p><b>2. 풍황자원 조사</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 토지, 해상이용계획 검토</li> <li>- 해상 에너지개발구역 검토(해양공간계획 및 관리에 관한 법률)</li> <li>· 해상 풍황계측기(라이다 포함) 설치 및 자원 측정(1년 이상)</li> <li>- 해상 측량, 설계, 공유수면점 사용허가 등 인허가 선행</li> <li>· 지자체, 토지·어장 소유주 등 민원 협의</li> <li>- 주민설명회 및 공청회 개최 등</li> </ul>	<p><b>3. 환경입지 조사</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 해양환경 조사: 지반·지질, 수심 측량 조사 등</li> <li>· 주변환경 예비분석</li> <li>- 운송, 조립 설치 관련</li> <li>- 경관 육상 등·식물상, 소음·진동, 폐기물, 해양 생태계 등</li> <li>· 군 작전성 검토(국방부)</li> </ul>
<p><b>4. 사업타당성 검토</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 마이크로사이팅</li> <li>- 발전기 기중·하부구조물 검토</li> <li>· 사업성 평가</li> <li>· 사업계획 확정 및 기본설계</li> </ul>	<p><b>5. 발전사업 허가</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 발전사업 허가</li> <li>※ 풍황계측기 설치 및 1년 이상 측정 자료 필수</li> <li>※ 주민의견 수렴절차 필수</li> </ul>	<p><b>6. 계통연계 신청</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 송전용 전기설비 이용 신청 및 계약 체결</li> </ul>
<p><b>7. 발전단지 설계</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 발전단지 상세 설계</li> <li>- 기초, 송전선로, 발전기 배치, 운송, 설치 등</li> </ul>	<p><b>8. 개발행위 허가</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 문화재 지표조사(문화재청)</li> <li>· 해역 이용 협의 및 해상교통안전 진단(해양수산부)</li> <li>· 공유수면점 사용허가(국토부, 지방항만청)</li> <li>· 기타 지자체 인허가 등</li> </ul>	<p><b>9. 주민보상 협의</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 피해조사 영역</li> <li>· 주민보상 협의</li> </ul>
<p><b>10. SPC 구성 및 PF</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 특수목적법인(SPC) 및 프로젝트 파이낸싱(PF) 구성</li> </ul>	<p><b>11. 발전단지 건설</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 배후항만·건설부지 등 사전 준비</li> <li>· 발전기 및 변전소 기초 설치</li> <li>· 해저 및 육상케이블 설치</li> <li>· 발전기, 변전소 운송, 설치</li> <li>· 시운전 및 성능검사, 준공검사(지자체, 한국전기안전공사, 한국에너지공단)</li> </ul>	<p><b>12. 운전개시</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 발전소 준공 및 상업운전 개시</li> <li>· 모니터링 및 사후환경영향 조사(지자체, 환경부)</li> <li>· 발전기 및 해상기초 유지보수</li> </ul>

출처: 한국기상산업기술원, 풍력산업 동향 및 기상정보 활용 사례, 2021

[그림 85] 해상풍력발전 개발절차

## 1. 발전량 예측에 필요한 기상정보 도출

### 1.1. 태양광 · 풍력에너지 분야에 활용되는 기상정보 및 기술

구름, 강수, 바람 및 다양한 기상조건의 영향을 받는 재생에너지원은 발전량을 임의로 제어할 수 없으므로 발전량 변동과 전력거래 전략을 능동적으로 계획하기 위해 발전량 예측기술 또는 정확도가 높은 일사량 등의 예보기술이 필요하다. 해외에서 활용되고 있는 예보 기법들은 지상관측, 위성 또는 모델의 입력자료 특성에 따라 다양한 시간대의 예보를 목표로 하므로 예보 오차 변동이 발생하므로, 국내에서는 일출, 일몰, 거래시간, 기상모델시스템 및 예보수행 시간을 고려하여 신재생에너지원의 하루 전(Day-ahead) 전력거래를 위해 40시간 이상의 중·장기 예보, 당일(Intra-day) 거래를 위해 12시간 또는 6시간 이하의 단기예보가 필요하다.<sup>108)</sup>

#### 1.1.1. 재생에너지 분야 예보기술

##### 1.1.1.1. 해외 태양광 일사량 예보기술 동향

태양광 일사량 예보기법은 크게 시계열적 통계기법, 물리적 기법, 앙상블 기법으로 분류된다(전재호 등, 2019).

시계열 통계기법은 가장 일반적으로 사용되는 태양광 예보모델로, 미래의 일사량을 과거의 기상변수와 일사량 간의 상관관계를 시계열적 통계분석을 통해 재구성하고 예보된 기상변수로 일사량은 추정하는 기법이다. 인공신경망, 서포트 벡터 머신, 시계열 기법이 있다. 인공신경망은 파라미터(입력층), 망구조 및 뉴런 간의 비중을 갱신하는 학습 단계(은닉층)에 따라 문제 해결 정확도가 달라지며 최근 발전량 예보에서 많이 사용된다. 서포트 벡터 머신은 고차원 영역에서 초평면 분리를 통해 자료를 분류하는 모델로, 비선형 특성을 가진 자료를 분석할 수 있으며 학습 데이터를 기반으로 경계를 정하고 자료 간의 관계를 일반화시킬 수 있는 법칙을 탐구하는 기법이다. 시계열 분석에는 시간의 변화가 분석 기준이 되는 시계열 분석에서 특정 시점의 변수가 그 이전 변수들의 영향을 받거나 이전 시점의 오차 영향을 받을 때 사용하는 자기회귀 모델, 오차가 한정된 수에 종속되는 것을 나타내는 이동평균 모델, 그리고 자기 회귀 모델과 이동평균 모델을 합쳐서 이동평균 모델을 적용한 자기회귀 이동평균 모델과 이를 적용 공분산 정상성을 만족시키는 과정을 거쳐 분석하는 자기회귀누적이동평균 모델이

108) 전재호 등 (2019), 태양에너지 예보기술 동향분석, Journal of the Korean Solar Energy Society, 39(4)

있다.

물리적 모델은 지표면의 일사량이 태양복사 및 에어로졸, 구름 등과 같은 대기 성분 영향에 미치므로 기상관측정보 등 실제 물리적 요소를 분석하여 일사량을 예측하는 모델이며, 수치기상예측, 전천영상, 위성영상 방법이 있다.

수치기상예측모델은 대기 상태 및 강수를 물리적으로 모사하는 것으로 이를 통해 일사량을 예측한다. 전역 모델과 중간규모 모델로 분류되며, 전역 모델은 전 지구적인 영역에 대해 대기 특성을 모사하는 것으로 미국해양대기청에서 사용하는 GFS(Global Forecast System) 모델과 유럽중기예보모델(ECMWF), 국내 기상청 UM N1280L70 등이 있고, 중간규모 모델은 제한된 지역에 대한 대기 특성을 모사하는 기법이다.

전천 영상은 하늘과 수평면까지 촬영 가능한 고해상도 카메라를 이용해서 촬영한 영상물 상에서 구름 영역을 식별하고 구름의 높이, 이동 방향 등을 측정하여 일사량을 예측하는 방법으로 1시간 미만의 초단기 고해상도 예보가 가능하다. 위성영상 방법은 위성 센서로 수집한 가시광 이미지와 적외선 이미지를 활용하여 구름패턴을 인식하는 기법으로 전천 영상에 비해 넓은 영역 관측이 가능하고 1분~5시간까지의 저해상도 일사량 예보에 효과적이다.

앙상블 모델이라 불리는 혼합 모델은 각 예보 기법의 단점을 보완하고 예측 정확도를 향상하기 위해 다수의 예보 기법들을 조합하여 결과를 도출한다. 이 모델은 경쟁적 예보기법 및 협력적 앙상블 기법으로 구분되며, 경쟁적 예보기법은 다수의 예측기법에 서로 다른 변수나 입력자료를 적용하여 개별적으로 해결하고, 각 예측기법의 결과를 평균하여 결과를 도출한다.



<표 68> 일사량 예측 기법에 관한 연구 요약

	Time horizon	Author	Method	Input data	nRMSE		
Intra-hour	1 h	Azimi et al., 2016	TB K-mean cluster + ANN (3 hidden layers)	MEAS: Irradiance (sfc)	7.2		
	1 h	Sharma et al., 2016	Wavelet neural network	MEAS: Irradiance (sfc)	18.1		
	1 h	Alonso-Montesinos et al., 2015	Cross-correlation method	MEAS: Irradiance (sfc; sky camera)	19.4		
	1 h	Aguiar et al., 2015	Bayesian ANN (multilayer)	MEAS: Irradiance (sfc; satellite)	19.8		
	1 h	Notton et al., 2019	ANN (4 hidden layers)	MEAS: Irradiance, weather variables (sfc)	22.5		
	1 h	Gutierrez-Corea et al., 2016	ANN (2 hidden layers)	MEAS: Irradiance, weather variables (sfc)	22.6		
	1 h	Dong et al., 2015	Combine SOM+SVR+PSO	MEAS: Irradiance, weather variables (sfc)	23.0		
	1 h	de Paiva et al., 2018	Multigene genetic programming	MEAS: Irradiance, weather variables (sfc)	34		
AVERAGE					20.8		
Solar irradiance forecasting	Intra-day	3 h	Aguiar et al., 2015	Bayesian ANN (multilayer)	MEAS: Irradiance (sfc, satellite)	28.5	
		3 h	Montesinos et al., 2015	Cross-correlation method	MEAS: Irradiance (sfc; sky camera)	27.6	
		3 h	Notton et al., 2019	ANN (4 hidden layers)	MEAS: Irradiance, weather variables (sfc)	31.4	
		3 h	Gutierrez-Corea et al., 2016	ANN (2 hidden layers)	MEAS: Irradiance, weather variables (sfc)	28.1	
		AVERAGE					28.9
		6 h	Aguiar et al., 2015	Bayesian ANN (multilayer)	MEAS: Irradiance (sfc, satellite)	29.4	
		6 h	Gutierrez-Corea et al., 2016	ANN (2 hidden layers)	MEAS: Irradiance, weather variables (sfc)	34.5	
		6 h	Notton et al., 2019	ANN (4 hidden layers)	MEAS: Irradiance, weather variables (sfc)	34.8	
AVERAGE					32.9		
Day-ahead	24 h	Azimi et al., 2016	TB K-mean cluster + ANN (3 hidden layers)	MEAS: Irradiance (sfc)	28.9		
	24 h	Trapero et al., 2015	Dynamic Harmonic Regression	MEAS: Irradiance (sfc)	29.6		
	24 h	Piazza et al., 2016	NARX neural network	MEAS: Irradiance (sfc)	31.8		
	24 h	Lima et al., 2016	NWP + ANN (post processing; hidden layers 8-22)	NWP: forecasted variables MEAS: Clear sky model (sfc)	35.8		
	AVERAGE					31.5	
	48 h	Piazza et al., 2016	NARX neural network	MEAS: Irradiance, weather variables (sfc)	28.8(*)		
	48 h	Azimi et al., 2016	TB K-mean cluster + ANN (3 hidden layers)	NWP: Irradiance	32.2		
	48 h	Lorenz et al., 2009	ECMWF-OL		44.0		
AVERAGE					35.0		

출처: 전재호 등 (2019), 태양에너지 예보기술 동향분석, Journal of the Korean Solar Energy Society

### 1.1.1.2. 해외 태양광 발전출력 예측 모형 개발 동향

미국 서부지역 13개 전력계통 운영기관 및 전력회사의 태양광 발전 예측모형을 분석하였다. 기존에는 부하 변동성이나 발전기·송전설비 고장 등에 대한 변동성 및 불확실성을 다루었다면, 최근 신재생에너지가 확대되면서 재생에너지 출력의 불확실성 및 변동성을 해결하기 위해 출력 예측기술을 향상시키고 있다.

미국 California ISO에서 태양광 발전 출력예측에 활용하고 있는 예측모델 유형은 Persistence 모델, Total Sky Imagery 모델, Satellite Imagery 모델, NWP(Numerical Weather Prediction) 모델로 분류된다.

Persistence 모델은 현재 값을 다음 시점의 미래 예측값으로 사용하는 예측 모델로, 태양광발전 출력의 최근 값을 그대로 사용하는 것이 일반적이며, 운량이 변함에 따라 예측 정확성이 급격하게 감소한다. Total Sky Imagery 모델은 실시간이나 15~30분 전 예측을 수행하며, 하늘 이미지를 가공하고 구름 추적 기법을 활용한 모델이다. 구름의 투명함, 방향, 이동속도가 일정하다고 가정하여 일사량에 대한 예측을 수행한다. Satellite Imagery는 Total Sky Imagery와 유사하며, 구름의 투과율을 이용하여 빛의 양을 계산하는 방법으로 공간 및 시간적 해상도가 낮을수록 Total Sky Imagery 모델보다 정확성이 떨어지며, 1~5시간 예측 범위에서 정확도가 높은 예측 모델이다. NWP 모델은 5시간 이후 예측에서 가장 효과적인 예측 기법으로, 대기의 수치 동적 모델링을 통해 지역적인 구름 정보를 추정하기 때문에 확률론적으로 접근하는 방법이다.

<표 69> 태양광발전 예측기법 특징

예측 기법	Sampling rate	Spatial Resolution	Spatial Extent	Suitable Forecast Horizon	Application
Persistence	High	One point	One point	Minutes	Baseline
Total Sky Imagery	30 sec	10 s to 100 meters	2-5 mile radius	10 s of minutes	Short-term ramps, Regulation
GOES Satellite Imagery	15 min	1 km	US	5 hours	Load following
NAM <sup>109)</sup> weather model	1 hour	12 km	US	10 days	Unit Commitment

출처: 허진 외, 신재생에너지 모니터링 시스템 구축을 위한 예측기술 동향, 2019

북미의 기관들은 기본적으로 일사량 데이터를 이용하고 있으며, 미국의 SMUD(Sacramento Municipal Utility District)\*는 여기에 확률론적 태양광 발전 출력예측 기법을 적용하고 있다.

※ SMUD(Sacramento Municipal Utility District): 새크라멘토 카운티와 Placer 카운티 일부에 서비스를 제공하는 지역사회 소유의 전기시설로 미국에서 가장 큰 10대 공공 소유 유틸리티 중 하나

109) NAM(North American Mesoscale) weather model: 북미 중규모 모델은 단기 기상예측을 위해 국립 환경 예측 센터에서 운영하는 수치 기상 예측 모델

<표 70> 미국 SPSC 기관별 태양광발전 데이터 요구사항

NO	참여기관명	일사량	기타 요구사항
1	APS	○	대규모 발전단지의 derate 및 forced outage rate
2	CAISO	○	풍력예측 시 사용된 기상 정보/발전단지에서 측정된 일사량/발전단지의 back-panel
3	PGE	○	월간 또는 일간 태양광 일사량
4	PG&E	○	-
5	SMUD	-	인버터 특성 및 이용 가능한 수량/태양광 시스템 유형(추적식/고정식)
6	SCE	○	이용가능한 인버터 수/Curtailment 신호 발생이 가능한 스마트 인버터 태양광 어레이와 연계된 기상측정 센서
7	Xcel Energy	○	온도/태양광 일사량/발전출력

출처: 허진 외, 신재생에너지 모니터링 시스템 구축을 위한 예측기술 동향, 2019

### 1.1.1.3. 해외 풍력 발전 출력 예측 모형 개발 동향

미국 SPSC(State-Provincial Steering Committee)는 풍력발전 등 변동성 전원의 연계 비용 최소화 방안의 하나로 예측기술 향상을 위한 프로젝트를 수행하고 있다. 미국 서부지역의 13개 전력계통 운영기관이나 전력회사가 참여했으며, 단기 풍력발전 예측을 위해 Met tower 또는 발전단지 on-site 측정 센서 기반 기상데이터(풍속, 풍향, 온도, 기압)와 터빈위치(위·경도), 이용률(설비용량 대비 평균 출력 수준), 터빈출력 자료 등을 활용한다.

<표 71> 미국 SPSC 기관별 기상데이터 측정설비 현황

NO	참여기관명	Met Tower 설치여부	발전단지 측정센서	비고
1	ASEO	○	-	▪ 최소 2개 이상의 풍력터빈 높이의 Met tower
2	APS	○	○	-
3	BPA	○	○	▪ 풍력발전단지 1개당 1개의 Met tower ▪ 80m 높이의 풍력터빈 nacelle의 측정 데이터
4	CAISO	○	○	▪ 최소 2개 이상의 풍력터빈 높이의 Met tower
5	Glacier Wind	○	○	▪ On/off-site Met tower
6	Idaho Power	○	-	▪ 개별 터빈별 측정 데이터 적용
7	PG&E	○	-	-
8	PGE	○	-	-
9	SMUD	-	-	▪ Met tower를 적용하고 있으나 풍력터빈 높이와 달라 스케 조정중
10	SCE	○	○	▪ 풍력설비 용량 50MW당 1개의 Met tower
11	Turlock	○	○	▪ 2개의 Met tower 운영중
12	Xcel Energy	○	○	-

출처: 허진 외, 신재생에너지 모니터링 시스템 구축을 위한 예측기술 동향, 2019

\* PSE를 제외한 총 12개 기관 현황 데이터 확보

미국 SPSC 기관 대부분은 Persistence 모델, 수치예보모델, 통계 기반의 모델을 활용 중이며, Persistence 모델은 현재 값을 다음 시점의 미래 예측값으로 이용하는 가장 단순한 예측모델로, 변동성이 적은 지역에 대한 예측, 초단기 또는 실시간 예측, 예측모델의 성능평가를 위한 기준 모델(reference model)로 활용하고,

기상 예지 모델(Weather situational model)은 수치예보모델과는 달리 태풍, 허리케인 등 급격한 기상이변에 대한 예측을 수행하며, 풍력 터빈의 경우 기상이변 발생 시 기계적 고장 발생을 대비하여 7개의 기관에서 이용하고 있다. Ramp 모델은 발전기 응답성(출력조절 능력)에 대응하기 위해 활용되는 풍력발전 변동성 예측 수행 모델로 최근 중요성이 증가함에 따라 여러 기관에서 도입 검토 중이다.

<표 72> 미국 SPSC 기관별 확률론적 예측 모델 도입 여부

NO	참여기관명	양상블 모델 적용여부	신뢰수준 적용 여부	적용 중인 신뢰 수준(%)	비고
1	ASEO	○	○	10, 90	13개 양상블 멤버
2	APS	○	-	-	-
3	BPA		○	-	Super forecast
4	CAISO	○	도입 예정	90	-
5	Glacier Wind	○	○	-	제3자 제공 값 이용
6	Idaho Power	○	도입 예정	-	풍속예측 모델 4개 (가중치 동일)
7	PG&E	도입 예정	○	90	-
8	PGE	○	○	90	-
9	PSE	도입 예정	○	80	-
10	SMUD	검토 중	○	80	-
11	SCE	○	○	10단위	제3자 제공 값 이용
12	Turlock	○	○	80	-
13	Xcel Energy	-	○	75	-

출처: 허진 외, 신재생에너지 모니터링 시스템 구축을 위한 예측기술 동향, 2019

또한, SPSC 기관들은 의사결정 시 참고할 수 있는 지표로 출력의 불확실성을 포함한 확률론적 예측(예측 값에 대한 예상 범위) 모델을 함께 활용하는데, 양상블 모델을 채택하고 있는 AESO(Alberta Electric System Operator)를 포함한 대부분 기관은 수치예보모델(NWP)을 통한 풍속예측에 활용하고 있다.

Glacier Wind, SCE의 경우 제3의 기관들(thirdparties)로부터 받은 예측값들에 대해 양상블 모델을 적용하여 운영하며, BPA의 경우 받은 예측값들을 매시간 평가하여 가장 정확성이 높은 기관의 예측값만을 적용하는 “Super forecast” 기법을 적용하고, Idaho Power는 4개의 예측모델을 동일한 가중치를 적용하여 하나의 값을 도출하는 등 대부분 기관에서 다양한 모델 또는 예측값을 하나로 통합할 수 있는 양상블 모델에 대한 필요성이 높게 나타나고 있다.

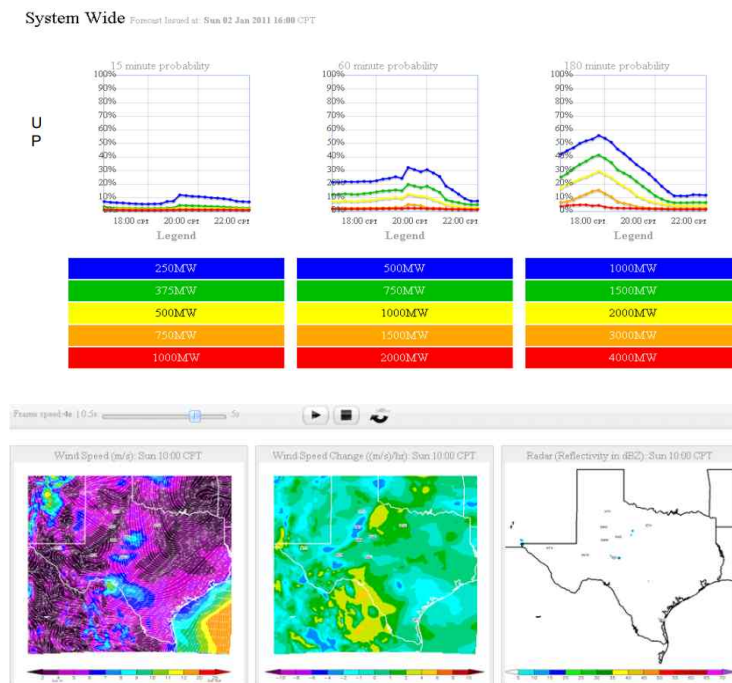
이외에도 신뢰수준(Confidence Interval)에 대한 분석을 수행하고 있거나 도입할 것을 검토 중이다. 전력계통 운영자는 신뢰수준을 통해 풍력 발전량의 불확실성을 파악하고, 불확실성이 낮은 시점에는 결정론적 값을 운영계통에 바로 적용하지만, 불확실성이 높을 때는 예비력 공급에 대한 계획을 세우는 등 보다 유연성 있는 의사결정을 할 수 있다.

<표 73> 미국 SPSC 기관별 적용 중인 예측 모델 유형

NO	참여기관명	Persistence	수치예보모델	통계 기반 모델	기상예지	Ramp
1	ASEO	-	○	○	-	-
2	APS	○	○	○	○	○
3	BPA	○	○	○	○	-
4	CAISO	○	○	○	○	도입예정
5	Glacier Wind	○	○	○	○	○
6	Idaho Power	○	○	○	-	-
7	PG&E	○	○	○	-	-
8	PGE	○	○	○	-	-
9	PSE	○	○	○	○	-
10	SMUD	○	○	○	○	-
11	SCE	○	○	○	○	검토중
12	Turlock	○	-	○	-	-
13	Xcel Energy	○	○	○	-	-

출처: 허진 외, 신재생에너지 모니터링 시스템 구축을 위한 예측기술 동향, 2019

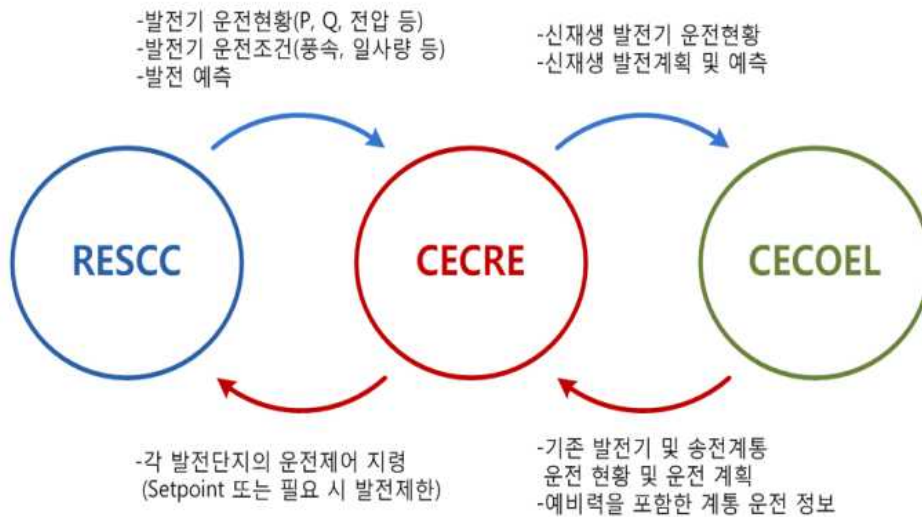
텍사스주의 ERCOT(Electric Reliability Council of Texas)의 풍력발전 예측시스템은 AWS Truepower 사의 0~168시간 뒤 시간대별 풍력발전 예측정보를 통해 풍력발전사업자에 제공하며 대규모 출력변동 경보 시스템(ELRAS, ERCOT Large Ramp Alert System) 운영을 통해 전체 시스템 및 지역별 6시간 뒤 풍력발전 출력 변동 발생 가능성 정보를 제공한다.



출처: ERCOT, Load and Renewable Forecast in Grid Operations and Planning: ERCOT Experiences, 2014

[그림 86] ELRAS 서비스 예시

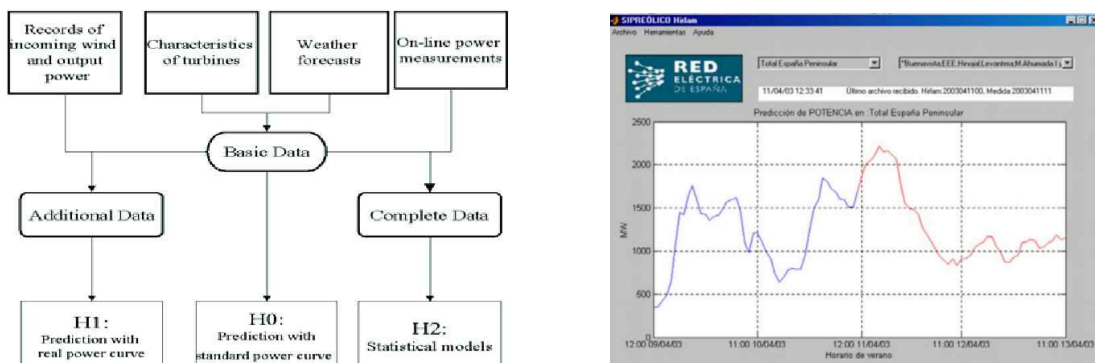
스페인의 중앙 신재생에너지 운영센터(CECRE, Control Center of Renewable Energy)는 신재생에너지의 운전 및 발전 예측정보를 계통운전자(REE, Red Eléctrica de España)에 제공하며 지역 신재생 운영센터(RESCC, Regional Control Center)에 제어 신호를 전달하고 있다. 2002년 개발된 풍력발전 예측 시스템(SIPREÓLICO)은 15분 단위로 48시간 뒤 풍력발전 예측정보를 제공한다. 이때 기상예측자료, 풍력 발전기의 위치, 발전 곡선, 15분 평균 풍력발전량, 기존 풍력발전 출력통계 등의 자료를 활용한다.



출처: 에너지경제연구원, 신재생에너지 보급 확산을 대비한 전력계통 유연성 강화방안 연구, 2017

- \* CECRE : 중앙 신재생에너지 운영센터
- \*\* RESCC : 지역 신재생 운영센터
- \*\*\* CECOEL : REE의 중앙전력관제센터
- \*\*\*\* REE : 스페인의 계통운영자

[그림 87] 스페인 신재생에너지 운영 시스템



출처: Gerardo González, SIPREÓLICO -WIND POWER PREDICTION TOOL FOR THE SPANISH PENINSULAR POWER SYSTEM, 2004

[그림 88] 스페인 SIPREÓLICO  
(좌) 예측 알고리즘 (우) 스페인 지난 48시간 동안의 실제 풍력 발전량과 48시간 동안 예측 표출

### 1.1.1.4. 국내 재생에너지 발전량 모니터링 현황

한국에너지공단은 재생에너지 보급사업 사후관리를 A/S 센터와 권역별 전담업체 등을 통한 고장설비 수리 위주 관리방식에서 실시간 통합모니터링시스템(REMS) 운영으로 전면 개편하였다.

신재생에너지 통합모니터링시스템(REMS, Renewable Energy Monitoring Service)은 고정값 데이터(과거정보) 및 변동 값 데이터(미래정보)를 입력변수로 생성해 실시간으로 신재생에너지 전력 발전량을 예측하여 신재생에너지 설비의 가동 상태를 실시간으로 확인할 수 있는 시스템이다. 입력변수인 온도, 습도, 일사량, 풍량 등의 데이터를 REMS 컴퓨터 프로그램에 투입해 향후 발전량 조절 및 설비고장 여부를 진단하고 태양광 설비 설치 시 고려됐던 방위각, 경사각, 설치여건 등의 각종 자료와 모듈, 인버터 등의 실시간 데이터도 함께 수집·분석한다.

기존 여러 기관·업체들이 신재생에너지 설비 모니터링을 추진했으나, 계측주기 및 정보, 통신규격(프로토콜) 등이 서로 달라 데이터 수집·분석이 어려웠던 점을 해결하기 위해 한국에너지공단은 신재생에너지 통합모니터링시스템 구축하여 모니터링 방식을 규격화하고 국제인증 취득한 통신프로토콜을 무료로 제공해 REMS를 선도하고 있다.

모니터링시스템에 활용되는 공통적인 기상요소는 온도, 풍향, 풍속이며 태양광은 수평과 경사 일사량, 풍력은 해류를 추가로 모니터링한다.

<표 74> 태양광·풍력 모니터링 시스템

구분	모니터링 시스템에 활용되는 기상 요소	시스템 구성도	출처
태양광	일사량, 온도, 풍향, 풍속 등		(주)씨엠테크놀러지 홈페이지(110)
태양광	수평 일사량, 경사 일사량, 외기 온도, 풍향, 풍속		대연 C&I(111)

한전KDN	온도, 경사일사량, 수평일사량, 습도, 풍향, 풍속		한전KDN112)	
(유)삼환	경사일사량, 수평일사량, 표면온도, 외기온도		(유)삼환113)	
(주)그리니치	경사일사량, 수평일사량, 표면온도, 외기온도		(주)그리니치114)	
제이에스파워(주)	수평 일사량, 경사 일사량, 온도, 습도, 풍속		제이에스파워(주)115)	



풍력	W&E 코리아	온도, 풍향, 풍속		W&E 코리아(116)
	효성	온도, 풍향, 풍속		Web 기반 풍력발전 모니터링 시스템 개발 및 설치 사례(117)
	OTRO NIX	온도, 습도, 기압, 풍향, 풍속, 강우, 일조량, 해류		OTRONIX(118)
신재 생에 너지	한국에 너지공 단	온도, 풍속, 강수량, 습도, 강수확률, 일사량		한국에너지공 단 신재생에너지 통합모니터링 시스템(119)

출처: 저자 작성

### 1.1.1.6. 시사점

현재 재생에너지 발전량 및 기상요소 예측은 공학적으로 확정적 정보를 제공하고 있어, 기상학적 예측 변동성에 관한 연구 및 대비책이 부족한 실정이다. 발전단지 내 기상관측장비 설치 및 관측자료를 예측에 공동활용하고, 수치예보모델에 대한 앙상블 예측기법을 도입하여 예측값에 대한 예상 범위 및 발생확률을 함께 제공하여 불확실성에 대비할 수 있도록 해야 한다. 또한, 신재생에너지 예측기술을 기반으로 모니터링시스템 제공기능을 확대 적용할 수 있는 응용기술 개발이 필요하다. 실시간 기상예측정보 제공을 통해 기상으로 인한 설비고장 및 인명 피해 방지, 성능 모니터링 및 보고, 발전설비 자동제어 시스템, 상태 기반 모니터링(Condition-Based Monitoring)이 가능해야 한다.

또한, 태양전지의 설치 경사각도, 설비효율 및 손실 등의 설비요소를 적용하여 태양광발전소의 발전량을 예측할 때 대상 지역의 위도, 해발높이 등의 지리요소와 일사량, 일조시간, 운량, 기온, 강수일수, 안개일수, 황사 일수와 같은 기상요소가 중요하며 이를 분석·활용하여 발전량 예측의 오차를 줄이는 것이 중요하다.

## 1.1.3. 국내 태양광·풍력에너지 발전량 예측 기술 및 서비스

### 1.1.3.1. 기상청의 태양광 발전량 예측기술

기상청 국립기상과학원은 수치예보모델 자료와 전력거래소에 등록된 설비 용량을 기준으로 전국 시/군/구 단위의 태양광 발전량을 예측하며 관련기관 및 발전사업자에 정보를 제공함으로써 의사결정을 지원하고 있다. 기상청은 시간대별, 누적 발전량 예측정보, 시/군/구별 발전량 예측, 시간대별 기상정보(일사량, 기온, 풍속)의 정보를 제공하고 있으며, 일사량은 기상정보를 바탕으로 예측하고, 추정된 일사량을 통해 시군구별 태양광 발전량을 예측한다. 이때, “태양광 발전량 = 설비용량 TIMES 일사강도[1+출력온도계수(모듈표면온도-25)]”의 발전량 산정 식을

110) ㈜씨엠테크놀러지 홈페이지, <http://cm-tech.kr/sub3.php>, 검색일 : 2022-03-29

111) 대연 C&I, <http://dycni.com/monitoring/>, 검색일 : 2022-03-29

112) 한전KDN, <https://www.kdn.com/menu.kdn?mid=a10210030000>, 검색일 : 2022-03-29

113) (유)삼환, [http://samw.kr/bbs/content.php?co\\_id=s0305](http://samw.kr/bbs/content.php?co_id=s0305), 검색일 : 2022-03-29

114) ㈜그리니치, <http://www.grenergy.co.kr/products01.html>, 검색일 : 2022-03-29

115) 제이에스파워(주), 태양광발전소 모니터링 시스템, 검색일 : 2022-03-29

116) W&E 코리아 [http://wnekorea.com/sub/3\\_9.htm](http://wnekorea.com/sub/3_9.htm), 검색일 : 2022-04-03

117) <http://www.procon.co.kr/pdf/2006%205/%ED%9A%A8%EC%84%B1.pdf>, 검색일 : 2022-04-04

118) <http://otronix.com/index.php/system-integration/ams/>, 검색일 : 2022-04-04

119) 한국에너지공단, 신재생에너지 통합모니터링 시스템 구축, <https://rems.energy.or.kr/pub/view/bbsNotice>, 검색일 : 2022-04-03

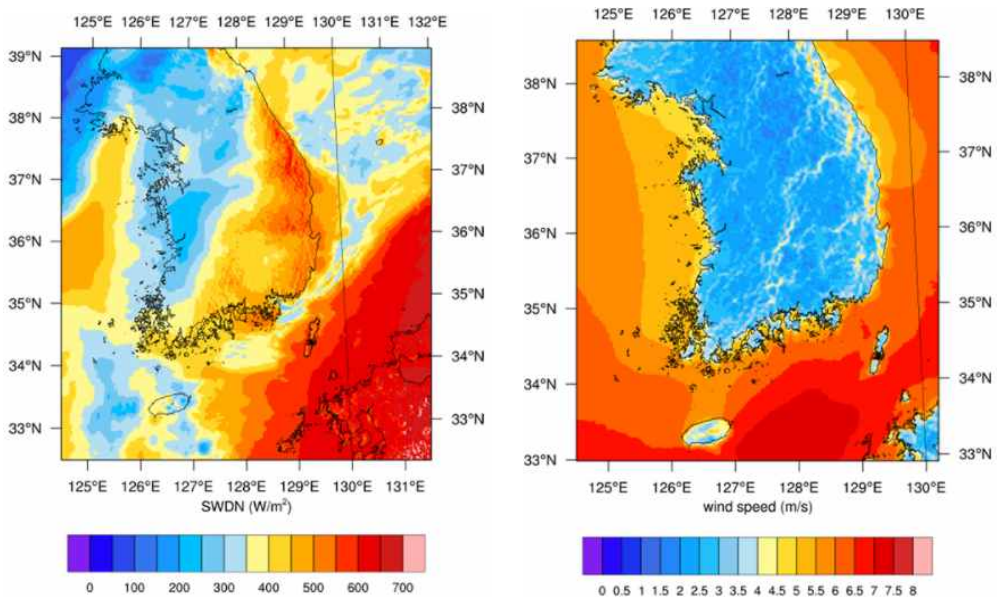
통하여 산출하며, 태양광 발전량 시뮬레이션을 통해 사용자의 설정값에 따라 발전량 예측 정보를 확인할 수 있다.



출처: 기상청 날씨마루 홈페이지, <https://bd.kma.go.kr/kma2020/fs/energyInfo.do?pageNum=5&menuCd=F050700010>,  
 검색일 : 2022-03-05

[그림 89] 국립기상과학원의 태양광 발전량 예측 개요

또한, 국립기상과학원은 남한 영역에 대하여 공간해상도 100m, 시간해상도 1시간, 예측 시간 48시간의 풍력·태양광 예측정보(연구용)를 생산하고 홈페이지에서 제공하고 있으며, 이는 기상청 국지예보 모델의 예측자료에 고해상도의 지형정보를 반영하고, 기상변수별 내삽법을 적용하는 규모 상세화 과정과 목표 지점에 대한 지점특화 정보를 산출하는 체계이다.



출처: <http://www.greenmap.go.kr/kr/introduce01.do> (검색일: 2022.02.16.)

[그림 90] (좌) 우리나라 태양광 예측정보 (우) 우리나라 풍력 예측정보(예시)

### 1.1.3.2. 한국에너지기술연구원의 태양광 발전량 예측 기술

한국에너지기술연구원의 태양광 발전량 예측은 SEPA와 IEA PVPS 두 기관의 수치 기상예측 모형을 이용한 예보기술을 활용하고 있다. 발전예보는 크게 통계모델,

구름 이동을 고려한 예측기법, NWP로 구분된다.

<표 75> 태양광 발전량 예측모델 목록

대분류	중분류	명칭	출처
Statistical Model	Linear	Persistent	Perez et al. (2010)
		ARIMA	Bolan (2008)
		ARIMA	Reikard (2009)
		CARDS	Jing et al. (2013)
	Non-Linear	ANN	Heinmann et al. (2006)
		WNN	Mellit et al. (2006)
Cloud-Based Model	Satellite	-	Lorentz et al. (2004)
	Sky Imager	-	Chow et al. (2011)
NWP	Modeling output	-	Remund et al. (2008)
	Post-processing	MOS	Mathiesen and Kleissl (2011)
		Kalman Filter	Pelland et al. (2011)
		Temporal average	Lorentz et al. (2009)
		Spatial average	Lorentz et al. (2009)

출처: 한국에너지기술연구원, 신재생에너지 자원지도 3.0 - 표준화 및 예보기술 개발, 2016

태양광에너지 발전예보는 예보 시간 규모에 따라 분류되는데, 직접 지상에서 관측된 일사량 또는 30분 이내 시간 규모의 예측은 통계적 기법을 활용하며, 이는 다시 선형과 비선형 기법으로 구분할 수 있다. 30분 초과~6시간 이내 시간 규모에서는 구름의 이동을 고려한 예측기법을 활용하며, 위성영상, sky imager 등 지상 측정 장비 등을 이용하고 6시간 이상 시간 규모에서는 수치 기상예측모형을 이용하는데, 오차를 최소화하기 위해 후처리 과정에서 MOS(Model Output Statistics), 청천지수, 태양천청각, 칼만필터, 시공간 평균 기법 등 다양한 방안을 고려한다.

태양광을 예측하는 물리적 방법은 NWP 모형과 위성영상을 사용하는 sky-view를 통한 방법이며 이때 위성자료(구름 이미지 기술), 태양복사량, 기온, 풍속, 라디오존데, 레이더, 기상위성, 지상관측소 자료를 사용하고, 통계적 방법/하이브리드 방법은 경험적으로 유도된 값과 자동 학습을 통해 태양광을 예측하는 방법으로 과거 하늘에서 태양 위치기반 시계열 데이터, 관측된 기상요소, 기후데이터, 위성자료 등을 사용하여 태양광 발전을 예측할 수 있으며, 실제 태양복사량을 모의하기 위해 태양광 에너지 발전소의 집광기의 방향과 기울기별로 산정한다.

### 1.1.3.3. 한전KDN 실시간 태양광 발전량 예측서비스<sup>120)</sup>

한전KDN은 AI기반 태양광 발전량 예측 서비스인 ‘한전KDN 햇빛지도’ 를 제공하고 있으며, 햇빛지도는 평균 일사량과 일조시간을 사용하는 기존 방식과 다른 기상정보와 미세먼지 농도 기준으로 태양광 발전량을 실시간으로 예측할 수 있다.

120) 정준홍 등, 기상정보를 이용한 태양광 발전량 예측서비스 개발, 2021

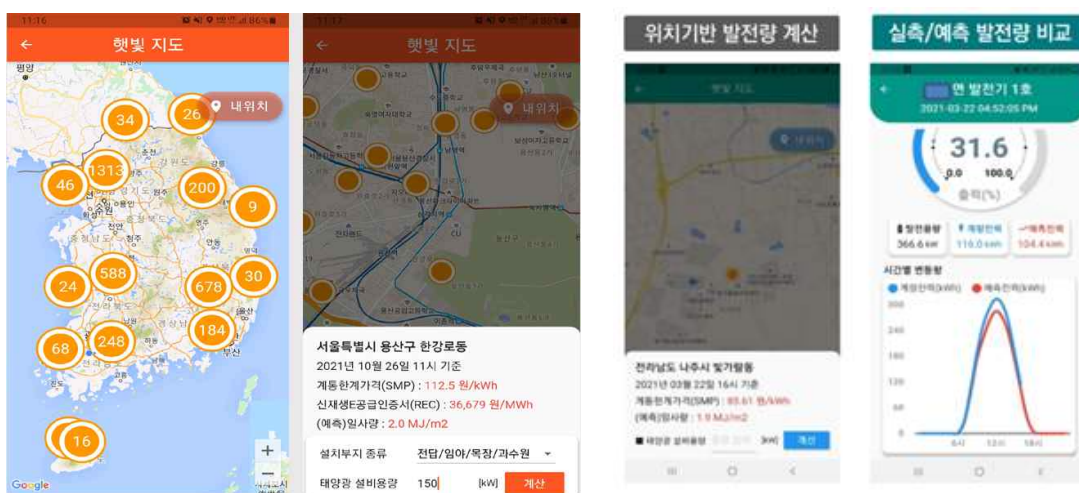
한국전력에서는 태양광 발전량 예측을 위해 ASOS와 AWS의 기상정보를 활용하고 있으며, 일사량, 일조시간, 온습도가 태양광 발전량에 가장 큰 영향을 미치는 요소로 제시하고 있다.

일사량과 일조시간은 AWS에서 관측하지 않기에 관측자료가 있는 인접 ASOS 지점으로 매핑한 후 일사량, 일조시간 예측모델을 생성하고 AWS 동네예보, 인접 ASOS 지점의 일사량, 일조시간, 미세먼지, 태양광 발전소의 과거 발전량 정보 등을 이용하여 태양광 발전량 예측모델을 학습시키는 데 활용하고 있다.



출처: 정준홍 등(한전KDN(주) 전력ICT연구원), 기상정보를 이용한 태양광 발전량 예측서비스 개발, 2021

[그림 91] 태양광 발전량 예측서비스 구성도



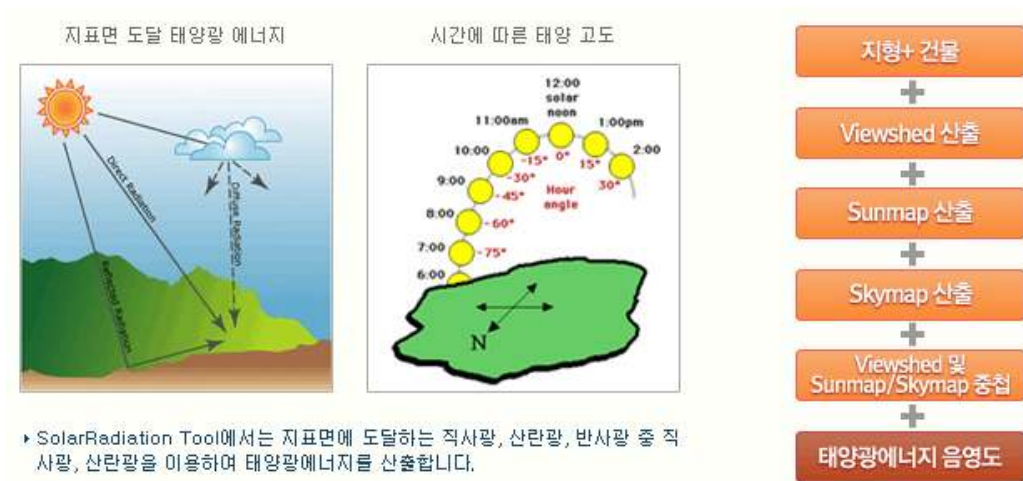
출처: 한전KDN

[그림 92] ‘한전 KDN 햇빛지도’ 서비스 실제 화면

### 1.1.3.4. 서울시 햇빛지도

서울시에서는 ESRI사의 ArcGIS® Solar Radiation Tool\*과 자체 개발한 태양광 ScreeningLogic을 이용하여 서울시의 태양광 입사 에너지, 태양광발전량을 예측하고 있다. SolarRadiation Tool은 지표면에 도달하는 직사광, 산란광, 반사광 중 직사광, 산란광을 이용하여 일사량 계산할 수 있다.

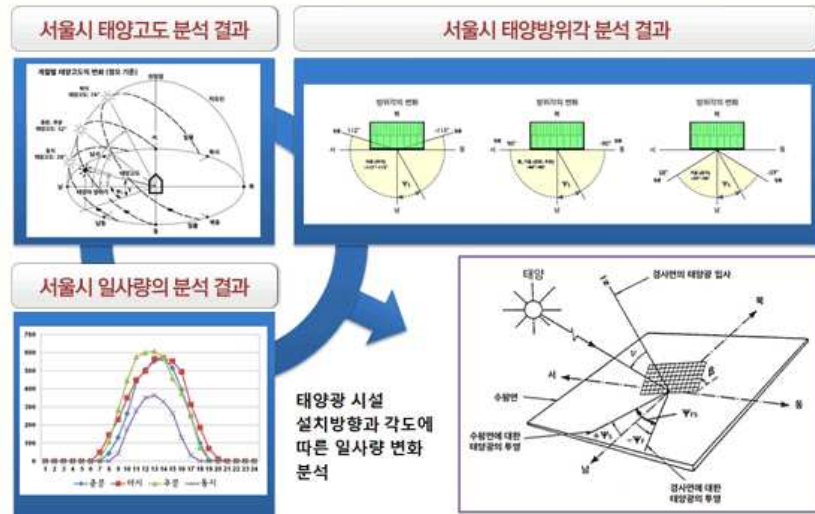
※ ArcGIS Solar Radiation Tool : 전 세계에서 사용 가능한 태양광 에너지 산출 알고리즘을 프로그램화한 솔루션, 뉴욕/보스턴/LA 등의 Solar map service 구축에 적용 검증된 도구임



출처: 서울특별시 햇빛지도 홈페이지, <http://solarmap.seoul.go.kr/intrcn/intrcnAlgorithm.do>, 검색일 : 2022-03-06

[그림 93] SolarRadiation Tool 태양광에너지 산출 절차

서울시에서 자체 개발한 ScreeningLogic은 기상청의 평균 직달 일사량(2000년~2011년)을 기준으로 태양 고도 및 방위각을 분석하며 방위별, 설치 각도별 일사량을 산출하고 태양광발전 설비에 따른 일사량 변화를 계산한다.



출처: 서울특별시 햇빛지도 홈페이지, <http://solarmap.seoul.go.kr/intrcn/intrcnAlgorithm.do>, 검색일 : 2022-03-06

[그림 94] 서울시 태양광 ScreeningLogic

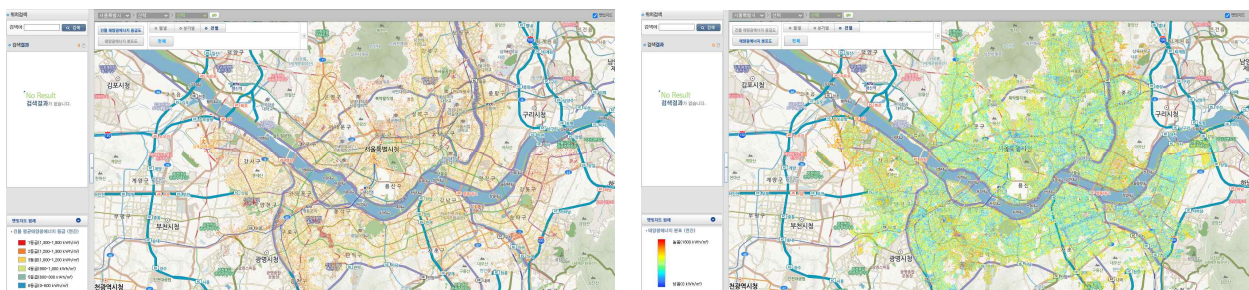
계절별, 시간별 일사량 관측자료를 기준으로 태양광레이어의 방위별, 설치 각도별 일사 효율을 계산한다.

연평균	정서	정남																	정동	
경사	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°	-10°	-20°	-30°	-40°	-50°	-60°	-70°	-80°	-90°	
0°	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
10°	77	79	80	82	83	84	85	86	86	85	85	84	83	81	80	78	76	74	72	72
20°	76	79	83	86	89	91	92	93	93	93	92	90	88	85	82	78	75	71	67	67
30°	73	78	83	88	91	94	97	98	98	97	96	93	90	86	82	77	72	67	61	61
40°	69	75	81	87	91	95	98	100	100	99	97	94	90	85	80	74	67	61	55	55
50°	63	70	77	84	89	93	96	98	99	98	95	92	87	81	75	69	62	55	48	48
60°	57	64	72	78	84	89	92	94	95	93	91	87	81	75	69	62	55	48	41	41
70°	50	57	65	71	77	82	85	87	88	86	83	79	74	68	61	54	48	41	34	34
80°	42	50	56	62	68	72	76	78	78	77	74	69	64	59	52	46	40	34	28	28
90°	35	41	47	53	57	61	64	66	66	65	62	58	53	48	43	37	32	27	22	22

출처: 서울특별시 햇빛지도 홈페이지, <http://solarmap.seoul.go.kr/intrcn/intrcnAlgorithm.do>, 검색일 : 2022-03-06

[그림 95] 서울시 태양광 시설의 설치방향, 설치각도에 따른 계절별 일사효율 분석

서울특별시 햇빛지도는 구, 동별로 건물 태양광에너지 등급도, 태양광에너지 분포도 서비스를 월별, 분기별, 연별로 제공



출처: 서울특별시 햇빛지도 홈페이지, <http://solarmap.seoul.go.kr/intrcn/intrcnAlgorithm.do>, 검색일 : 2022-06-29

[그림 96] 서울특별시 햇빛지도  
(좌) 건물 태양광에너지 등급도 (우) 태양광에너지 분포도

### 1.1.3.5. (주)해썬 태양광 발전량 예측

(주)해썬은 기상 수치예보, 기상관측 데이터, 천리안 2호 인공위성 데이터를 활용하여 태양광 발전량 예측 서비스인 햇빛지도\*, 과거 발전량 시뮬레이션\*\*, ESS 수익성 시뮬레이션\*\*\* 서비스를 제공하고 있으며, 기상정보(기온, 풍속, 강수 및 습도 등), 과거 기상위성 영상, 과거 기상위성 영상의 촬영 시점의 태양의 고도각, 태양의 방위각 및 실측 일사량 등을 통해 일사량을 예측<sup>121)</sup>하고 천리안 2호 인공위성을 통해 일사량, 구름의 움직임 등을 파악하고 있다. 태양광 발전량 예측 서비스는 초단기(+2hr) 및 단기(+24h) 정보를 제공한다.

\* 햇빛지도 : 기후 데이터를 이용한 월별 평균 발전량 추정한다.

\*\* 과거 기상자료 활용 시간단위 발전량 및 수익을 분석한다.

\*\*\* 시간단위 생산량 시뮬레이션을 통한 총방전 모델링한다.



출처: 인터스트리 뉴스, <https://www.industrynews.co.kr/news/articleView.html?idxno=40926>, 검색일 : 2022-06-29

[그림 97] 해썬 태양광 발전량 예측 예시

### 1.1.3.6. 한국전력 ‘AI기반 신재생에너지 발전량 예측 프로그램’

한국전력은 재생에너지 발전량 예측을 위해 국내외 기상청 수치예보 모델과 위성영상 기반 구름 이동 분석 기술 등을 활용하여 전국 기상 관측자료와 예측 예보자료를 2km 격자 단위로 수집하고 있으며, 기상자료로 전천일사, 수평면 산란일사, 법선면 직달일사, 외기온도, 운량, 태양방위각, 고도각 등을 수립 활용하고 있다.

### 1.1.3.7. 에코브레인의 재생에너지 발전량 예측

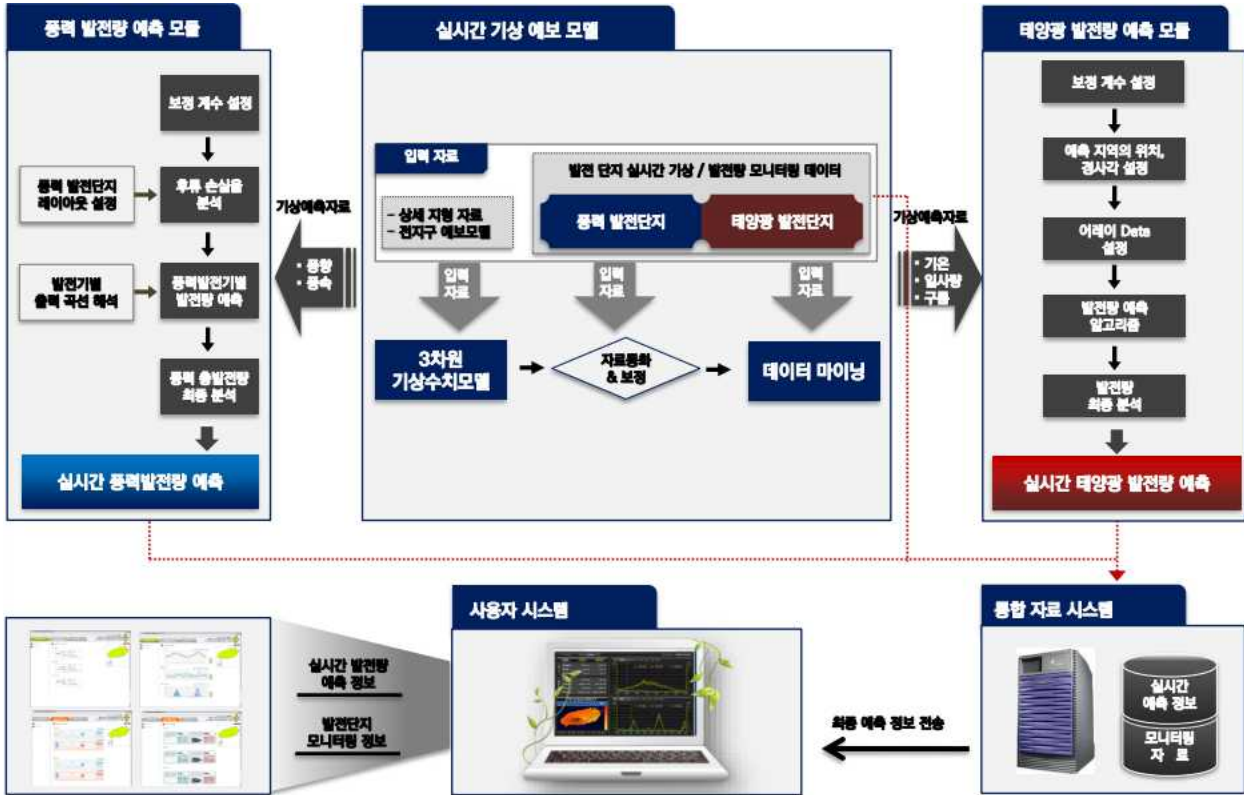
에코브레인은 맞춤형 기상예보 기술과 풍력 발전량 산정 기술을 이용하여

121) 특허 10-1808047, 태양 에너지를 이용하는 발전소의 발전량을 예측하는 방법 및 서버, 2017



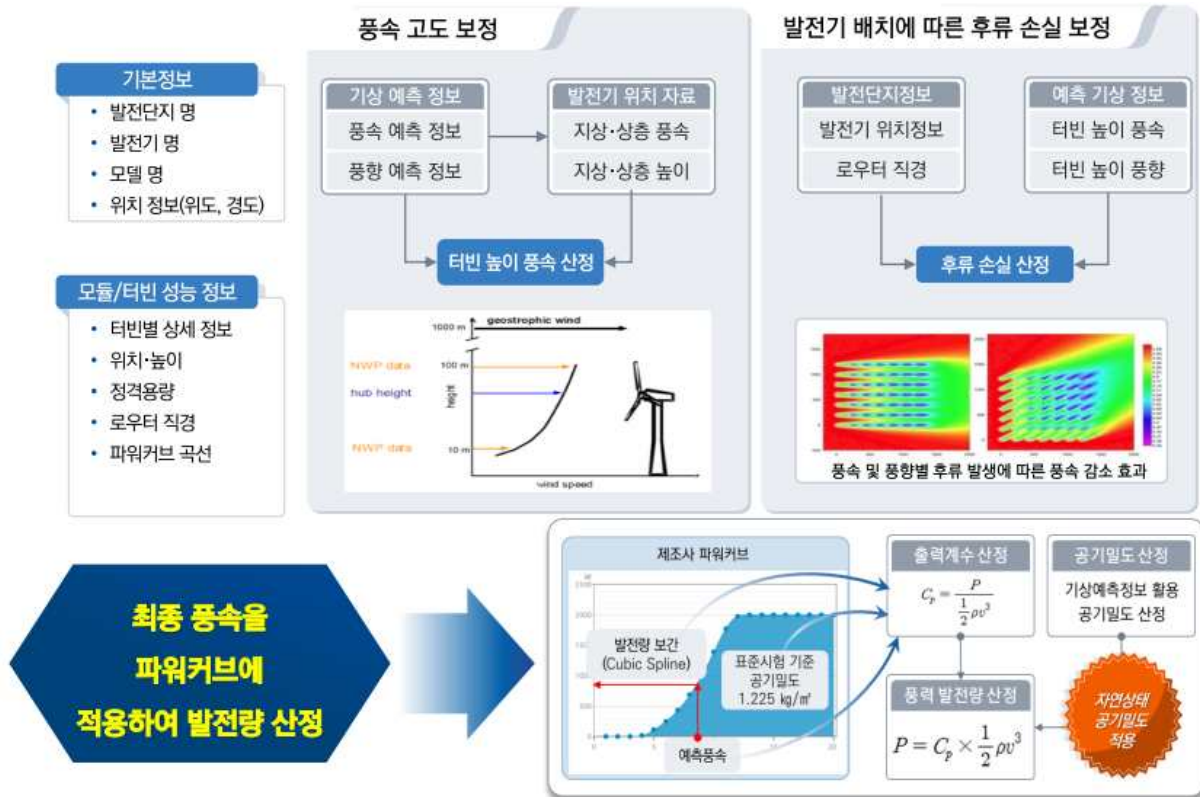
재생에너지 발전량을 예측하며, 풍속, 풍향 정보와 고도별 풍속, 높이를 통해 터빈의 높이 풍속을 산정하고 최종 풍속을 파워커브에 적용하여 발전량을 산출한다.

※ 풍력 발전량  $P = C_p \times \frac{1}{2} \rho v^3$ , 출력계수  $C_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho v^3}$ , 공기밀도는 기상예측정보 활용하여 산정



출처: 2020 풍력발전 온라인 세미나((주)에코브레인), 재생에너지 간헐성 보안을 위한 출력예측 솔루션, 검색일 : 2022-03-06

[그림 98] 에코브레인의 발전량 예측 프로세스



출처: 2020 풍력발전 온라인 세미나((주)에코브레인), 재생에너지 간헐성 보완을 위한 출력예측 솔루션, 검색일 : 2022-03-06

[그림 99] 에코브레인의 풍력 발전량 산정 프로세스



출처: 에코브레인 홈페이지, <http://www.ecobrain.net/?route=solution&mode=for>, 검색일자 : 2022-06-29

[그림 100] 에코브레인의 풍력 발전량 표출 예시

에코브레인의 재생에너지 발전량 예측서비스는 단기(6hr), 중기(48hr)로 나뉘며 예측간격 및 업데이트 시기는 표76과 같다.

<표 76> 에코브레인 발전량 예측서비스

구분	단기	중기
예측기간	6시간이내	6~48시간 이내
예측간격(시간해상도)	5분	1시간
업데이트	10분	1시간

출처: 에코브레인 홈페이지, <http://www.ecobrain.net/?route=solution&mode=for>, 검색일자 : 2022-06-29

### 1.1.3.8. 그외 태양광에너지 분야 예보기술 동향

국내에서는 딥러닝 모델을 이용한 태양광 발전 모니터링 및 예측 시스템 연구개발 진행 중이다. 기상청에서 별도의 단기 일사량 예보를 발표하지 않기 때문에 다수의 연구는 태양광 패널의 발전량 예측을 위해 먼저 결정트리 기반의 무작위 나무(RF), 신경망(Neural Network) 일조시간과 일사량을 예측한다.

장평밍은 역전파가 있는 인공지능 신경회로망을 이용하여 실제 태양 복사열을 예측하는 방법을 개발하였고(Fengming Zhang et al., 2011), 차왕철은 퍼지 알고리즘을 사용하여 기상요소와 지리적 요소를 모두 적용하여 태양광 발전요소의 발전량을 예측할 수 있는 모델을 제시하였으며(차왕철 외, 2014), 배국열은 서포트 벡터 머신 기법(SVM)을 이용하여 태양광 출력 예측술의 성능평가지표별 예측 정확도를 평가하고 예측 오차의 확률분포를 측정하였다(배국열 외, 2017).

김다희 등(2017)은 기상청이 제공하고 있는 동네예보 데이터 분석 및 딥러닝 기반으로 태양광발전사업자가 활용 가능한 태양광 발전량 예측시스템을 개발하였다.

이 외에도 XGBoost(Extreme Gradient Boosting) 기반 확률적 일사량 예측과후 태양광 발전량 예측으로 변환하는 2단계 예측구조 알고리즘을 통해 예측 정확도를 제고하는 연구(이유림 외, 2019), Long Short-Term Memory(LSTM)을 이용한 태양광 발전량 예측 방법에서 일사량, 예보기온, 대기청명도, Normalized Discrete Difference 및 과거 발전량을 이용하는 연구(김백천 외, 2020) 등이 수행되었으며, 박희태 등(2021)은 영흥 풍력발전 단지의 자료를 이용하여 풍속, 풍향, 온도, 습도를 입력변수로 사용한 1차원 합성곱신경망(1D-CNN)모델에서 가장 좋은 성능지표를 확인하고 향후 기후, 계절, 지형 등 입력 인자의 차이 원인 분석 연구의 필요성을 제기하기도 하였다.

송재주 등(2014년)은 태양광 발전소 입지 선정을 위해 신경망을 이용하여 월별 일사량을 예측한 후 예측된 일사량으로 발전량을 예측하는 연구를 수행하였고, Sharma 등(2011년)은 SVM(Support Vector Machine)<sup>122)</sup>을 사용하여 기상 데이터를 이용한 발전량 분류기를 만들어 태양광 발전량 예측에 활용하였으며, 이현진(2016년)은 태양광 발전량 예측을 위해 현재 기상정보(기상 데이터 중

122) SVM : ‘Support Vector Machine’ 의 약자로 기계 학습 분야 중 하나이며 패턴 인식, 자료 분석을 위한 지도 학습 모델로 주로 분류와 회귀 분석 시 사용

일사량, 강수량, 온도, 습도 네 가지의 기상요소를 태양광 발전량 예측에 대한 변수로 사용)의 이동 평균을 하여 연구를 수행하였다.

또한, 이동훈 등(2019년)은 장기간 태양광 발전량 예측을 위하여 딥러닝 기반 기상정보와 계절 정보를 이용하여 연구를 수행하였는데, 기상정보만을 이용한 기존 연구들의 한계점을 언급하며 기후 및 계절 정보를 포함하여 연구하였고 온도, 습도, 운량, 일사량 등의 기후정보와 월정보, 일정보 등의 계절정보를 활용하여 태양광 발전량을 도출하였다.

### 1.1.3.9. 한국에너지기술연구원의 풍력발전 예보

한국에너지기술연구원은 2013년에 기상연구소와 협력하여 수치기상예측 기반 풍력예보모델을 공동 개발하였다.

국내 국지기상 및 계통 특성을 반영한 자체 풍력예보기술의 필요성을 인식하여 선행연구자료 및 국외 풍력 모델 사례를 고찰하고 모델별 예보구간과 예측 정확도를 목록화하였다. 독립 전력계통 및 몬순 기후특성을 반영한 장단기 통합예보를 중심으로 한 자체기술개발 필요성을 제시하고 발전단지 개발지역 대상 최적화된 모델 설계의 필요성을 인식하여 서남해 해상풍력 실증단지를 대상으로 초기 예보 모형을 개발하였다.

<표 77> 풍력 발전량 예측모델 목록

국가	모델	예보구간	예측정확도
독일	WPMS(통계 모델)	Immediate-short-term (8hours-ahead)	7~19% / RMSE
	Previento (통계+물리모델)	Long-term (multiple-days-ahead)	5.6~6.5% / NRMSE
	WEPROG (통계+물리모델)	Long-term (multiple-days-ahead)	10% / NRMSE
덴마크	WPPT (통계 모델)	Short-term (Day-ahead)	0.04 m/s / MAE
	Prediktor (물리모델)	Short-term (Day-ahead)	2.4 m/s / MAE
중국	WPFS Ver1.0 (통계+물리모델)	Short-term (Day-ahead)	11.67% / rMAE
유럽	ANEMOS (통계+물리모델)	Immediate-short-term (8hours-ahead, Day-ahead)	6.2~11.6% / ME
	ARMINES(AWPPT) (통계+물리모델)	Immediate-short-term (8hours-ahead, Day-ahead)	8~10% / RMSE
미국	Ewind (통계+물리모델)	Short-term (Day-ahead)	10.8% / rMAE
스페인	Sipreolico (통계 모델)	Short-term (Day-ahead)	15.8~17.6% / RMSE

출처: 한국에너지기술연구원, 신재생에너지 자원지도 3.0 - 표준화 및 예보기술 개발, 2016

개발 방향은 기상예측모델 정확도 향상, 풍력발전단지에서의 맞춤형 풍력 자원 활용, 선행예보를 통한 계획된 발전량 예측시스템 구축, 효율성 높은 에너지 생산, 풍력 자원 보급 확대, 풍력발전을 통한 전력 생산 안정화의 선순환 구조로 설정하였다. 풍력에너지 발전예보를 위해 앙상블 예보모형, 칼만필터 예보모형, 신경망 예보모형의 특성을 고려하여 단계별로 접목하고 이에 필요한 데이터들을 수집·활용하였다.

최종적으로 다중모델기반 앙상블을 기초기술로 칼만필터 및 신경망 예보모형을 활용한 보정기법을 통해 예측성을 향상한 시스템을 개발하였다.

<표 78> 한국에너지기술연구원의 풍력 발전 예보 모형 및 활용 데이터

구분	활용 데이터
앙상블 예보 모형	지점 관측자료, 예보모델 연직층별지점자료, JMA, KMA, KIER 예보 자료
칼만필터 예보 모형	지점 관측자료, KIER, KMA, JMA
신경망 예보 모형	지점 관측자료, KIER, KMA, JMA 수치기상 예측자료

출처: 한국에너지기술연구원, 신재생에너지 자원지도 3.0 - 표준화 및 예보기술 개발, 2016 재구성

### 1.1.3.10. 그 외 풍력 발전량 예측 기술 연구 현황

박희태 등(2021)은 영흥 풍력발전 단지의 자료를 이용하여 풍속, 풍향, 온도, 습도를 입력변수로 사용한 1차원 합성곱신경망(1D-CNN)모델에서 가장 좋은 성능지표를 확인하고 향후 기후, 계절, 지형 등 입력 인자의 차이 원인 분석 연구의 필요성을 제기하기도 하였다.

최정곤 등(2021년)은 딥러닝 기반의 풍력 발전량 예측을 위해 ASOS의 풍속, 풍향과 공기밀도 변수를 사용하여 풍력 발전량을 예측하였다, 공기밀도는 기상 관측소의 현지 기압과 기온 데이터를 활용하여 산출하였다. ( $E_{air} = \frac{1}{2} \rho V^3 [W/m^2]$ ,  $\rho = \frac{P}{T} [kg/m^3]$ )

이서우 등(2021년)은 풍력 발전량 예측 정확도 향상을 위해 기상 데이터를 활용한 기상예측 알고리즘을 개발하였으며 온도, 상대습도, 일사량, 풍속을 주요 기상정보로 선정하여 모델별 24시간 기상예측 결과를 출력하여 비교하는 연구를 수행하였다.

이영미 등(2010년)은 제주 스마트그리드 실증단지를 대상으로 제주지역의 풍력발전 예측을 위해 풍력발전단지 내 기상측정 장비와 발전기에서 측정되는 풍향, 풍속, 기온, 습도 등 기상자료를 10분 간격으로 수신하여 모니터링 시스템에 활용하였다.

손남례 등(2017년)은 SVR 기반 다변수 단기 풍력발전예측 모델 연구에서 제주도 발전단지의 발전량, 풍향, 풍속, 발전변동량을 사용하였으며 단기 풍력발전량을 예측하는 데 있어서 발전량, 풍향, 풍속을 중요 변수로 제시하였다.

## 1.1.4. 신재생에너지 관리시스템

### 1.1.4.1. 건물 에너지관리시스템

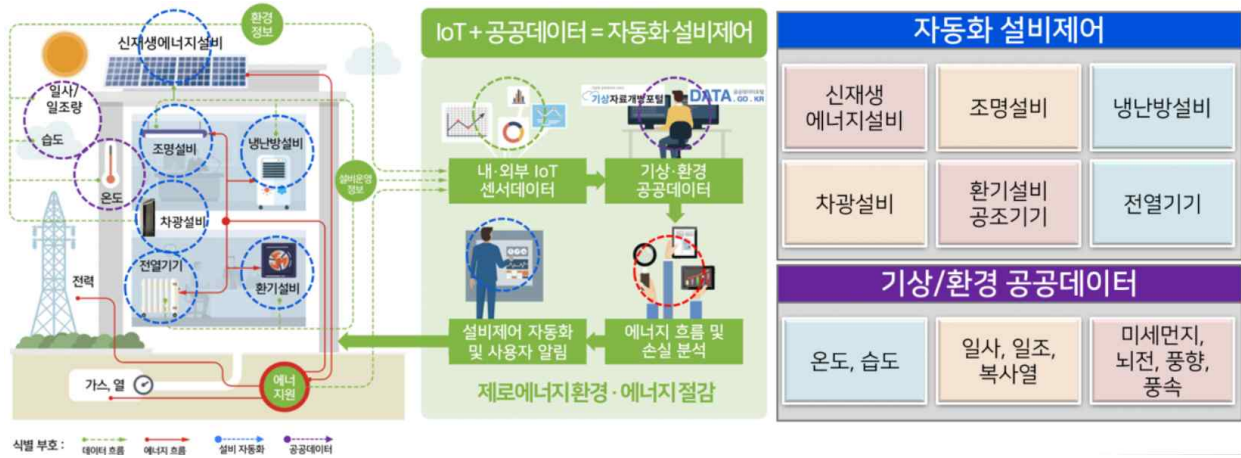
건물 에너지관리시스템(BEMS, Building Energy Management System)은 건물 내 주요 공간·설비에 부착한 센서를 통해 실시간으로 에너지 사용 데이터를 수집·분석한다. 이를 통해 에너지 소비를 절감하고 건물의 쾌적한 실내 환경을 유지하는데 활용하는 최첨단 ICT 시스템이다. 국외에서의 BEMS 시장은 에너지 관리에 필수 기술로 평가되어 신재생에너지 개발 활성화에 따라 시장 규모가 증가 중이며, 국내에서도 탭스페이스, 씨드앤, 한국전력 등의 기업에서 건물 에너지관리시스템(BEMS)를 개발하여 건물에너지 운영관리나 제어 서비스를 제공하고 있다. 정부는 2021년 1월에 건물 에너지관리시스템에 대한 국가표준(KS) 제정안을 확정하여 고시하였다. 데이터 수집, 분석, 활용 등 데이터 관리와 성과분석 체계를 운영 전주기에 걸쳐 표준화하여 정립함으로써 BEMS를 통한 에너지절감 효과를 객관적으로 확인할 수 있는 기반을 마련하였고 시스템 확산이 가속화될 것을 기대하고 있다.

<표 79> 건물 에너지 관리 시스템

기관	기술명	기술 내용
탭스페이스	제로에너지 자동화설비제어	기상정보를 활용하여 건물 에너지 사용을 분석하고 자동화 설비제어를 실시하는 솔루션을 제공함
씨드앤	리프	실시간 날씨 등 기상 데이터 학습을 통해 냉난방 에너지 수요를 예측하고 최적온도를 유지하는 서비스를 제공함
한국전력 (KEPCO)	K-BEMS	한국 전력이 개발한 에너지관리 시스템으로 고객의 다양한 에너지원 (건물 냉방·난방, 태양광 등) 사용정보를 실시간으로 수집 및 분석, 제어하여 최적의 에너지를 제안함으로써 에너지 효율 향상과 비용 절감을 위한 에너지 통합 제어시스템

출처: 한국기상산업기술원, 2021년도 4분기 신기술 및 R&D 정책 동향 보고서, 2021

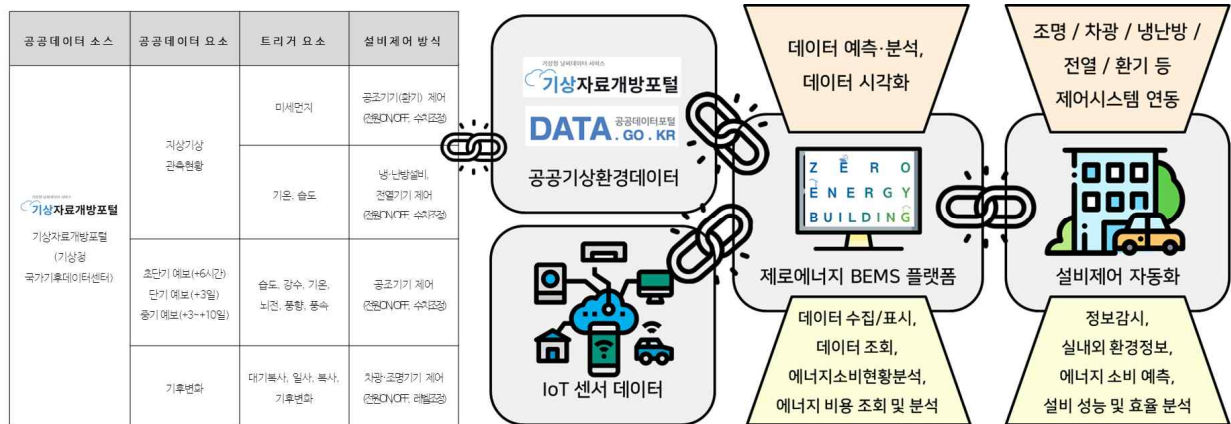
탭스페이스는 사물인터넷(IoT) 기술과 공공데이터를 이용하여 건물에너지 효율을 분석하고 에너지 소비를 최소화하는 건물에너지관리시스템(BEMS) 제공하며 이때 공공기상환경데이터로 미세먼지, 기온, 습도, 강수, 뇌전, 풍향, 풍속, 대기복사, 일사 등 다양한 기상정보를 활용한다.



출처: 오픈소스 소프트웨어 통합지원센터

([https://www.oss.kr/startup\\_support\\_co/show/e67a6cbc-5176-4c7e-8abf-97b4182f7d94?page=1](https://www.oss.kr/startup_support_co/show/e67a6cbc-5176-4c7e-8abf-97b4182f7d94?page=1)), 검색일: 2022/02/18

[그림 101] 탭스페이스의 공공데이터를 접목한 제로에너지 자동화 설비제어 솔루션



출처: 오픈소스 소프트웨어 통합지원센터

([https://www.oss.kr/startup\\_support\\_co/show/e67a6cbc-5176-4c7e-8abf-97b4182f7d94?page=1](https://www.oss.kr/startup_support_co/show/e67a6cbc-5176-4c7e-8abf-97b4182f7d94?page=1)), 검색일: 2022/02/18

[그림 102] 탭스페이스의 BEMS 활용 전략

씨드앤의 AirLeaf는 냉난방 에너지 수요를 예측하고 자동 전력수요를 제어하여 대형 건물에 최적화되어있던 기존 건물에너지관리시스템(BEMS)을 중소형 건물의 에너지 관리도 가능하게 하였다.

한국전력(KEPCO)의 K-BEMS(한전 종합에너지관리시스템)는 실시간 에너지사용 현황을 계측, 분석하고 자동화 제어를 통해 효율적 에너지 관리 및 비용 절감 서비스 제공하고 있다.

## 1.1.5. 신재생에너지 전력 제어 및 활용

### 1.1.5.1. 인공지능 활용 태양광·풍력 에너지의 출력제한 예측<sup>123)</sup>

Shams 등은 다양한 인공지능 모델에 기상자료를 활용하여 미국 지역의

123) 한국기상산업기술원, 기상정보 활용 신재생 에너지 연구 동향, 2021

풍력·태양광 에너지의 출력제한을 예측하고 검증하였고, 태양광 및 풍력발전에 전력이 초과 공급 될 경우 출력제한을 통해 신재생에너지의 전력 출력을 제한하여 송전 혼잡 및 조절가능함을 밝혔다.

### 1.1.5.2. 태양광 P2G(Power to Gas) 기술을 통한 유희전력\* 활용<sup>124)</sup>

※ 유희전력은 신재생에너지로 생산된 전력이 계통에 연계되지 못해 버려지는 전력<sup>125)</sup>

P2G 기술\*은 독일, 중국, 덴마크에서 핵심기술로 활용 중이며 2022년까지 EU에 속해있는 5개국(덴마크, 독일, 네덜란드, 이탈리아, 오스트리아) 및 17개 기관과 산업에서 ‘Super P2G’의 P2G 시스템 최적화 분석 Tool 개발사업이 진행 중이다.

※ 태양광 P2G 기술은 ‘Power to Gas’로 태양광·풍력의 출력으로 물을 전기분해해 수소를 생산 및 저장하거나, 이 수소를 이산화탄소와 반응시켜 생성된 메탄을 저장하는 기술로 전력을 연료 형태로 저장하는 기술<sup>126)</sup>이다.

독일에서는 CCGT(Combined Cycle Gas Turbine) 발전 과정에서 배출되는 CO<sub>2</sub>와 P2G를 통해 생산된 수소를 결합하여 생산된 메탄을 지하에 보관하고 있으며, 중국에서는 태양광발전 전력으로 생산된 메탄을 가스관에 직접 연결하여 계통의 안정도 향상 및 연료비 절감 효과를 확보하고 있다. 덴마크에서는 P2G 설비를 배전망에 연결하여 전압변동, 역전송 등 문제점을 해결하였다.

## 1.2. 발전량 예측에 필요한 기상정보 및 기술 목록화

태양광·풍력 발전량 예측을 위해서는 다양한 기상정보가 필요하지만, 그중에서도 태양광은 일사량, 풍력은 풍속, 풍향이 필수 정보로 활용되고 있다.

<표 80> 태양광·풍력 발전량 예측에 활용되는 기상정보 및 기술

구분	기관 및 기업	주요 기술	활용되는 정보	제공 정보
태양광	기상청	태양광 발전량 = 설비용량 TIMES일사강도[1+출력온도계수(모듈표면온도-25)]	수치예보 모델 자료, 설비용량, 발전단지 정보	전국 시/군/구 단위의 태양광 발전량 예측, 정보 제공
	한전	평균 일사량과 일조시간을 사용하는 기존 방식과 다른 기상정보와 미세먼지 농도 기준 사용	ASOS, AWS 기상정보(온습도), 일사량, 일조시간(예측모델), 미세먼지, 태양광 발전소의 과거 발전량 정보	태양광 발전량 예측 (한전KDN 햇빛지도)

124) 한국기상산업기술원, 기상정보 활용 신재생 에너지 연구 동향, 2021

125) 한국기상산업기술원, 기상정보 활용 신재생 에너지 연구 동향, 2021

126) 네이버 지식백과, <https://terms.naver.com/entry.naver?docId=3586197&cid=59277&categoryId=59283>, 검색일 : 2022-04-21



	서울시	ESRI사의 ArcGIS® Solar Radiation Tool과 자체 개발한 태양광 ScreeningLogic 이용	직사광, 산란광, 평균 직달일사량(2000년~2011년)	서울시의 태양광 입사 에너지, 태양광 발전량 예측, 방위별·설치각도별 일사효율
	(주)해썬	기상 수치예보, 기상관측 데이터, 천리안 2호 인공위성 데이터 활용	기상정보(기온, 풍속, 강수 및 습도 등), 과거 기상위성 영상, 과거 기상위성 영상의 활용 시점의 태양 고도각, 천리안 2호 인공위성(일사량, 구름 움직임 등)	햇빛지도, 과거 발전량 시뮬레이션, ESS 수익성 시뮬레이션 서비스 제공
태양광 & 풍력	한국전력 공사	국내외 기상청 수치예보 모델, 위성영상(구름 이동 분석 기술 등)을 이용하여 2km 격자 단위 전국 기상 관측 및 예보 자료 수집	천일일사, 수평면 산란일사, 법선면직달일사, 외기온도, 운량, 태양방위각, 고도각등	한 시간~일주일 동안의 발전량 예측(태양광, 풍력)
	에코브레인	맞춤형 기상 예보 기술과 풍력 발전량 산정 기술 이용하여 재생에너지 발전량 예측	풍속, 풍향 정보, 고도별풍속, 높이	재생에너지 발전량 예측(태양광, 풍력)
풍력	한국에너지 기술연구원	풍력에너지 잠재량(발전량) 산정	지면 기상자료 (KMA/ASOS/AWS) 해상 위성자료 (QSCAT/ASCAT)	풍력에너지 발전량

출처: 저자 작성(본문 재구성)

## 2. 수요자 요구사항 분석

### 2.1. 수요조사

#### 2.1.1. 수요조사 개요

##### □ 추진 목적

태양광·풍력 발전량 예측에 필요한 기상정보 도출과 수요자 요구사항 분석을 통한 태양광·풍력 에너지 기상지원방안을 마련하기 위해 수요 설문 조사를 진행하였다.

##### □ 조사 내용 및 방법

태양광·풍력 발전 관련기관(공공/민간) 관계자, 발전단지 사업자 등을 대상으로 필요 기상정보 및 예측기술의 수요를 파악하고, 운영 현황 및 애로사항을 조사하였다.

2022년 4월 1일부터 15일까지 2주간 Google Survey 온라인 설문 조사 플랫폼과 E-mail을 활용하여 태양광·풍력 발전사업자, 중개사업자, 전력시장/계통 운영자, 판매사업자, 민간사업자 등 100여 명을 대상으로 설문 조사를 진행하였다.

## □ 기대효과

본 수요 설문 조사를 통해 현장의 애로사항 및 실제 니즈를 파악하여 필요 기상정보와 기술을 목록화하고 조사된 내용에 대한 수요그룹별 심층적인 분석 및 주요 현안에 대한 개선방안 도출을 통해 사업 추진의 방향성을 확보할 수 있으며, 향후 기상청의 정책적·기술적 지원에 대한 근거 마련을 기대할 수 있다.

### 2.1.2 수요조사 설계

태양광·풍력 발전량 예측 개선을 위한 에너지 분야에서 기상정보(기상관측 및 예측정보) 활용 전반의 수요기상청 제공 데이터 및 기술 관련 수요조사 항목을 구조화하였다. 기상데이터, 수치모델, 기상관측장비, 서비스 4개 유형에 대한 핵심 항목들을 포괄하는 분류체계를 구성하고, 각 하위 항목들에 대한 만족도·필요도를 조사하여 우선순위를 파악하기 위한 설문 문항으로 설계하였다. 수요그룹 유형별 세부분석 및 시사점을 도출하기 위해 기본정보(소속 및 담당분야, 연령대, 소속지역, 재직기관 유형 등) 응답 항목을 추가하였다.

설문지의 척도 설계는 7점 척도를 활용하였으며, 일부 항목의 경우 응답자의 의견수렴을 위해 정성(주관식)평가 항목으로 설계하였다. 기술 수요는 상기 조사항목을 대상으로 필요도 측정과 주관항목을 통해 개별 응답자의 수요를 종합하였다.

## 2.1.3 수요조사 결과

### 2.1.3.1. 태양광 분야

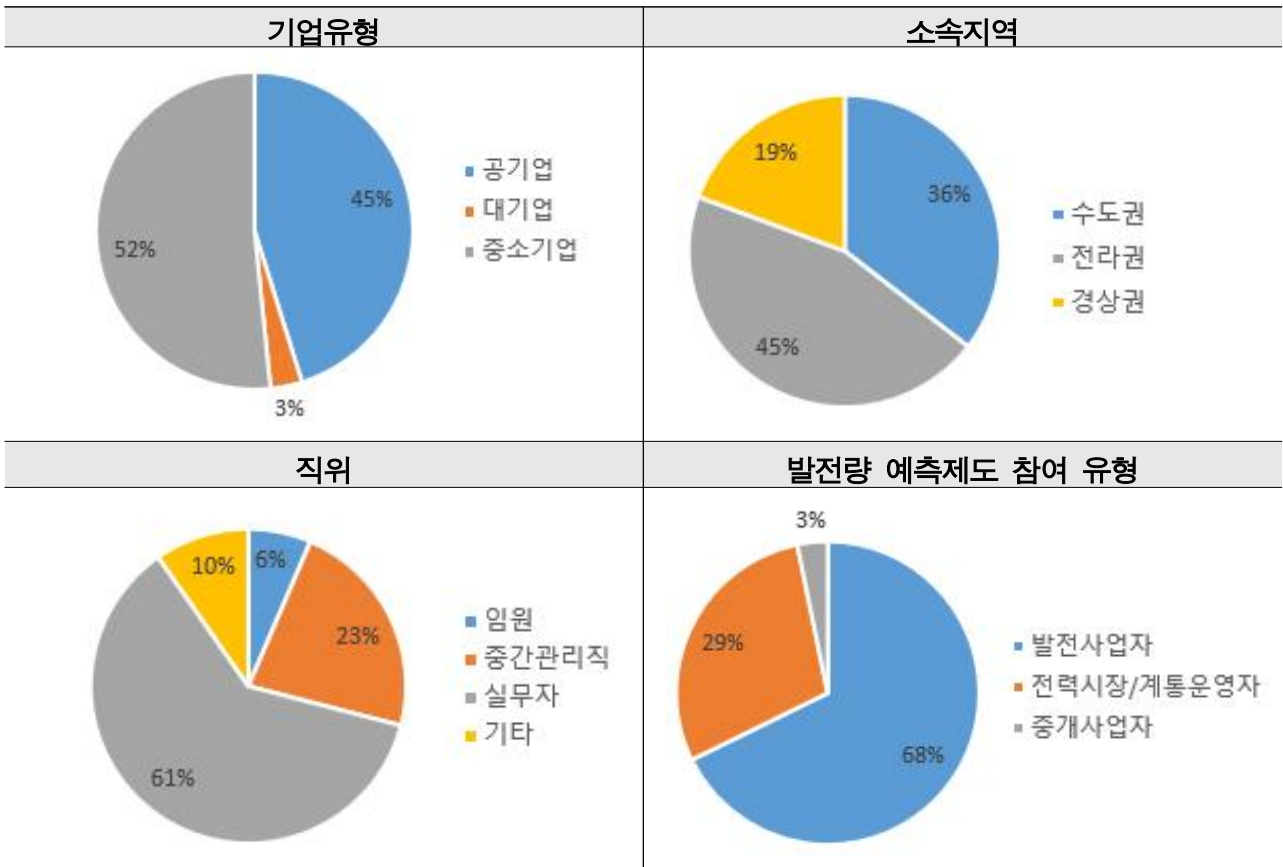
#### □ 설문 결과 개요

조사 기간 태양광 분야 31개의 응답(응답률 62%)을 회수하였으며 응답자 유형별 결과는 아래와 같이 요약 가능하다.

<표 81> 태양광 분야 수요조사 결과

구분		빈도(N)	비율(%)
전체		31	100
기업유형	대기업	1	3.2
	중견기업	-	-
	중소기업	16	51.6
	공기업	14	45.2
연령대	20대 이상	5	16.1
	30대 이상	10	32.3
	40대 이상	9	29.0
	50대 이상	7	22.6
직위	실무자	19	61.3
	중간관리직	7	22.6
	임원	2	6.5
	기타	3	9.7
소속 지역	수도권	11	35.5
	충청권	-	-
	전라권	14	45.2
	강원권	-	-
	경상권	6	19.4
	제주권	-	-
발전량 예측제도 참여 유형	발전사업자	21	67.7
	중개사업자	1	3.2
	전력시장/계통운영자	9	29.0
	판매사업자	-	-

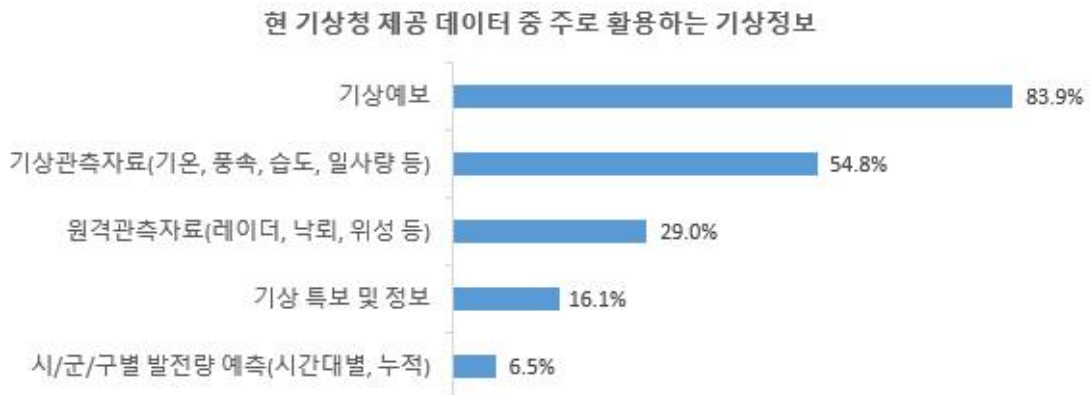
<표 82> 태양광 분야 수요조사 응답자 특성



□ 현 기상정보 서비스에 대한 만족도

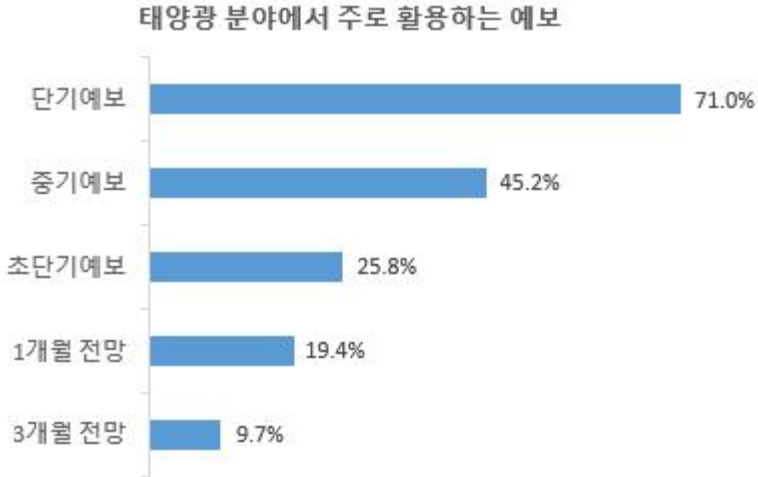
질문 1. 귀 기관에서는 태양광에너지 분야에서 현재 기상청에서 제공하는 데이터 중 어떤 기상정보를 주로 활용하고 계십니까? (복수 응답 가능)

태양광 분야에서 가장 많이 활용되는 기상정보는 기상예보가 83.9%로 가장 많고, 다음으로 기상관측자료(54.8%), 원격 관측자료(29.0%), 기상특보 및 정보(16.1%), 시군구별 발전량 예측(6.5%) 순으로 확인되었다.



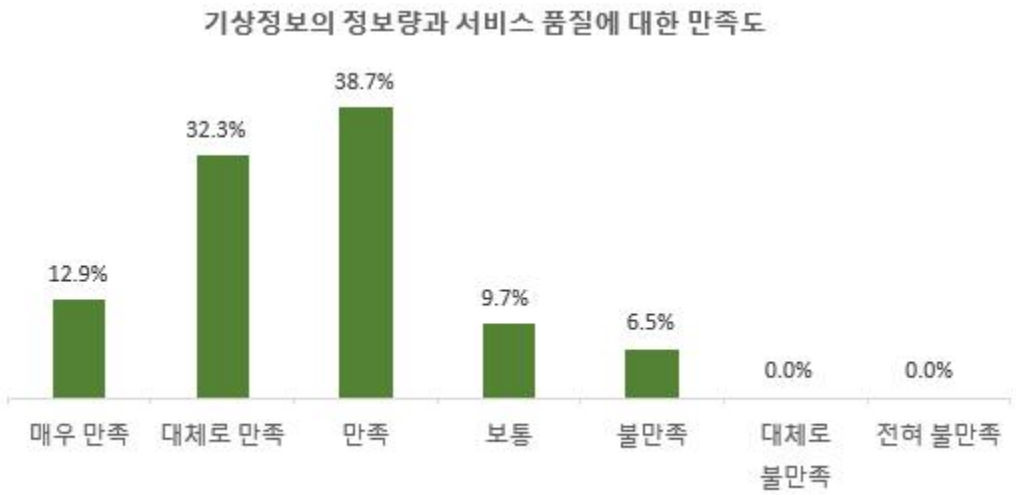
**질문 1-1. 태양광에너지 분야에서 주로 활용하는 예보는 무엇입니까? (복수 응답 가능)**

태양광에너지 분야에서 주로 활용되는 예보는 단기예보와 중기예보가 많았고, 그 뒤를 이어 초단기예보, 1개월 전망, 3개월 전망 순으로 나타났다.



**질문 2. 현재 제공되고 있는 기상정보의 정보량과 서비스 품질에 대한 귀하의 만족도는 어떠하십니까?**

현재 제공되고 있는 기상정보의 정보량과 서비스 품질에 대해 대부분(83.9%)의 이용자들은 대체로 만족하고 있는 것으로 확인되었다.



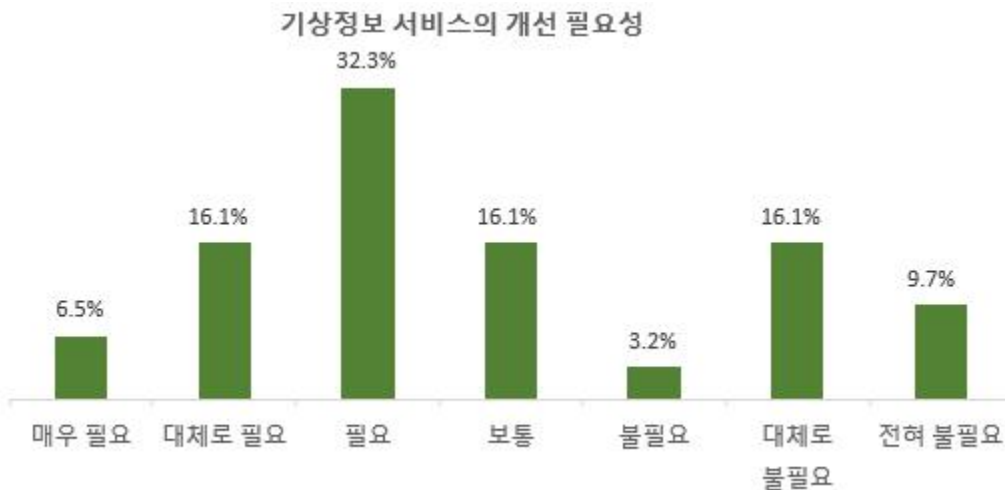
**질문 2-1. “불만족” 으로 응답한 경우 그 이유는 무엇입니까? (주관식)**

기상정보의 정보량과 서비스 품질에 대해 불만족으로 응답한 경우는 기상정보를 가공한 응용정보 및 일사예보의 부재, 정확성 등을 그 원인으로 응답하였다.

- 기상정보를 가공한 응용 정보가 부재한 현실에서 태양광 에너지에 활용되기 쉽지 않음
- 일사예보가 있으면 좋겠습니다
- 예측을 빗나간 경우가 많습니다

**질문 2-2.** 귀하는 현재 제공되고 있는 기상정보 서비스에 대해 개선의 필요성이 있다고 생각하십니까?

현재 제공되는 기상정보 서비스의 개선 필요성에 대해 응답자의 54.8%가 서비스 개선이 필요하다고 응답하였다.



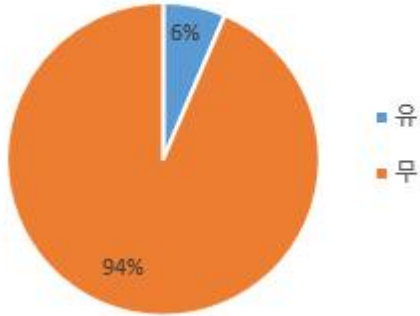
#### □ 기상정보 활용 현황 진단

**질문 3.** 태양광에너지 발전단지에 설치·운영 중인 기상관측장비가 있습니까?

**질문 3-1.** 있다면, 어떤 기상요소를 관측하는지 작성 부탁드립니다.

응답자의 6%가 태양광 발전단지에 기상관측장비를 설치 및 운영 중이고 강수, 일사량, 온도 등을 관측하고 있다고 응답하였다.

설치/운영 중인 기상관측장비 유무



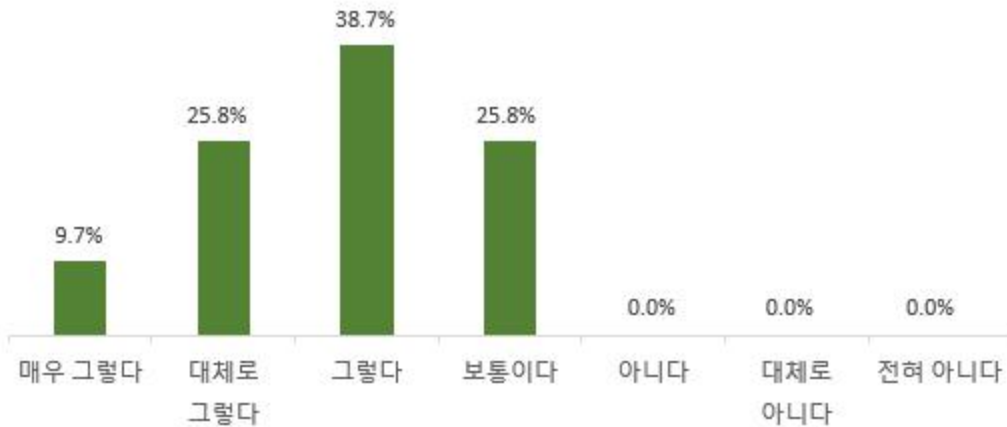
설치 운영 중인 기상관측장비로 관측하는 기상요소

- 강수
- 일사량, 온도

**질문 4.** 현재 태양광에너지 발전단지에 설치된 기상관측장비의 관측 데이터가 제대로 수집·활용되고 있다고 생각하십니까?

태양광에너지 발전단지에 설치된 기상관측장비 데이터가 제대로 수집·활용되고 있는지에 대한 질문에 응답자들은 대체로 긍정적인 답변을 제출하였으나, ‘기상관측장비운영에 대한 전문적인 지식 부족 및 관리미흡’, ‘데이터가 올라와도 작의적으로 변경하지 못하기 때문에’ 등의 추가 의견이 있었다.

기상관측장비 데이터의 수집·활용에 대한 의견



**질문 4-1.** “전혀 아니다/대체로 아니다/아니다” 로 응답한 경우 이유는 무엇인가요?

- 기상관측장비운영에 대한 전문적인 지식 부족 및 관리미흡
- 데이터가 올라와도 작의적으로 변경하지 못하기 때문에

**질문 5.** 귀 기관에서는 현재 발전단지 계측기를 통해 수집한 기상정보를 활용하기 위해 기상, 기후정보 데이터관리 전용 프로그램\*을 도입 및 운영하고 있습니까?

응답자의 16.1%(한전, 수력원자력, 에코전력)가 데이터관리 전용 프로그램을 도입 및 운영 중이라고 대답했고, 61.3%는 데이터 관리 프로그램의 도입 계획이 없는 것으로 확인되었다.

기상·기후정보 데이터관리 전용 프로그램 도입·운영 현황



□ 발전단지 기상관측 및 발전량 예측 개선 지원 방향

**질문 6.** 현재 기상청이 제공하는 관측자료(기온, 강수, 바람, 기압, 습도, 일사, 일조, 눈, 구름, 시정 등)를 태양광 에너지 분야에 활용하기 위해 추가로 필요한 사항이 있다면 작성 부탁드립니다. (주관식)

기상청 관측자료를 태양광에너지 분야에 활용하기 위해 추가적으로 필요한 사항에 대한 질문에 응답자들은 지점별 상세한 일사 자료, 관측지점 및 높이, 산간지역 예보 등을 필요사항으로 응답하였다.

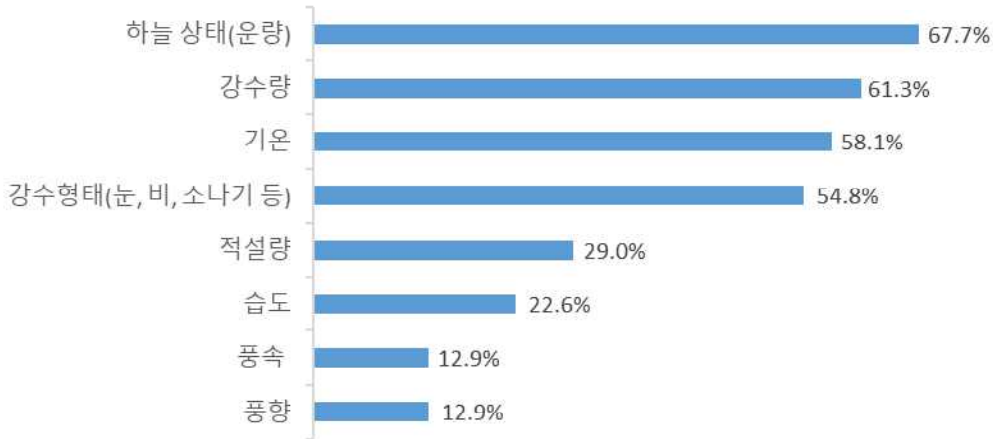
- 
- 향후 48시간 이상의 일사 예측값
  - 산간지역 예보
  - 관측지점
  - 일사, 일조
  - 관측 높이
  - 데이터에 만족하고 있다
  - 지역별 상세한 일사 자료
-



**질문 7.** 현재 기상청이 제공하는 기상예보 중 태양광에너지 분야에서 활용하는 요소는 무엇입니까? (복수 응답 가능)

응답자의 과반수 이상이 기상예보 중 하늘상태, 강수량, 기온, 강수 형태를 활용한다고 응답하였다.

기상예보 중 태양광 에너지 분야에서 활용하는 요소



**질문 7-1.** 태양광에너지 분야에 활용하기 위해 추가로 필요한 예보 요소가 있다면 작성 부탁드립니다. (주관식)

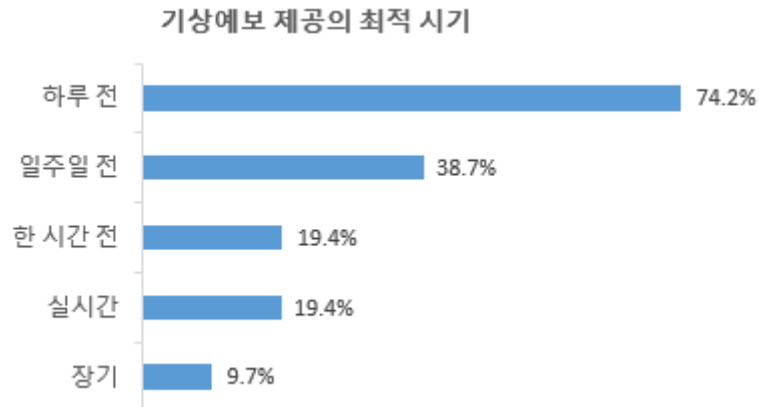
태양광에너지 분야에 필요한 예보 요소는 일사량에 관한 응답이 가장 많았으며, 이외에도 운고별 운량, 일조량이 언급되었다.

- 시간대별 일사량
- 지역별 48시간 이상의 일사량 예측 정보
- 일사량
- 일사예보
- 운고별 운량(상, 중, 하층운의 운량) 및 일사량
- 일조량
- 고도별 풍속
- 만족하고 있어서 추가적인 예보 요소는 없다

**질문 8.** 귀하는 발전량 예측에 활용하기 위해 기상청에서 제공하는 기상예보 제공의 최적 시기는 언제라고 생각하십니까? (복수응답 가능)

발전량 예측에 활용하기 위해 기상청에서 제공하는 기상예보 제공 최적 시기에

대한 질문에 응답자 73%가 ‘하루 전’ 으로 대답하였고, 38.7%가 일주일 전이라고 응답하였다.



**질문 9-1.** 태양광에너지 발전량 예측에 활용하기 위해서는 기상예측정보의 시간 간격(시간해상도)이 어느 정도가 적당하다고 생각하십니까?

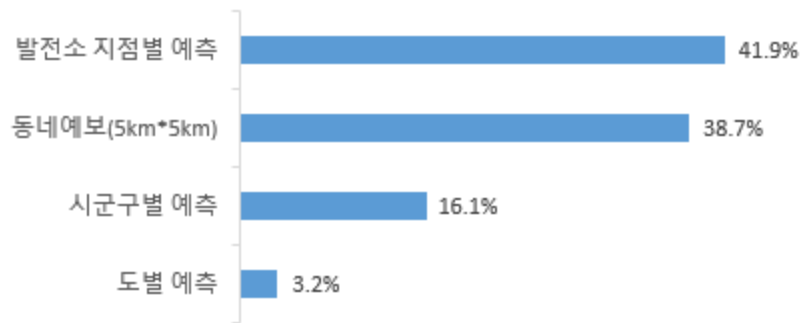
발전량 예측에 활용하기 위한 기상예측정보의 시간해상도는 1시간이 38.7%로 가장 많았고, 1일이 29.0%, 3시간이 25.8% 순으로 나타났고, 기타의견으로 15분 단위로 필요하다는 의견도 있었다.



**질문 9-2.** 태양광에너지 발전량 예측에 활용하기 위해서는 기상예측정보의 공간적 거리(공간 해상도)는 어느 정도가 적당하다고 생각하십니까?

발전량 예측에 활용하기 위한 기상예측정보의 공간해상도는 발전소 지점별 예측이 41.9%로 가장 많았고, 동네예보(5km\*5km)가 38.7%로 그 뒤를 따라 높게 나타났다.

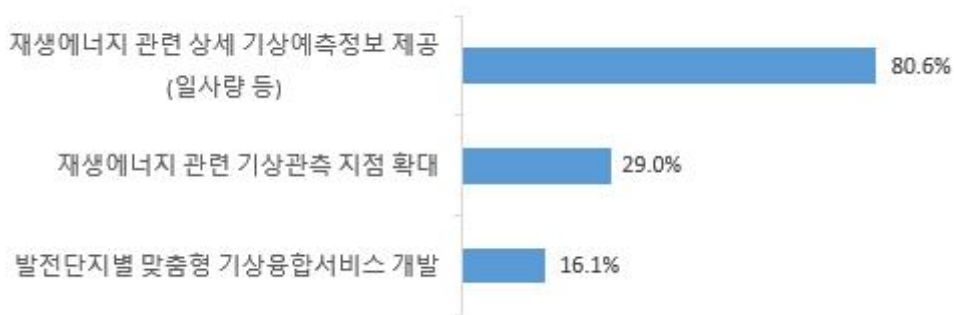
기상예측 정보의 공간 해상도



**질문 10.** 태양광에너지 발전량 예측의 정확도 향상을 위해 기상청에서 우선하여 추진해주었으면 하는 분야는 무엇입니까? (복수응답 가능)

발전량 예측의 정확도 향상을 위해 기상청에서 우선 추진해야하는 분야는 대한 질문에 응답자의 80.6%가 일사량 등 재생에너지 관련 상세 기상예측정보 제공을 선택하였다.

기상청의 우선 추진 분야



**질문 11.** 귀 기관에서 활용하거나 활용도가 높은 기상정보 제공방식은 무엇이라 생각하십니까?

활용도가 높은 기상정보 제공방식에 대한 질문에 응답자의 과반수가 공공데이터포털, 기상자료 개방포털 API 제공을 선택하였다.

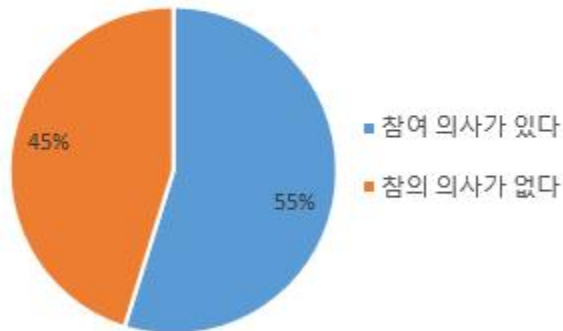
### 활용도가 높은 기상정보 제공방식



**질문 12.** 귀하는 재생에너지 분야 기상지원을 위해 기상청과 재생에너지 관련 이해관계자들이 참여하는 ‘재생에너지 기상지원 민관협의체(가칭)’가 구성된다면 참여할 의사가 있으십니까?

기상청과 재생에너지 관련 이해관계자들이 참여하는 협의체의 참여 의사도 질문에 응답자의 과반수가 민관협의체에 참여할 의사가 있다고 응답하였다.

### 협의체 참여 의사



**질문 13.** 재생에너지 발전량 예측과 관련한 현장의 애로사항에 대해 작성 부탁드립니다.

기상에 민감한 태양광 설비의 증가로 갑작스러운 기상개황 변동, 기상청 공인 일사량 예측자료의 부재, 기상 예측정보의 정확성 등을 애로사항으로 응답하였다.

- 
- 태양광 설비 증가로 갑작스러운 기상개황 변동으로 전국 단위 태양광 발전량 예측이 점점 힘들어지고 있음
  - 일사 예측 필요
  - 기상청 공인 일사량 예측자료가 없어 자체 예측시스템을 운영 중이나 앞으로는 기상청의 공식 일사예보가 제공되어야 한다고 생각
  - 날씨 변화의 돌발성
  - 정확한 기상 예측정보 필요
  - 시행 초기라 아직은 애로사항을 느끼지 못함
- 

**질문 14.** 재생에너지 발전량 예측을 위한 기상지원에 있어 향후 보완해야 할 부분에 대한 의견을 작성 부탁드립니다.

재생에너지 발전량 예측을 위한 기상지원에 있어 향후 보완해야 할 부분에 대한 의견으로 응답자들은 일사량 및 구름 예측과 산, 바다, 호수 주변의 안개 예측, 예측지점 세분화, 제도적 보완 등을 제시하였다.

- 
- 향후 일사량 정보 48시간 이상 필요
  - 제도적 보완 필요
  - 구름예측이 가장 어려운 부분임을 잘 알고 있습니다. 하지만 시시각각 변하는 전력수요 및 발전량에 대응하고 안정적인 에너지공급을 위해서는 도전적인 과제로 인식하고 실행에 옮겨야 한다고 생각합니다.
  - 예측지점이 세분되면 좋겠다. 특히 큰 산이나 바다나 호수 주변의 안개 또는 운무 발생 여부 등
-

### 2.1.3.2. 풍력 분야

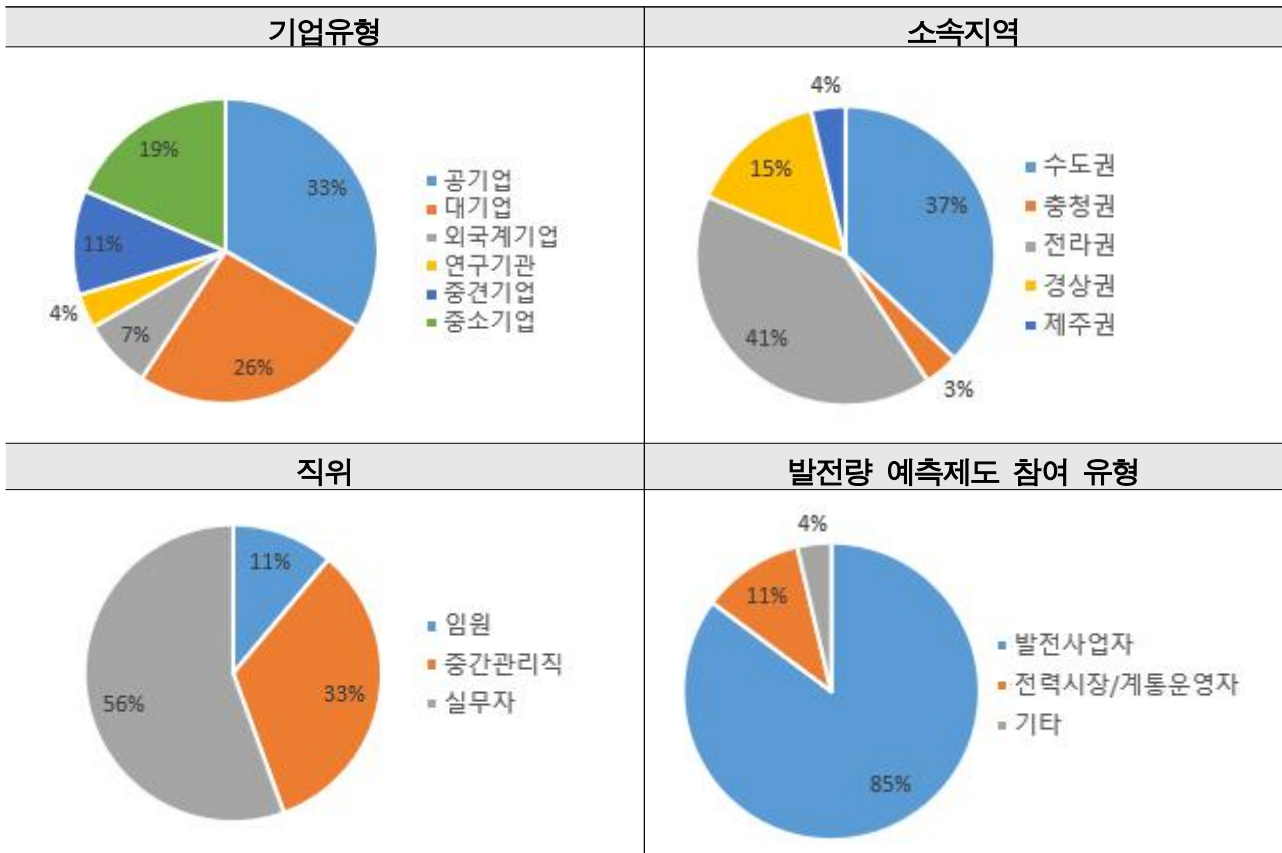
#### □ 설문 결과 개요

조사 기간 풍력 분야 27개의 응답(응답률 54%)이 회수되었으며 응답자 유형별 결과는 아래와 같다.

<표 83> 풍력 분야 수요조사 결과

구분		빈도(N)	비율(%)
전체		27	100
기업유형	대기업	7	25.9
	중견기업	3	11.1
	중소기업	5	18.5
	공기업	9	33.3
	외국계기업	2	7.4
	연구기관	1	3.7
연령대	20대 이상	4	14.8
	30대 이상	9	33.3
	40대 이상	12	44.4
	50대 이상	2	7.4
직위	실무자	15	55.6
	중간관리직	9	33.3
	임원	3	11.1
소속 지역	수도권	10	37.0
	충청권	1	3.7
	전라권	11	40.7
	강원권	-	-
	경상권	4	14.8
	제주권	1	3.7
발전량 예측제도 참여 유형	발전사업자	23	85.2
	중개사업자	-	-
	전력시장/계통운영자	3	11.1
	판매사업자	-	-
	기타	1	3.7

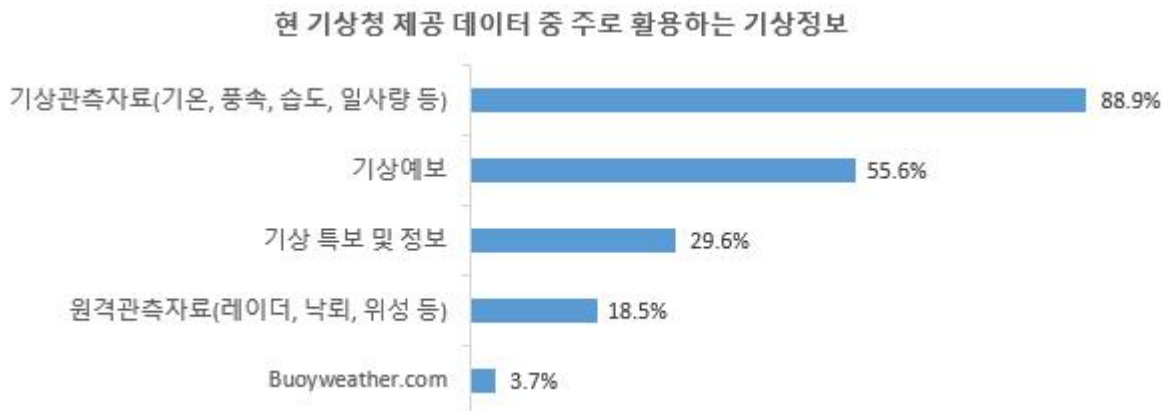
<표 84> 풍력 분야 수요조사 응답자 특성



□ 현 기상정보 서비스에 대한 만족도

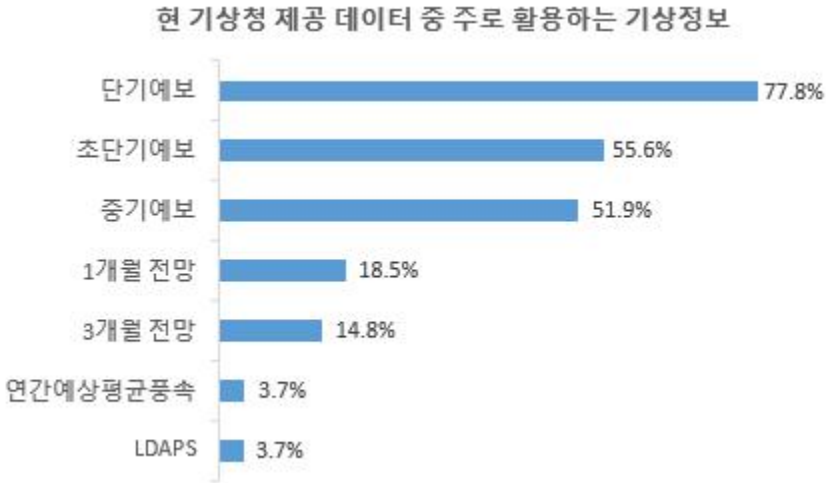
질문 1. 귀 기관에서는 풍력에너지 분야에서 현재 기상청에서 제공하는 데이터 중 어떤 기상정보를 주로 활용하고 계십니까? (복수 응답 가능)

풍력에너지 분야에서 주로 활용하는 기상정보는 기상관측자료가 88.9%로 가장 많고, 다음으로 기상예보(55.6%), 기상 특보 및 정보(29.6%) 순으로 확인되었다.



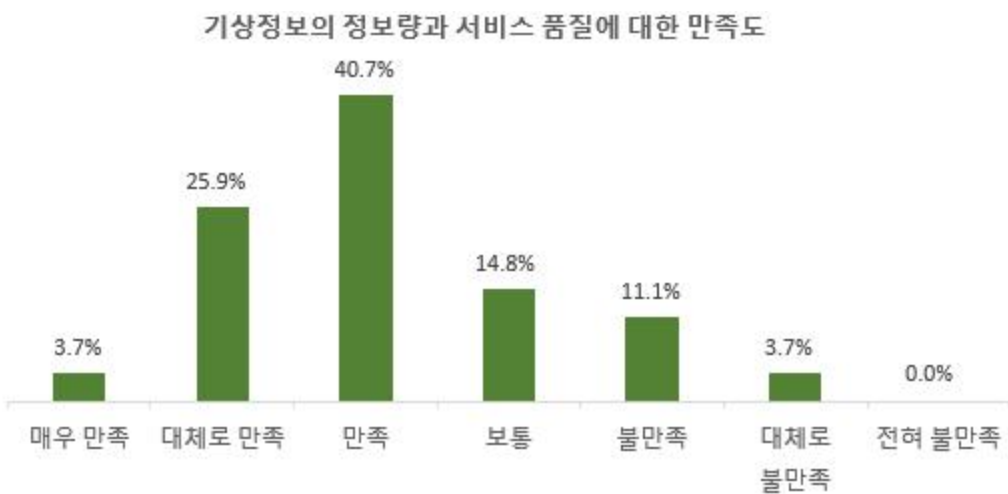
**질문 1-1. 풍력에너지 분야에서 주로 활용하는 예보는 무엇입니까? (복수 응답 가능)**

풍력에너지 분야에서 주로 활용되는 예보는 단기예보가 가장 많았고, 이어 초단기예보, 중기예보, 1개월 전망, 3개월 전망 순으로 나타났다.



**질문 2. 현재 제공되고 있는 기상정보의 정보량과 서비스 품질에 대한 귀하의 만족도는 어떠하십니까?**

이용자들은 현재 제공되는 기상정보 정보량과 서비스 품질에 대체로 만족하고 있는 것으로 확인되었다.





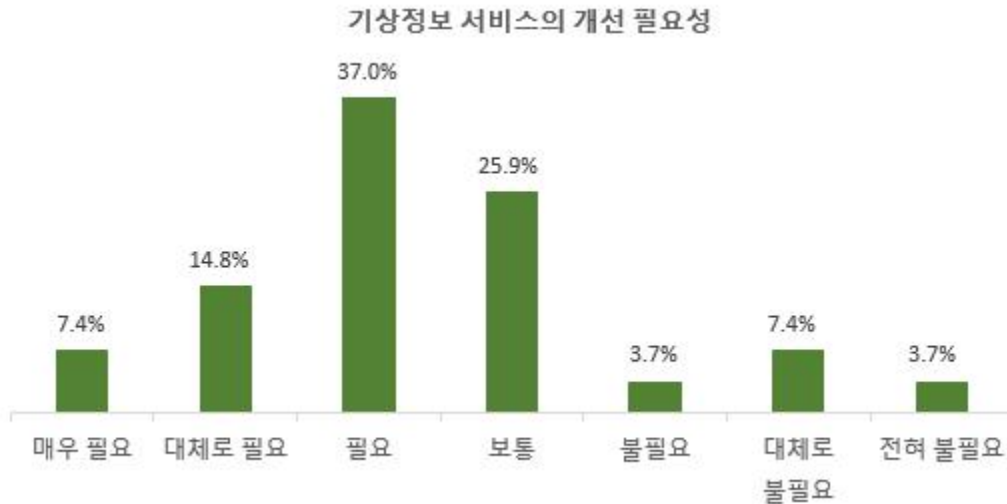
**질문 2-1. “불만족” 으로 응답한 경우 그 이유는 무엇입니까?**

기상정보의 정보량과 서비스 품질에 대해 불만족을 표시한 응답자들은 실시간 수신 기능, 예보의 정확성 및 주기, 인터페이스 등 사항에 불만족하다고 답하였다.

- 적시의 예보자료 활용 미흡
- 데이터의 신뢰성이 떨어짐
- 데이터의 실시간 수신 불가능, 풍력단지 적용에 적합하지 않은 데이터 범위
- 단기예보의 정확성 및 주기가 더 빨랐으면 함
- 인터페이스

**질문 2-2. 귀하는 현재 제공되고 있는 기상정보 서비스에 대해 개선의 필요성이 있다고 생각하십니까?**

현재 제공되는 기상정보 서비스의 개선 필요성에 대해 응답자의 56%가 현재 제공 중인 기상정보의 서비스 개선이 필요하다고 응답하였다.

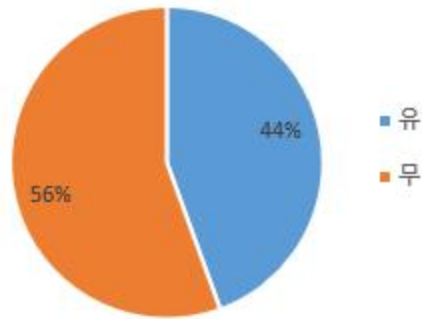


**□ 기상정보 활용 현황 진단**

**질문 3. 풍력에너지 발전단지에 설치·운영 중인 기상관측장비가 있습니까?**

응답자의 44%가 풍력 발전단지에 기상관측장비를 설치 및 운영 중이라고 응답하였다.

설치/운영 중인 기상관측장비 유무



질문 3-1. 있다면, 어떤 기상요소를 관측하는지 작성 부탁드립니다.

풍력 발전단지에서 관측하는 기상요소는 풍속, 풍향, 풍황, 기온, 강수라고 응답하였다.

- 
- 풍속 9건
  - 풍향 5건
  - 기온 3건
  - 풍황 3건
  - 비와 바람 1건
- 

질문 4. 현재 풍력에너지 발전단지에 설치된 기상관측장비 데이터가 제대로 수집·활용되고 있다고 생각하십니까?

풍력 발전단지 내 기상관측장비의 관측 데이터는 제대로 수집되고 있다는 의견이 우세하였다.

기상관측장비 데이터의 수집·활용에 대한 의견



질문 4-1. “전혀 아니다/대체로 아니다/아니다” 로 응답한 경우 이유는 무엇인가요?

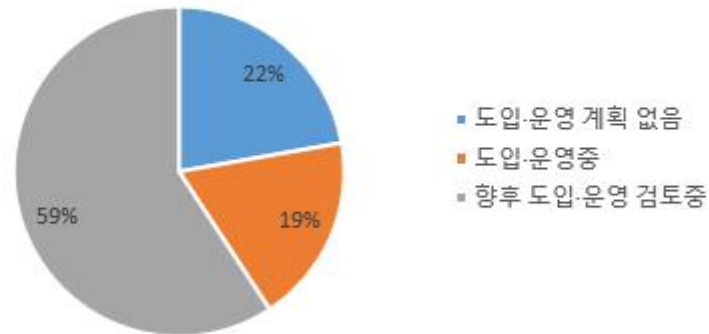
‘아니다’ 등의 부정적인 답변을 제출한 이유는 기상이변으로 인한 잦은 고장으로 계측 중단기간 발생 빈도 증가, 고도별 풍속 등 세부자료 필요, 풍황 데이터 비공개로 활용 불가 등으로 나타났다.

- 잦은 고장으로 계측중단기간 발생(기상이변으로 빈도 증가)
- 고도별 풍속 등 세부자료 필요
- 데이터 활용 및 공유 미흡
- 기 개발되어 운영중인 단지의 풍황데이터는 사기업 또는 SPC의 비공개 데이터로 알고 있음.

질문 5. 귀 기관에서는 현재 발전단지 계측기를 통해 수집한 기상정보를 활용하기 위해 기상, 기후정보 데이터관리 전용 프로그램\*을 도입 및 운영하고 있습니까?

데이터관리 전용프로그램은 응답자의 19%가 운영 중이고, 59%가 도입 및 운영을 검토 중인 것으로 나타났다.

### 기상·기후정보 데이터관리 전용 프로그램 도입·운영 현황



#### □ 발전단지 기상관측 및 발전량 예측 개선 지원 방향

**질문 6.** 현재 기상청이 제공하는 관측자료(기온, 강수, 바람, 기압, 습도, 일사, 일조, 눈, 구름, 시정 등)를 풍력에너지 분야에 활용하기 위해 추가적으로 필요한 사항이 있다면 작성 부탁드립니다.

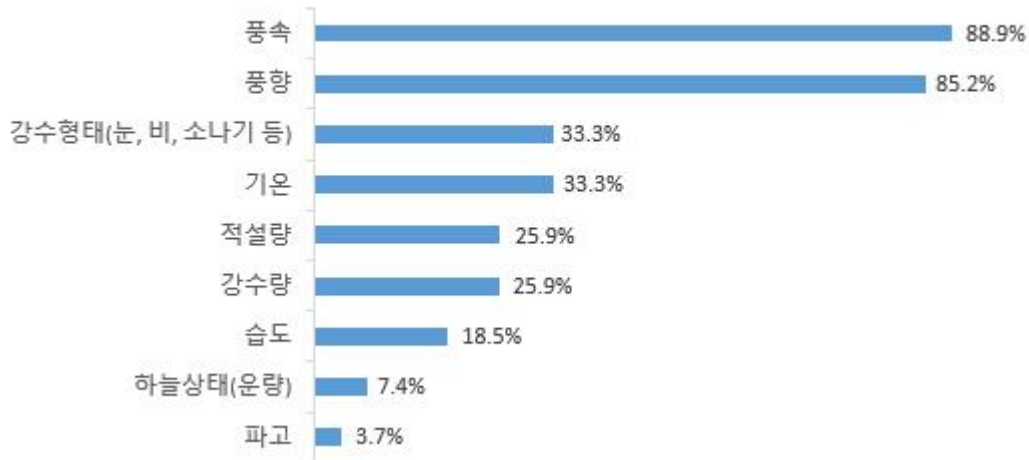
발전단지 기상관측 및 발전량 예측 개선 지원 방향을 확인하기 위해 기상청 제공 관측자료를 태양광 에너지 분야에 활용하기 위해 추가적인 사항에 대한 질문에 응답자들은 높이별 풍황 데이터를 가장 필요하다고 생각하였으며, 이외에도 지형과 고도에 따른 풍속, 풍향 정보 등을 필요로 하였다.

- 
- 높이
  - 수직 기온 정보
  - 지형과 고도에 따른 풍속, 풍향
  - 높이별 관측 결과(풍향, 풍속) 80m, 100m, 120m, 150m
  - 고도별 데이터, 지역 상세 분석
  - 다양한 높이에서의 풍속데이터 제공 필요
  - 관측지점 높이
  - 풍력터빈 높이에서의 풍향 풍속, 대기안정도
  - 풍력단지에 적합한 고도별(고도 200m 이내) 풍향, 풍속정보, 1시간 이내 시간간격을 갖는 예보 데이터, 공간해상도 100m 이내의 예보 자료, 시간 단위 예보데이터의 실시간 수신 기능
  - 다양한 높이에서의 풍속데이터 제공필요
  - 높이 관측지점 등
  - 데이터의 측정높이, 평균값의 기준(3초, 1초, 10분 등) 명기 필요
  - 관측지점이 더 많이 늘어나야 한다
  - 관측 지점, 높이별 풍향 데이터 필수
  - 실제 영향받는 관측지점 높이
  - 풍력단지에 적합한 고도별(고도 200 m 이내) 풍향
  - 풍속 정보
  - 1시간 이내 시간간격을 갖는 예보 데이터
  - 공간해상도 100 m 이내의 예보 자료
  - 시간 단위 예보 데이터의 실시간 수신 기능
  - 풍력터빈 높이에서의 풍향 풍속
  - 대기안정도
  - 풍향
  - 기온
  - 관측지점 높이
- 

**질문 7.** 현재 기상청이 제공하는 기상예보 중 풍력에너지 분야에서 활용하는 요소는 무엇입니까? (복수 응답 가능)

기상청에 제공하는 기상예보 중에 풍력에너지 분야에서 활용하는 기상요소는 풍속, 풍향이 80% 이상으로 가장 많았고, 강수형태와 기온이 약 33%, 적설량 및 강수량은 약 25%로 나타났다.

기상예보 중 풍력에너지 분야에서 활용하는 요소



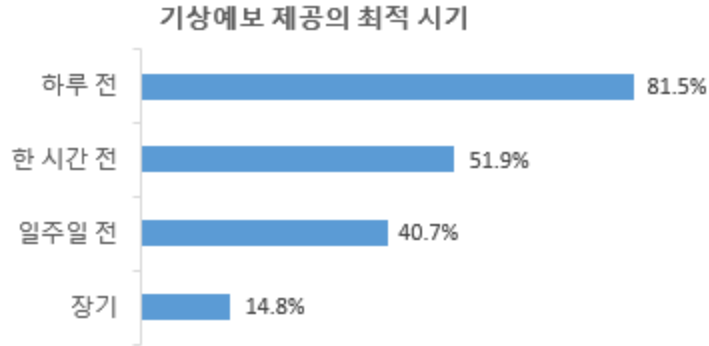
질문 7-1. 풍력에너지 분야에 활용하기 위해 추가로 필요한 예보 요소가 있다면 작성 부탁드립니다.

풍력에너지 분야에 활용하는 데 필요한 추가 예보 요소는 높이별 바람 정보가 다수 있었고, 그 외에 가시거리, 파고, 윈드시어, 난류 등이 언급되었고, 고해상도 데이터, 관측장비의 합리적인 위치에 설치가 필요하다는 의견이 있었다.

- 수직기온 정보
- 지형과 고도에 따른 풍속
- Wind shear
- 측정장비 위치를 합리적으로 설치
- 80m, 100m, 120m 등 다양한 높이별 풍향 정보
- 높이별 관측 결과(풍향, 풍속) 80m, 100m, 120m, 150m
- 풍향 가시거리, 파고 등
- 80m~150m 사이의 풍속(현재 설치중인 타워 높이 기준)
- 높은 위치의 풍속
- 풍력터빈고도에서의 풍향, 풍속, 대기 안정도
- 고도 50m~200m 범위 내 다지점 데이터(풍향, 풍속, 난류)
- 고해상도(시간, 공간) 데이터

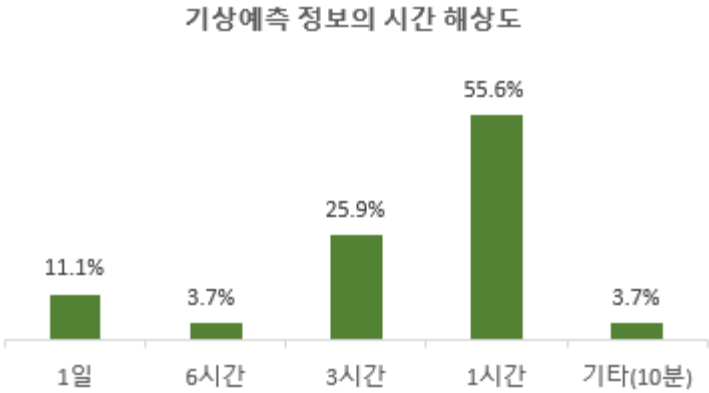
질문 8. 귀하는 발전량 예측에 활용하기 위해 기상청에서 제공하는 기상예보 제공의 최적 시기는 언제라고 생각하십니까? (복수응답 가능)

발전량 예측에 활용하기 위해 기상청에서 제공하는 기상예보의 최적 제공 시기는 하루 전 81.5%, 한 시간 전 51.9%, 일주일 전 40.7% 순으로 대답하였다.



**질문 9-1.** 풍력에너지 발전량 예측에 활용하기 위해서는 기상예측정보의 시간 간격(시간 해상도)이 어느 정도가 적당하다고 생각하십니까?

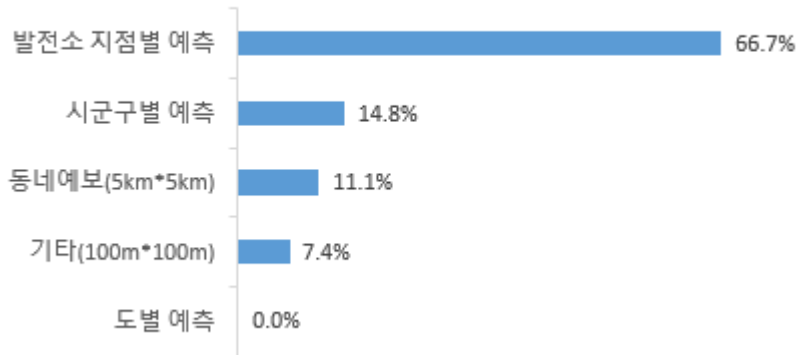
발전량 예측에 활용하기 위한 기상예측정보의 시간해상도는 1시간이 55.6%로 가장 많았고, 3시간 25.9%, 1일 11.1% 등 응답이 확인되었다. 기타의견으로 10분 간격의 예측정보가 적당하다는 의견이 있었다.



**질문 9-2.** 풍력에너지 발전량 예측에 활용하기 위해서는 기상예측정보의 공간적 거리(공간 해상도)는 어느 정도가 적당하다고 생각하십니까?

발전량 예측에 활용하기 위한 기상예측정보의 공간해상도는 발전소 지점별 예측이 66.7%로 가장 많았고, 100mx100m 해상도가 적당하다는 의견도 7.4%로 나타나 태양광 분야에 비해 더 상세한 예보가 필요하다는 의견이 확인되었다.

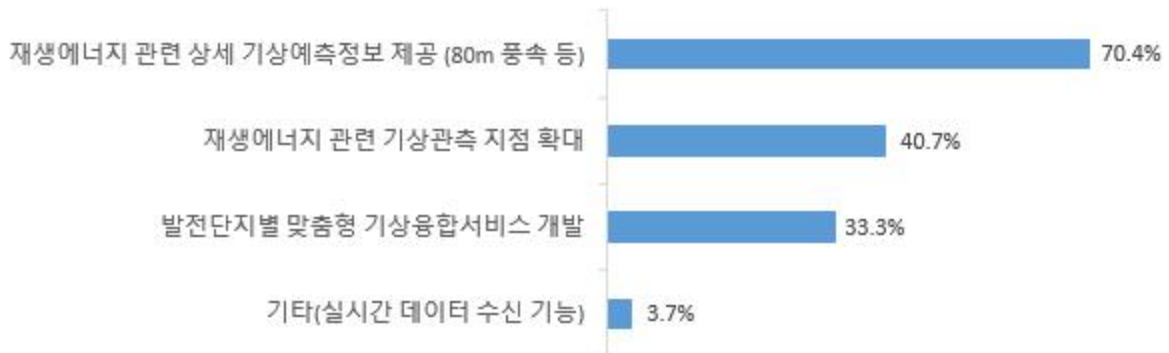
기상예측 정보의 공간 해상도



**질문 10.** 풍력에너지 발전량 예측의 정확도 향상을 위해 기상청에서 우선하여 추진해주었으면 하는 분야는 무엇입니까? (복수응답 가능)

발전량 예측의 정확도 향상을 위해 재생에너지 관련 상세 기상예측정보 제공(80m 풍속 등)을 추진해야 한다는 의견이 70.4%로 가장 많았고, 이외에도 재생에너지 관련 관측지점 확대, 발전단지별 맞춤형 기상융합서비스 개발, 실시간 데이터 수신 기능 등이 제기되었다.

기상청의 우선 추진 분야



**질문 11.** 귀 기관에서 활용하거나 활용도가 높은 기상정보 제공방식은 무엇이라 생각하십니까?

활용도가 높은 기상정보 제공방식에 대한 질문에 공공데이터포털, 기상자료개방포털 API가 70%로 가장 많았다.



활용도가 높은 기상정보 제공방식



**질문 12.** 귀하는 재생에너지 분야 기상지원을 위해 기상청과 재생에너지 관련 이해관계자들이 참여하는 ‘재생에너지 기상지원 민관협의체(가칭)’가 구성된다면 참여할 의사가 있으십니까?

응답자의 75%가 재생에너지 기상지원 민관협의체(가칭)에 참여할 의사가 있다고 대답하였다.

협의체 참여 의사



**질문 13.** 재생에너지 발전량 예측과 관련한 현장의 애로사항에 대해 작성 부탁드립니다.

현장의 애로사항 질문에 대해 응답자들은 기상데이터의 체계화 및 상세 정보 제공, 예보 정확성 제고, 기상예보 데이터 접근성 향상과 관련한 애로사항을 언급하였다.

- 발전량 예측이 발전사업 go/stop 결정하는 중요한 요소 중의 하나인데, 발전량 예측 정보의 현재보다는 좀더 조밀한 데이터 필요
- 해상풍력 사업을 위해 해상 기상데이터를 체계화가 필요합니다.(지역별 풍황 데이터 추가)
- 예보의 정확성에 따라 발전량 예측이 달라지는 점
- 현장 계측 데이터 외 상세 공공데이터의 부재로 데이터 정확성 확보에 어려움이 있습니다.
- 풍력발전량은 예측정확도가 10퍼센트 내외로 제주도에서는 현재 부하차단이 자주 발생해 민원이 자주 발생하고 있고 계통운영에도 우려움이 큼니다. 시간대별 풍력예측정확도가 높아져야 이런 어려움이 해소가 되리라 봅니다. 특히 탄소중립정책으로 풍력설비용량이 지속 증가할 것으로 예상되므로 신뢰도 높은 발전량예측정보가 제공될 필요가 있다고 봅니다.
- 일반인이 기상 예보 데이터를 수신하는 시간은 다음날에나 가능합니다. (이것도 기상사업자인 경우) 우선 기상 예보 데이터에 대한 접근성 향상이 무엇보다 중요해보입니다. 공공성 향상을 위해 관련 서버 증설을 통해 보다 많은 사업자 및 관련자들이 접근 가능하도록 해야합니다.
- 풍력은 지형과 발전단지 배치에 크게 영향을 받기 때문에 일기예보 또는 기상예보를 통해 사전에 발전량을 예측하기 어려움.
- 간단하게 다운로드 받을 수 있게
- 기상변화에 따른 생산량 차이로 발전량 예측에 어려움

**질문 14.** 재생에너지 발전량 예측을 위한 기상지원에 있어 향후 보완해야 할 부분에 대한 의견을 작성 부탁드립니다.

재생에너지 발전량 예측을 위한 기상지원에 있어 향후 보완해야 할 부분에 대한 의견으로 응답자들은 높이별 관측 결과 세분화 및 측정 지점 확대, 발전단지 인근 실시간 풍황예보, 맞춤형 서비스, 기상예보 데이터 접근성 향상, 협의체 구성을 통한 실수요 즉각 반영에 대한 보완이 필요하다고 응답하였다.

- 발전량 예측이 발전사업 go/stop 결정하는 중요한 요소 중의 하나인데, 발전량 예측 정보의 현재보다는 좀더 조밀한 데이터 필요
- 높이별 관측 결과 (풍향, 풍속) 세분화, 측정 지점 확대
- 재생에너지 설치된 발전단지 인근 풍황예보가 실시간 가능했으면 합니다.
- 맞춤형 서비스 제공
- 재생에너지 발전은 시대를 거스를수 없는 발전원으로서 향후 지속적으로 설비용량이 급증할 것으로 전망됩니다. 재생에너지의 원천은 곧 기상이므로 기상예측정보의 중요성은 앞으로 더욱 부각될 것입니다. 기상청에서 발빠르게 대응해주셔서 미래의 예상되는 어려움에 사전 대응할 수 있는 토대가 마련되었으면 합니다.
- 일반인이 기상 예보 데이터를 수신하는 시간은 다음날에나 가능합니다. (이것도 기상사업자인 경우) 우선 기상 예보 데이터에 대한 접근성 향상이 무엇보다 중요해보입니다. 공공성 향상을 위해 관련 서버 증설을 통해 보다 많은 사업자 및 관련자들이 접근 가능하도록 해야합니다.
- 풍력의 경우, 기존 국가바람지도의 해상도가 너무 떨어져 실측데이터와 차이가 큼. 이에 고해상도의 국가바람지도를 재작성하는 것이 좋을 것으로 생각됨.
- 간단하게 다운로드 받을 수 있게
- 예측과 실제 산출치 간의 편차를 조기에 인식하여 편차 최소화 필요
- 협의체 구성 통한 실수요의 즉각 반영 필요

## 2.2. 수요조사 결과 델파이 검증

### 2.2.1. 델파이 검증 개요

재생에너지 분야별 전문가를 대상으로 설문조사 결과를 재평가하여 조사 취지에 맞는 결과를 도출하기 위해 전문가 델파이 검증을 진행함으로써 실질적인 수요파악을 통한 기상청의 정책적·기술적 지원에 대한 근거를 마련하는 데 그 목적이 있다.

분야별 전문가를 선정하여 수요자 요구사항 조사 결과에 대한 내용타당도(CVR, Content Validity Ratio) 검증을 통해 수요 분석결과를 재평가하여 이해관계자 대상 수요조사 결과의 타당성을 검증하였다.

델파이 검증은 2022년 4월 15일부터 19일까지 5일간 재생에너지 관련 분야 산·학·연 전문가 11인을 대상으로 비대면 서면 자문을 실시하였고, 수요결과에 대한 5점 리커트 척도로 구성된 항목별 중요도 분석을 수행하여 전문가 의견을 취합하였다.

<표 85> 델파이 검증에 참여한 전문가 위원

전문가 위원	소속
박준기 차장	한국남동발전 에너지신사업부
박윤식 선임연구원	한국전력 데이터사이언스연구소
김종규 대표	식스티헤르츠
이효섭 상무	인코어드테크놀로지스
방조혁 소장	유니슨(주)
이현진 교수	국민대학교
김인행 선임연구원	제주대학교 풍력공학부 교수
전기량 일반연구원	한국전력 데이터사이언스연구소
강동주 소장	해죽
주영훈 교수	군산대학교 풍력기술연구센터
이광세 팀장	한국에너지기술연구원 풍력연구팀

#### 2.2.1.1. 내용타당도 (CVR) 분석

내용타당도(CVR, Content Validity Ratio)는 검사 문항이 측정하려고 하는 내용을 얼마나 잘 대표하고 있는지를 나타내는 비율(Lawshe, 1975)로 델파이 기법을 활용한 의사결정을 위해 가장 중요한 통계 수치를 제공하는 검정 방법의 하나이다. CVR 값은 델파이 조사에 참여한 패널 수에 따른 내용타당도 최소값을 제시하며 유의도는 0.05 수준에서 CVR 값이 최소값 이상일 경우 문항에 대한 내용타당도를 확보한 것으로 판단하는 통계분석 방법론이다. 본 연구의 델파이 검증에 참여한 패널 수는 11명으로 CVR 최소 임계값이 0.59를 넘는다면 ‘이

문항의 내용타당도를 95% 신뢰도에서 만족했다.’ 라고 판단할 수 있다. 즉, 수요조사 각 질문 항목에 대한 전문가 위원의 타당도 응답 결과가 CVR 최소값을 넘으면 전문가 회의 논의 대상에 포함하였다.

$$CVR = \frac{ne - \frac{N}{2}}{\frac{N}{2}}$$

패널수	CVR 최소값
8	0.75
9	0.78
10	0.62
<b>11</b>	<b>0.59</b>
12	0.56
13	0.54
14	0.51
15	0.49

N은 응답한 패널 수, ne는 중요하다고 응답한 사례 수

### 2.2.1.2. 델파이 검증 결과

#### □ 태양광에너지 분야

##### ① 관측자료 중 추가로 필요한 기상요소

태양광 분야에서 활용하기 위한 관측자료 중 추가로 필요한 기상요소에 대해 CVR 계수에서 임계치 범위 안에 들어간 요소는 ‘지역별 상세한 일사자료 (CVR=1)’, ‘향후 48시간 이상의 일사 예측값 (CVR=0.64)’, ‘관측지점 (CVR=0.64)’ 으로 나타났으며, 관측 높이, 일조, 산간지역 예보의 CVR 값은 각각 -0.27, 0.27, 0.09로 수용 불가로 나타났다.

##### ② 기상예보 중 활용 가능한 기상요소

기상예보 중 활용 가능한 기상요소에 대해 CVR 계수에서 임계치 범위 안에 들어간 요소는 ‘기온 (CVR=1)’, ‘하늘상태(운량) (CVR=1)’, ‘적설량 (CVR=0.64)’, ‘강수형태 (CVR=0.64)’, ‘풍속 (CVR=0.64)’ 이고, 강수량, 습도, 풍향의 CVR 값은 모두 0.27로 수용 불가로 나타났다.

##### ③ 추가 필요 예보 요소

태양광 분야에서 활용하기 위해 추가로 필요한 예보 요소는 ‘시간대별 일사량’ 과 ‘운고별 운량 및 일사량’ 의 CVR 값은 1, ‘지역별 48시간 이상의 일사량 예측정보’ 와 ‘일사예보’ 의 CVR 값은 0.64로 모두 수용할 수 있으며, 고도별 풍속과 일출 일몰 시각의 CVR 값은 모두 -0.64로 수용 불가로 검증되었다.

##### ④ 기상예보 제공 최적 시기

기상예보 제공의 최적 시기는 하루 전 기상예보와 한 시간 전 기상예보에 대해

각각 CVR 값이 1과 0.64를 나타내며 수요 가능으로 나타났고 기상예보 최적 시기에 대해 실시간, 일주일 전, 장기의 CVR 값은 모두 -0.09로 수용 불가를 보였다.

⑤ 기상예측 정보의 시간 간격(시간해상도)

기상예측 정보의 시간해상도는 ‘1시간’의 CVR 값은 1로 수용되었으며, 그 외, 1일, 3시간, 6시간, 15분 단위의 경우는 CVR 값이 각각 0.27, 0.27, -0.09, 0.27로 모두 수용 불가로 나타났다.

⑥ 기상예측 정보의 공간적 거리(공간해상도)

기상예측 정보의 공간해상도는 동네예보(5km×5km)와 발전소 지점별 예측의 CVR 값이 모두 1로 수용 가능한 요소로 도출되었으며, 시·군·구별 예측과 도별 예측은 각각 CVR 값이 -0.09와 -0.45로 나타나 수용 불가로 나타났다.

⑦ 우선 추진 필요 분야

기상청에서 우선하여 추진이 필요한 분야는 재생에너지 관련 상세 기상 예측정보 제공으로 CVR 값이 1로 수용 가능하며, 그 외에 재생에너지 관련 기상관측 지점 확대 및 발전단지별 맞춤형 기상융합 서비스 개발은 CVR 값이 각각 0.27과 -0.09를 나타내며 수용 불가능하였다.

⑧ 활용도 높은 기상정보 제공방식

활용도가 높은 기상정보 제공방식으로는 ‘공공데이터 포털, 기상자료 개방 포털 API 제공’의 CVR 값이 1로 수용 가능한 요소로 도출되었으며, 기상청 날씨 알리미 앱과 기상청 홈페이지 제공은 CVR 값이 모두 0.27을 나타내며 수용 불가를 보였다.

<표 86> 태양광 분야 내용 타당도 분석 결과

	항목	CVR
관측 자료 중 추가 필요 기상 요소	향후 48시간 이상의 일사 예측값	0.64
	지역별 상세한 일사 자료	1
	관측지점	0.64
	관측높이	-0.27
	일조	0.27
	산간지역 예보	0.09
기상 예보 중 활용 가능한 기상 요소	기온	1
	하늘상태	1
	강수량	0.27
	적설량	0.64
	강수형태	0.64
	습도	0.27
	풍향	0.27
	풍속	0.64
추가로 필요한 예보 요소	시간대별 일사량	1
	지역별 48시간 이상의 일사량 예측 정보	0.64

	고도별 풍속	-0.64
	일사예보	0.64
	운고별 운량 및 일사량	1
	일출 일몰 시간	-0.64
	추가적인 예보 요소 불필요	-1
기상예보 제공 최적 시기	실시간	-0.09
	한 시간 전	0.64
	하루 전	1
	일주일 전	-0.09
	장기	-0.09
기상예측정보의 시간해상도	1시간	1
	1일	0.27
	3시간	0.27
	6시간	-0.09
	15분 단위	0.27
기상예측정보 공간해상도	동네예보(5kmx5km)	1
	발전소 지점별 예측	1
	시군구별예측	-0.09
	도별 예측	-0.45
태양광에너지 관련 우선 추진 분야	재생에너지 관련 기상관측 지점 확대	0.27
	재생에너지 관련 상세 기상예측정보 제공	1
	발전단지별 맞춤형 기상융합서비스 개발	-0.09
활용도 높은 기상정보 제공방식	공공데이터 포털, 기상자료 개방포털 API 제공	1
	기상청 날씨 알리미 앱	0.27
	기상청 홈페이지 제공	0.27

## □ 풍력에너지 발전 분야

### ① 관측자료 중 추가로 필요한 기상요소

풍력에너지 분야에서 활용하기 위해 추가로 필요한 기상관측자료는 ‘관측지점 높이별 풍향, 풍속’, ‘고도별 관측 데이터’, ‘풍력 터빈 높이에서의 풍향, 풍속’, ‘1시간 이내 시간 간격을 갖는 예보데이터’, ‘시간 단위 예보데이터의 실시간 수신 기능’, ‘지형별 풍향, 풍속’의 CVR 값이 모두 1로 나타났으며, ‘실제 영향받는 관측지점 높이(CVR=0.64)’와 ‘지역 상세 분석(CVR=0.82)’이 수용 가능한 요소로 도출되었고, 기온(CVR=-0.27), 대기 안정도(CVR=0.27), 공간 해상도 100m 이내의 예보 자료(CVR=0.45), 관측지점 증가(CVR=0.09), 수직 기온 정보(CVR=-0.27)는 수용 불가로 보였다.

### ② 기상 예보 중 활용 가능한 기상요소

기상예보 중 활용 가능한 기상요소에 대해서는 CVR 계수에서 임계치 범위 안에 들어간 요소는 ‘풍향 (CVR=1)’, ‘풍속 (CVR=1)’, ‘습도(CVR=0.64)’로 이러한 요소는 수용 가능하였고, 기온, 강수형태, 강수량, 적설량, 운량, 파고의 CVR 값은 각각 0.27, 0.09, 0.45, 0.09, 0.27, 0.45로 수용 불가로 보였다.

### ③ 추가 필요 예보 요소

추가로 필요한 예보 요소로 ‘80m, 100m, 120m, 150m 풍향 및 풍속정보’, ‘시정’, ‘대기안정도’ 및 ‘해상 풍황 자료’의 CVR 값은 모두 1로 수용 가능하였고, wind shear(CVR=0.64), 측정 장비의 합리적 위치 설정(CVR=0.64), 고해상도 데이터(CVR=0.82) 및 지형에 따른 풍향 풍속 자료(CVR=0.82)도 수용 가능 요소로 도출되었다. 반면 파고와 수직 기온정보의 CVR 값은 각각 0.27과 0.09로 수용 불가로 나타났다.

④ 기상예보 제공 최적 시기

기상예보 제공의 최적 시기는 하루 전 기상예보와 한 시간 전 기상예보, 장기예보에 대해 각각 CVR 값이 1과 0.82, 0.64로 수용할 수 있게 나타났으며 기상예보 최적 시기에 대해 실시간, 일주일 전, 장기의 CVR 값은 모두 -0.09로 수용 불가를 보였다.

⑤ 기상예측 정보의 시간 간격(시간해상도)

기상예측 정보의 시간해상도는 ‘1시간’, ‘3시간’, ‘10분’의 CVR 값은 각각 1, 0.82, 0.64로 수용 가능하였고 그 외, 1일과 6시간의 CVR 값이 각각 0.45와 -0.09로 수용 불가하였다.

⑥ 기상예측 정보의 공간적 거리(공간해상도)

공간해상도는 발전소 지점별 예측과 100m×100m의 CVR 값이 각각 1과 0.64로 수용 가능한 요소로 도출되었고, 동네예보, 시·군·구별 예측, 도별 예측 및 50m×50m는 각각 CVR 값이 0.27, -0.27, 0.27, 0.27로 나타나 수용 불가하였다.

⑦ 우선 추진 필요 분야

풍력에너지 분야에서 기상청이 우선하여 추진해야 하는 분야는 재생에너지 관련 기상관측 지점 확대(CVR=1), 재생에너지 관련 상세 기상예측 정보 제공(CVR=1) 및 발전단지별 맞춤형 기상융합서비스 개발(CVR=0.81)로 나타났으며, 그 외 실시간 데이터 수신 기능은 CVR 값이 0.09를 나타내며 수용 불가를 보였다.

⑧ 활용도 높은 기상정보 제공방식

활용도가 높은 기상정보 제공방식으로는 ‘공공데이터 포털, 기상자료 개방 포털 API 제공’과 ‘기상청 홈페이지 제공’의 CVR 값이 각각 1과 0.64를 나타내며 수용 가능한 요소로 도출되었고, 기상청 날씨 알리미 앱(CVR=0.45)은 수용 불가를 보였다.

<표 87> 풍력 분야 내용 타당도 분석 결과

	항목	CVR
관측 자료 중 추가 필요 기상요소	관측지점 높이별 풍향, 풍속	1
	높이별 관측 결과(풍향, 풍속)	1

	고도별 데이터	1
	실제 영향받는 관측지점 높이	0.64
	풍력터빈 높이에서의 풍향, 풍속	1
	1시간 이내 시간 간격을 갖는 예보데이터	1
	지역 상세 분석	0.82
	평균값의 기준 명기 필요	1
	기온	-0.27
	시간 단위 예보데이터의 실시간 수신 기능	1
	대기 안정도	0.27
	공간해상도 100m 이내의 예보 자료	0.45
	관측지점 수량 증가 필요	0.09
	수직 기온 정보	-0.27
	지형, 고도에 따른 풍속, 풍향	1
기상 예보 중 활용 가능한 기상요소	풍향	1
	풍속	1
	기온	0.27
	강수형태	0.09
	강수량	0.45
	적설량	0.09
	하늘상태(운량)	0.27
	습도	0.64
	파고	0.45
추가 필요 예보 요소	80m, 100m, 120m, 150m 풍향, 풍속 정보	1
	시정	1
	Wind shear	0.64
	측정 장비 위치를 합리적으로 설치	0.64
	고해상도(시간, 공간) 데이터	0.82
	풍력 터빈 고도의 풍향, 풍속, 대기안정도	1
	고도 50~200m 범위 내 다지점데이터	1
	파고	0.27
	수직 기온정보	0.09
	지형과 고도에 따른 풍속, 풍향	0.82
	해상 풍황자료	1
기상 예보 제공 최적 시기	한 시간 전	0.82
	하루 전	1
	일주일 전	0.27
	장기	0.64
기상예측 정보 시간 간격 (시간 해상도)	1시간	1
	3시간	0.82
	1일	0.45
	10분	0.64
	6시간	-0.09



기상예측 정보 공간적 거리 (공간 해상도)	발전소 지점별 예측	1
	동네예보	0.27
	시군구별예측	-0.27
	도별 예측	0.27
	100x100m	0.64
	50x50m	0.27
우선 추진 요망 분야	재생에너지 관련 기상관측 지점 확대	1
	재생에너지 관련 상세 기상예측정보 제공	1
	발전단지별 맞춤형 기상융합서비스 개발	0.81
	실시간 데이터 수신 기능	0.09
활용도 높은 기상정보 제공방식	공공데이터 포털, 기상자료개방 포털 API 제공	1
	기상청 날씨알리미앱	0.45
	기상청 홈페이지 제공	0.64

## 2.3. 분야별 니즈 도출

### 2.3.1. 태양광 분야 수요자 니즈

태양광 분야에서 주로 활용하는 기상요소는 기온, 운량, 적설량, 풍속, 강수형태 등이 수요자 니즈로 도출되었고 기상예보 최적 시기는 한 시간 전, 하루 전 예보가 필요하다는 요구가 확인되었다.

시간 해상도는 대략 1시간 정도이며, 공간해상도는 발전소 지점별 예측과 동네예보의 경우 5km×5km의 해상도가 필요하다는 요구가 확인되었다.

발전량 예측에서의 애로사항으로 기상관측장비 운용의 전문지식 부족하고 관리가 미흡하고 날씨 변화의 돌발성으로 발전량 예측에 어려움이 있음을 애로사항으로 도출되었다.

관측자료 및 예보 활용에 대한 수요자 요구로 지역별 시간대별 일사량, 48시간 이상의 일사 예측값, 고도별 일사 일조, 운고별 운량 및 일사량에 대한 수요자 요구사항이 도출되었고 기상청에서 우선 추진해야 할 분야로 재생에너지 관련 상세 기상예측 정보제공 및 재생에너지 관련 기상관측 지점 확대의 시급성이 언급되었다.

### 2.3.2. 풍력 분야 수요자 니즈

풍력 분야에서 주로 활용되는 기상요소는 풍향, 풍속, 습도가 도출되었고 기상예보 최적 시기는 한 시간 전, 하루 전, 장기예보가 필요하다는 요구가 확인되었다.

시간 해상도는 1시간과 3시간이며, 공간해상도는 발전소에서 지점별 예측과 100m×100m의 해상도가 필요하다는 요구가 확인되었다.

발전량 예측에서의 애로사항으로 데이터 활용 및 공유가 미흡, 잦은 고장으로 계측 중단 기간 발생, 고도별 풍속 등 세부자료 미흡으로 활용도 감소, 상세 공공데이터의 부재 및 해상 기상데이터의 체계화가 필요하다는 요구 및 애로사항이 도출되었다.

관측자료 및 예보 활용에 대한 수요자 요구로 1시간 이내 예보 데이터가 필요, 고도 50m~200m 범위 내 다지점 데이터, 지역 상세분석 및 대기안정도, 고도별, 지형별 관측값(풍향, 풍속), 해상 풍황자료, 시간 단위 예보 데이터의 실시간 수신 기능 및 공간해상도 100m 이내의 예보자료 등이 언급되었다.

마지막으로 재생에너지 관련 기상관측지점 확대, 재생에너지 관련 상세 기상예측 정보 제공 및 발전단지별 맞춤형 기상융합서비스 개발 분야를 기상청에서 우선하여 추진했으면 하는 분야로 도출되었다.

### 2.3.3. 수요 분석의 소결

재생에너지 분야별 수요 설문조사와 전문가 델파이 검증을 통해 도출된 수요 니즈는 다음과 같다.

#### □ 태양광 분야

##### ○ 관측데이터

- 응용정보 부재, 관측지점, 일사량, 일조, 관측 높이, 지역별 상세한 일사자료 필요
- 일사량, 기온 등 관측 및 예측자료(15분, 1시간 / 5km x 5km 해상도 / API 제공), 발전소별 일사각 제공 필요
- 태양광 발전량 예측을 위한 위치(위도, 경도), 일사량, 기온, 바람(풍력, 풍속) 관측·예측 데이터 제공 필요
- 신재생에너지 설비 목표량 달성 과정에서 계통 불안정성 증대가 예상되므로 향후 태양광 플랜트 고장 발생 예측을 위한 기상 데이터 수요에 대응하기 위해 정확도 높은 실시간 기상 정보 제공 필요

##### ○ 예측데이터

- 기온, 하늘 상태, 적설량, 강수형태, 풍속
- (추가 필요 예보 요소) 시간대별 일사량, 지역별 48시간 이상의 일사량 예측 정보, 일사예보, 운고별 운량 및 일사량

- (기상예보 제공 최적시기) 한 시간 전, 하루 전
  - (시간 해상도) 1시간
  - (공간 해상도) 동네예보, 발전소 지점별 예측이 필요하며 100m x 100m까지 단계적으로 확대 필요
  - (우선 추진 분야) 재생에너지 관련 상세 기상 예측정보 제공
  - 공공데이터포털, 기상자료 개방포털 API 제공 선호
  - 태양광·풍력 예측 정보는 같은 시간 간격으로 생산이 필요하며 예측 데이터 시간 간격은 5분이 가장 이상적
  - 재생에너지 관련 예측 정보를 우선 제공하고 정확도는 점차 향상하는 방향으로 재생에너지 지원 필요
  - 태양광 발전량 예측을 위한 위치(위도, 경도), 일사량, 기온, 바람(풍력, 풍속) 관측·예측 데이터 제공 필요
- 수치예보모델
- 구름 예측 필요
  - 기상청에서 발전소 데이터 수집·취합함으로써 발전량 예측모델 성능 평가를 위한 테스트베드 마련
- 서비스
- 태양광 설비 증가 및 갑작스러운 기상개황 변동으로 전국 단위 태양광 발전량 예측에 어려움 발생하므로 분야별 맞춤형 서비스 제공이 필요
  - 기상예보 데이터에 대한 접근성 향상을 우선하여 추진
  - 고도별 관측결과 세분화 및 측정 지점확대 필요
  - 예측지점 세분화 및 안개 운무 발생 관련 정보 제공 필요
  - 예측과 실제 산출치 간의 편차 최소화 필요
  - 신재생 자원지도 서비스에서 활용 중인 태양광 위성 관측 데이터의 오차가 큰 편이어서 일사량 예측 오차를 개선에 활용하기 위한 실제 발전소 위치나 기상청 AWS 실시간 자료 제공 필요
  - 발전소의 태양광 패널 발전효율 향상(패널 각도에 따라 발전량 20% 향상)을 위한 세분된 일사 각도 정보(조절 횡수, 빈도 등)
  - 풍력·태양광의 익일 24시간 동안 하루 전(Day-ahead) 예측과 당일 운영 한 시간 전(Hour-ahead) 지속적인 업데이트 필요

- 현재 공간 규모에서 태양광·풍력 예측 정보의 시간적 해상도를 먼저 높이고, 그다음에 공간적 해상도를 높이는 것이 바람직. 단지별/지역/전국 예측자료 모두 필요
- 일본 기상청은 기상 정보를 이용한 발전사업자의 일사량, 발전량 예측서비스를 실시하고 있어 국내에서도 태양광 발전소별 예측서비스 개발이 필요
- 민간 발전소 사업자의 위치 정보에 따른 기상 데이터 API 제공
- O&M 사업자 대상 일사량, 대기온도, 풍속·풍향에 대해 지역별 15분 단위 5km x 5km 데이터 실시간 API 제공

#### ○ 기술 R&D

- 발전소 위치(위·경도 정보)별 기상예측 정보를 API로 제공, 통합플랫폼을 구축하여 종류별 데이터 통합 제공 필요
- 단지 출력의 24시간 동안의 1분 변동률, 5분 변동률, 1시간 변동률의 데이터 축적과 이에 대한 분석이 필요하며, 이에 대한 R&D가 필요
- 전력계통의 중장기 유연성 확보를 위해서는 태양광·풍력의 주간예측 시 5분 간격의 예측 데이터가 필요하지 않으며, 24시간 간격예측 데이터만 필요함
- (Weeklyforecasting)/월간예측(Monthlyforecasting)/계간예측정보(Seasonalforecasting)가 필요하며, 이에 대한 R&D가 필요
- 태양광/풍력 집중지역이 존재하므로 지역특화 기상데이터 제공이 필요
- 재생에너지 발전량예측을 위한 테스트베드를 수립해 민간 소유의 발전량 데이터를 수집·통합필요
- 격자외 지역의 기상정보 추정을 위한 보간법 고도화연구 필요

#### ○ 법제 및 거버넌스

- 시시각각 변하는 전력수요 및 발전량에 대응하고 안정적인 에너지공급을 위해 도전적인 과제로 인식하고 실행력 담보가 필요
- 기상자료 수집 및 활용 확대를 위한 제도적 보완 필요
- 지역별 및 발전 유형(육상, 수상 태양광 등) 특성을 고려한 풍랑, 연무·해무, 강우량, 미세먼지, 황사 등 맞춤형 기상요소 제공
- 에너지산업 전반에 대한 이해를 바탕으로 거시적 관점에서 비즈니스 창출 정책 추진 시민-관 역할 구분 명료화 필요
- 정기적인 기술&기상 워크숍 추진 필요

- 단지별·지역별 예측의 유의수준에 관련된 R&D가 필요하며, 이를 위해 기상청-태양광·풍력사업자-전력거래소(전력계통운영팀)가 함께 참여하는 형태로 추진 필요
- 전력계통 안정화를 위한 관측센서 데이터 공유화 정책 및 제도화 필요
- 협의체 구성 등을 통한 실수요의 즉각적인 반영 필요

## □ 풍력 분야

### ○ 관측데이터

- 관측지점 고도별(80m, 100m, 120m, 150m, 200m) 풍황, 풍향, 풍속 데이터, 실제 풍력발전애 직접 영향을 미치는 관측지점 높이, 지역 상세분석, 대기안정도, 수직기온 정보
- (공간해상도) 100m x 100m 이내의 터빈 위치별 정확성 높은 풍속 및 풍향 관측 데이터
- 현장 계측 데이터 외 상세 공공데이터 부재로 데이터 정확성 확보에 어려움이 있으므로 정확도 높은 실시간 기상정보 제공 필요
- 높이별 관측 결과 세분화, 관측지점 확대
- 3초 평균, 1분 평균, 10분 평균 풍속 데이터
- 데이터 축적이 미비한 신규 사업자를 위한 대규모 풍력 발전사업 예상 지역 대상 국지 시계열 데이터 제공 필요
- 자료 접근성 및 활용도 제고를 위해 자료 신청 시 관련 링크를 통해 다운로드를 제공하는 기상정보 제공 플랫폼 구축 필요

### ○ 예측 데이터

- 관측지점 고도별(80m, 100m, 120m, 150m) 풍황, 풍향·풍속 데이터, 1시간 이내 예보데이터, 시간 단위 예보데이터의 실시간 수신 기능, 해상 풍황 자료
- 기상예보 제공 최적 시기: 하루 전, 한시간 전, 장기
- 시간 해상도: 1시간, 3시간, 10분
- 공간 해상도: 발전소 지점별 예측, 100m x 100m 등
- 우선 추진 분야: 재생에너지 관련 상세 기상예측정보 제공, 재생에너지 관련 기상관측 지점확대, 발전단지 맞춤형 기상융합서비스 개발, 데이터 실시간 수신 기능 등

- (정보 제공 방식) 공공데이터포털, 기상자료개방포털 API 제공
- 기상예보 데이터 접근성 및 다운로드 편의성 제고
- 예측과 실제 산출치 간 편차 최소화 필요
- 정확한 풍향 예보, 풍력발전소 위치 지역에 100m x 100m 단위 기상예보를 위한 시스템 구축
- 복잡한 지형 지역에서는 정확도가 낮더라도 고해상도(100m\*100m) 예측정보 필요
- 태양광·풍력 예측 정보는 같은 시간 간격으로 생산 필요하며 예측 데이터 시간 간격은 5분이 가장 이상적
- 재생에너지 관련 예측 정보를 우선 제공하고 정확도는 점차 향상하는 방향으로 재생에너지 지원 필요

#### ○ 기상관측장비

- 측정장비 위치 합리화
- 풍력발전기에 설치된 기상 센서는 난류로 인한 정확한 관측 어렵고, 장비 노후화로 신뢰도가 떨어지므로 대체 방안 마련 필요

#### ○ 서비스

- 발전소의 태양광 패널 발전효율 향상(패널 각도에 따라 발전량 20% 향상)을 위한 세분된 일사 각도 정보(조절 횟수, 빈도 등)
- 중개 거래사업자 대상 일사량 관측 및 예측 정보 제공 필요
- 풍력·태양광의 익일 24시간 동안 하루전(Day-ahead) 예측과 당일 운영 한 시간 전(Hour-ahead) 지속적인 업데이트 필요
- 현재 공간 규모에서 태양광·풍력 예측 정보의 시간적 해상도를 먼저 높이고, 그다음에 공간적 해상도를 높이는 것이 바람직. 단지별/지역/전국 예측자료 모두 필요
- 발전단지 맞춤형 정보 및 서비스 제공
- 민관협의체 기반 발전량 예측 결과 실시간 공유 체계 구축
- 발전단지 설비 가동 현황 정보(강우량, 기온, 습도 등) 필요
- 해상풍력 설치·시공·유지·보수를 위한 파고, 강우량, 풍속 관련 정보 필요
- 풍력 블레이드 가동 중단 및 발전효율 저하를 유발하는 낙뢰, 우박, 강풍 등 악기상 관련 정보 제공 강화

## ○ 기술 R&D

- 기상청과 전력계통 운영자(한전, 전력거래소) R&D 기술 개발 협업·추진하고 발전사업자는 테스트베드 형태로 보조 참여
- 기상청은 발전단지에 관측장비 설치·운영·자료수집 + 발전사업자는 관측·검증 부분 성과 공유 등 협력 추진
- 실제 발전단지에서 측정된 기상데이터와의 매치를 통한 지형별 발전량 예측 정확도 검증 연구 필요
- 데이터 품질(오차범위, 정확도 등) 정보 제공 필요, 복잡/단순지형/해상으로 구분한 예측정확도 비교·개선 연구 필요
- 전력계통 유연성 확보를 위해서는 변동성 재생에너지원인 태양광·풍력의 출력뿐만 아니라, 단지 출력의 24시간 동안의 1분 변동률, 5분 변동률, 1시간 변동률의 데이터 축적과 이에 대한 분석이 필요하며, 이에 대한 R&D가 필요
- 전력계통의 중장기 유연성 확보를 위해서는 태양광·풍력의 주간예측 이때에는 5분 간격의 예측 데이터가 필요하지 않으며, 24시간 간격 예측 데이터만 필요함
- 주간예측(Weekly forecasting)/월간예측(Monthly forecasting)/계절예측 정보(Seasonal forecasting)가 필요하며, 이에 대한 R&D가 필요
- 태양광/풍력 집중지역이 존재하므로 지역 특화 기상 데이터 제공이 필요
- 재생에너지 발전량 예측을 위한 테스트베드를 수립해 민간 소유의 발전량 데이터를 수집·통합 필요
- 격자 외 지역의 기상정보 추정을 위한 보간법 고도화 연구 필요

## ○ 법제 및 거버넌스

- 발전량 예측 오차를 초래할 수 있는 사업자별 풍력발전기 설치 위치 및 관측 센서 품질 등 요인을 통제하기 위해 설치지점 풍력 관측시스템 설치 표준화 필요
- 에너지산업 전반에 대한 이해를 바탕으로 거시적 관점에서 비즈니스 창출 정책추진 시 민·관 역할 구분 명료화 필요
- 이해관계자 세그먼트 분석 후 그룹별(발전사업자, 연구자, 계통운영자 등) 교류 정례화를 통한 수요자별 니즈 파악 필요
- 민간 사업자와 협력을 통해 제공된 기상예보에 대한 정확도 검증 고도화
- 단지별·지역별 예측의 유의수준에 관련된 R&D가 필요하며, 이를 위해 기상청-태양광·풍력사업자-전력거래소(전력계통운영팀)가 함께 참여하는 형태로 추진 필요

## 2.4. 전문가 의견 수렴

### 2.4.1. 전문가 회의

#### □ 개요

설문 및 델파이 검증을 통해 조사된 내용에 대한 수요그룹별 심층적인 논의 및 주요 현안에 대한 전문가 위원의 적절성 검토를 통한 사업 추진의 방향성을 확보하고 재생에너지 분야 기상지원에 대한 정책적·기술적 근거를 마련하기 위해 전문가 회의가 진행되었다.

본 전문가 회의에서는 재생에너지 분야 기상지원 방안 도출을 위해 분야별 기상정보 및 융합서비스 개발 수요, 기상청-민간사업자 지속가능한 협력관계 구축 방안과 기상청의 정책 및 기술 R&D 추진 방향이 논의되었다.

○ 주제: 태양광·풍력 에너지 분야 전문가 회의

○ 일시/장소: '22. 4. 27.(수) 14:00 ~ 17:00 / 대전 애트 4 회의실

○ 참석자: 정부기관, 공공기관, 학계, 민간사업자, 연구원 등 총 20명

○ 주요 내용: 재생에너지 분야 기상지원 방안 도출

- 분야별 기상정보 및 융합서비스 개발 수요
- 기상청-민간사업자 지속가능한 협력관계 구축 방안
- 기상청의 정책 및 기술 R&D 추진 방향

#### □ 주요 발표 내용

○ **재생에너지 부하변동 대응을 위한 그린수소 P2G 기술개발 현황**(한국동서발전 김주현 팀장)

- 전력계통 안정을 위한 기상정보의 필요성, P2G 기술개발사업 및 재생에너지 실증단지 사업 추진 동향, 재생에너지 연계형 비즈니스 모델 중 기상정보 활용 활용계획, 권역별 기상정보 제공의 필요성

※ 재생에너지 장주기 저장 및 전환을 위한 가스 및 연료화 전환 핵심기술 개발 ('19~'21), 에너지 믹스 그리드 연계 실증 공정 구축 및 운전('22~'23) 사업 추진

※ 태양광 발전량의 변동성에 대응하여 향후 한국동서발전 내부 데이터와 기상청 데이터 간 비교 분석을 수행함으로써 기상예보나 발전량 예측 방향성 수립 필요

○ **안정적 전력계통운동을 위한 미계량 태양광 발전 설비용량 추정과 태양광의 영향력**(전력거래소 김현수 박사)

- 에너지 전환 및 재생에너지 변동성 예측 정밀도 향상 필요성, 국내 태양광 설비 용량 중 미계량 태양광 추정 방법 및 결과, 기상예보 오차에 따른 태양광 발전 오차 및 전력수요 변동, 미래 전망 등



- ※ 미계량 태양광(Behind The Meter, BTM): 설비 용량에 미계량되는 소규모 자가용 태양광으로, 전력수요 실적 차이 발생 유발 요인. '21.12 기준 BTM 설비용량 약 3.9GW 추정 → 추정기법 고도화 필요
- ※ 기상예보 오차에 따른 태양광에 의한 주간 최대 수요 변동폭은 '21.5 기준 9.1GW로 추산되며, 발전기 운영계획 조정 등 다양한 전력수요 오차 대응방안 수립 및 추진 중 → 재생에너지 변동성 예측 정밀도 향상 필요
- ※ 태양광 발전효율에 영향을 미치는 기상환경 요인 분석과 태양광 패널 온도·입사각에 따른 발전효율 예측 기술개발을 통해 발전량 예측 오차 최소화 필요

## □ 주제별 종합 의견

### ○ 분야별 기상정보 및 융합 서비스 개발 수요 도출

분야별 기상정보 및 융합 서비스 개발을 위해 ▲기상관측 및 예측정보, 일사, 약기상 관련 정보제공 강화 및 오차 개선 필요 ▲설치·시공·유지·보수 전주기를 고려한 기상정보 및 서비스 제공 필요 ▲데이터 제공 주기확대 및 시·공간 해상도 단계적 향상 필요 ▲권역별·지형별·발전시설 위치 및 유형별 맞춤형 API 데이터 제공이 필요함을 시사하였다.

### ○ 기상청-민간사업자 간 지속가능한 협력관계 구축 방안 제시

기상청과 민간사업자 간 지속가능한 협력체계를 구축하기 위해서는 기상청이 전국 발전소 데이터를 수집·취합하고 발전량 예측 모델 성능평가를 위한 테스트베드를 마련하고 발전량 예측결과 실시간 공유체계 및 기상정보 제공 플랫폼을 구축하여 관측정보 성과 및 관측 센서 검증 결과 공유의 필요성이 제시되었다. 또한, 이해관계자 세그먼트 분석 및 그룹별 교류를 정례화하고 전력거래소나 한국전력과의 MOU 체결 및 민간사업자의 R&D 사업 보조 참여가 필요함을 시사하였고 중개사업자/O&M 사업자 대상 맞춤형 정보 제공을 통한 신규 비즈니스 창출을 지원하는 역할도 제시되었다.

### ○ 기상청 정책 및 기술 R&D 추진 방향성 정립

기상청 정책 및 기술 R&D 추진을 위해 발전단지-기상청의 기상데이터 매칭을 통해 지형별 발전량 예측정확도를 검증을 위해 기상예보 정확도 검증 고도화 R&D 추진의 필요성이 제시되었고 관측센서 데이터 공유화 정책 및 제도 수립 필요, 미계량 발전소 위치 추정을 위한 고해상도 기상관측 위성 개발 필요, 에너지 사업 전반에 대한 이해를 바탕으로 거시적 관점에서 비즈니스 창출 정책 추진이 필요하다는 의견이 도출되었다.

또한, 발전소 설비 상태 및 관측장비에 대응한 일사 데이터 서비스 제공방안과 지역 특화·발전소 위치 정보에 따른 기상데이터 제공방안을 연구하여 맞춤형 서비스로의 추진 방향이 도출되었다.

상기 수요조사, 델파이검증, 전문가 회의를 통해 도출된 내용을 표로 정리하면 아래와 같이 요약될 수 있다.

## 2.4.2. 정책 포럼

### □ 개요

기상의 영향을 많이 받는 재생에너지(태양광, 풍력) 분야의 자원 활용 극대화 및 재생에너지 공급 확대에 따른 예상 전력 산출 기술개발을 위해 맞춤형 기상융합정보의 필요성이 요구됨에 따라 탄소중립 실현 및 에너지 전환정책에 따른 전력계통 운영 안정화 지원을 위한 태양광·풍력에너지 분야 기상지원 방안을 모색하기 위해 정책포럼을 개최하였다.

- 주제: 태양광·풍력 에너지 기상지원 정책포럼
- 일시/장소: ' 22. 5. 27.(수) 14:00 ~ 17:00 / 전경련회관 루비홀
- 참석자: 기상청, 공공기관, 학계, 협회, 민간사업자 등 총 44명

### □ 주제발표

#### ○ 글로벌 주요 탄소중립 정책 동향과 시사점(KAIST 김하나 교수)

- IPCC(2018) 등 탄소중립 목표의 시작과 논의 확산 과정, 최근 탄소중립에 대한 국제적 동향, 우리나라의 탄소중립 논의 동향 및 과제를 중심으로 국가별 탄소중립 목표 및 법제화 현황을 소개하고, 미래 탄소중립 이행의 부정적 전망과 긍정적 측면(Net-zero 관심도 지속 증가, 비국가당사자 행위자들 중심으로 탄소중립 확산)에 따른 제도적 기반을 마련하고, 전력수요 관리 및 재생에너지 확대 등 산적된 다양한 이슈 해결에 동참하기 위한 국내외 역할을 통해 탄소중립 이행의 당위성 및 과제를 제시

#### ○ 안정적 전력계통 운영을 위한 기상정보 활용현황 및 에너지기상 발전 방안(전력거래소 김현수 박사)

- 전력수급 기본계획 수립, 전력시장 운영, 전력계통운영, 실시간 급전 운영 등 전력거래소의 핵심 업무를 기반으로 전력수요와 기상의 상관관계를 통해 기상요소별 전력수요 예측 영향요인 및 전력수요 예측의 목적과 유형을 소개하고, 기후위기와 에너지 전환의 필요성, 재생에너지 확산단계별 전력계통 이슈 발생에 따른 기상업무 선진화 기반 안정적 전력계통운영 등 전력거래소의 에너지기상 비전을 제시

#### ○ 재생에너지 기반의 에너지 혁신(서울대학교 오대균 교수)

- 최근 발표된 IPCC 6차 보고서(2021)에 따라 CO2 누적배출량 억제를 통해 CO2 배출 넷제로에 도달하고 다른 온실가스 배출도 강력한 감축 노력이 필요함을 소개하고,

온난화 요인에 대한 평가, 글로벌/지역별 온실가스 배출량 변화 추이 및 누적 배출량에서 동아시아 및 한국의 위치를 제시하며, TOE 감소·GDP 증대·저탄소 에너지원 공급 확대를 결합한 온실가스 배출량 감축 추진을 통해 국가 온실가스 배출계수를 낮추는 에너지로 전환함으로써 재생에너지로의 전면적인 혁신을 강조

## □ 주요 발제 내용

### ○ 에너지 전환에 따른 기상 데이터의 위상 전망(GIST 김진호 교수)

- 재생에너지 중심의 전력시스템의 근본적인 변화 필요성을 강조
  - (현재) 수요예측 후 제어 가능한 기술(석유, 원자력 등)로 공급 조정 → (향후) 공급예측 후 공급량에 맞춰 수요나 소비를 조정해나가는 방식으로 변화
- ※ 공급/수요 예측 시 모두 기상정보 필요
  - (현재) 대형발전소에서 생산한 전기를 송배전을 통해 소비자에 전달 → (향후) 소규모발전예 의한 지역 소비로 변화
- 분산전원, 섹터커플링(Sector Coupling, 부문간 연계)<sup>127</sup>에서 기상 데이터는 핵심 데이터로서 고부가 가치화될 것이며 표준화된 데이터 셋과 서비스 개발이 필요

### ○ 한국에너지공단 사업 현황(한국에너지공단 김강원 부장)

- 2018년부터 BTM(Behind the Meter, 소규모 자가용 발전기)에 계측기 설치해 발전 패턴 분석 중. 보조금 지원에 활용
- 재생에너지 비중이 높아질수록 급격한 변동성이 우려되는 상황에서 전기, 열, 수송 등의 분야에 대한 섹터커플링 기술이 중요
- RHO(Renewable Heat Obligation, 신재생열에너지공급의무화)<sup>128</sup> 제도 검토 중. 기상정보를 활용해 섹터커플링 패턴 중 활용성 높은 분야 선택
- RE100(Renewable Energy)뿐만 아니라 EV100(Energy Vehicles), EP100(Energy Productivity) 등의 에너지 효율 분야에도 기상정보가 중요하게 활용

- \* RE100: 기업이 필요한 전력을 2050년까지 전량 재생에너지로 구매 또는 자가생산으로 조달하겠다는 자발적 캠페인
- \* EV100: 글로벌 탄소 배출의 23%를 차지하는 수송부문에서 전기차 도입을 가속화하는 계획
- \* EP100: 기업들의 에너지 생산성을 2030년까지 두 배로 높이자는 캠페인, 온실가스 배출량을 감축하고 청정에너지 전환을 가속화 하기 위한 계획

### ○ 재생에너지 분야 기상산업계 역할(한국기상 산업협회 오승준 회장)

- 기상청은 관측 인프라(바람, 일사/일조량 등), 기후자료 등 우수한 공공재를 소유, 품질관리 등 안정적으로 운영 중

127) 재생에너지로 생산하고 남은 전기를 다른 에너지로 전환해 저장, 활용하는 기술. 전기차로 대표되는 P2M, 전기를 열로 변환하는 P2H, 전기를 수소로 전환하는 P2G 기술 등 활용

128) RHO: 일정 규모 이상의 건물에서 사용하는 열에너지 사용량 중 일정 비율 이상을 신재생에너지를 이용하여 공급하도록 하는 제도

- 에너지 전환정책에 따라 급증하는 기상 관련 수요를 충족시키기 위한 기상산업계의 역할이 매우 중요. 우수한 공공재를 활용한 서비스 발굴 필요

## □ 주요 논의 사항

### ○ 국내 여건에 맞는 재생에너지 개발 필요성

우리나라 환경 여건(강한 바람이 일관성 있게 불지 않음)에 맞는 터빈, 발전기 등의 개발 필요성에 대해 한국이 태양광 발전에 적합하지 않은 나라라는 통념이 확산해 있으나, 실제 데이터 분석에 기반한 근거는 없는 실정이며, 국내 해상풍력 발전설비 이용률은 약 30%(1위 덴마크 60%)이고, 기 개발된 저풍속형 발전기는 시장경쟁력이 떨어지는 상황이므로 풍력발전단지 선정에 풍속이 절대적으로 영향을 주지 않기 때문에 풍향, 풍속, 풍밀도를 종합적으로 고려해야 한다는 의견과 해상풍력 건설 단가에는 지질자원정보도 중요하다는 의견이 제시되었다.

### ○ 불안정한 재생에너지 예측 기술과 함께 고려 요소

기상 예측은 불확실성을 항상 포함하기 때문에 발전량 예측기술 이외에 저장, 수송 등의 기술이 함께 개발되어야 한다는 의견에 대해 불안정한 재생에너지 비중 증가에 맞추어 수요 조정이 가능한 기술과 제도가 필요하며 이를 위해 기상예측 오차에 대비한 전력시장의 수요 유연성 기술 개발과 에너지저장장치(ESS, 전기차 등), 양수발전(단시간 전기 생산/소비 기술) 등 백업 및 유연성 전원 개발의 필요성이 강조되었다. 또한, 전력거래소에서는 전력계통 안정화를 위한 다양한 제도적 보완 정책(DER\*, DR\*\* 등)을 운용하며 잉여전력 해소와 전력계통 안전화에 기여하고 있다.

- \* DER(Distributed Energy Resources, 분산에너지자원): 에너지의 사용지역 인근에 설치해 송전선로의 건설을 최소화할 수 있는 일정 규모 이하의 발전설비. 수요지 근처에서 에너지를 생산/저장하기 때문에 잉여 전력 해소와 전력계통 안정화에 기여
- \*\* DR(Demand Response, 전력수요관리) 사업: 고객이 절약한 전기를 수요관리사업자를 통해 전력시장에 판매하고, 판매수익을 고객과 수요관리사업자가 공유하는 사업

### ○ 실제 발전에 필요한 상세한 기상요소

기상청에서는 풍력 발전 지원을 위해 1h/3h 간격의 80m 풍속 등의 수치예측자료를 제공하고 있는데, 기존에 제공되고 있는 기상정보와 현장에 필요한 정보 수요과약에 더 큰 노력이 필요(예. 풍밀도)하고 더불어 예측정확도 개선 요구는 기상발전에도 도움이 되므로 기상청은 기초연구 추진 및 핵심 정보 중심으로 제공하고, 민간은 실용화 개발 및 비용 발생을 고려한 기상서비스를 제공해야 한다.

## ○ 정부와 산업계의 역할

공공과 민간의 역할을 확실히 구분하여 기초적인 정보는 정부에서, 다양한 수요발굴 및 맞춤형 고부가가치 정보는 민간이 담당하는 등 재생에너지 분야에서 산업계의 선도적 역할이 필요하고 기상예보가 늘 정확할 수 없기 때문에 불확실성을 함께 제공하므로 산업계에서는 확률 정보를 어떻게 활용할지 고민이 필요하다.

## ○ 재생에너지 발전량 예측 기술발전 상황

재생에너지 발전량 예측기술로 통계적 기법의 발전량 수요예측 식(모델)이 활용되고 있는데, 이는 주요 대도시 대상의 탑-다운 방식 모델로 기온, 습도, 바람, 불쾌지수, 체감온도 등을 활용하고 있으며 기상예측 오차와 다양한 변수(경제, 사회, 주말, 공휴일 등에 따라 수요는 천차만별) 오차가 포함되므로 송배전망 등도 고려한 모델로 개선이 필요하다. 수요예측 오차가 클수록 전력망의 위험성은 커지므로 범위/확률예측을 활용할 필요가 있다.

## ○ 산업계 애로사항

민간사업자 발전량 예측에 기상청 자료를 사용 중이나, 기상관측소와 발전소 간 거리 차이에 따른 데이터 사용 측면의 한계, 출력제어 시 발전사업자들의 항의 등 애로사항이 존재한다는 의견에 발전량 예측 시 운량, 운고, 운형을 모두 고려해야 하며, 태양광 발전 출력제한은 전력계통 안전을 위함이니 상호 이해의 당위성을 제시하였다.

또한, 기온 1℃ 오차에도 발전 효율은 큰 차이가 발생하므로 수요처에서 필요한 기상관측 및 예측자료의 구체적인 요구사항(순간값/정시값/누적값/평균값 등)에 대해 기상청과의 소통 및 상호 확인이 필요함을 언급하였다.

### 3. 맞춤형 기상정보 산출을 위한 기상청 내외 현황 분석

#### 3.1. 활용 가능 기상청 내부 자료 현황

##### 3.1.1. 기상청 ‘날씨마루’ 개요<sup>129)</sup>

기상청은 ‘기상기후 빅데이터 분석 플랫폼’이란 “날씨마루”를 통해 농업·수산업, 임업·축산업, 관광, 보건·환경·방재, 교통·에너지 분야에 기상융합서비스와 빅데이터 분석환경을 제공하고 있다. 그중 에너지 분야는 ‘태양광 발전량 예측 및 시뮬레이션’, ‘강원도 신재생에너지 최적화 기상서비스’, ‘스마트 전력 활용을 위한 기후정보 서비스’가 있으며 2022년 4월 현재 ‘태양광 발전량 예측 및 시뮬레이션’ 서비스만 날씨마루 사이트에서 운영 중이다.

<표 88> 에너지 분야 기상기후 융합서비스

분야	서비스	내용
에너지	태양광 발전량 예측 및 시뮬레이션	시·군·구별 48시간 발전량 예측 정보 표출, 태양광 발전량 시뮬레이션 서비스를 통해 사용자가 직접 태양광 발전량 예측해 볼수 있음
	강원도 신재생에너지 최적화 기상서비스	기상정보를 활용하여 태양광 발전량 예측정보 제공
	스마트 전력 활용을 위한 기후정보 서비스	기상 상태에 따른 전력 사용량 변화를 고려하여 효율적인 전력 공급 및 수급, 전력 사용을 위한 정보 생산 및 제공

출처: 기상청, 기상기후 융합서비스 카탈로그, 2019

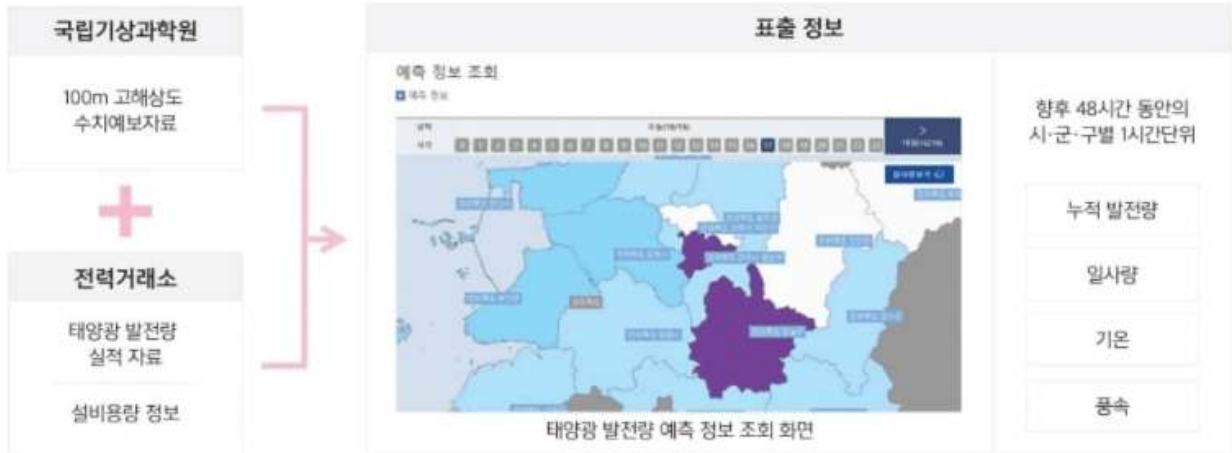
##### 3.1.2. 태양광 발전량 예측정보 및 시뮬레이션 서비스

기상청은 국립기상과학원의 수치예보자료와 전력거래소에 등록된 설비용량을 기준으로 0~100%로 전국 시·군·구별 태양광 발전량 예측정보를 제공하고 있다. 또한, 발전량 예측정보뿐만 아니라 해당 지역의 기상정보인 일사량, 기온, 풍속도 제공하고 있으며, 태양광 발전량 예측은 기상청 날씨마루 홈페이지(기상융합서비스 - 에너지·산업 - 태양광발전량 예측<sup>130)</sup>)를 통해 제공된다. 태양광 발전량 시뮬레이션은 기상청 날씨마루 홈페이지(기상융합서비스 - 에너지·산업 - 태양광발전량 시뮬레이션<sup>131)</sup>)에서 정보 조회가 가능하다.

129) 기상청 날씨마루, <http://bd.kma.go.kr/kma2020/svc/intro/serviceInfo.do?menuCd=F030100000>, 검색일 : 2022-04-04

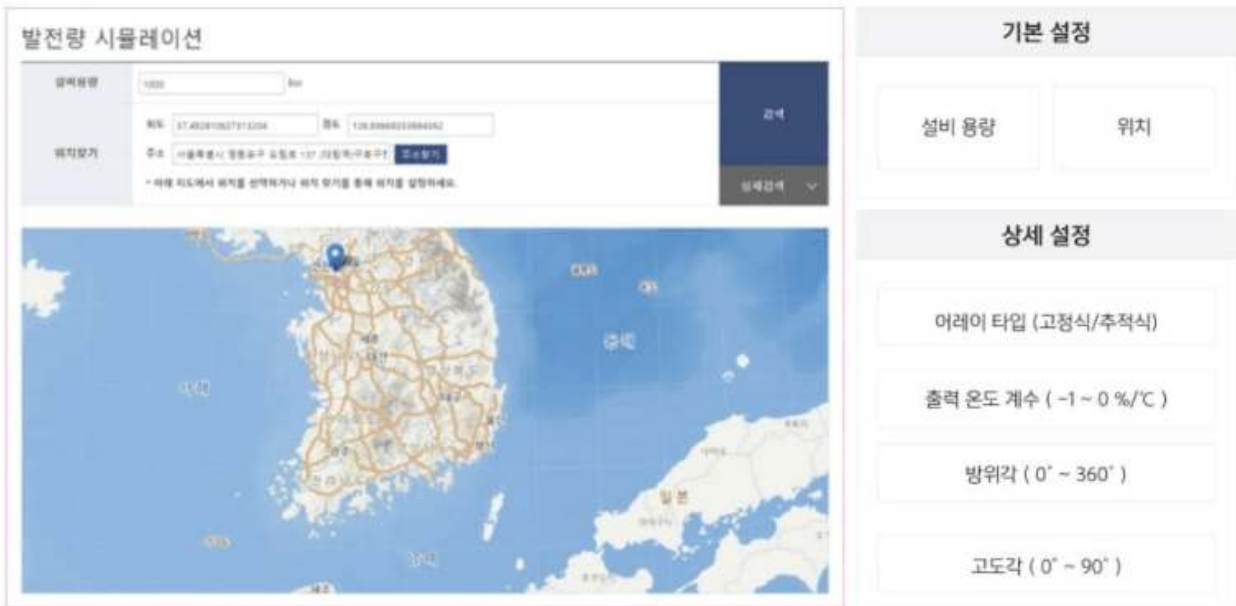
130) <https://bd.kma.go.kr/kma2020/fs/energySelect1.do?pageNum=5&menuCd=F050701000>

131) <https://bd.kma.go.kr/kma2020/fs/energySelect2.do?menuCd=F050702000>



출처: 기상청, 기상기후 융합서비스 카탈로그, 2019

[그림 103] 기상청의 태양광 발전량 예측 정보



출처: 기상청, 기상기후 융합서비스 카탈로그, 2019

[그림 104] 기상청의 태양광 발전량 시뮬레이션 서비스

### 3.1.3. 국립기상과학원의 기상자원지도 제공 서비스

국립기상과학원에서는 태양광·풍력에너지 분야에 기상정보와 지형정보를 이용하여 수치모델을 기반으로 산출된 자료를 통계적으로 분석하여 지도형태로 제공하고 있으며, 기상자원지도는 파일셋과 연구용으로 나뉘어 제공되는 파일 형태나 자료의 해상도 등에 차이가 있다.

태양광기상자원지도(Solar Map)는 태양광 자원에 대한 정보를 지리 공간상에 투영한 것으로 태양광 발전에 적합한 일사 분포를 알 수 있으며, 연구용 자료는

국립기상과학원에서 과거 5년간(2016.7~2021.6)의 평균을 산출한 자료로 해상도는 100m 자료가 제공되고 있으며, 수치모델(규모상세화)을 기반으로 산출된 값이 제공되고 있다. 또한, 파일셋 자료는 2009, 2010년 2년 연속 산정한 해상도 1km 자료로 태양광 에너지를 전천일사량, 직달일사량, 산란일사량으로 나누어 제공하고, 수치모델(태양복사모델)을 기반으로 산출된 값이 제공된다.

풍력기상자원지도(Wind Resource Map)는 풍력 자원에 대한 정보를 지리 공간상 투명한 것으로 풍력발전에 적합한 연평균 바람분포를 알 수 있으며, 국립기상과학원에서 제공하는 연구용 자료는 과거 5년간(2016.7~2021.6)의 평균을 산출한 해상도 100m 자료를 제공하며, 수치모델(규모상세화)을 기반으로 산출된 값이 제공된다. 또한, 파일셋 자료는 과거 12년간(1998~2010)의 평균을 산출한 해상도 1km의 자료를 제공하고 있으며 수치모델(WRF, Weather Research and Forecasting)을 기반으로 산출되므로 관측값과는 차이가 발생할 수 있다.

## 3.2. 활용 가능 기상청 외부 자료 현황

### 3.2.1. 공공기관의 기상정보 데이터 정보 제공 현황

공공기관 기상관측 자료는 기상청의 ‘기상관측표준법’에 따라 기상관측업무를 수행하는 총 27개 공공기관\* 740지점의 기상관측자료를 기상청의 기상자료개방포털<sup>132)</sup>에서 2009년부터의 자료를 제공 중이며, 기관별 관측요소가 다르지만 보통 기온, 강수량, 풍향, 풍속, 습도, 기압, 일사, 일조의 기상요소를 분 단위인 CSV파일 형태로 제공하고 있다.

※ 강원도, 경기도, 경상남도, 경상북도, 광주광역시, 국립공원관리공단, 국토교통부, 농촌진흥청, 대구광역시, 대전광역시, 부산광역시, 산림청, 서울특별시, 세종특별자치시, 울산광역시, 인천광역시, 전라남도, 전라북도, 제주특별자치도, 충청남도, 충청북도, 한국도로공사, 한국수력원자력(주), 한국수자원공사, 한국원자력환경공단, 한국전력공사, 환경부

공공기관에서는 공공데이터의 제공 및 이용 활성화에 관한 법률 제26조(공공데이터의 제공)에 따라 공공데이터를 제공하며 공공기관의 발전소 기상정보는 Open-API와 CSV파일로 제공하고 있으며, 현재, 한국서부발전, 한국남부발전, 한국동서발전, 한국남동발전, 한국수력원자력발전소 등의 공공기관에서 발전소 기상정보를 제공 중이다.

132) <https://data.kma.go.kr/data/grnd/selectAwosRltnList.do?pgmNo=638>



## 4. 재생에너지 분야 지원방안

### 4.1. 종합적 분석을 통한 핵심가치 도출

#### □ 외부환경

정책적 측면에서 주요국은 탄소중립 달성 목표 상향, 재생에너지 확대, 에너지 효율 향상 등 정책 추진 중이며, 우리 정부도 재생에너지 비중을 확대하는 등 에너지 전환 정책을 추진하고 있으며, 산업적 측면에서 각국은 태양광·풍력에너지 발전 잠재력을 기반으로 에너지 산업에 집중하고 있으며, 이러한 재생에너지 산업은 제조업, 건설업, 발전산업, R&D 서비스업 등 다양한 분야를 포괄하는 분야로 확장성이 기대되고 있다. 사회적 측면에서 발전량 예측 실패 및 과잉 생산으로 인해 사업 수익성 저하 문제가 발생하고, 자연훼손, 생태계 파괴, 환경오염, 선박 항해 장애 등 주민 반발로 인한 주민수용성 문제가 야기되고 있다.

기술적 측면에서 경쟁력 있는 전기에너지 자원화를 위한 예측기술 혁신이 필요하며, 기후변화 대응을 위해 각국 정부는 신재생에너지 기술을 전략적으로 육성 중이다.

법·제도적 측면에서 주요국은 재생에너지 발전 보급과 산업화를 위해 다양한 제도를 도입하고 있고, 국내 역시 효율적인 전력계통 운영을 위해 발전량 예측제도를 도입하고 있다.

#### □ 발전 현황

재생에너지 발전 운영 측면에서 태양광·풍력에너지 설치용량의 매년 증가 및 해상풍력 확대로 시스템의 대형화 추세에 따라 풍력산업은 민간발전사가 주도하고 발전자회사나 지자체 등이 발전단지를 운영하는 체계로 전환되고 있어 발전단지 개발 단계별 기상정보 활용 시 기상전문가 및 활용성 확대가 필요하다.

그러나 발전소 특화 기상정보 제공 및 예측시스템 구축을 위한 매칭이 미흡하고 발전량 예측제도 대비 신기술을 활용한 원천기술 확보가 미흡한 실정이다.

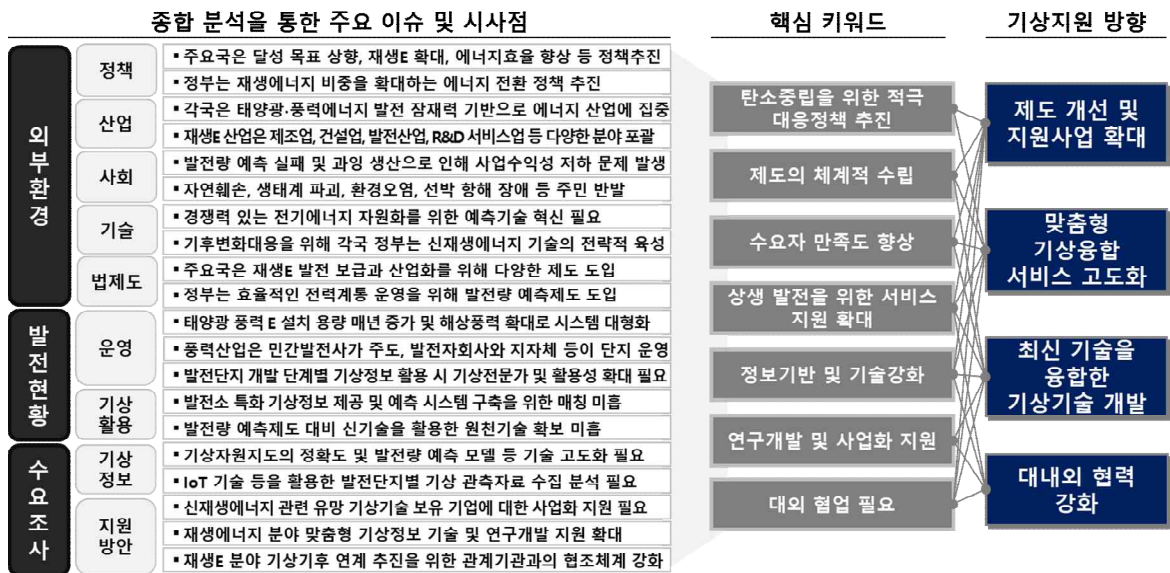
#### □ 수요분석

기상정보 활용 측면에서 기상자원지도의 정확도 및 IoT 기술 등을 활용한 발전단지별 예측 모델 등의 기술 고도화가 필요하며, 재생에너지 분야 기상지원을 위해 신재생에너지 관련 유망 기상기술 보유 기업에 대한 사업화 지원, 재생에너지 분야 맞춤형 기상정보 기술 및 연구개발 지원 확대, 재생에너지 분야 기상기후 연계 추진을 위한 관계기관과의 협조체계 강화가 필요하다.

#### □ 핵심가치 키워드 및 기상지원 방향

외부환경, 발전현황 및 수요 분석을 통해 7가지 핵심가치(▲ 탄소중립을 위한 적극 대응정책 추진, ▲ 제도의 체계적 수립, ▲ 수요자 만족도 향상, ▲ 상생 발전을 위한 서비스 지원 확대, ▲ 정보기반 및 기술강화, ▲ 연구개발 및 사업화 지원, ▲ 대외 협력 강화)가 도출되었다.

도출된 핵심가치는 탄소중립 실현과의 연계성 측면에서 태양광·풍력 분야의 기상지원 활성화를 위해 ① 제도 개선 및 지원사업 확대, ② 맞춤형 기상융합 서비스 고도화, ③ 최신 기술을 융합한 기상기술 개발, ④ 대내외 협력 강화 분야로 기상지원 방향을 도출하였다.



[그림 105] 종합분석을 통한 핵심가치 및 기상지원 방향

## 4.2. 태양광·풍력에너지 분야 기상지원 방안 도출

### 4.2.1. 태양광 분야 기상지원 방안

#### □ 제도 개선 및 지원사업 확대

제도 개선 및 지원사업 확대를 위해 가상발전소(VPP) 기상정보 제공방안을 연구하고 기상청 산하 재생에너지 연구센터 설립 및 거버넌스 개선을 추진한다.

#### □ 맞춤형 기상융합 서비스 고도화

맞춤형 기상융합 서비스 고도화를 위해 기상기후 빅데이터 기반 실시간 기상자원 변화량을 예측하고 소규모 기상사업자 기상정보 지원방안을 모색하며 기후변화에 따른 태양광 설비 생애비용을 분석하여 입지 선정 및 시설 운영 관련 컨설팅을 지원하고 기후모델 기반 전력 수요 예측 서비스를 개발하여 맞춤형 서비스의 고도화를 추진한다.

#### □ 최신 기술을 융합한 기상기술 개발

천리안위성, 수치모델 기반 예측기술 개발, AI 기반 수치·통계모델 및 보정기술 개선, 지역(육상/해상), 시설(건물/주차장) 맞춤형 태양광 기상정보 생산 및 모니터링 기술 개발 및 태양광 패널 기상 센서를 개발하는 등 최신 기술을 융합한 기상기술 개발이 가능한 R&D를 추진한다.

#### □ 대내외 협력 강화

대내외 협력 강화를 위해 해외 기상청 및 산하 연구소와 업무협약을 체결하고 산자부, 과기정통부, 해수부, 환경부 등 관련부처와 협업 체계를 구축하여 발전량 예측 솔루션 세계시장 진출을 지원하는 등 협력 강화를 통해 국제 경쟁력을 강화한다.

### 4.2.2. 풍력 분야 기상지원 방안

#### □ 제도 개선 및 지원사업 확대

제도 개선 및 지원사업 확대를 위해 풍력 발전량 예측 오차 대비 재생에너지 발전량 예측제도 개선안을 자문하고 풍력발전시설 이격거리 표준화 관련 제도 개선을 지원한다.

#### □ 맞춤형 기상융합 서비스 고도화

맞춤형 기상융합 서비스 고도화를 위해 풍황, 풍력 기상자원지도를 개선, 부유식해상풍력 유지관리를 위한 기상정보를 제공, 기후변화에 따른 풍력설비 생애비용을 분석하여 입지 선정, 시설운영 관련 컨설팅을 통해 맞춤형 서비스의 고도화를 추진한다.

#### □ 최신 기술을 융합한 기상기술 개발

집합 발전량 예측 성능향상 기술개발, 풍력 잠재량 분석 기술 개발, 발전단지 기상계측용 LiDAR기술 개발 및 해상부이기술 고도화 지원을 통해 최신 기술을 융합한 기상기술 개발이 가능한 R&D를 추진한다.

#### □ 대내외 협력 강화

대내외 협력 강화를 위해 해외 기상청 및 산하 연구소와 업무협약을 체결하고 산자부, 과기정통부, 해수부, 환경부 등 관련부처와 협업 체계를 구축하여 발전량 예측 솔루션 세계시장 진출을 지원하는 등 협력 강화를 통해 국제 경쟁력을 강화한다.

## 5. 태양광·풍력에너지 관련 산업계 지원 및 협력방안

### 5.1. 국가별 사례분석

#### 5.1.1. 해외 기상청

##### 5.1.1.1. 미국

미국 해양대기청(NOAA)은 2026년까지 재생에너지 등 기상예보 강화를 위한 R&D 비전을 제시하였다. NOAA 연구 및 개발 비전 영역(NOAA Research and Development Vision Areas 2020-2026)은 해양 및 연안 자원의 지속 가능한 사용과 책임을 위해 재생에너지 발전 관련 지식, 도구, 기술개발을 위한 방향성을 통해 2019년 설립된 지구예보혁신센터(Earth Prediction Innovation Center, EPIC)와 모델 개선을 위한 R&D 협력을 강화할 예정이다.

NOAA는 산하 연구소인 지구시스템 연구소 ESRL(Earth System Research Laboratory)의 4개 하위 부서별 협업을 중심으로 ASRE(Atmospheric Science for Renewable Energy) 과학 계획을 수행<sup>133)</sup>하고 있다. ASRE 프로그램은 태양광 및 풍력에너지 예측 개선 연구 및 산업용 국가 단위 기상관측 및 수치예보모델 제공을 목적으로 다양한 프로젝트를 수행하며, 미국 에너지부(DOE, Department of Energy)의 지속적 재정적 지원을 획득하고 있다.



출처: ESRL 홈페이지

[그림 106] ESRL 조직도

2018년 NOAA는 수치예보모델 표현 개선을 목표로 대기과학과 재생에너지 과학 계획(Atmospheric Science for Renewable Energy Science Plan FY2019-FY2023)을 수립하고 구체적인 연구 분야를 제시<sup>134)</sup>하였으며, 고품질 관측을 위한 최적의 센서 제품군 연구, 기후 요인이 재생에너지에 미치는 기간별 영향(2주, 계절별, 연간, 10년 단위) 예측을 개선하였다.

NOAA의 지구시스템 연구소(ESRL)는 태양광 발전 예측 개선을 위한 수치예보

133) <https://www.esrl.noaa.gov/about/>

134) [https://www.esrl.noaa.gov/gsd/renewable/ASRE\\_Science\\_Plan.pdf](https://www.esrl.noaa.gov/gsd/renewable/ASRE_Science_Plan.pdf)

정보의 최적화 및 관측자료 품질 강화 연구인 태양 예보 개선 프로젝트(SFIP, Solar Forecast Improvement Project)를 수행<sup>135)</sup>하였다. 2013-2016년 기간 동안 국립 대기연구 센터(NCAR), IBM과 협력하여 3km HRRR 모델과 13km RAP 등 수치예보모델(NWP)의 최적화 연구를 수행하였으며, 이외에도 NOAA는 통합 표면 조사 연구(ISIS), 표면 방사선 조사(SURFRAD) 네트워크에서 고품질 지상 기반 태양 측정 결과, 고품질 위성관측 등 정보를 제공하고 있다.

또한, 지구시스템 연구소(ESRL)는 단기 기상예측 모델(HRRR, High-Resolution Rapid Refresh) 고도화를 기반으로 풍력발전 예측 개선을 목적으로 바람예보개선 프로젝트(WFIP, Wind Forecast Improvement Project)를 3차례 수행하였다.<sup>136)</sup> DOE 및 NOAA 연구기관, NWS, 민간 부문 기업들이 참여한 1차 프로젝트에서는 NWS의 Rapid Update를 사용한 예측과 비교하여 개선된 단기(0-6시간) 풍력 예측 RAP 모델 개선 성과를 도출하였다. 이 외에도 고층 타워 및 터빈 나셀 풍속계 네트워크로 실시간 산업 제공 기상관측자료 수집 및 데이터 전송 기술, HRRR 수치 기상예측 모델 동기화, HRRR 모델 출력 보급 및 발전 생산량 예측 등을 수행하고 있다.

2015년~2019년 동안 250만 달러를 투입하는 WFIP2 프로젝트를 통해 단기 일기예보, 복잡한 지형에서의 모델 물리학 개선 및 예보기술 개선, 확률적 예측정보, 불확실성 정량화 및 예측 신뢰성 등 의사결정 지원 도구를 개발<sup>137)</sup>하였으며, Vaisala, 국립 재생에너지 연구소, Lawrence Livermore 국립 연구소, Pacific Northwest 국립 연구소, Argonne 국립 연구소, NOAA 대기 자원 연구소 및 ESRL, 콜로라도 대학교 국립 대기 연구 센터, 록히드마틴, Texas Tech University, University of Notre Dame 참여하였다.

미국 해양대기청(NOAA)의 경우, 13km 해상도의 Rapid Refresh와 3km 해상도의 High-Resolution Rapid Refresh의 수치모델을 통해 태양광에너지 기상지원에 필요한 구름, 복사 에너지, 스모그 예보를 제공<sup>138)</sup>하지만, 수치 예보를 통한 구름 및 복사 에너지 예보기술은 현재까지 미흡하며, 좀 더 정확한 예보를 위해서는 경계층 및 기타 대기 현상의 세부적인 시뮬레이션이 필요하므로 재생에너지를 위한 대기과학(Atmospheric Science for Renewable Energy) 프로그램을 통해 1-48시간 예보정확도 개선을 주도하고 있다.

미국 국립기상국(NWS, National Weather Service)의 경우, 내부의 분석·예측 지원실(Analyze, Forecast and Support Office)을 통해 재생에너지 등의 분야를

135) <https://www.esrl.noaa.gov/gsd/renewable/sfip.html>

136) <https://gsl.noaa.gov/focus-areas/atmospheric-science-for-renewable-energy-development/wind-forecast-improvement-project-wfip>

137) <https://www.esrl.noaa.gov/gsd/renewable/wfip2.html>

138) The NOAA Atmospheric Science for Renewable Energy Research Program, NOAA Global Systems Laboratory

담당하는 국가기관에 수문기상 정보를 제공<sup>139)</sup>하며, 미국 에너지부(DOE, Department of Energy)는 2021년 발표된 해상 풍력 에너지 전략(Offshore Wind Energy Strategies)을 통해 NOAA와 프로젝트 파트너십 강화를 발표하고, 해상 풍력 자원 특성화 고품질 데이터 수집 및 NOAA 기상예보 모델 개선을 위한 WFIP3 프로젝트(2023-2024)를 추진 예정이다.

### 5.1.1.2. 중국

중국 기상국(CMA)은 재생에너지 발전량 예측 관련 기상지원 정책을 독자적으로 수립 및 운영하고 있다. 2021년 중국 기상국은 전력발전 및 에너지 안보 강화를 위한 「중국 기상국 기후자원 보호 이용 능력 향상 지도의견」을 통해 에너지 분야에서의 역할을 정립하고 대외협력 및 기술 R&D 강화 정책을 지속적으로 추진하며, 필요에 따라 부서 및 연구센터를 설립하고 있다.

2006년 중국 기상국은 풍력·태양광 자원센터(CWERA)를 설립하고, 2016년에 관계부처 협동으로 “빅데이터+기상” 기술을 활용한 2016년 중국 태양광 발전 투자 가치 맵을 발표<sup>140)</sup>했으며, 2012년 국가에너지국이 발표한 「풍력 발전량 예보 및 전력계통 조절 운영실시 세칙」을 토대로 수치예보를 풍력발전 예측 수준 향상을 위해 중국 기상국과 함께 풍력 수치예보 공공 서비스 플랫폼을 구축하였다. 2021년에는 국가에너지국과 중국 기상국이 전략적 협력에 관한 업무협약을 체결하였고 국가에너지 기상자원 개발센터를 수립할 예정이다.<sup>141)</sup>

「풍력·태양광 자원 기상 비즈니스 역량 향상 계획(2021-2025)」을 발표하여 2025년까지 관측 정밀도 및 예보정확도 향상, 서비스 세밀화를 목표로 기상데이터 제공 업무 및 서비스 체계를 종합한 산업 지원계획을 수립<sup>142)</sup>하였다. 이를 통해 풍력 및 태양광에너지 자원의 정밀 서비스 기능 향상을 위한 풍력 및 태양광에너지 관측소 네트워크의 레이아웃 최적화 및 발전 모니터링 서비스 고도화 방안을 추진할 예정이다.

중국의 풍력 및 태양광 전문 예측모델과 지역 기후 비즈니스 모델을 개발하고 바람 응용 분야에서 앙상블 예측을 위한 핵심기술 연구개발을 수행하여 미래 풍력 및 태양광에너지 자원의 공간적 변화 특성, 기후변화 및 악천후 등이 재생에너지 발전에 미치는 영향 메커니즘 연구 등 중장기적 관점에서의 재생에너지 예측능력을 높이고, 풍력 및 태양광에너지 예보 검증체계 수립과

139) Analyze, Forecast and Support Office, National Weather Service Organization, National Weather Service (<https://www.weather.gov/organization/afs>)

140) [http://www.xinhuanet.com/politics/2016-03/24/c\\_128828832.htm](http://www.xinhuanet.com/politics/2016-03/24/c_128828832.htm)

141) [http://www.nea.gov.cn/2021-12/03/c\\_1310350071.htm](http://www.nea.gov.cn/2021-12/03/c_1310350071.htm)

142) [http://www.gov.cn/xinwen/2021-10/20/content\\_5643783.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2021-10/20/content_5643783.htm)

월·분기·연도별 관측 서비스, 재생에너지 자원 영향평가 보고서 발간, 전국 재생에너지 자원 개발 잠재력 평가맵 개발, 기후변화 및 극한사상 감시 등 업무를 수행할 계획이다.

중국 기상청(CMA)은 2021년 「중국 기상국 기후변화 감시예측 평가 업무 방안」에 태양광 및 풍력 자원의 관측 능력을 중점 업무에 포함<sup>143)</sup>하였고, 「2022년 국가 기후자원 보호 및 이용 운영 능력 구축 실행계획」을 발표하여 ICT 융합기술을 접목한 국가 풍력 및 태양광에너지 비즈니스 역량 확보를 지속 추진<sup>144)</sup>하고 있다.

1시간 단위 4km 공간해상도의 태양광에너지, 6시간 단위 10km의 풍력에너지 실시간 모니터링 실증을 목표로, 중국 기상국 풍력·태양광 데이터 수치예보모델 고도화, 풍력·태양광 월간 기후예측 업무 시범 운영, 에너지 분야 날씨예보 상품 R&D를 추진 예정이다.

또한, 2022년 3월 15일 중국 기상청은 실수요와 연계한 풍력 및 태양광에너지에 대한 단기예보 서비스 상품을 발표<sup>145)</sup>하였고, 이는 경계층의 높이가 다른 온도, 습도, 바람장, 지표면에 도달하는 단파복사, 기압, 강수량 등 풍력 및 태양광 발전 전력 예측에 필요한 기상요소를 포함하고 있다. 시간해상도는 15분, 공간해상도는 중국 전역 범위 9km이며, 예보빈도는 하루 1회, 예보시간은 126시간이며, 현장 수요를 반영하여 풍력·태양광 발전력 계산에 필요한 70m, 100m 관측 높이의 기상요소를 추가하였다.

중국 후베이성 기상에너지 기술개발센터는 지자체와 기상청의 지원 하에 2010년에 설립되어 풍력 및 태양광 발전 예측, 재생에너지 자원 잠재량 평가, 재해 평가 서비스를 제공<sup>146)</sup>하고 있다. 재생에너지 발전소 지역 일기예보 및 기후 영향 모니터링, 풍력 및 태양광 자원 중장기 예측, 발전소 기상재해 조사 및 위험평가 등 서비스를 제공하고, 해당 센터에서 개발한 풍력 예측시스템은 전국 10개 이상의 성 및 도시에 있는 80개 이상의 새로운 에너지 발전소에 적용 중이다.

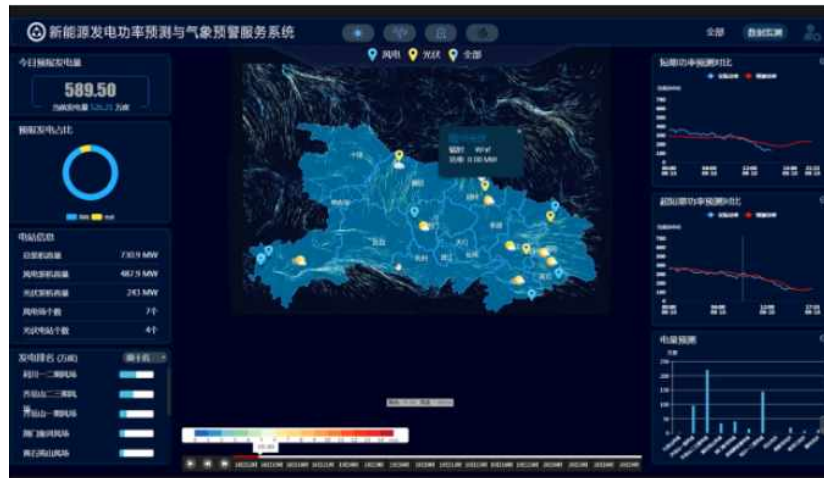
후베이성 풍력에너지 자원정보 관리시스템은 후베이성 육상 풍력에너지 자원의 고해상도(1km) 평가 데이터 세트, 전국 96개 관측소의 관측자료, Fengyun 기상위성 FY-4, MODIS 및 기타 위성의 원격탐사 관측데이터, MERRA2, ERA5 등 고해상도 재분석 데이터 등을 활용하여 초단기(4시간 이내), 단기(4시간~7일), 중기(7~15일) 풍력 예측서비스를 제공하고, 다음 날(0-24h) 전력 예측 정확도는 80% 이상, 초단기 전력 예측 정확도는 85% 이상의 결과를 도출하고 있다.

143) [http://www.beijing.gov.cn/ywdt/zybwtd/202108/t20210818\\_2470773.html](http://www.beijing.gov.cn/ywdt/zybwtd/202108/t20210818_2470773.html)

144) <http://m.people.cn/n4/2022/0210/c30-15433387.html>

145) <https://news.sciencenet.cn/htmlnews/2022/3/475724.shtm>

146) [http://www.tqtonline.com.cn/HB\\_TQT/hyfw.html?id=tab2\\_left\\_1](http://www.tqtonline.com.cn/HB_TQT/hyfw.html?id=tab2_left_1)



출처: 후베이 기상서비스센터 홈페이지([http://www.tqtonline.com.cn/HB\\_TQT/hyfw.html?id=tab2\\_left\\_1](http://www.tqtonline.com.cn/HB_TQT/hyfw.html?id=tab2_left_1))

[그림 107] 후베이성 풍력 예측 지도

중국 기상과학 연구원의 발전단지별 기상예보 서비스를 통해 발전량 예측 오차는 감소하였으며, 재생에너지 발전 추세에 부합하는 재생에너지 전문 기상서비스 개발이 필요함을 제시<sup>147)</sup>하였다. 해당 기관은 풍력 및 태양광 발전단지별 수치 기상예보 제공을 통해 풍속 예측 오차를 초당 1.6m로 낮춰 발전량 예측 정확도를 8~12% 향상하였다. 현재 전국적으로 1km×1km의 풍력자원지도 그리드와 3km×3km의 태양광자원지도를 형성하고 있고 일부 핵심 지역의 풍력 자원 데이터는 200m×200m 그리드를 구축하고 있다. 향후 해상 풍력 발전 상황에 대응하여 풍력 발전량 예측을 위한 관측데이터가 고도 200m 또는 300m 높이까지 확장하여 제공되어야 하고 통상적인 일기예보가 도시에 집중된 반면에 재생에너지 발전시설은 산지, 농촌, 해역에 집중되어 있으므로 해당 지역에 인프라 구축이 필요함을 시사하였다.

### 5.1.1.3. 영국

2010년, 영국 기상청(Met Office)은 과학전략 2010-2015에서 재생에너지 분야 기상정보 서비스 활용 방향성을 제시하며 단기에서 중장기까지 이음새 없는 예측정보와 이를 활용한 기후변화 위험 및 영향을 최소화하는 것에 중점을 둔 서비스 및 적용 분야를 제시하였다.

147) <https://guangfu.bjx.com.cn/news/20220224/1206126.shtml>



	관측 및 과거 자료	예측 선행 시간 (단위)								
		시간 (Hour)	일 (Day)	주 (Week)	월 (Month)	계절 (Season)	년 (Year)	십년 (Decade)	백년 (Century)	
가상 예측 정보		단기예보								
			중기예보							
					1개월 전망					
						3개월 전망				
예측 정보 활용 예시 예측	기후 취약성 평가 기후							기후변화시나리오		
								온실가스 감축 정책 인프라 구축 계획		
								국내 외 안보		
								기후변화 적응 전략		
								규제 표준화		
	기후변화 시나리오 수립								위험관리를 위한 금융 및 자산 포트폴리오 수립	
									투자전략	
									구조 기관 및 국제 개발	
									시장 거래	
									유지 관리 계획	
								재난배상보험		
								에너지, 식량, 물 분야 자원 계획		
								운영 계획		
								중단계획		
								날씨 경보		
								긴급 상황 대응		

출처: Met Office, Met Office science strategy 2010-2015-Unified science and modeling for unified prediction, 2010

[그림 108] 재생에너지 분야 기상정보 및 서비스 제공 분야 예시

「영국기상청 과학전략 2016-2021」은 재생에너지 공급을 위해 ‘3.3 정부와 기업이 기후변화 적응을 위한 미래 투자에 현명한 선택’이 가능하도록 지원하고 있다. 이를 위해 기상기후정보 활용 개선을 통한 경제성장을 지원하고, 모든 시간 규모와 지역에서 전 지구에 이르는 공간 규모를 아우르는 예보시스템으로 개선하는 것을 목표로 설정하였다.

영국기상청은 「Our journey to Net Zero by 2030」에서 에너지 사용 최적화, 재생에너지원의 효율성 향상을 위한 에너지 산업 대상 날씨 및 기후서비스 제공을 언급하며 다양한 유형의 과거 및 현재 그리고 예보 데이터를 CSV 등 형태로 제공하고 있으며, 지점별 및 지역별 발전량 예측, 태양열 및 풍력 데이터 모델 개선, 바람정보 제공 등 기상정보 서비스를 제공<sup>148)</sup>하고 있다. 또한, 재생에너지 시스템 테스트를 위한 악천후 시나리오를 통해 발생 가능한 악천후 시나리오, 피해 범위 및 영향, 계획된 전기 시스템 설계를 최적화하기 위한 기상조건 등에 대한 데이터셋 생산 가능성을 확인하였다.

Virtual Met Mast™은 영국기상청의 수치예보모델(NWP)을 기반으로 최대 30년 기간의 주요 바람 기후 통계를 시계열 형태로 제공하고, 태양광 및 풍력 발전의 육상 및 해상 입지 평가 서비스를 제공<sup>149)</sup>하고 있다. 또한, 현장별 기상데이터를 사용하는 VisualEyes™를 통해 발전소 가동 중지 시간 최소화, 최적의 발전 시간 도출 등 서비스를 제공<sup>150)</sup>하고 있다.

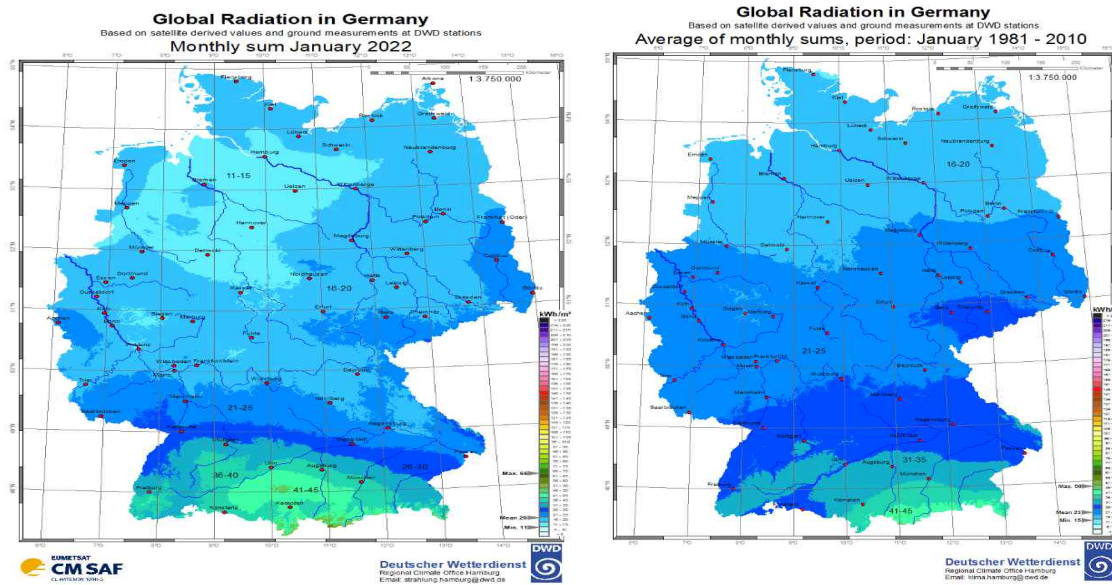
148) <https://www.metoffice.gov.uk/services/business-industry/energy>

149) <https://www.metoffice.gov.uk/services/business-industry/energy/site-selection>



### 5.1.1.4. 독일

독일기상청은 독일 경제 및 사회의 모든 영역에서 발생하는 기상 요구사항을 충족할 책임에 근거하여 태양광 및 풍력에너지 산업 대상으로 복사 및 풍력 관련 기후데이터를 오픈 데이터로 제공<sup>152)</sup>한다. 태양광 및 풍력에너지 산업 대상 서비스는 독일 기후 지도로 제공하고 글로벌 복사의 월간 총량 및 월간 총량 평균 지도를 제공하며 heat wave와 cold wave 지도 및 글로벌 월간 기후데이터를 제공하고 있다.

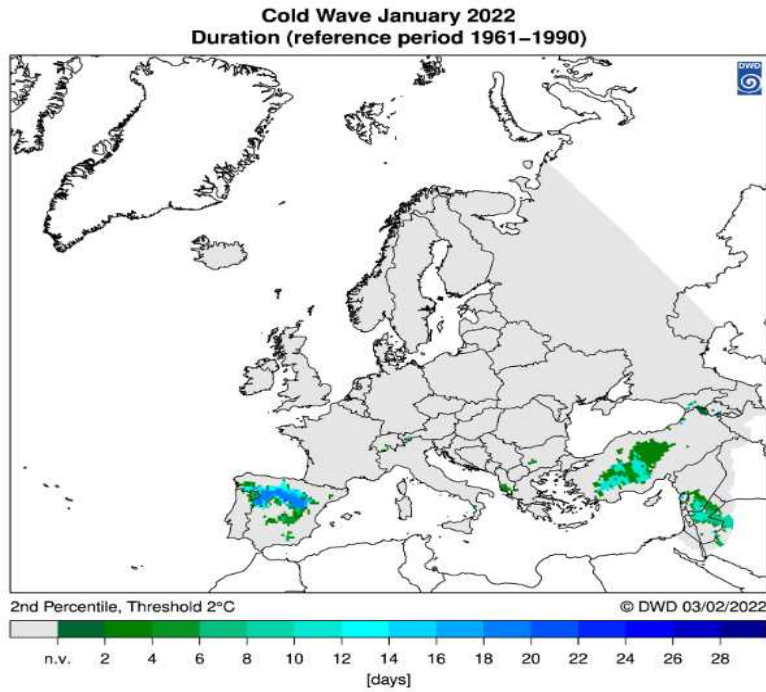


출처: 독일 기상청(<https://www.dwd.de/EN/ourservices/solarenergy/solarenergy.html>)

[그림 111] (좌) 독일의 2022년 1월 복사 총량 지도 (우) 1월의 월간 복사 총량의 평균(1981-2010년)

152) 독일 기상청 태양광 및 풍력 에너지 산업 제공 데이터([https://www.dwd.de/EN/ourservices/\\_functions](https://www.dwd.de/EN/ourservices/_functions))

Region:  Product:  Type:  Year:   
 Month:



출처: 독일 기상청([https://www.dwd.de/EN/ourservices/rcccm/int/rcccm\\_int\\_hkw.html](https://www.dwd.de/EN/ourservices/rcccm/int/rcccm_int_hkw.html))

[그림 112] 2022년 1월의 cold wave 지도

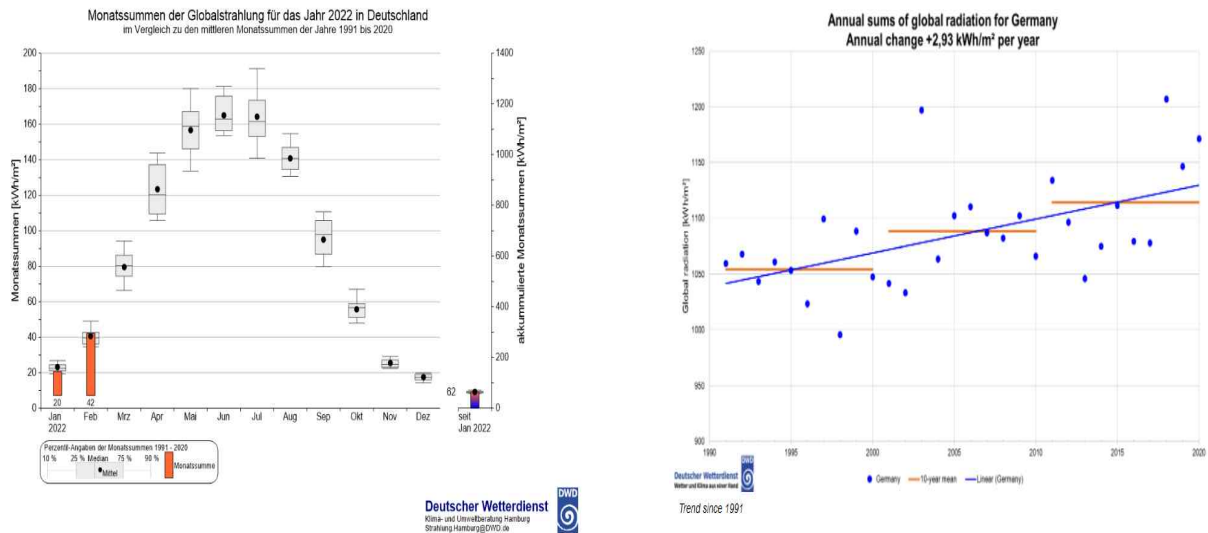
Region:  Year:  Month:

Europa / Europe		Temperatur (°C) Temperature (°C)					Niederschlag Precipitation			Dampfdr. Vapor Pr.	Luftdr. NN Air Pr. NN	Sonne Sunshine		
Station		Mittel Mean	Abw. Dev.	Mittl. Max. Mean Max.	Mittl. Min. Mean Min.	Abs. Max.	Abs. Min.	Höhe (mm) Total (mm)	%	Anz. Tage No. Days >= 1 mm	hPa	hPa	Dauer (Std.) Dur. (h)	%
Jan Mayen	NOR	-3,5	+2,2	-0,7	-6,3	4,7	-12,8	52	85	18	3,8	998,6		
Svalbard	NOR	-10,2	+5,2	-7,3	-13,3	2,4	-19,5	10	71	3	2,2	995,8		
Tromsø	NOR	-2,6	+1,4	-0,2	-5,4	7,1	-12,0	205	253	23	4,0	996,5		
Bodø	NOR	-0,4	+1,8	2,2	-2,9	8,9	-10,3	1	1	1	4,6	999,3		
Bergen	NOR	4,3	+2,8	6,3	2,1	9,9	-2,7	371	195	24	6,8	1011,1		
Oslo	NOR	-0,2	+4,1	3,0	-2,7	12,4	-9,6	24	49	4	4,7	1009,7	65	163
Haparanda	SWE	-8,0	+4,1	-4,4	-11,8	5,0	-26,6	22	50	7	3,3	1000,6		
Östersund	SWE	-3,6	+5,1	-0,9	-6,4	6,7	-22,7				4,2	1004,7	37	142
Stockholm	SWE	0,5	+3,3	2,9	-1,6	8,2	-7,7	46	118	7	5,2	1007,3	53	133
Jönköping	SWE	0,5	+4,1	3,5	-2,8	8,4	-13,1				5,9	1011,1		
Visby	SWE	1,7	+2,5	3,8	-0,6	7,7	-8,1	34	69	9	6,0	1009,0	45	132
Sodankylä	FIN	-11,6	+3,5	-6,7	-16,6	4,4	-29,9	17	55	6	2,6	999,8	0	0
Kajaani	FIN	-8,8	+3,6	-5,0	-13,0	2,8	-28,2				3,1	1001,9		
Jyväskylä	FIN	-6,2	+3,8	-3,0	-9,6	3,8	-27,9	41	95	12	3,8	1003,2	20	76
Helsinki Airp.	FIN	-3,3	+3,6	-0,5	-7,2	6,1	-23,1	91	222	15	4,4	1004,1		
Lerwick	GBR	5,3	+2,1	6,8	3,7	10,9	-1,0	139	105	27	8,1	1010,3		
Aberdeen	GBR	5,1	+2,4	8,0	2,1	13,2	-3,7	21	26	5	7,0	1016,3	86	165
Waddington	GBR	4,9	+1,6	7,3	2,4	14,3	-3,1	20	41	5	7,1	1023,6	103	169

출처: 독일 기상청(<https://www.dwd.de/EN/ourservices/globalclimatedata/klimadatenweltweit.html>)

[그림 113] 글로벌 기후 데이터의 월별값 제공

1991년부터 2020년까지의 글로벌 복사 정보와 비교한 현재 연도의 월별 총계 및 추세 정보를 제공한다.



출처: 독일 기상청(<https://www.dwd.de/EN/ourservices/solarenergy/solarenergy.html>)

[그림 114] (좌)1991-2020 글로벌 복사 월별 합계와 비교한 독일의 2022년 복사 월별 합계. (우) 1991-2020 전국 복사 연간 총량과 독일 연간 변화 비교. 독일의 연간 변화는 +2,93 kWh/m<sup>2</sup>

예보와 태양광 발전소 장소, 태양 전지판의 적위 및 방향을 기반으로 태양 및 날씨예보를 활용하여 태양광에너지 예보 그래프를 공공용과 유료용으로 제공<sup>153)</sup>하고 있다.

데이터 소스는 연방 교통 및 디지털 인프라부 산하의 독일기상청 Deutscher Wetterdienst(DWD)의 산광 및 복사 데이터를 활용<sup>154)</sup>하고 있으며, 유럽 위원회의 EU Science Hub에서 PV GIS 데이터를 사용하고 초지역적 예측에 특화된 DarkSky의 API를 활용하여 독자적 Forecast Data API를 개발하고 있다. 또한, Wunderground의 미기후 날씨 정보, Open Weather Map의 농업, 물류, 손매, 운송 및 기타 여러 분야를 위한 새로운 데이터, AerisWeather의 API and Mapping Platform(AMP) 활용하여 광범위한 문서 라이브러리, 소프트웨어 개발 키트(SDK, Software Development Kit) 및 단계별 마법사를 활용하여 API 설계 및 구축에 활용하고 있다.

153) Forecast.Solar(<https://forecast.solar/?about>)

154) 독일기상청 사이트(<https://www.dwd.de/EN/ourservices/solarenergy/solarenergy.html>)

### 5.1.1.5. 호주

호주 기상청(Bureau of Meteorology)은 재생에너지 발전을 위한 기상정보 지원을 지속 추진 중이다. 공공 서비스가 아닌 비즈니스/기업 대상 솔루션의 목적으로 신청하거나 다양한 에너지/재생에너지 관련 네트워크 관리, 에너지 수요, 공급량 및 에너지 손실 방지 예측에 도움을 주는 서비스를 신청할 시 유상 제공 중<sup>155)</sup>으로 주로 설치부지 선정 및 에너지 플랜트/재생에너지 플랜트 설치에 필요한 지원서비스가 이루어지고 있고, 이를 위해 태양열 및 풍력 발전지대 대상 기상예보, 해당 지대 대상 재해예보 및 기상경보를 활용하고 있다.

공공 서비스의 경우, 재생에너지 분야만을 대상으로 한 서비스는 아니지만 1990년대 초반부터 위성 이미지 기반 태양에너지 관련 기후데이터를 제공하고 있으며<sup>156)</sup>, 일별, 월별 지역별 일사량 데이터 지도를 위치기반 지도<sup>157)</sup> 및 지도 이미지<sup>158)</sup>로 제공 중이다. 위성 데이터를 통해 수집한 태양 정보와 평평한 지면에서 일정 기간(보통 하루) 동안 받은 에너지의 양을 측정하는 방식으로 일사량을 측정하고 태양 전지판과 같은 장치에서 발생하는 에너지를 추정할 때 패널의 각도, 근처의 나무나 건물에서 하늘의 일부가 막히거나 그늘이 생기는지 여부, 햇빛을 전기로 변환하는 장치의 효율성 등의 요소를 측정하고 있다. 호주 지질과학원이 관리하는 호주 태양에너지 정보시스템은 태양광 발전시설 입지 선정에 필요한 정보를 제공하며 태양 데이터는 옥상 태양광 발전 시스템을 가진 소규모 전력 발전사업자의 용량 추정치를 제공하는 데 사용한다.

---

155) Bureau of Meteorology, N.A. Industry Solutions. <http://www.bom.gov.au/business-solutions/industry-solutions.shtml>

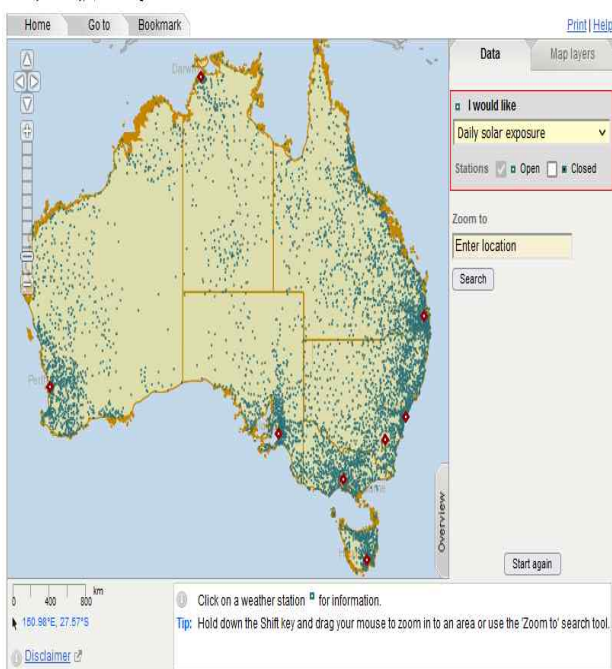
156) Bureau of Meteorology, N.A. Climate information for solar energy. <http://www.bom.gov.au/climate/data-services/solar/#tabs=Solar-energy>

157) Bureau of Meteorology, N.A. Climate Data Online. <http://www.bom.gov.au/climate/data/index.shtml?bookmark=193>

158) Bureau of Meteorology, N.A. Daily solar exposure for Australia. <http://www.bom.gov.au/jsp/awap/solar/index.jsp>

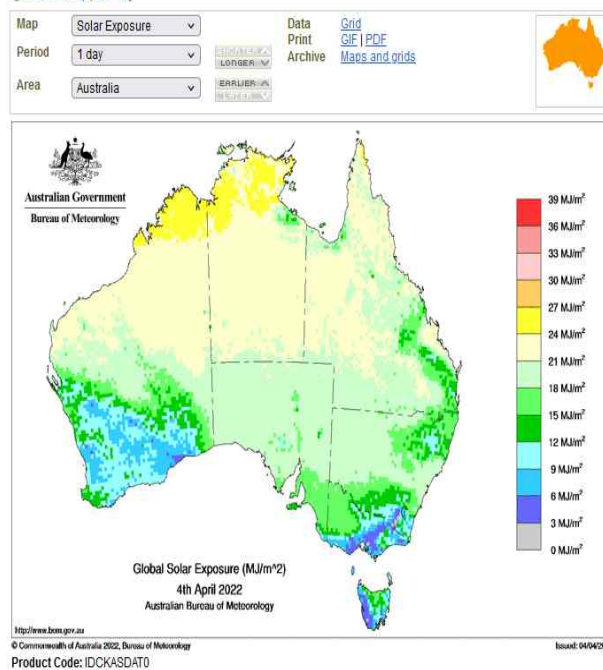
## Map search

Select your data type, then click green station dots for linked information.



## Daily solar exposure for Australia

About the map | Glossary



출처: BOM 홈페이지(<http://www.bom.gov.au/jsp/awap/solar/index.jsp>)

[그림 115] 호주 기상청 일별 지역별 일사량 지도

### 5.1.1.6. 일본

일본기상청의 경우, 풍력발전장치에 의한 기상레이더 관측영향을 회피, 경감하기 위한 풍력발전장치 설치 가이드라인을 제시<sup>159)160)</sup>하고 있다. 기상레이더로부터 45km 이내에 풍력발전장치를 설치할 시 국토교통성과 함께 설치에 대한 상담 서비스를 제공<sup>161)</sup>하며, 풍력발전소에 의한 기상데이터 관측방해를 피하기 위한 설치 상담 서비스 외에 추가적인 재생에너지 관련 정책 또는 서비스는 제공하지 않고 있다.

159) 気象庁, N.A. 風力発電施設が気象観測レーダーに及ぼす影響,  
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/radar/windturbine.html>

160) 気象庁, N.A. ご存知ですか? 風車が及ぼす気象レーダーへの影響.  
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/radar/leaflet.pdf#leaflet>

161) 資源エネルギー庁, 2020, 再生可能エネルギー 事業支援ガイドブック令和2年度版. p.97  
[https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/saiene/data/guidebook\\_r02.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/data/guidebook_r02.pdf)

<표 89> 국가별 재생에너지 분야 기상청의 역할 특징 및 시사점 도출

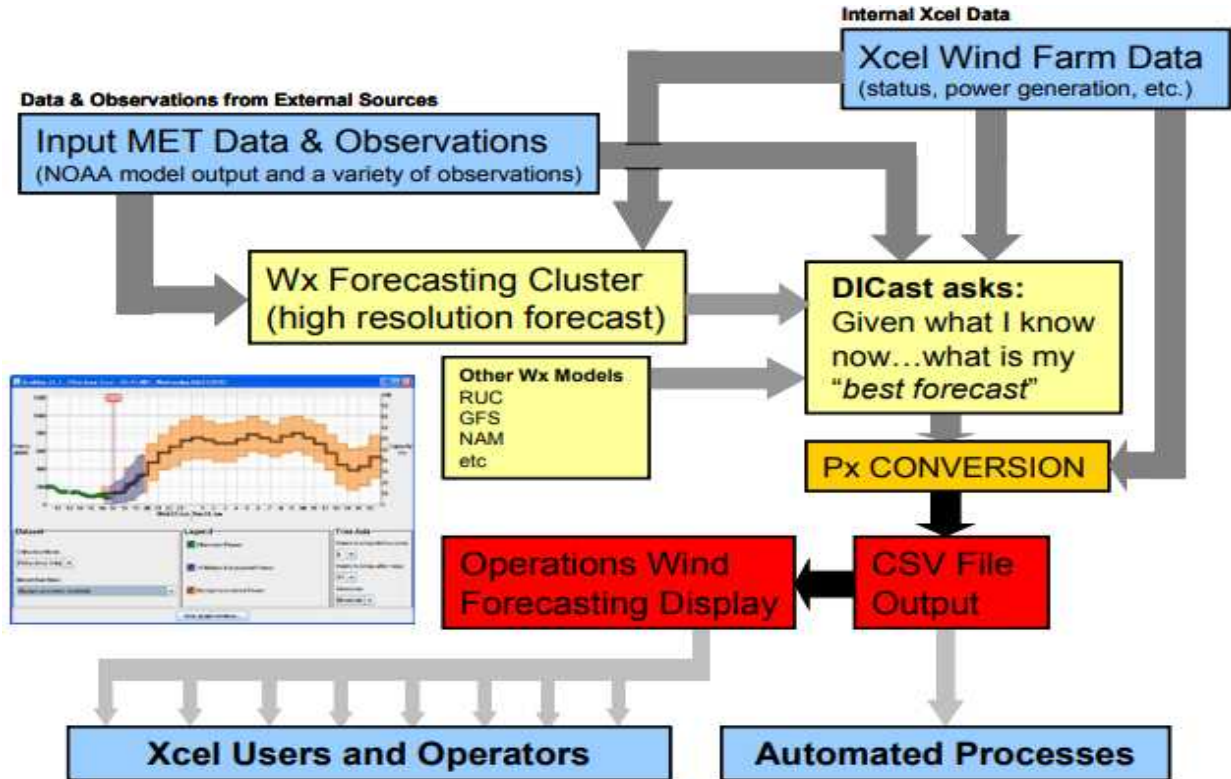
구분	주요 기능 및 역할	주요 특징 및 시사점
미국	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (해양대기청, NOAA) 산하 지구 시스템 연구소(ESRL)의 4개 하위 부처별 협력체계를 기반으로 태양광 및 풍력에너지 고품질 데이터 수집과 기상예보 모델 개선을 위한 R&amp;D 프로젝트 수행</li> <li>▪ 2021년 미국 에너지부(DOE)의 Offshore Wind Energy Strategies를 통해 프로젝트 파트너십 강화</li> <li>▪ (미국 기상청, National Weather Service) 내부의 Analyze, Forecast and Support Office를 통해 재생에너지 등의 분야를 담당하는 국가기관에 수문기상 정보를 제공</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 산하 연구소 중심의 공공 R&amp;D 위주</li> <li>▪ 기관 대상 공공데이터 제공</li> </ul>
영국	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (영국 기상청, Met Office) 단기에서 중장기까지 이음새 없는 예측정보와 이를 활용한 기후변화 위험 및 영향을 최소화하는 것에 중점을 둔 서비스 및 적용 분야 제시</li> <li>▪ 기상기후정보 활용 개선을 통한 경제성장을 지원하고, 모든 시간 규모와 지역에서 전지구에 이르는 공간 규모를 아우르는 예보시스템 개선하는 것을 목표로 설정</li> <li>▪ 다양한 유형의 과거 및 현재 그리고 예보 데이터를 CSV 등 형태로 제공</li> <li>▪ 지점별 및 지역별 발전량 예측, 태양광 및 풍력 데이터 모델 개선, 바람정보 제공 등 입지 선정, O&amp;M(Operation &amp; maintenance, 유지보수), 재해 경보에 필요한 유료 데이터 및 서비스 제공</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ‘이음새 없는 예측정보’ 제공</li> <li>▪ 산업계 지원체계 및 공공데이터 제공</li> <li>▪ 고품질 데이터 기반 유료 서비스 제공</li> </ul>
독일	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (독일 기상청, DWD) 태양광 및 풍력 에너지 산업 대상으로 복사 및 풍력 관련 기후 데이터를 오픈 데이터로 제공</li> <li>▪ 독일 전역 기후 지도, 월별 글로벌 복사 총량 및 월간 총량 평균 지도, 글로벌 월간 기후데이터 제공</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 오픈데이터로 공공 개방</li> <li>▪ 기후 및 복사 총량 정보 제공</li> </ul>
중국	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (중국 기상청, CMA) 「중국기상국 기후자원 보호 이용 능력 향상 지도의견」을 통해 재생에너지 분야 기상지원 정책 독자 수립</li> <li>▪ 풍력·태양광 자원센터(CWERA), 관계부처 합동 빅데이터+기상 기술 기반 투자 가치 맵 개발, 국가에너지국과 업무협약 체결 및 국가에너지 기상자원 개발센터 설립 등 대외협력 강화</li> <li>▪ 「풍력·태양광 자원 기상 비즈니스 역량 향상 계획(2021-2025)」, 「2022년 국가 기후 자원 보호 및 이용 운영 능력 구축 실행 계획」을 통한 기상에너지 분야 산업계 지원체계 마련</li> <li>▪ 실수요 연계 태양광에너지 단기예보 서비스 상품 및 발전단지별 기상예보 서비스 제공</li> <li>▪ 지자체 산하 연구소의 기술개발 활성화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 재생에너지 분야에서 기상청의 역할 및 전략추진체계 확립</li> <li>▪ 대외협력을 통한 R&amp;D 강화</li> </ul>
호주	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (호주 기상청, BOM) 설치 부지 선정 및 에너지 플랜트/재생에너지 플랜트 설치에 필요한 지원 서비스</li> <li>▪ 태양광 및 풍력 발전지대 대상 기상예보, 해당 지대 대상 재해예보 및 기상경보</li> <li>▪ 위성 이미지 기반 태양에너지 관련 기후데이터를 제공하고 있으며, 위치기반 일별, 월별 지역별 일사량 데이터 지도 제공</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 입지 선정, 발전단지 기상 예보/재해예보 서비스 제공</li> <li>▪ 기후, 일사량 데이터 제공</li> </ul>
일본	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (일본 기상청, JMA) 풍력발전장치에 의한 기상레이더 관측영향을 회피, 경감하기 위한 「풍력발전장치 설치 가이드라인」을 제시</li> <li>▪ 기상레이더로부터 45km 이내에 풍력발전장치를 설치할 시 국토교통성과 함께 설치에 대한 상담 서비스 제공</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 민간과의 충돌 최소화</li> </ul>



## 5.1.2. 민간사업자

### 5.1.2.1. 미국

Xcel Energy는 국립대기연구센터(National Center for Atmospheric Research)와 공동연구 및 협업을 통해 NOAA에서 제공하는 기상관측 및 수치예보모델 데이터와 자체적인 풍력발전소 데이터를 통합하여 바람예보 시스템<sup>162)</sup>을 자체 구축하였다.



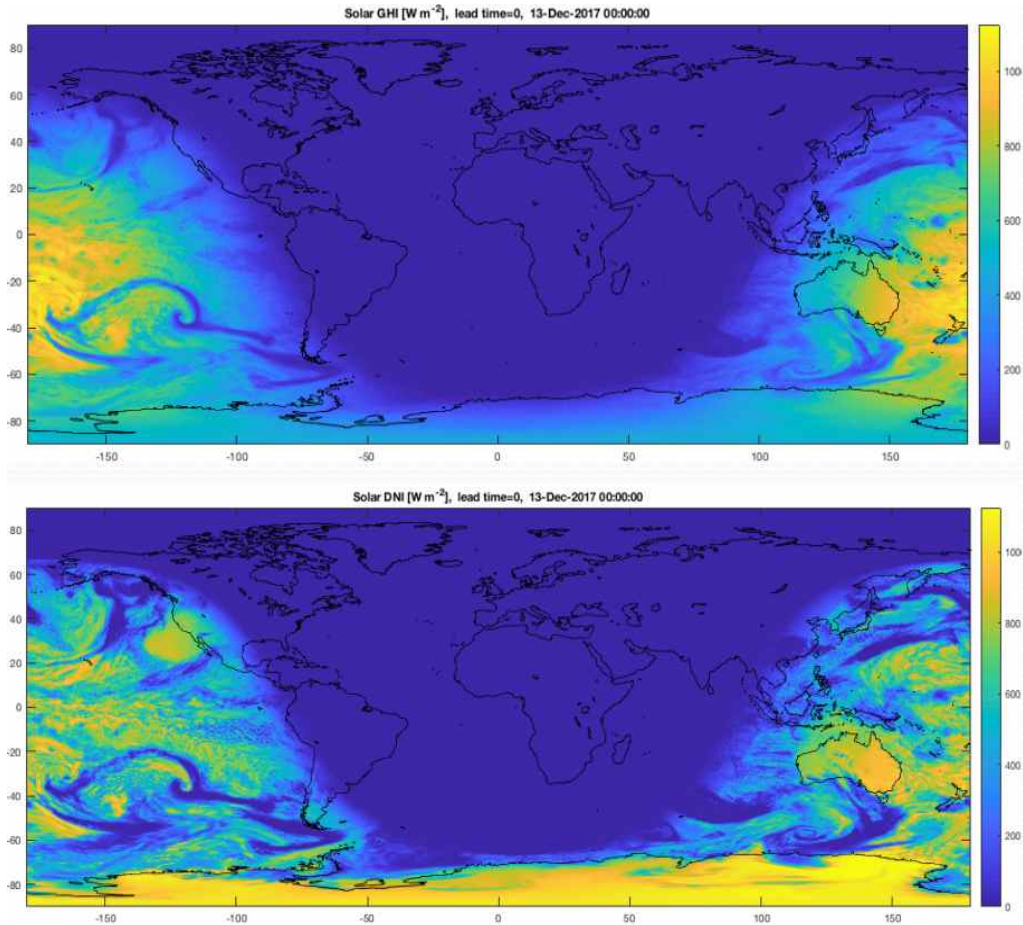
출처: NREL, Wind Energy Forecasting: A Collaboration of the National Center for Atmospheric Research(NCAR) and Xcel Energy, 2011

[그림 116] 미국 Xcel Energy 바람예보 시스템

기상 기업인 IBM 비즈니스는 다양한 수치예보모델 및 물리적 변수를 이용하여 농업 및 재생에너지 관련 기상예보를 자체 생산<sup>163)</sup>하고 있으며, 태양광 에너지 지원에 사용되는 일사량(Solar Irradiance) 장기예보를 (15분 간격 7일치 예보 & 1시간 간격 15일치 예보) 제공한다. 또한, 풍력에너지 지원에 사용되는 바람예보를 제공하며, 10-260m 고도의 풍향/풍속/습도 요소에 대해 1시간 간격으로 15일간 기상예보를 제공한다.

162) Wind Energy Forecasting: A Collaboration of the National Center for Atmospheric Research (NCAR) and Xcel Energy, National Renewable Energy Laboratory

163) Forecasts on Demand for Renewable Energy and Agriculture at the Weather Company



출처: The Weather Company, an IBM Business, Forecasts on Demand for Renewable Energy and Agriculture at The Weather Company, an IBM Business, 2018

[그림 117] The Weather Company 세계 일사량 예보 지도

### 5.1.2.2. 독일

슈투트가르트 대학교의 풍력에너지 연구실과 바덴-뷔르템베르크주 태양 에너지/수소연구센터는 공동으로 독일 최초의 북해 해상풍력 단지인 알파 벤투스(Alpha Ventus)의 에너지 생산량을 예측하는 기술을 개발<sup>164</sup>하였다. 이는 라이다(LiDAR)를 사용하여 즉각적으로 풍력 터빈에 레이저 펄스를 쏘고 이를 통해 공기 입자의 움직임을 측정하여 실시간으로 풍력 터빈에서 최대 1시간 내에 생산 가능한 전력량을 예측하는 기법이다. 5MW급 터빈 후면 최대 10km 거리에서도 풍량 측정이 가능하며, 이 과정에서 수집된 데이터는 대기 상태를 파악하고 기상 모델과 연동시킨다.

독일 북부 올덴부르크 소재 항공우주센터(DLR) 에너지 시스템 연구소는 Eye2Sky 프로젝트에서 네트워크 기반 구름 카메라(cloud camera)를 활용하여 재생에너지 발전량을 사전 예측<sup>165</sup>하고 있다. 연구진은 올덴부르크와 북해 연안 그리고

164) 한국산업기술진흥원, 재생에너지 발전량 사전 예측기술, 글로벌 산업기술 주간브리프, 2020.1.

네덜란드 국경 사이 지역에 총 34개의 구름 카메라 스테이션을 설치하여 각 카메라가 평균 반경 4km 이내의 상공을 실시간으로 스캔하고, 카메라에는 어안렌즈가 장착되어 180도 시야를 확보할 수 있으며 30초마다 촬영한 구름 사진을 중앙 처리용 서버로 전송하여 구름 변화를 30초 단위로 수집한다. 또한, 빛의 밝기, 그림자의 정도 및 변화를 측정하여 그 예측치를 도출할 수 있으며 인근에 설치된 다른 카메라들에서 수집한 값을 통해 상호 보정하여 정확도를 향상시킨다. 구름의 위치와 높이를 정확하게 측정함으로써 집광판에 투영되는 구름 그림자의 음영도 더욱 정확하게 계산할 수 있고, 전력망에 공급되는 태양에너지를 지역별, 시간 단위별로 예측할 수 있다.

### 5.1.2.3. 중국

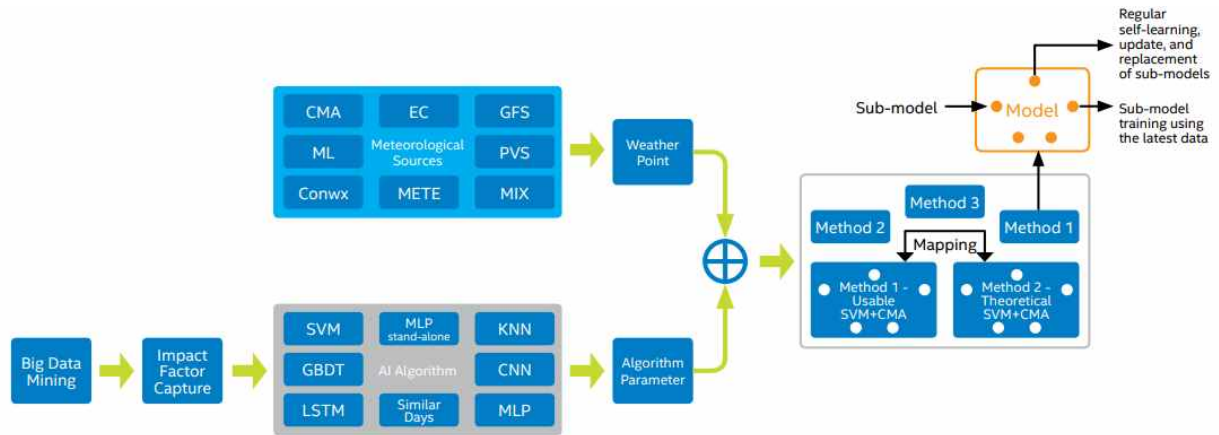
State Grid Xinjiang Electric Power Co., Ltd.은 인공 지능(AI)과 같은 10개 이상의 알고리즘을 사용하여 신장 지역의 재생에너지 전력을 예측<sup>166)</sup>하고 있다. 신장의 618개 발전시설이 차세대 재생에너지 전력 예측시스템과 연결되어 있으며, 풍력 및 태양광 자원 발전 특성의 차이에 따라 약한 바람 날씨와 강한 바람 날씨에 대한 예측 전략을 구분하고 있다. AI 및 기타 기술을 적용한 후 신장 지역 풍력 발전의 초단기, 단기 및 중기 예측정확도는 각각 96%, 92% 및 81%에 도달하였으며, 각 기간의 태양광 발전 예측정확도는 약 98%를 기록하였다.

Goldwind SE(北京金风慧能技术有限公司)는 딥러닝과 머신러닝 기법 기반 풍력 터빈 단위 기상예보 및 바람 궤적 시뮬레이션 등 기상예보 데이터를 결합한 방식의 스마트 솔루션을 구축하였다.

인텔의 통합 빅데이터 분석과 AI 플랫폼 Analytics Zoo를 기반으로 특징 공정 구축, 영향 인자 포착, 다중 모델 조합부터 맞춤형 정책 업데이트까지 분산 아키텍처를 만들고 예측 데이터의 시계열 특성에 맞춰 최적화하였다. 이는 중국 기상청(CMA), 유럽기상센터(EC) 등 권위 있는 기관과 협력한 결과로 풍력 터빈 수준 일기예보와 결합, 바람 궤적 시뮬레이션 등의 일기예보 데이터, 여러 모델을 결합하는 등 전력 예측을 위한 새로운 스마트 솔루션을 구축하였다. 풍력발전기 단위 일기예보 규모를 기존의 9km에서 100m의 마이크로스케일로 개선하였으며 바람 궤적의 시뮬레이션은 여행 경로에 대한 명확한 정량 분석을 달성하였다.

165) 한국산업기술진흥원, 재생에너지 발전량 사전 예측기술, 글로벌 산업기술 주간브리프, 2020.1.

166) <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1726245984944710183&wfr=spider&for=pc>



출처: Intel, Goldwind SE Builds Advanced Intelligent Power Prediction Solution for New Energies Based on Analytics Zoo

[그림 118] Goldwind SE 구조도

Beijing Dongrun Environmental Energy Technology Co., Ltd.는 다양한 모델링 기법과 수치기상예보를 통해 풍력발전 예측서비스를 제공<sup>167)</sup>하고 있다. 초단기예보(0-4시간, 15분 단위)와 단기예보(0-72시간, 일 단위) 서비스 제공, 국내외 다수 표준·비표준 맞춤형 프로토콜 지원, 내륙 및 원격 OPC 통신 지원, \*.txt, \*.int, \*.xml 등의 파일을 지원한다. 또한, 풍력 단지 부지선정을 위한 컨설팅 서비스 및 풍황 예측기 운영현황 모니터링 서비스를 제공하고 기상재해 조기 경보 표준을 수립하기 위해 빅데이터 및 데이터 마이닝 알고리즘을 축적하고 있다.

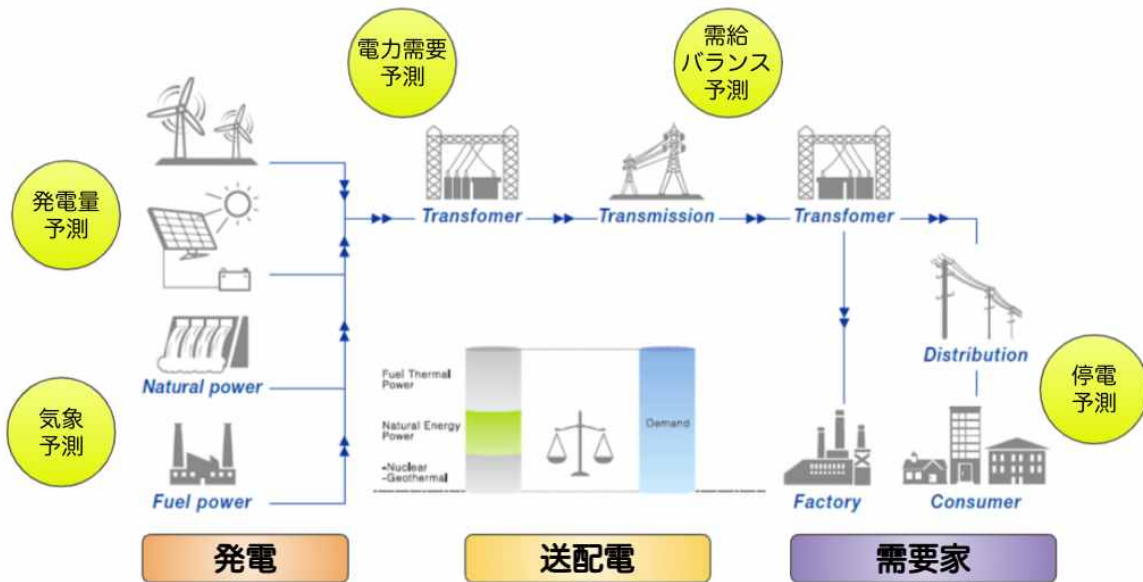
이외에도 Solargis, Levasseur 등 외국 기상서비스업체들이 중국 시장에 진출하여 재생에너지 데이터 및 예측 솔루션을 제공하고 있다.

#### 5.1.2.4. 일본

웨더뉴스(Weathernews)의 경우, 에너지기상이라는 이름으로 에너지의 안정공급 및 최적화를 위한 통합 기상지원 서비스를<sup>168)</sup> 통해 발전량 예측, 기상 예측, 전력수요 예측, 공급 밸런스 예측, 정전 예측 등 발전단계부터 공급 및 사용단계까지 전 단계를 아우르는 최적화 서비스를 제공하고 있다. 또한, 기상데이터 서비스, 발전시설 관리 서비스, 송전용량 최적화 서비스 등 다양한 서비스를 제공 중이다.

167) <http://cloud.eeechina.cn/Eeeweb/gonglvyuce.shtml>

168) Weathernews, N.A.エネルギー気象. <https://jp.weathernews.com/your-industry/energy/>



출처: Weathernews 홈페이지

[그림 119] Weathernews에서 제공하고 있는 에너지 기상 서비스 도식화



출처: Weathernews 홈페이지

[그림 120] Weathernews에서 제공하는 서비스 목록

재단법인 일본기상협회의 경우, 에너지업자를 대상으로 하는 통합 API서비스, ENeAPI를 통해 재생에너지 발전사업자 등을 대상으로 태양광 API, 풍력 API,

에너지 관리 API 및 리스크 정보 API를 통합한 통합 API 서비스를 제공하고 있고<sup>169)</sup> 실황/추정 및 예보의 두 범주의 데이터를 제공하고 있다. 태양광의 경우 AMeDAS(Automated Meteorological Data Acquisition System) 추정일사량, 태양광 발전 출력 추정치, 단기 일사량 예측 등을 제공하고 풍력의 경우 단기 풍향/풍속 예측, 에너지 관리의 경우 기온/기상 실황, 단기 기온, 기상예보 등을 제공하며, 리스크 정보 API의 경우 낙뢰관측정보, 적설심 분석, 낙뢰 나우캐스팅 등의 정보를 제공한다.

表 「ENeAPI」のサービス内容

区分	情報種別	提供可能な情報
太陽光 API	実況・推定	アメダス推定日射量
		日射量推定 (SOLASAT 8-Now)
		太陽光発電出力推定 (SOLASAT 8-Now) <sup>*1</sup>
	予測	短時間日射量予測 (SOLASAT 8-Nowcast) <b>[NEW]</b>
		短期日射量予測 (SYNFOS-solar) <sup>*2</sup>
		短期日射量予測 (SYNFOS-solar・逐次補正あり) <sup>*3</sup>
		短期太陽光発電出力予測 (SYNFOS-solar) <sup>*1 *2</sup>
短期太陽光発電出力予測 (SYNFOS-solar・逐次補正あり) <sup>*1 *3</sup>		
風力 API	予測	短期風向風速予測 (SYNFOS) <b>[coming soon]</b>
エネマネ API	実況・推定	気温実況
		天気実況
	予測	短期気温予測 (SYNFOS) <sup>*2</sup>
		短期天気予測 (SYNFOS)
		2週間日射量予測 <b>[NEW]</b>
2週間気温予測 <b>[NEW]</b>		
リスク情報 API	実況・推定	落雷観測情報 <b>[NEW]</b>
		解析積雪深 <b>[NEW]</b>
	予測	雷ナウキャスト <b>[NEW]</b>

\*1 発電出力変換のため、発電設備仕様等の情報が必要となります。

\*2 SYNFOS-solarのほか、気象庁モデル (GSM、MSM) による予測もご利用可能です。

\*3 SYNFOS-solarによる予測情報のご利用時に限り、日本気象協会が保有する日射量推定値 (SOLASAT 8-Now) による予測値の逐次補正機能がご利用可能です。また、お客さま側で取得している現地気象観測値や太陽光発電出力実績値による補正も可能です (オプション機能)。

출처: ENeAPI 홈페이지

[그림 121] ENeAPI 서비스 내용

169) 日本気象協会, N.A. 日本気象協会 `エネルギー事業者向け総合APIサービス「ENeAPI」の提供を開始 ~ 「日射量・太陽光発電出力予測API」を大幅拡充し、総合APIサービスとしてリニューアル~, <https://www.jwa.or.jp/news/2022/02/15763/>

<표 90> 국가별 재생에너지 분야 민간사업자의 역할 및 시사점 도출

구분	주요 기능 및 역할	주요 특징 및 시사점
미국	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (Xcel Energy) NOAA에서 제공하는 기상관측 및 수치예보모델 데이터와 자체 풍력발전소 데이터를 통합하여 바람예보 시스템구축</li> <li>▪ (IBM) 수치예보모델 및 물리적 변수를 이용하여 농업 및 재생에너지 관련 기상예보 생산</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 공공데이터를 활용하여 발전량 및 기상예보 생산</li> </ul>
독일	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (슈투트가르트 대학교 풍력에너지 연구실&amp;바덴-뷔르템베르크주태양에너지/ 수소연구센터) 독일 북해 해상풍력 단지 '알파 벤투스' 에너지 생산량 예측 기술 개발</li> <li>▪ (항공우주센터 에너지 시스템 연구소) 네트워크 기반 구름 카메라를 활용하여 재생에너지 발전량 예측</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 에너지 생산량 및 발전량 예측을 민간에서 주도적으로 수행</li> </ul>
중국	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (State Grid Xinjiang Electric Power co., Ltd.) 인공 지능 및 기타 기술을 사용하여 신장 지역 재생에너지 전력 예측</li> <li>▪ (GoldwindSE) 딥러닝&amp;머신러닝 기반 풍력터빈 단위 기상예보 및 바람 궤적 시뮬레이션</li> <li>▪ (Beijing DongrunEnvironmental Energy Technology co., Ltd.) 다양한 모델링 기법과 수치기상예보를 통한 풍력발전 예측 서비스 제공</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 최신기술 활용 활발</li> <li>▪ 민간에서 발전 예측 서비스 제공</li> </ul>
일본	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (웨더뉴스) 발전량 예측, 기상 예측, 전력수요 예측, 공급 밸런스 예측, 정전 예측 등 발전단계부터 공급 및 사용단계까지 전 단계를 아우르는 통합 기상지원 서비스 제공</li> <li>▪ (재단법인 일본기상협회) 에너지 업자 대상 통합 API서비스, ENeAPI제공</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 기상협회가 통합 API 서비스 제공</li> </ul>

### 5.1.2.5. 시사점

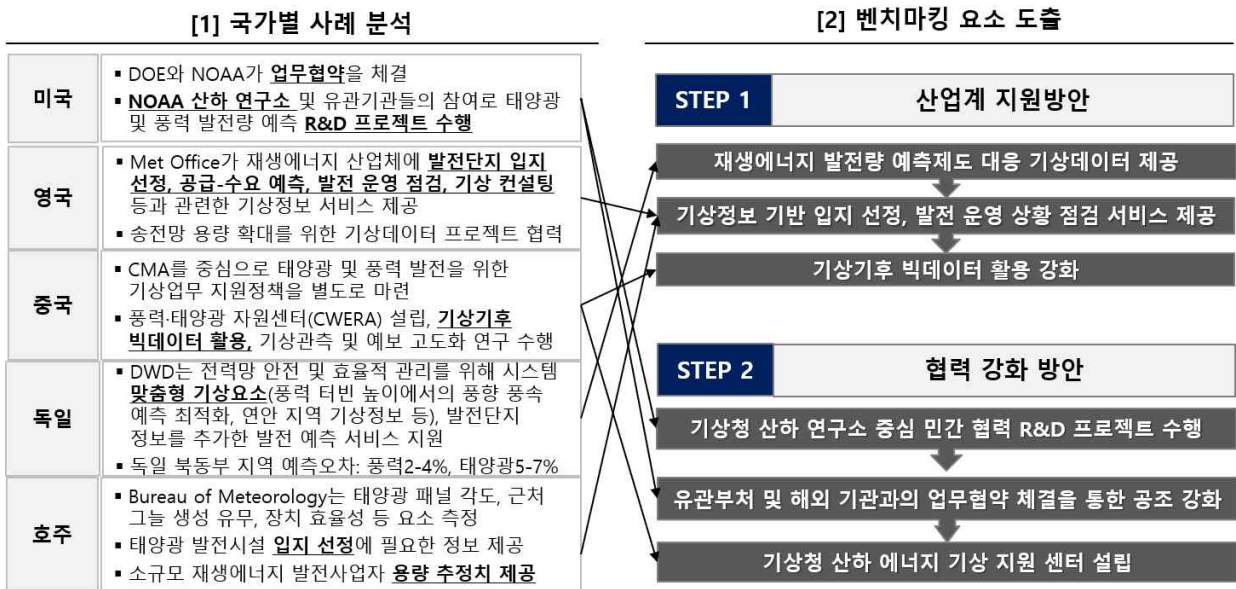
타 국가의 민간사업자들은 주로 기상청의 데이터를 활용하여 발전량, 기상예보를 생산하고 있으며 특히, 일본에서는 기상협회가 통합 API서비스를 제공하고 있다. 이에, 기상청과 민간사업자 간의 역할 충돌 최소화를 위한 기상청-산업계 기상지원 정책 마련이 필요하다.

## 5.2. 산업계 지원 및 협력방안

### 5.2.1. 벤치마킹 요소 도출

국가별 기상기관의 산업계 지원 및 협력 강화 방안을 종합하여 국내 벤치마킹 가능 요소를 도출하였다.

국외 사례를 종합한 결과 업무협약 체결, 기상청 산하 연구소의 R&D 프로젝트 수행, 지원센터 설립 및 기상기후 빅데이터 활용, O&M 및 입지 선정에 위한 맞춤형 기상요소 제공, 용량 추정치 제공 등의 항목을 벤치마킹 요소로 도출하였다. 이를 국내에 적용하기 위한 산업계 지원방안으로 발전량 예측제도 및 재생에너지 발전시설 맞춤형 기상데이터 서비스 제공, 기상기후 빅데이터 활용 강화 등을 포함할 수 있다. 또한, 대외협력 강화 방안으로는 기상청 산하 연구소 중심 R&D 프로젝트 수행, 관련 부처 및 해외기관과의 업무협약 체결을 통한 공조 강화, 기상청 산하 에너지 기상지원 센터 설립 등의 지원 요소를 도출하였다.



출처: 저자 직접 작성

[그림 122] 산업계 지원을 위한 국외 사례 벤치마킹 요소 도출

### 5.2.2. 산업계 지원 및 협력 방안

산업계 지원을 위해 태양광/풍력 에너지 분야별 R&D, 서비스, 대외협력 등의 분야에서 지원 및 협력 방안을 아래와 같이 도출하였다.

- 관측데이터 제공 및 예측 보정 기술 고도화 R&D에 주력한다.
- 전문 기상서비스 제공을 통한 비즈니스 모델 고도화를 추구한다.



- 기상계측기 및 향후 가상발전소(VPP) 확대에 따른 제도 개선 지원을 추진한다.
- 해외 기상기관 및 국내 부처와의 협력을 확대한다.
- 전국 발전소 데이터를 수집·취합하고 발전량 예측모델 성능평가를 위한 실증단지를 통한 시범서비스를 추진한다.
- 발전량 예측결과 실시간 공유체계 및 기상정보 제공 플랫폼을 구축한다.
- 이해관계자 세그먼트 분석 및 그룹별 교류를 정례화한다.
- 관측정보 성과 및 관측 센서 검증 결과를 공유한다.
- 중개사업자/O&M 사업자 대상 맞춤형 정보제공을 통한 신규 비즈니스 창출을 지원한다.

## 6. 이해관계자 협의체 구성(안)

### 6.1. 협의체 구성 추진 개요

#### 6.1.1. 추진 배경

전 세계적으로 신재생에너지의 전력 비중 증가 및 국내의 신재생에너지 시장 활성화로 발전량 예측정보의 중요성과 활용도가 증가하고 있으며, 특히, 태양광·풍력에너지는 기상정보에 의한 영향을 가장 많이 받는 에너지원으로 태양광·풍력에너지 발전량 예측에서 기상정보의 활용과 역할은 매우 중요하다. 따라서 재생에너지 분야의 정확하고 상세한 기상정보 생산·제공과 관계기관 간 협업 및 소통강화로 신재생에너지 관련 국가정책 수립과 수행 지원이 필요하다.

#### 6.1.2. 추진 방향

기상정보를 활용하는 재생에너지 분야의 수요기관 및 이해관계자 등을 구성원으로 하는 민관 상시협의 체계(실무협의체) 구축이 필요하다. 재생에너지 관련 정책 및 사업이 속도감 있게 추진되도록 기상청 차원에서 재생에너지 분야의 기상지원 방안을 적극적으로 마련하여 지원하고, 수요기관과의 유기적 협력체계를 마련하여 관측정보 공동 활용·예측정보 산출·제공·활용 및 피드백 등을 바탕으로 자료의 신뢰성을 높이는 선순환 구조를 수립해야 한다.

기관 간 협력 효과를 증대하기 위해 실무중심의 이해관계자 협의체를 구성·운영해야 한다. 기관 간 협의 및 지원방안 마련을 위한 실무협의체(전체회의)와 분야별 구체적 의제 발굴을 위한 분과위원회를 구성하여 실행력을 확보하고, 공공과 민간의 이해관계자를 포용하는 협의체가 되어야 한다. 사업화를 위한 이슈 사항에 대한 실행력을 갖추기 위해 공개적인 논의를 통해 신속한 의사결정을 이끌어낼 수 있는 기상청 실무팀장과 수요기관 실무 차·부장 중심으로 협의체를 구성함으로써 실수요 및 애로사항의 빠른 피드백을 통해 효율적인 사업 추진을 도모해야 한다.

2030 NDC(온실가스감축목표) 및 탄소중립 이행을 위한 지속가능한 재생에너지 보급 확대를 위해 정책 방향 설정 및 업계와의 소통강화가 절실하므로 기상청과 에너지 관련 이해관계자의 협의체 구성을 통해 신재생에너지 사업 육성 및 지원의 적극적인 추진이 필요하다.

## 6.2. 협의체 구성 및 운영 체계(안)

### 6.2.1. 협의체 구성

협의체는 민·관 대표 각 1인을 공동의장으로 하고, 기상청을 중심으로 범부처 담당자 및 관련 산·학·연 이해관계자가 위원으로 참여한다.

집행위원회는 재생에너지 관련 사업을 수행하는 정부와 공공기관의 관계자가 당연직이 되며, 분과위원회의 위원장과 부위원장 각 1인을 포함하여 협의체를 대표할 수 있는 산·학·연 관계자로 구성한다.

분과위원회는 태양광 및 풍력에너지 위원회별 참여 신청자로 재생에너지 발전량 예측을 위한 실행과제를 발굴하고 추진하는 등의 활동이 가능한 업계, 학계, 연구계, 공공기관 관계자로 구성한다.

사무국 간사는 협의체 안건 상정, 분과위원회 실행과제 전달, 회의 주관 등 행정적인 지원을 한다.

#### □ 협의체 참여기관

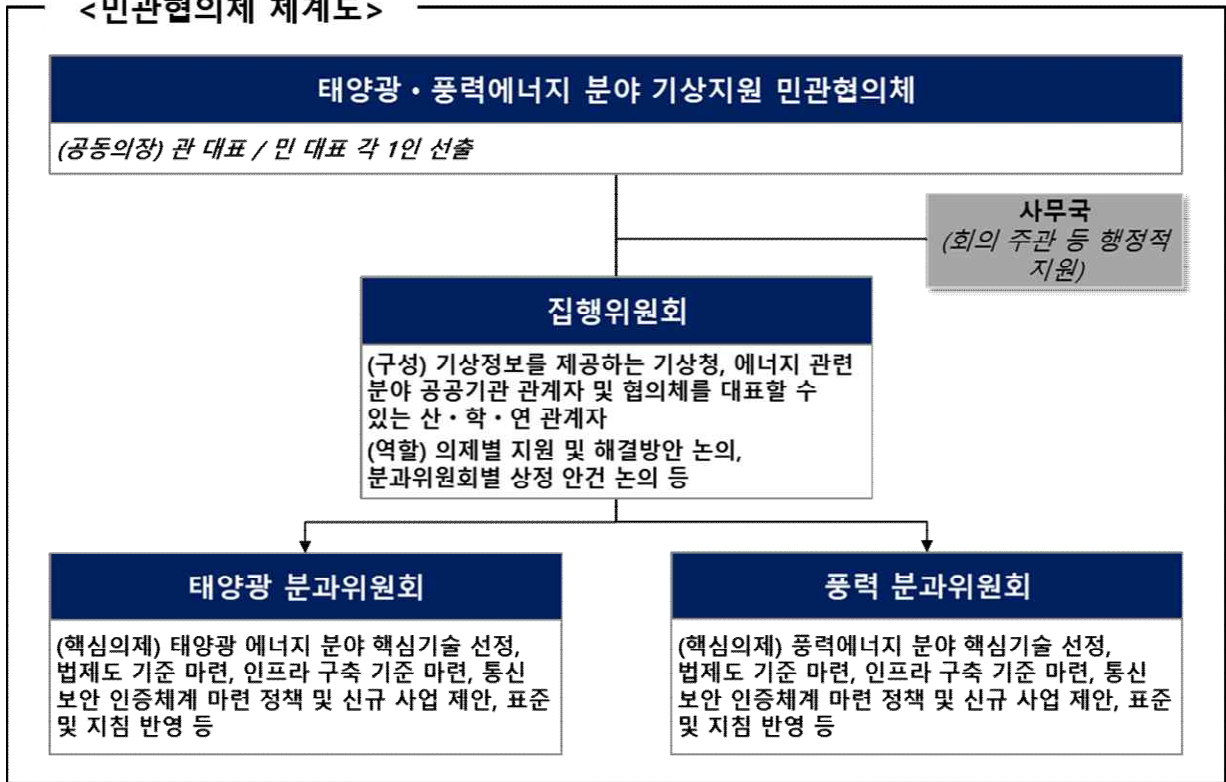
협의체 참여기관은 재생에너지 분야의 민·관 관계자들로 기상청, 관계부처, 관련기관 및 민간기관의 이해관계자들이 참여할 수 있다.

- (기상청) 기상서비스진흥국장, 기상융합서비스과장, 기후예측과장, 수치모델링센터장, 국립기상과학원장 등
- (관계부처) 산업통상자원부(에너지산업실장, 재생에너지정책과장), 환경부, 국토부, 산림청, 새만금청, 과기정통부 등
- (관련기관) 한국전력공사, 한국수력원자력 등 발전6사, 한국에너지공단, 전력거래소 등
- (민간기관) 한화큐셀(신재생협회 부회장사), 두산중공업(풍력협회 부회장사), 전국태양광발전협회, 한국태양광산업협회, 한국소형풍력에너지협회, 한국신재생에너지학회, 한국기후변화학회, 전국시민발전협동조합, 환경운동연합 등

### 6.2.2. 협의체 운영 체계

재생에너지 분야 기상지원을 위한 민관협의체 체계는 다음과 같다.

<민관협의회 체계도>



[그림 123] 태양광·풍력에너지 분야 기상지원 민관협의회

□ 운영(안) : 정기회, 수사회

태양광·풍력에너지 분야의 기상지원을 위한 이해관계자 협의체의 운영은 정기회와 수사회로 운영된다.

협의회는 연 1회 개최를 원칙으로 대면회의로 이루어지며 참가기관 및 참가사의 대표 1인이 참석하여 주요 논의사항에 대한 사항을 심의·의결하고 실행과제 추진 사항 점검 등 평가 외에도 대외적 홍보 등의 역할을 수행한다.

집행위원회는 연 2회 개최를 원칙으로 대면회의로 이루어지며 분과위원회 상정의제(안건) 등 논의·협의된 사항과 추진과제 등을 검토하여 협의회로 안건을 상정하며 분과위원회별 추진 실행과제를 결정한다.

분과위원회는 반기 1회 이상 개최를 원칙으로 대면 또는 서면회의로 진행하며, 분과위원은 분과별 핵심기술 선정, 기상정보 활용 가이드 마련, 법제도 기준 마련, 인프라 구축 기준 마련 및 협력과제·공동 R&D 사업 발굴 등의 역할을 수행하고, 분과위원회별 협의체 상정 안건 발굴과 분과위원회별 실행과제 추진 등을 진행한다.

□ 협의체 의제(안)

태양광·풍력에너지 분야의 기상지원을 위한 이해관계자 또는 민관 협의체의 의제(안)을 설정하여 ▲기상지원 핵심기술 및 서비스 선정, ▲국민참여형 발전사업 확대, ▲재생에너지 보급기반 확대, ▲재생에너지 산업경쟁력 강화 등의 목표(안)를 달성하기 위해 다음과 같은 실행과제(안)를 추진한다.

세 부 목 표	실 행 과 제
<p><b>1. 기상지원 핵심 기술 및 서비스 선정</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 우선추진 핵심기술 및 서비스 선정</li> <li>▪ 신재생에너지 맞춤형의 산업용 기상정보 도출</li> <li>▪ 기상자원 분석정보, 예측정보, 전망정보 산출기술 개발 및 개선 방안 논의</li> <li>▪ 기상예측자료 제공 범위와 주기 개선</li> <li>▪ 기상지원 기술개발 로드맵 마련</li> </ul>
<p><b>2. 국민참여형 발전사업 확대</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 도시형 자가용 태양광 확대에 따른 통합모니터링(발전량, 효율, 장애 등의 실시간 관리) 강화 지원</li> <li>▪ 소규모 사업 보급 확대 및 농가 태양광 활성화에 따른 맞춤형 기상정보 도출 및 제공 방안 마련</li> </ul>
<p><b>3. 재생에너지 보급기반 확대</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 재생에너지 보급 활성화를 위한 제도 및 규제 개선</li> <li>▪ 범부처 입지·인허가 애로 해결 지원체계 구축 및 수용성이 확보된 신규 입지 발굴을 위해 부지선정에 기상정보 제공 방안 마련 및 추진</li> </ul>
<p><b>4. 재생에너지 산업경쟁력 강화</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 재생에너지 기술개발·실증·공동R&amp;D 과제 발굴을 위한 상호협력체계 구축</li> <li>▪ 전문가 네트워크 구축 및 신재생에너지/기상자원 분야 현안 논의를 통한 정책화 지원</li> <li>▪ 태양광 산업의 저탄소친환경화 촉진, 대형 해상풍력 터빈 개발·실증 지원 방안 구축</li> </ul>

# IV

## 태양광·풍력에너지 분야 기상지원을 위한 추진전략

### 1. 발전 목표 및 추진전략 방향

#### 1.1. SWOT 분석을 통한 내·외부 환경분석

	강 점(Strength)	약 점(Weakness)
내부 환경	<ul style="list-style-type: none"> <li>태양광·풍력에너지 설비용량 매년 증가</li> <li>재생에너지 발전단지 지역 확대 및 시스템 대형화 추세</li> <li>기상관측망 인프라 보유 및 우수한 품질의 자료 확보</li> <li>수치예보모델 현업 운영 역량 보유</li> <li>국립기상과학원을 중심으로 한 재생에너지 연구개발 역량 보유</li> <li>공공데이터포털을 통한 신재생에너지 관련 기상자료 제공 확대</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>기상에 민감하여 변동성이 큰 재생에너지 설비 증가로 전력계통의 불안정성 증가, 안정적인 전력수급 관리 문제 발생, 출력량 조정 한계</li> <li>발전단지 조성 추진시 단계별 기상정보 활용을 위한 기상전문가 활용 미흡</li> <li>발전단지 특화형 기상융합정보 개발 미흡</li> <li>신재생에너지 분야 기상예측시스템 구축을 위한 예산 부족</li> <li>발전설비 및 미계량 발전시설 급증에 따른 계통안정성 위험 확대</li> <li>기상정보 제공방식 편의성 취약</li> <li>발전단지 관측데이터 품질관리 취약</li> <li>O&amp;M에 필요한 일부 기상정보 미제공</li> <li>재생에너지 분야 맞춤형 기상정보 기술 및 연구개발 지원 미흡</li> </ul>
	기 회(Opportunity)	위 협(Threat)
외부 환경	<ul style="list-style-type: none"> <li>기후위기로 국내외 탄소중립 달성 목표 상향 및 에너지효율 향상 정책 추진</li> <li>글로벌 재생에너지 비중 및 R&amp;D 투자 확대를 통한 전략적 육성 추진</li> <li>지자체 재생에너지 사업 활발, 재생에너지 중개사업 활성화 전망</li> <li>국내 발전량 예측제도에 따라 ‘하루 전 시장’ 중심 운영으로 정확한 기상예측정보 필요</li> <li>주요국의 재생에너지 발전 보급과 산업화를 위한 다양한 제도 도입 및 에너지 산업 정책 확대</li> <li>글로벌 신재생에너지 수요 증가</li> <li>기상자원지도의 정확도 개선 및 발전량 예측 모델 등 기술 고도화 추진</li> <li>IoT 기술 등을 활용한 발전단지별 기상 관측자료 확보로 시공간 해상도 향상</li> <li>최신 ICT 기술 기반의 관측·분석·전달 기술 구체화 추세</li> <li>경쟁력 있는 전기에너지 자원화를 위한 예측 기술 혁신 요구 증대</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>신재생기상자원 상세 기상예측을 위한 기상관측시설 표준화 관련 가이드라인 필요</li> <li>재생에너지 발전량 예측 오차 발생 및 과잉 생산으로 사업 수익성 저하 문제 발생</li> <li>국내 재생에너지 보급 미비</li> <li>기후변화로 기상 변동성과 불확실성 증가 및 위험기상 발생빈도 증가 추세</li> <li>태양광·풍력 발전의 생산-소비 측면에서의 지역 간 불균형 발생</li> <li>재생에너지 발전설비 조성 시 자연훼손, 생태계 파괴, 환경오염, 선박 항해 장애 등에 대한 지역주민과 문제 발생</li> </ul>

## 1.2. Cross-SWOT 분석 및 전략 방향 수립

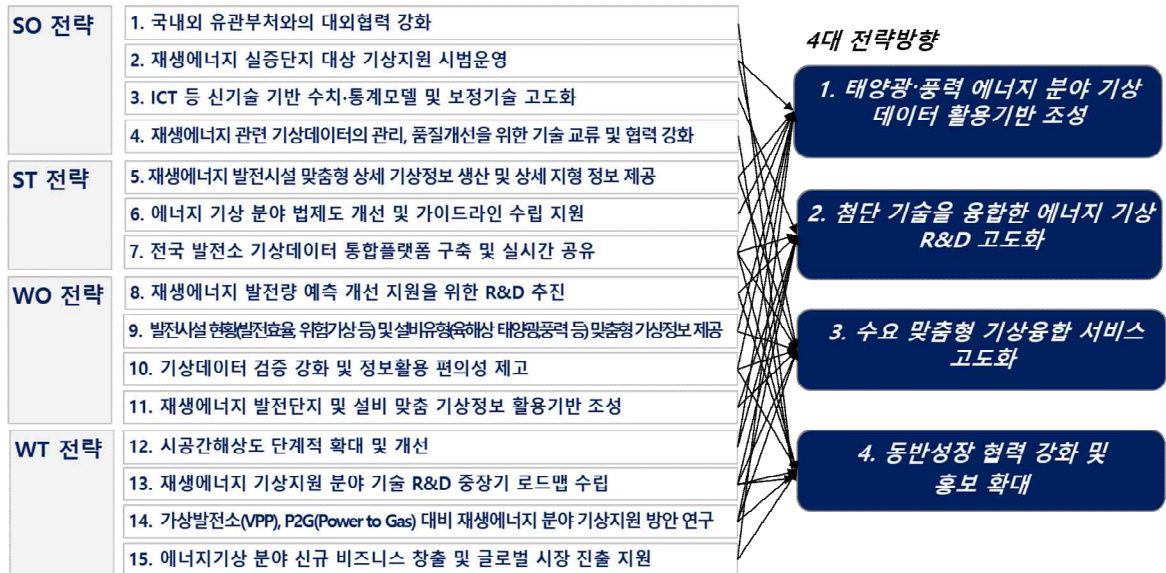
### □ Cross-SWOT 분석

	강 점 (Strength)	약 점 (Weakness)
기회 (Opportunity)	<p>[SO 전략]</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 국내외 유관부처와의 대외협력 강화</li> <li>2. 재생에너지 실증단지 대상 기상지원 시범운영</li> <li>3. ICT 등 신기술 기반 수치·통계모델 및 보정기술 고도화</li> <li>4. 재생에너지 관련 기상 데이터의 관리, 품질개선을 위한 관계기관간 기술 교류 및 협력·소통 강화</li> </ol>	<p>[WO 전략]</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>8. 재생에너지 발전량 예측 개선 지원을 위한 R&amp;D 추진</li> <li>9. 발전시설 현황(발전효율, 위험기상, 일사각 및 계측기 품질관리) 및 설비유형(육상 태양광, 수상 태양광, 육·해상 풍력 등) 맞춤형 정보 제공</li> <li>10. 기상데이터 검증 강화 및 정보활용 편의성 제고</li> <li>11. 재생에너지 발전단지 및 설비 맞춤형 기상정보 활용기반 조성</li> </ol>
위협 (Threat)	<p>[ST전략]</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>5. 재생에너지 발전시설 맞춤형 상세 기상정보 생산 및 상세 지형 정보 제공</li> <li>6. 에너지기상 분야 법·제도 개선 및 가이드라인 수립 지원</li> <li>7. 전국 발전소 기상 데이터 통합 플랫폼 구축 및 계통운영자와의 기상정보 실시간 공유</li> </ol>	<p>[WT 전략]</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>12. 시공간 해상도 단계적 확대 및 개선</li> <li>13. 재생에너지 기상지원 분야 기술 R&amp;D 중장기 로드맵 수립</li> <li>14. 가상발전소(VPP), P2G(Power to Gas) 대비 재생에너지 분야 기상지원 방안 연구</li> <li>15. 에너지기상 분야 신규 비즈니스 창출 및 글로벌 시장 진출 지원</li> </ol>

## □ 전략 방향 도출

○ Cross-SWOT 분석을 종합하여 태양광·풍력 기상지원의 4대 전략 방향성 설정

- 태양광·풍력 에너지 기상데이터 활용기반 조성
- 첨단 기술을 융합한 에너지 기상 R&D 고도화
- 수요 맞춤형 기상융합 서비스 고도화
- 동반성장 협력 강화 및 홍보 확대



[그림 124] Cross-SWOT 분석결과 및 전략적 방향성 도출



## 2. 추진전략 체계

### 2.1. 정책 비전 및 목표

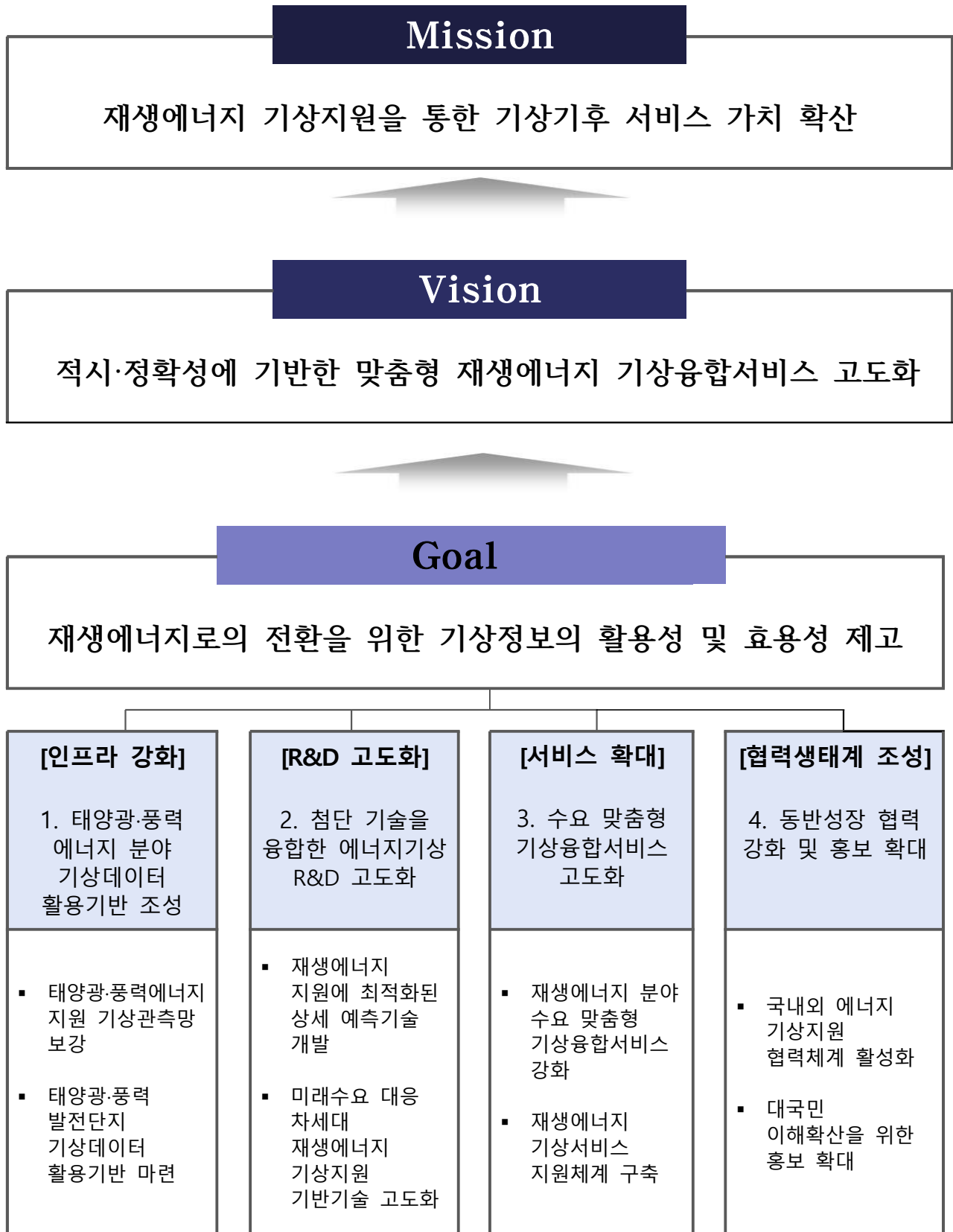
#### □ 기상지원 추진의 미션

- 기후변화 대응 및 탄소중립, ICT 기술 등 패러다임 변화에 선도적 대응을 위해 태양광·풍력에너지 기상지원의 미션을 「재생에너지 기상지원을 통한 기상기후 서비스 가치 확산」으로 설정
  - 신기술 활용과 전문역량 강화를 통해 태양광·풍력에너지 기상지원 서비스 체계를 구축하고 저탄소·친환경 경제로의 이행력을 확보하여 지속가능한 미래 안전 사회 생태계 발전에 기여
  - 수요자 맞춤형 기상정보 및 서비스 강화를 통한 태양광·풍력 발전단지 맞춤형 기상예측정보 개선에 기여
  - 재생에너지 분야 기상지원 강화를 통한 산업 육성 및 신규 비즈니스 창출로 지속가능한 상생발전 생태계 구축

#### □ 기상지원 추진의 비전

- 태양광·풍력에너지 기상지원의 비전은 「적시·정확성에 기반한 맞춤형 재생에너지 기상융합서비스 고도화」로 설정
- 비전의 구체화를 위해 재생에너지로의 전환을 위한 기상정보의 활용성 및 효용성 제고를 목표로 설정
- 미션과 비전 달성을 위해 향후 중점적으로 추진해야 할 내용으로 4대 전략 방향과 8개 중점과제를 도출

## 2.2. 전략 체계



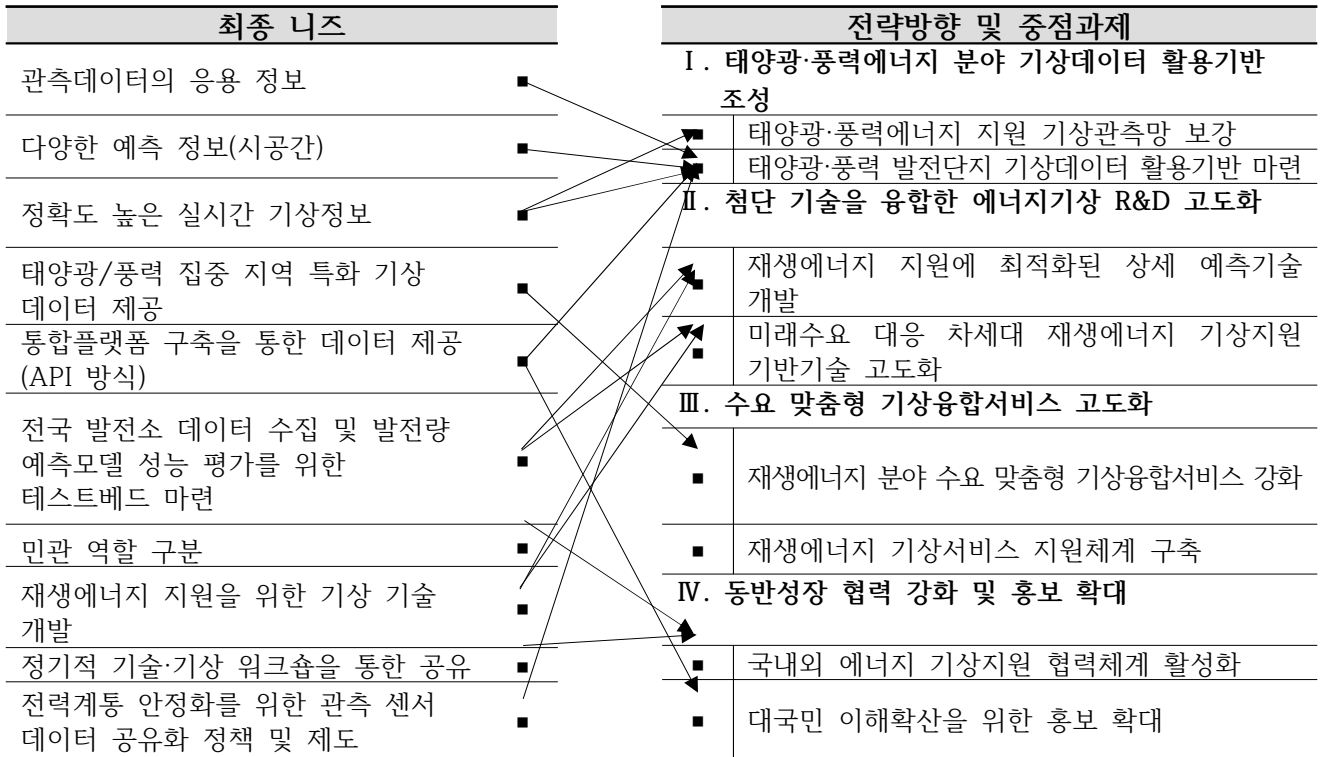
## 추진 전략

전략 방향	중점과제
<b>I. 태양광·풍력에너지 분야 기상데이터 활용기반 조성</b>	[1-1] 태양광·풍력에너지 지원 기상관측망 보강 [1-2] 태양광·풍력 발전단지 기상데이터 활용기반 마련
<b>II. 첨단 기술을 융합한 에너지기상 R&amp;D 고도화</b>	[2-1] 재생에너지 지원에 최적화된 상세 예측기술 개발 [2-2] 미래수요 대응 차세대 재생에너지 기상지원 기반기술 고도화
<b>III. 수요 맞춤형 기상융합서비스 고도화</b>	[3-1] 재생에너지 분야 수요 맞춤형 기상융합서비스 강화 [3-2] 재생에너지 기상서비스 지원체계 구축
<b>IV. 동반성장 협력 강화 및 홍보 확대</b>	[4-1] 국내외 에너지 기상지원 협력체계 활성화 [4-2] 대국민 이해확산을 위한 홍보 확대

### 2.3. 전략 과제

전략방향	중점과제	세부과제
<p><b>I. 태양광·풍력 에너지 분야 기상데이터 활용기반 조성</b></p>	<p>[1-1] 태양광·풍력에너지 지원 기상관측망 보강</p> <p>[1-2] 태양광·풍력 발전단지 기상데이터 활용기반 마련</p>	<p>[1-1-1] 지역 상세 기상정보 제공을 위한 기상관측망 보강</p> <p>[1-1-2] 관측지점별·지형별·고도별 상세관측 자료 제공</p> <p>[1-2-1] 에너지기상 분야 법제도 개선 및 가이드라인 수립 지원</p> <p>[1-2-2] 재생에너지 분야 기상데이터 품질관리 강화</p>
<p><b>II. 첨단 기술을 융합한 에너지기상 R&amp;D 고도화</b></p>	<p>[2-1] 재생에너지 지원에 최적화된 상세 예측기술 개발</p> <p>[2-2] 미래수요 대응 차세대 재생에너지 기상지원 기반기술 고도화</p>	<p>[2-1-1] 신기술을 활용한 재생에너지 맞춤형 기상예측기술 개발</p> <p>[2-1-2] 재생에너지 기상지원을 위한 예측기술 다양화</p> <p>[2-2-1] 시공간 해상도의 단계적 개선으로 기반기술 고도화</p> <p>[2-2-2] 재생에너지산업 지원을 위한 기상데이터 활용기술 연구</p>
<p><b>III. 수요 맞춤형 기상융합서비스 고도화</b></p>	<p>[3-1] 재생에너지 분야 수요 맞춤형 기상융합서비스 강화</p> <p>[3-2] 재생에너지 기상서비스 지원체계 구축</p>	<p>[3-1-1] 실증 지역별 맞춤형 기상융합서비스 개발</p> <p>[3-1-2] 에너지기상 융합서비스 활용 분야 확대</p> <p>[3-2-1] 재생에너지산업 지원을 위한 기상서비스 지원체계 구축</p> <p>[3-2-2] 서비스 활용체계 수립 및 민관 환류 강화</p>
<p><b>IV. 동반성장 협력 강화 및 홍보 확대</b></p>	<p>[4-1] 국내외 에너지 기상지원 협력체계 활성화</p> <p>[4-2] 대국민 이해확산을 위한 홍보 확대</p>	<p>[4-1-1] 국내외 관계기관 협력을 통한 관측자료 공동활용 체계 구축</p> <p>[4-1-2] 이해관계자 그룹별 소통 활성화</p> <p>[4-2-1] 국민 참여형 교육 프로그램을 통한 융합서비스 가치 제고</p> <p>[4-2-2] 다양한 채널을 통한 실증효과 홍보 확산</p>

## 2.4. 주요 수요 니즈와의 연계성



### 3. 전략별 추진계획

## 전략방향 | 태양광·풍력에너지 분야 기상데이터 활용기반 조성

### 기본방향

#### □ 배경 및 필요성

- 재생에너지 발전량 예측제도 등 정책환경 변화에 따른 재생에너지 기상지원 강화 필요
- 전력계통 안정화를 위한 발전소 지점별 실시간 기상관측 정보 및 발전량 데이터 활용 기반 조성 필요
  - 읍면동 행정단위가 아닌 발전소 실제 위치 지점을 중심으로 한 상세 기상자료 확보 필요
- 발전단지 가동상태 및 설비효율에 영향을 미치는 낙뢰, 태풍, 연무, 해무, 파고, 미세먼지 등 위험기상에 대한 관측 강화 필요
  - 재생에너지 발전단지별 출력량 예측 및 시설 가동 여부 의사결정 관련 지원을 위한 기상관측망 확충 및 보강 필요

#### □ 전략의 주요 내용

- 태양광·풍력 에너지 발전시설 중심의 상세 기상정보 및 위험기상 예보 제공을 위한 기상관측망 확충 및 보강
- 태양광·풍력 에너지 발전시설 중심의 지점별·지형별·고도별 상세 관측자료 제공 체계 구축
- 현장 기상환경을 종합 고려한 태양광·풍력 발전설비 가이드라인 수립 및 표준화 지원
- 발전단지 인근의 상세 기상정보 제공 확대 및 데이터 품질관리를 위한 기상관측망 운영·관리 체계 개선

#### □ 전략과제 및 실행과제

##### 1-1 태양광·풍력에너지 지원 기상관측망 보강

[1-1-1] 지역 상세 기상정보 제공을 위한 기상관측망 보강

[1-1-2] 관측지점별·지형별·고도별 상세관측자료 제공

##### 1-2. 태양광·풍력 발전단지 기상데이터 활용기반 마련

[1-2-1] 에너지기상 분야 법제도 개선 및 가이드라인 수립 지원

[1-2-2] 재생에너지 분야 기상데이터 품질관리 강화

[1-1-1] 지역 상세 기상정보 제공을 위한 기상관측망 보강

■ 태양광·풍력 발전량 예측 고도화에 필수적인 기상관측망 보강 및 품질관리 개선을 통한 신뢰도 높은 기상데이터 확보

○ (태양광 분야 관측망 확대) 태양광 발전량 예측 지원을 위한 일사관측망 확대

- 기상청 운영 일사계 설치 지점 확대 및 관측자료 품질 개선
  - ASOS, AWS 지점 일사계 52개소('21) → 연도별 확대 추진/ WMO의 권고 해상도: 25km
- 천리안 위성 기반 일사량 산출 기술 개선 및 상세 일사 자료 생산
- 에어로졸 라이다 결합 운고·운량계 확충 및 노후장비 교체
  - ASOS, AWS 운고·운량계 94개소('21) → 연도별 관측장비 확대 추진

○ (풍력 분야 관측망 보강) 풍력 발전량 예측 지원을 위한 고도별 바람관측망 보강 및 공동활용 체계 구축

- 해상기상부이를 활용하여 해상 풍력에너지 관련 고도별 자료 확보를 위한 부유식라이다 등 관측장비 설치
- 공공기관에서 운영중인 기상탑 인프라를 공동활용하여 풍력발전기 높이를 고려한 고도별 바람 관측자료 보강을 위한 라이다 확충
  - 풍력 발전단지 권역별(수도권, 충청권, 전라권, 경상권, 제주권) 바람 관측장비 설치
- 대기 상층의 실시간 관측을 위한 연직바람관측장비 추가 설치
  - 연직바람관측장비 전국 11개소('22) → 연도별 확대 설치
- 기상탑 내 라이다, 해상 변전소 내 관측장비 구축을 통해 인프라 공동활용 강화

○ (실증단지 내 기상관측망 구축) 지역별 특화 시범단지 내 기상관측장비 설치

- 해안, 섬, 산간, 수상 등 다양한 지형, 환경별 특성을 고려한 기상관측장비 설치 확대
  - 예시: 지상기상관측장비(ASOS), 바람관측장비(윈드라이다 등)

## [1-1-2] 관측지점별·지형별·고도별 상세관측 자료 제공

### ■ 재생에너지 발전설비 효율 저하 및 가동 중단 등에 영향을 주는 기상요소 분석을 위한 기상관측 역량 강화 및 에너지 비즈니스 확대 기반 조성

- 발전단지 인근지역 대상 호우, 강풍, 우박, 낙뢰 등 위험기상 집중관측망 구축
  - 낙뢰, 우박 등 위험기상 집중관측을 위한 기상관측 장비 교체 및 확대 설치 추진
    - 낙뢰센서로 구성된 낙뢰관측망 21개소(21) → 연도별 확대 설치
  - 발전단지 복합 조성지역에 레이더, 윈드라이다 등 도입 설치
  - 연무, 해무 등 신규 관측센서 도입을 통한 자동관측 방법 도입 및 개선 추진<sup>170)</sup>
    - 발전단지 자동관측 단계적 적용 및 확대 Action Plan 수립
  
- 재생에너지 발전 단지 맞춤형 입체 기상관측망 보강
  - 서해·남해·동해 연직바람 관측장비 교체 및 확충 추진
    - 해상부이에 부유식 라이다 장착 등 기존 관측시설과 연계 추진
  - 해상발전단지 인근 기상관측선을 활용한 입체 관측 시험 실시
  - 설치 지점별 기상 데이터 수집·관리 운영을 위한 플랫폼 구축
  - 유관기관(전력거래소, 한국전력공사 등)의 발전량 등 관련자료의 공동활용 기반 강화
  
- 에너지기상 분야 맞춤형 기상관측장비 테스트베드 시험 운영
  - 발전단지 지역, 환경 특성을 고려한 기상관측장비 시범 테스트 실시
  - 기상관측장비의 설치장소에 따른 성능 점검 등 조사 연구 수행
  - 시범 운영 후 관측자료의 실시간 모니터링 및 예측기술 개선 등에 활용

## □ 기대효과

- 태양광·풍력 발전시설 기상관측망 확대로 관측 조밀도 및 정확도 향상
- 고도별 맞춤형 상세 기상정보 제공 등 기상데이터 및 서비스 제공 기반 마련
- 기상관측망 개선에 따른 태양광·풍력 발전량 예측 오차 최소화에 기여

170) 전해립 외 3인, 드론을 활용한 해무(연안안개) 관측 및 메커니즘 분석, 한국기상학회 학술대회 논문집, 2021



[1-2-1] 에너지기상 분야 법제도 개선 및 가이드라인 수립 지원

■ 재생에너지 분야의 민간 기상데이터 활용 확대를 위한 표준화, 데이터 활용 가이드라인 수립 지원

- 태양광·풍력 발전단지 내 기상관측장비 설치 기준 및 표준화 지원<sup>171)</sup>
  - 재생에너지 발전단지 내 기상관측장비 설치 관련 기준 마련을 위한 연구 수행
    - 현황 및 문제점 조사, 국내 및 국외 관련분야 정책동향, 최신 기술 동향 조사 등 연구 추진
- 에너지기상 분야 기상 데이터 활용 가이드라인 지원
  - 산업부, 한국에너지공단, 관련 협회 등 관계기관 담당자 대상 에너지기상 관련자료 활용법 등 제공<sup>172)</sup>
  - 전력계통의 운영 단계별 기상관측, 기상예측정보 등 데이터 분석·활용 지원 강화<sup>173)</sup>
- 재생에너지 기상지원을 위한 발전소별 기상관측자료의 공동활용 근거 마련
  - 기상관측 및 타 분야 자료의 공동 활용을 위한 거버넌스 구축<sup>174)</sup>
  - 지자체, 관계기관 등 개별 관리되고 있는 기상자료의 공동활용 위한 기반 마련<sup>175)</sup>

171) EPJ, 산업부, 육상풍력 이격거리 표준화 추진... 업계 반응 엇갈려, 2021.12.20.  
<http://www.epj.co.kr/news/articleView.html?idxno=29522>

172) 한국에너지공단, 한국기상산업기술원과 기상-신·재생E 협력체계 구축을 위한 업무협약 체결('22.1.28)

173) 한전, 「신재생 발전량 예측 기반 전력계통 운영시스템」 개발, 기계신문, 2020.04.17

174) 제주지방기상청, 제주지방기상청-제주에너지공사청정하고 안정적인 신재생에너지 시스템 실현을 위한 업무협약, 보도자료, 2021.12.14

175) 「기상법」 제12조(기상업무에 관한 정보의 공동활용 체계 구축 등)

## [1-2-2] 재생에너지 분야 기상데이터 품질관리 강화

### ■ 공공 및 민간데이터의 공동활용을 위한 자료수집과 품질관리 강화를 통해 데이터의 신뢰성 확보

- 에너지기상분야 활용가능한 데이터의 종류, 시공간 해상도 등 관련정보 제공
  - 각 데이터별 시간(시, 일, 월, 연) 및 공간 해상도 등 관련 정보 지원
  - 관련자료 제공 시 OPEN-API 방식 등 수요자 맞춤형 다양한 채널을 통한 정보 제공
- 재생에너지 관련 데이터 수집 및 품질관리 강화
  - 태양광에너지 기상지원을 위한 일사, 일조 등 관측자료 수집 및 품질 관리
  - 풍력에너지 기상지원을 위한 고도별 풍속, 풍향 자료 수집 및 자료관리 개선
  - 일사계 운영 환경, 센서 노후화에 따른 감도정수(센서 민감도) 등 오류 자료의 발생원인 분석 및 개선
    - 정확한 현장 일사 관측을 위한 센서 청결 관리주기 설정, 절차(방법) 및 관리 감독 강화
    - 국제기준의 차폐 허용범위에 부합하도록 일사 관측에 영향을 주는 수목 제거 및 일사계 위치 재선정
    - 일사계 검정, 교정에 대한 기술적 적정성 및 과학적 근거 마련 등을 통한 체계 개선
  - 주요 선진국, 국제기준 등을 참고하여 실시간 현장 품질관리기술 개발
    - 기후자료 생성 및 실시간 현장 품질관리 알고리즘 개발<sup>176)</sup>
- 재생에너지 분야 수요자 맞춤형 의사결정 지원을 위한 데이터 활용 기반 구축
  - 실 사용자의 니즈 분석과 수요조사를 통한 서비스 지원방안 마련
  - 재생에너지 활용 분야별, 자료 종류별 수요자 눈높이에 맞는 활용법 제공
  - 재생에너지 발전단지 내 환경 데이터 등 관련 자료의 수집 및 제공
    - 발전단지 터빈 높이 맞춤형 풍향·풍속, 고도별 풍향·풍속(80m~200m) 등 수요자 니즈 조사 후 2차 가공된 기상융합정보 제공

176) 이승윤, 정승권, 머신러닝기반의 사물인터넷 도시기상 관측자료 품질검사 알고리즘 개발에 관한 연구, 한국수자원학회 논문집, 2021

## □ 기대효과

- 유관기관의 기상정보 공동활용, 통합·관리를 통한 데이터 신뢰성 확보
- 관측자료의 품질관리 강화를 통한 데이터 활용 확대
- 에너지기상 분야 수요자 맞춤형 기상정보 제공으로 기상데이터의 부가가치 확산
- 전력계통 운영자의 의사결정 지원을 통한 전력 계통 안정화에 기여

## 기본 방향

### □ 배경 및 필요성

- 재생에너지 분야 ICT 융복합기술 기반의 공동활용 플랫폼 구축 필요
  - (국외) 빅데이터 시스템 기반의 발전량 시뮬레이션 등 재생에너지 발전설비의 최적 설계와 설치 추진 중
  - (국내) 재생에너지산업 경쟁력 강화 방안(2019, 산업통상자원부)에 따라 IoT, AI 등 융합기술을 활용한 발전량, 운영관리, 유지보수 등 통합모니터링체계 구축 추진중
- 전력계통 안정성 확대를 위한 재생에너지 발전량 예측기술 개발과 선진국 수준의 발전단지 통합관리 인프라 및 O&M 서비스 구축 필요
  - 재생에너지 발전량 사전예측을 통한 부하예측, 발전기 출력조절 등 전력수급의 안정화 추진
  - 재생에너지 발전량의 정확한 예측 지원을 위한 상세한 고해상도 기상예측정보 개발 및 검증 개선 추진
  - 재생에너지 발전소 설비에 대한 계측, 상태, 고장, 기상 등 다양한 빅데이터를 안정적이고 효율적으로 저장하고 관리할 플랫폼 구축 필요

### □ 전략의 주요 내용

- AI 기반 재생에너지 맞춤형 기상 예측기술 고도화
- 발전량 예측 향상을 위한 수치예보모델 및 보정기술 고도화
- 시공간 해상도의 단계적 개선을 위한 기상 융합기술 개발
- 에너지 변환 및 저장을 위한 기상데이터 활용기술 개발

### □ 전략과제 및 실행과제

- 2-1. 재생에너지 지원에 최적화된 상세 예측기술 개발
  - [2-1-1] 신기술을 활용한 재생에너지 맞춤형 기상예측기술 개발
  - [2-1-2] 재생에너지 기상지원을 위한 예측기술 다양화
- 2-2. 미래수요 대응 차세대 재생에너지 기상지원 기반기술 고도화
  - [2-2-1] 시공간 해상도의 단계적 개선으로 기상지원 기반기술 고도화
  - [2-2-2] 재생에너지산업 지원을 위한 기상데이터 활용기술 강화

[2-1-1] 신기술을 활용한 재생에너지 맞춤형 기상예측기술 개발

- 기계학습 등 신기술을 활용한 기상요소, 지형, 발전소 환경정보, 발전설비 성능 등 발전량 예측에 영향을 미치는 요인들간의 상관성 분석 강화

○ 재생에너지 분야 고해상도 기상예측정보 기술 개발 및 개선

- 실증지역 대상 태양광, 풍력 발전량 예측에 미치는 기상요소의 영향도 조사
- 실증지역별 발전량 예측정확도 향상 지원을 위한 융합기술 개발
- 전국 단위, 상세 기상기후 자원지도 실시간 산출 기술 개발
- 통계기법 등 다양한 수치모델 자료를 활용한 고해상도 기상예측정보 산출
- nRMSE 기준 시간별(1시간, 3시간, 6시간) 예보오차 평가를 통한 시간별 차별화 및 최적화 제공<sup>177)</sup>
- 실증지역 관측자료를 활용한 예측값의 검증 등 정확도 개선 추진<sup>178)</sup>

○ 인공지능 기법을 활용한 일사량, 일조량, 운량 등 상세 예측정보 기술 개발

- 인공지능을 이용한 예측결과 정확도 개선 기술개발
- 고해상도 도심지 공간자료(건물 옥상, 측면 등)를 활용한 일사량 등 예측정보 개발<sup>179)</sup>
  - GIS 보간법을 적용한 일사량,<sup>180)</sup> 풍향·풍속 고해상도 데이터 추출 및 2차 가공 데이터 개발<sup>181)</sup>
- AI 기반 3차원 지도와 기상데이터를 결합한 일사량·풍향 예측 데이터 생산<sup>182)</sup>
  - 지도 데이터, 기상관측 데이터, 태양광-기상자원지도 자료 등을 활용한 융합정보 개발
  - 광역시 전역에 GIS 보간법을 적용하여 1m x 1m 해상 일사량, 풍향·풍속 데이터 추출 및 가공<sup>183)</sup>

177) 최창현 외 5인, 머신러닝을 이용한 공공시설 호우피해 예측함수 개발, 한국방재학회논문집 통권 88호, 2017

178) 성상경, 조영상, 미세먼지의 영향을 고려한 머신러닝 기반 태양광 발전량 예측, 자원 환경경제연구 제28권 제4호, 2019

179) 오명찬, 고해상도 도심지 공간 자료의 건물 옥상과 측면을 고려한 GIS 기반 태양광 발전량 계산 알고리즘 개발, 서울대학교 박사학위논문, 2020

180) 김병우 외 3인, GIS기법을 이용한 일사량 모델링, 2010

181) 윤진아, 김연희, 최희욱, 고해상도 규모상세화 수치자료 산출체계를 이용한 남한의 풍력기상자원 특성 분석, 한국기상학회, 2021

182) 행정안전부, 친환경 에너지 시대, 빅데이터 분석으로 앞당긴다: 빅데이터 분석으로 태양광 발전 최적 입지 선정과 발전 조건 결정, 2018

- UAM, 도로 CCTV 영상 등 다양한 기상자료 확보를 통한 예측정보 검증 추진<sup>184)</sup>
  - 유관기관 자료(레이더, 연직바람자료, 항공관측자료 등)의 추가확보를 통한 상세 바람장 산출

## [2-1-2] 재생에너지 기상지원을 위한 예측기술 다양화

- 전력계통 안정 및 전력시장 제도와의 연계 강화를 위한 시간대별 기상예측정보 제공<sup>185)</sup>
  - 풍력·태양광의 익일 24시간 동안 하루 전(Day-ahead) 예측과 당일 한 시간 전(Hour-ahead) 예측정보 지속 업데이트
  - 태양광·풍력 발전량에 대한 48시간 예측, 주간 예측(Weekly forecasting), 월간예측(Monthly forecasting), 계간예측 정보(Seasonal forecasting) 정보 제공을 위한 R&D 추진
- 태양광·풍력에너지 지원을 위한 수치모델, 위성 등 융합기술 개발 확대
  - 풍력발전단지 기상지원을 위한 뇌우 정보 및 저층 우박<sup>186)</sup> 가능성 예측기술 개발
  - 해양기상부이 자료를 활용한 실황 분석 기술 개발<sup>187)</sup>
  - 위성자료를 활용한 고해상도 일사자료 산출 등 기술 개발 강화<sup>188)</sup>
  - ASOS, 천리안 위성 데이터 기반 국내 시계열 기후 데이터 및 재생에너지 발전설비 DB 구축<sup>189)</sup>
  - 일사량, 풍속 등 재생에너지 분야 기반기술 연구 강화
- LiDAR(Light Detection And Ranging), 드론 기반의 3차원 자료를 활용한 발전단지 특성분석<sup>190)</sup>
  - GIS 공간분석 자료를 연계한 3차원자료에 발전설비 배치 등 최적 입지조건 정보 지원
- 일사·풍속 데이터 측정 불확도 평가 프로그램 개발
  - 측정불확도 표현지침(GUM, 폴 네임 각주 필요)에 의거하여 데이터별 측정 불확도 산정<sup>191)</sup>

183) 행정안전부, 친환경 에너지 시대, 빅데이터 분석으로 앞당긴다: 빅데이터 분석으로 태양광 발전 최적 입지 선정과 발전 조건 결정, 2018

184) 이상봉, UAM 운항을 위한 도심기상 예측시스템 개발, 한국소음진동공학회 소음진동 제31권 제5호, 2021

185) 전문가회의(연세대학교 강용철교수)

186) 김귀식, 정지현, 풍력발전기의 사고 발생요인의 분류, 한국동력기계공학회지 제19권 제4호, 2015

187) 한국풍력산업협회, 2022년 풍력산업 리더(6) 씨텍, 2022.01.24.  
[http://www.kweia.or.kr/bbs/board.php?bo\\_table=news3&wr\\_id=70](http://www.kweia.or.kr/bbs/board.php?bo_table=news3&wr_id=70)

188) 한경수, 김진수, 위성기반 태양광 발전가능량 산출기술 개발 동향 및 향후 전망, 대한원격탐사학회지 제32권 제6호, 2016

189) 전대성 외 5인, 신재생에너지 발전 출력 예측과 경제성 종합평가 기술개발, 한국태양에너지학회논문집 제39권 제6호, 2019

190) 이근상, 이종조, LiDAR 측량 기반의 지형자료와 기상 데이터 관측시스템을 이용한 태양광 발전량 분석, 한국국토정보공사 「지적과 국토정보」 제49권 제1호, 2019

- 고해상도 정지궤도위성 자료를 이용한 고정밀 일사량 상세화 기술개발<sup>192)</sup>
  - 위성사진을 이용한 cloud motion vector 기법 연구
  - 미국 MODIS 기상해양 위성 자료 활용을 통한 구름 정보 해석 수행<sup>193)</sup>

#### □ 기대효과

- 맞춤형 기상예측정보 제공으로 태양광·풍력 발전량 예측 정확도 개선
- 현장 수요 맞춤형 상세 기상정보 서비스 제공으로 탄소중립사회 구현

---

191) 한국표준과학연구원, 측정불확도 표현 지침, 2010

192) 한경수, 김진수, 위성기반 태양광 발전가능량 산출기술 개발 동향 및 향후 전망, 대한원격탐사학회지 제32권 제6호, 2016

193) 이투뉴스, 인공위성 활용한 신재생자원지도 전면개방, 2020.10.07  
<https://www.e2news.com/news/articleView.html?idxno=226668>

### [2-2-1] 시공간 해상도의 단계적 개선으로 기반기술 고도화

○ 재생에너지 지원을 위한 수치모델 기반기술 고도화

- 현업 국지예보모델에 다양한 기법을 적용한 경사각, 방위각, 고도, 천공비 등 보정 수행<sup>194)</sup>
- 재생에너지 발전단지 맞춤형 서비스 개발을 위한 수치모델 시공간 해상도 개선 및 검증
  - 재생에너지 분야의 수요자 요구를 반영하여 시공간 해상도를 고해상도로 단계적으로 개선
  - 예측자료(일사량, 상층 풍속 등 재생에너지에 활용도 높은 요소 중심) 제공 기간을 초단기에서 중기예보까지 점차 확대
  - 통제 불가능한 기상에 대한 불확실성에 대비하기 위해 단·중기(48시간~) 기간은 확률 예측정보로 생산, 제공
- 풍력·태양광에너지 발전량 예측, 장비운영, 유지보수에 필요한 분야별 맞춤형 상세 기상예측정보 개발 및 개선
  - (발전량 예측) 일사량, 운량(상/중/하층운), 안개(산/바다/호수 주변), 고도별 바람, 윈드시어 등 발전량 예측에 필요한 관측 및 예측정보 개발 및 개선
  - (장비운영) 낙뢰, 우박, 강풍, 해상 염분 등 발전 효율 및 발전기 가동에 영향을 주는 기상정보 개발 및 개선
  - (유지보수) 발전시설 유지보수에 필요한 관측 및 예측자료(일사량, 해무, 강우량, 미세먼지, 황사, 파고, 습도, 풍랑 등)의 육상/해상/수상, 지역별/발전유형별 맞춤형 제공 서비스 개발
- 기계학습, 인공지능, 확률예측 등의 분석기법을 개발하여 수치모델 예측정확도 개선
- 상세 기상예측정보의 API 제공으로 사용자 활용도 제고

○ 차세대 고해상도 정지궤도위성 자료를 이용한 고정밀 일사량 상세화 기술개발

- 위성사진을 이용한 cloud motion vector 기법 연구
- 재생에너지 분야 기상위성자료 활용 확대를 위한 공간 및 시간해상도 개선
- 위성 자료를 활용한 구름 관련 분석 다양화 및 관련 응용기술 강화
  - 위성자료 기반의 전천일사량, 직달일사량, 산란일사량 정보 산출 등
- 단기·중기 일사량 예측 시간 및 공간 해상도 개선
  - 위성자료를 이용한 월평균 일사량 정보와 3시간 간격 일사량 정보 제공 등

194) 이근상, 이종조, LiDAR 측량 기반의 지형자료와 기상 데이터 관측시스템을 이용한 태양광 발전량 분석, 한국국토정보공사 「지적과 국토정보」 제49권 제1호, 2019



## [2-2-2] 재생에너지산업 지원을 위한 기상데이터 활용기술 강화

- 재생에너지 산업 활성화 지원을 위한 시범 실증 연구 강화
  - P2G 실증단지 맞춤형 기상관측자료 수집·분석 및 관련분야 활용기술 개발 연구
    - P2G(Power to Gas) 기술과 송배전 연계
  - P2G 재생에너지 사업과 연계한 기상요소별 영향도 및 상관성 조사 분석
- 기상조건 변화에 따른 영향 예측을 위한 디지털트윈 시스템 구축 지원<sup>195)</sup>
  - AI, 빅데이터 기반의 IoT 정보 모델링, 태양광·풍력 발전량 분석기술 개발
  - 실제 재생에너지원, 전력망 기반과 연계한 기상데이터 송수신 기술 개발
  - 실제 재생에너지원, 전력망 대상과의 디지털트윈 동기화 기술 개발
  - 디지털트윈과 전력망 간 상호작용 기반의 동적 연동 시스템 기술 개발
- 가상발전소 모의 시뮬레이터 개발 및 적용 지원
  - 실제 운영 이력 데이터 및 계통 연계 운전성능 검증을 위한 기후데이터 셋 개발<sup>196)</sup>
  - 기상기후데이터 통합관리 네트워크 구축과 프로그램 개발 및 실증
  - AI 기반 발전량 예측 모델에 필요한 일사량·풍향·풍속 예측정보 등 제공

### □ 기대효과

- 수요기관 맞춤형 기상서비스 지원으로 범국가적 전력계통의 안정성 확보
- 전력분야 온실가스 감축을 위한 기상서비스 지원으로 탄소중립 사회 구현
- 재생에너지로의 패러다임 전환에 대응한 에너지 정책의 실효성 있는 실현

195) 인터스트리 뉴스, 동서발전, 디지털 트윈 활용해 풍력발전설비 진단·발전량 예측 나선다, 2022.04.23

196) 권오현, 이경수, 기상 환경 모니터링 데이터를 이용한 태양광발전시스템 발전량 성능 분석, 한국태양에너지학회 논문집 제36권 제4호, 2018

## 기본 방향

### □ 배경 및 필요성

- 전체 전력계통에서 태양광·풍력과 같은 변동성 에너지가 차지하는 발전 비중이 확대됨에 따라 기상기후 데이터의 정확도 및 신뢰도 향상 필요성 증대
  - 국내 지리적 특성과 재생에너지 운영 환경을 반영한 기상관측 및 예측자료 확보 필요
  - 첨단 기술을 접목한 수요자 중심 기상·기후 서비스 전달로의 패러다임 전환에 부합하는 서비스 강화 필요
- 가치 있는 기상정보의 지속적인 제공·전달체계 고도화 필요
- 재생에너지 분야 기상서비스 활용과 우수성과 확산 및 환류 체계 조기정착 필요

### □ 전략의 주요 내용

- 에너지기상 분야 기상산업 시장 확대, 수요 맞춤형 서비스 확산과 재생에너지 산업 성장을 통한 국가 경제 활성화에 기여
  - 고품질 기상정보 활용기반 구축 및 전달체계 개선, 기상융합서비스 기술공유 및 분야별 특화된 전주기 지원체계를 통해 사회·경제적 부가가치 창출 지원
- 에너지기상 융합서비스 확산을 통해 기상데이터의 사용자 편의 제고 및 부가 가치 창출 확대
  - 미래수요 대응 첨단 기술을 활용한 에너지 기상융합서비스 개발 확대와 지역 산업계와 연계한 융합서비스로의 발전을 통한 선순환 체계 확립

### □ 추진과제

#### 3-1. 재생에너지 분야 수요 맞춤형 기상융합서비스 강화

[3-1-1] 실증 지역별 상세 맞춤형 기상융합서비스 개발

[3-1-2] 에너지기상 융합서비스 활용 분야 확대

#### 3-2. 재생에너지 기상서비스 지원체계 구축

[3-2-1] 재생에너지산업 지원을 위한 기상서비스 지원체계 구축

[3-2-2] 서비스 활용체계 수립 및 민관 환류 강화

[3-1-1] 실증 지역별 상세 맞춤형 기상융합서비스 개발

■ 지역 재생에너지 발전단지 대상 기상관측자료 기반의 기상예측자료 검증체계 확립을 통한 현장 중심의 맞춤형 서비스 지원 확대

- 실증단지 기상관측자료 조사·분석 및 기상융합서비스 개발
  - 기상요소별 발전량 예측 영향도 분석 및 지역별 기상예측 정보 개발
  - 지역 주요 대표 단지에 실증연구를 위한 기상관측장비 설치 및 모니터링 시스템 개발
  - 기상관측 종합관리시스템 등을 활용한 관계기관의 관측자료 공유, 기상관측장비 현황 및 이력 정보공유를 통한 공동 활용 강화
  
- 재생에너지 수요에 대응하는 맞춤형 기상융합서비스 확대
  - 지역·분야별 에너지 분야 수요기관 맞춤형 기상서비스 강화
  - 수요자 관점의 기상정보 활용을 위한 소통 강화
  - 재생에너지 발전 지역 분포, 수요자 유형, 필요 정보, 활용 주기 등 발전량 예측 수요 분석과 사업자별 서비스 활용에 대한 관리 강화
  - 에너지 기상지원 서비스의 편의성과 만족도 제고를 위한 수요자 피드백, 데이터 및 서비스 품질 개선
  - 발전량 예측 융합서비스 확대 지원과 고품질 데이터 관리 환경 조성
    - 재생에너지 발전 정보와 기상기후 정보의 융복합 데이터를 상호 활용할 수 있는 환경 조성
  - 기상기후자료 활용 강화 및 에너지 기상 특화 융합서비스 개발
    - 에너지 기상정보의 융합정보 생산체계 구축을 통한 기상기후자료 활용 확대 및 에너지 기상 특화 융합서비스 개발 추진
  
- 빅데이터 분석을 통한 실증단지 맞춤형 서비스 개발 및 전달체계 강화
  - 기상자료개방포털과 기상기후 빅데이터 분석 플랫폼 활용 확대를 위한 지원 강화
    - 기상정보 활용으로 우수기업 육성 및 기상기후 빅데이터 바우처 지원사업 확대 추진
  - 고해상도 기상기후자료의 대외 제공서비스 플랫폼 및 DB 구축을 통해 수요자 맞춤형 기후정보 서비스 제공
  - 빅데이터 분석 등을 통한 사회 이슈 및 동향을 파악하고 잠재 정책 수요를 발굴하여 재생에너지 분야 수요자 맞춤형 서비스 구현
    - 빅데이터 전문가, 정보화 부서, 현업 부서 간의 교류·협력하고 수요 맞춤형 기상지원 확대 등

- 현장 밀착형 기상정보 전달체계 구현화를 위해 종합기상정보시스템(COMIS-5) 웹포털 활용 강화 및 인터넷·모바일 환경에 최적화된 기능·콘텐츠 제공

### [3-1-2] 에너지기상 융합서비스 활용 분야 확대

#### ■ 탄소중립 실현 분야로의 기상산업 확대와 민간 협력형 기상융합서비스 개발 및 활용 확산을 통한 에너지기상 기술의 부가가치 창출

- 지역 기상·환경정보 조사분석 및 기술개발을 통한 도시 상세 기상정보 서비스
  - 도시 규모의 상세 열지도, 일사·일조량 등 산출 데이터 기상융합 서비스 제공
  - 규모 상세화 기술을 활용하여 KMAP기반 지역별, 분야별 맞춤형 정보 제공
  - 현업기상모델 기반 에너지 기상 단기 예측정보 지역별 정확도 개선
  - 기상자료, 환경정보 조사분석 및 예측을 통한 상세 도시 기상환경 정보 생산
- 기상예측 변수 데이터 제공 강화
  - 재생에너지 기상정보 데이터 셋에 기상조건, 강수량, 시정 등 추가 제공
    - 기상관측변수에 기상조건, 상대습도, 온도, 풍속, 강수량, 시정 등 관련정보 확대 제공
- 미계량 태양광 발전시설 데이터 활용 강화
  - 산업부, 전력거래소, 한국전력, 한국에너지공단 보유 정보의 통합 관리 및 태양광 발전 실시간 정보 공동 활용 강화
    - 산업부, 미계량 태양광 발전 데이터 취득률 5%(21 ) → 향후 데이터 취득률 향상 추진
- 지역 특화 발전단지별 상세 기상정보 제공으로 재생에너지 발전 지원
  - 재생에너지 분야별 정책 및 발전단지 특성을 고려한 에너지 기상융합서비스 발굴
  - 관련 산업 수요기관의 참여 유도 및 서비스 정착 역할 강화
    - 에너지 기상융합서비스 플랫폼을 구축하여 체계적인 운영·관리와 활용 점검 정례화를 통해 안정적인 서비스 관리로 신뢰도 제고 및 서비스 확대 기반 조성
  - 에너지 분야 사회적 이슈 대응을 위한 국지기상 예측 기술 개발 및 관련 분야 지원 활성화
    - 발전단지에 최적화된 고해상도 기상 분석장·예측장 기술개발을 통한 맞춤형 기상융합서비스 제공

- 탄소중립, 에너지 전환정책, 전력계통 안정화 등 국가 정책 및 재생에너지 발전전략과 연계한 융합서비스로의 확대 강화
  - 사업화 유망 에너지 기상기술의 비즈니스모델 개발 및 사업화를 진단하고 실증화, 성능평가를 통해 실 수요처 맞춤형 기술 개발 및 유통체계 지원
  - 에너지 기상 단기 및 중장기 예측자료의 에너지 발전량 모델 적용 및 활용성 평가를 통해 지역 및 에너지 기상산업 지원 통합 솔루션 개발
- 재생에너지 분야 맞춤형 기상정보 생산기술 개발로 에너지 분야 활용 강화
  - 에너지 기상지원을 위한 현업기상모델 기반 고도별 평균 풍속, 강풍 예측정보 제공 및 수요를 반영한 에너지 기상 특화 맞춤형 정보(일사량, 풍속) 생산기술 강화
  - 에너지 기상 재분석·예측자료 통합 제공 등 에너지 기상서비스 모델 맞춤형 지원

## □ 기대효과

- 이용자별 실수요 및 편의성을 고려한 태양광·풍력에너지 맞춤형 기상정보 서비스 생성 및 제공체계 구축
- 사용자 맞춤형 기상·기후정보서비스로 정보의 활용 촉진 및 의사결정 지원 강화
- 미래수요 대응을 위한 융합기상 R&D 추진 근거 마련 및 에너지 기상 분야 신시장을 선도할 미래지향적 융합기술 개발 투자의 당위성 확보
- 재생에너지 발전량 예측정확도 향상을 위한 맞춤형 기상서비스 제공으로 기상정보 활용 가치 향상
- 고품질 에너지 기상정보 기반의 수요자 맞춤형 서비스 확대와 재생에너지 발전량 예측 정책지원 강화로 탄소중립 실현에 기여

**[3-2-1] 재생에너지산업 지원을 위한 기상서비스 지원체계 구축**

■ 양질의 기상기후데이터와 지역 산업계 빅데이터를 융합한 맞춤형 기상융합서비스 발굴과 확산

- 신재생에너지 분야 자료통합 관리 및 서비스를 위한 공동활용 플랫폼 구축
  - 빅데이터 기반 재생에너지 관련 자료의 포털서비스를 위한 서비스 전달체계 구축 등
  - 재생에너지 관련 고해상도 상세 기상예측자료의 실시간 서비스 지원 체계 구축
- 수요지향형 기상융합서비스 개발과 수요자 맞춤형 서비스 제공체계 구축
  - 에너지 수급 정책지원을 위한 수요기관 맞춤형 상세분석 정보 제공
  - 기상관측 및 예측정보의 신뢰성 확보를 위한 검증 개선
- 지역 산업계 연계를 통해 민간 기상융합서비스 시장 확대 및 민간기업 해외시장 진출 지원을 위한 전주기적 기상서비스 품질 개선 및 지원 강화
  - 재생에너지 분야 이익 극대화과 에너지 기상정보 경제적 가치 확산 지원

**[3-2-2] 서비스 활용체계 수립 및 민·관 환류 강화**

■ 기상정보 활용성과 확산 및 생활 편익증진을 위한 지속가능한 기상융합서비스 확산 선순환 지원체계 강화

- 지역 산업계 이해관계자들과 동반성장을 위한 민관 소통 프로그램 운영
  - 민관 공동 연구사업 확대 및 연구 세미나 개최 등 협력 기반 조성
- 에너지 기상협력 네트워크 구축을 통해 성과확산 지원 및 동반성장 구조 강화
  - 지역산업체와 전문인력 교류를 통한 지역 산업 육성 및 시범서비스 제공 확대
- 수요 중심의 기상융합서비스 활용 확산을 위해 민관 협의체 구축
  - 수요자 소통 활성화 및 협업을 통해 수요 니즈를 반영한 서비스 개선 및 성과 공유

- 수요자 피드백 및 서비스 성과 확산을 위한 소통 확대
  - 협업과 소통을 통한 수요 니즈 조사, 서비스 개선 및 성과 환류 추진
  - 잠재적 기상서비스 수요 발굴 및 융합정보 개발 확대를 위한 협력 강화
  - 기상융합서비스 개선 아이디어 발굴 및 사용자 간 정보공유 등 소통 플랫폼 활용
  
- 에너지 기상지원의 전주기 과정에서 지속가능한 기상융합 서비스로의 확대를 위한 선순환 산업생태계 조성
  - 정보이용자 관점의 서비스 제공을 통해 실용화를 강화하고 발전량 수요·공급 예측 선제 대응을 위한 협력적 의사결정 지원으로 지속가능한 선순환 생태계 조성
  - 탄소중립 이행을 위한 에너지 기상 분야 성장 지원과 산·학·연·관의 이해관계자 공동체 등 다양한 소통 채널을 통한 의견수렴에 따른 서비스 개선 실현
  - 기상정보의 민간 상용화에 따른 사회적 편익으로 환원되는 선순환체계 마련
  
- 다양한 분석·평가체계를 활용한 평가 결과의 정책, 예산 등 환류 강화
  - 전략적 중요도, 성과달성도, 정책집행의 문제점 등을 분석하여 서비스 혁신성과 공유, 평가 결과를 반영한 차년도 혁신지원사업 수정 보완 개선
    - (정책) 평가 결과에 따라 차기 계획 수립, 향후 정책과제 발굴 및 정책 반영 여부를 평가에 활용
    - (예산) 평가 결과를 차년도 예산편성 시 우선순위 사업 결정과 사업비 조정에 활용
    - (조직) 평가 결과를 분석하여 조직관리에 활용하고 중장기 인력 운영계획 수립 시 반영, 성과 미흡 업무 프로세스 개선 및 인력 재조정
  - 변화관리와 갈등관리를 통해 성과목표를 달성하고 환류 정착을 위해 기상융합서비스 품질관리와 검증을 정례화하여 서비스 관리체계를 강화

## □ 기대효과

- 기후변화 가속화, 에너지 수급 양상 변화 등 미래수요 선제 대응을 위한 기상정보 생산을 통해 분야별 맞춤형 상세 기상정보 서비스 기반 마련
- 민관 협의체를 통한 수요자 공감 및 소통 확대로 기상융합서비스 활용 확산 및 성과 환류 체계 마련
- 상세분석 정보 제공에 따른 기상관측 및 예측정보의 신뢰성 확보로 기상융합서비스의 성과 기대
- 지속가능한 기상융합 서비스 확대로 선순환 산업생태계 조성
- 다양한 분석·평가 정보를 활용한 효과적인 환류 체계 정착

기본 방향

□ 배경 및 필요성

- 신성장동력으로서 태양광·풍력에너지 기술의 차별화된 경쟁력 확보를 통한 내수시장 확대 및 해외 수출 필요
  - 태양광 발전 적용 입지 다변화에 대응하고 발전량 예측 향상에 따른 국내외 연구기관과의 연구 협력 및 동향 공유 필요
  - 개도국 기후, 산업, 정책환경에 기반한 맞춤형 기술 개발 실증 및 시장진출 전략 수립 필요
- 에너지 기상산업 분야에 대한 투자유치와 경영혁신이 지속적으로 이루어질 수 있는 선순환 구조의 상생 협력생태계 구축 필요

□ 전략의 주요 내용

- 국내외 관계기관과의 재생에너지 기상지원 협력 네트워크 구축과 재생에너지 분야 기상산업체 신규 비즈니스 창출 및 해외 진출 지원
  - 해외 기상청·연구기관, 국내 에너지 기업·연구소 등과 업무협약 체결 및 포럼 운영을 통한 최신 정책·기술 동향 정보 교류 및 벤치마킹
- 재생에너지 기상지원의 배경 및 기상청 서비스 제공 현황에 대한 대국민 홍보 및 이해 확산 강화

□ 추진과제

4-1. 국내외 에너지 기상지원 협력체계 활성화

- [4-1-1] 국내외 관계기관 협력을 통한 관측자료 공동 활용체계 구축
- [4-1-2] 이해관계자 그룹별 소통 활성화

4-2. 대국민 이해 확산을 위한 홍보 확대

- [4-2-1] 국민 참여형 교육프로그램을 통한 융합서비스 가치 제고
- [4-2-2] 다양한 채널을 통한 실증효과 홍보 확산



[4-1-1] 국내외 관계기관 협력을 통한 관측자료 공동 활용체계 구축

■ 국내외 관계기관과의 협력 네트워크 구축 및 정기 교류를 통한 관련 정보 및 기술 개발 성과 공유·확산

- 국내외 태양광·풍력 기상지원 공동협력 네트워크 운영
  - 미국, 영국, 독일 등 선진국 연구성과 및 기술 공유 등 교류 확대
    - 기상협력회의 안건 발의 및 협력 연구 제안
  - 해외 재생에너지 기상지원 전담기관 및 연구개발센터와의 업무협약 체결을 통한 국외 관측자료 실시간 공유 및 활용·공동 연구 확대
  - 재생에너지 분야 산학연관 워크숍, 국제 심포지엄, 연구개발 기술교류 세미나 등 운영
- 관계부처 합동 재생에너지 기상지원 정책협의회 운영
  - 산업통상자원부, 과학기술정보통신부, 환경부, 해양수산부, 새만금개발청 등 부처와 정책의제 발굴 및 법제 개선방안 논의(연 1회)
- 재생에너지 분야별 지역 산업계 연계 프로그램 운영
  - 태양광·풍력 사업추진 지자체와의 소통을 통한 지역 산업계 특화 기상정보 수요 발굴
- 태양광·풍력에너지 발전량 예측 기술 개발 사업단 운영
  - 국내 관계기관과의 업무협약 체결 및 현안 중심 분야별 핵심과제 도출
  - 민관 합동 추진을 위한 자문위원회, 기술자문위원회 등 개최
- 이해관계자 협의체를 구성하여 정기적 협의회를 통한 데이터 활용체계 구축
  - 산업부, 한국에너지공단, 한국전력 등 에너지 관계기관과의 협의체 구축 및 운영
    - 관계기관 간 역할분배를 통한 기상청의 기상지원 방안 마련
- 전국 발전소 자료 수집 및 통합 관리시스템 운영
  - 수집된 정보는 원천 데이터와 수요자 맞춤형 가공 정보로 구분하여 제공
- 전력계통 기상지원 공동 연구를 통한 결과 공유
  - 기상정보의 정확도에 따른 전력계통 안정화 연구 추진

## [4-1-2] 이해관계자 그룹별 소통 활성화

### ■ 실증지역 연구성과 확산을 통해 국가별 해외 진출 전략 수립과 기술 성과 공유체계 구축을 통한 에너지 기상산업 성장 가속화

- 관계기관 참여 토론회를 통한 세부 그룹별 수요 발굴
  - 태양광사업자, 풍력사업자, 전력중개거래업자, 학계, 연구기관, 국민 등 그룹별 수요 발굴 및 추진
  - 개별 상황에 따라 온·오프라인 혼합하여 유동적으로 운영
  - 운영 위원회는 공청회 의견을 기상청 정책에 반영하고, 이를 토대로 실행과제 및 추진위원회 기획
- 민간 기업체 대상 시장진출 기반마련 및 우수기업 심층 지원
  - 국가별 서비스 및 장비 이용현황 파악을 통해 전략시장 발굴 및 민관합동 지원체계 구축
  - 테스트베드 구축 및 기업 간 공동 활용 강화
  - 전문인력 양성을 위한 맞춤형 교육과정 제공
  - 해외 진출을 위한 기업별 특화 컨설팅 지원
  - 국제 기상산업 박람회 참여를 위한 홍보 지원
- 기술사업화 지원기관 수립 및 운영을 통한 협업 거버넌스 구축
  - 대-중소기업 간 파트너십 체결 지원
  - 사업화를 위한 기술, 시장, 특허 등 최신 정보 지원
  - 중소기업 대상 기상 빅데이터 DB 제공, 마케팅 등 포괄적 컨설팅 지원
  - 산업기술 Fellowship 프로그램을 통한 기술관리 인력양성

### □ 기대효과

- 국내외 관계기관 성과 공유 및 공동 연구 등 협력 체계구축을 통한 에너지 기상 분야 기술경쟁력 제고 및 해외 진출기반 마련
- 해외 선진국 및 국내 유관기업과의 협력체계 구축을 통한 재생에너지 기상지원 관련 기술 및 서비스 고도화
- 실제 수요를 반영한 재생에너지 기상지원 및 이해관계자 간 네트워크 형성

[4-2-1] 국민 참여형 교육 프로그램을 통한 융합서비스 가치 제고

■ 미래 재생에너지 기상지원 역량 확보를 위한 대상별 교육 프로그램 운영으로 에너지 전환에 대한 대국민 인식 확산

○ 에너지 기상 분야 전문인력 양성사업 추진

- 취업 준비생, 재직자 대상 핵심분야 교육과정 신설 및 커리큘럼 마련
- 에너지 기상 전문가 양성과정 운영 및 단계별 실무 교육 실시
- 재생에너지 분야 기상데이터 및 수치예보모델 활용 교육과정 운영(온+오프라인 병행)

○ 교육 콘텐츠 개발 및 맞춤형 교육 사업 실시

- 상시 교육 제공을 위한 스마트교육 콘텐츠 및 단편 동영상(유튜브 등) 제작·보급
- 국민들의 정보 습득률을 높이기 위한 크리에이터 연계 동영상 제작 및 배포(연 1회)
- 학생 눈높이 맞춤형 재생에너지 분야 이해 증진 및 단계별 대응법 교육 지원

○ 대학생 대상 현장체험 학습 및 발전량 예측 AI 경진대회 개최

- 기상청, 지자체, 관계기관 등 재생에너지 담당자 대상 현장체험 학습 운영(연 1회)
- 개인 또는 팀으로 Python, R을 활용한 시계열 데이터 분석기법, 에너지 관리 솔루션 개발 대회 운영(연 1회)

## [4-2-2] 다양한 채널을 통한 실증효과 홍보 확산

### ■ 재생에너지 기상지원의 필요성 확산을 위한 홍보 채널 다양화로 국민적 공감대 형성

- 실증사업 참여기관 대상 수요조사 및 결과 환류를 통한 재생에너지 서비스 확산
  - 제공 가능한 자료에 대한 전달체계 및 지원 결과에 대한 공유 시스템 구축
  - 전력거래소 등 필수 협력기관 위주로 검증하여 시범 제공을 우선 추진하고 추후 기관 확대
  
- 생활 속 홍보매체를 활용한 기상청 공식 서비스 홍보 추진
  - SNS, TV, 라디오, 지하철 광고판, 신문, 내비게이션 등 다양한 매체를 통한 홍보 자료 제작 및 배포
  - 언론인 대상 논평 및 정례 브리핑을 통해 기상청 주요 정책 공유 및 에너지 기상 이해증진을 통해 언론과의 소통 확대
  - 국민 생각함, SNS, 공모전 등을 통한 대국민 참여 브레인스토밍 기회 제공
  - 국민참여형 재생에너지 기상지원 정책소통 공모전 운영
  
- 기상자료 활용도 제고를 위한 다양한 채널을 활용한 홍보 방안 마련
  - 기상청 홈페이지, 기상자료개방포털, 방재기상정보시스템, 기상청 블로그, 기상청 유튜브 등 기상 및 에너지 관련 학회·기관 홍보

### □ 기대효과

- 에너지 전환에 대한 대국민 인식 확산 및 기상데이터·서비스의 중요성에 대한 공감대 형성
  
- 에너지 기상 분야 미래 인력양성을 위한 기반 마련

태양광·풍력에너지 분야의 기상지원 강화로 정책적, 경제적, 사회적, 과학·기술적 측면에서 발생할 수 있는 기대효과 및 활용방안은 다음과 같다.

#### □ 정책적 측면

상위정책과의 연계성 측면에서 볼 때, 재생에너지 기상지원은 기후변화 및 탄소중립 이행이라는 글로벌 핵심 의제에 대응하고, 재생에너지 전환 가속화에 따른 계통 불안정성을 극복함과 동시에 분산전원 및 전력거래시장 활성화에 기여할 수 있다. 「스마트그린산단 실행전략」, 「탄소중립기술혁신 추진전략」, 「에너지 탄소중립 혁신전략」, 「RE100 이행 지원방안」 등 재생에너지 지원정책에서 추진전략으로 제시한 지능형 전력망 구축, 육·해상 태양광 등 유휴공간 활용 확산 기술개발과 ICT 기술 기반 발전량 예측 및 유지보수(O&M) 산업 등 신시장·서비스 선점의 기초가 되는 고품질의 기상정보를 제공함으로써 재생에너지 분야에서 추진하고 있는 여러 가지 정책의 성공적 이행을 지원할 수 있다.

나아가, 정책의 효과성 측면에서 볼 때, 신성장동력 확보를 위해 태양광·풍력에너지 분야의 관련 부처 간 협업 체계를 강화하여 정책적 지원의 가이드라인 및 표준 수립과 법·규제 발굴 및 개선에 기여할 수 있다. 기상청은 기상관측장비/센서 설치지점 및 위치 선정, 이격거리 연구 수행 등을 위한 기상환경 조사 시 자문 의견을 제시하여 표준(안)을 구성하는 과정에서 역할을 담당할 수 있다. 또한 전력거래소나 한국전력공사의 전력계통 운영 과정(출력 감시, 예측, 평가 및 제어 등)별로 필요한 기상정보 지원 매뉴얼을 작성하여 현장 기상환경과 계통 관리자의 시스템 활용 역량 및 의사결정 지원에 실질적인 도움을 줄 수 있다.

또한, 산업통상자원부, 기상청, 한국전력공사, 한국에너지공단, 한국에너지기술연구원 등 관계기관과 기상정보의 정확도에 따른 전력계통 안정화 방안 등 공동연구 및 발전소별 기상정보 통합 활용을 위한 제도를 마련하여 재생에너지 기상 데이터 활용을 위한 기반을 조성할 수 있다. 이를 통해 에너지 기상 분야의 R&D를 단계적으로 발전 강화하고 공동 R&D 연구로 기술력 확보, 실증, 규제개선을 통한 산업계 애로사항 해소를 기대할 수 있다.

이와 함께 재생에너지 기상지원은 지속가능한 친환경 사회로의 전환 및 상생협력

생태계 형성에 기여할 수 있다. 공동 R&D를 추진하는 과정에서 국내외 관계기관과의 업무협약을 체결하여 네트워크를 구축하고 정보공유와 기술 협력 등 성과를 공유·확산할 수 있는 선순환 체계를 확보할 뿐 아니라 기상지원 성과관리 및 환류 체계가 강화될 수 있다. 여기에 인력 양성 종합정책 수립을 통한 전문인력 확보를 위해 지속적으로 노력한다면 향후 많은 기업이 스마트그린산단, K-RE100 등 재생에너지 생태계에 적극적으로 참여할 수 있을 것이다.

재생에너지 기상지원은 윤석열 정부의 110대 국정과제에서 제시한 ‘에너지안보 확립과 에너지 新산업·新시장 창출’, ‘해상풍력 등 해양개발행위의 상생·공존 체계 마련’ 등 전략과제에 부합하므로, 향후 정책적 연속성을 가지고 지속 추진될 수 있을 것으로 전망된다.

## □ 경제적 측면

많은 경제성 분석 보고서들은 신성장동력으로서 재생에너지 전환은 국민경제에 긍정적인 작용을 할 것으로 전망한 바 있다. 한국에너지경제연구원은 제8차 전력수급계획의 발전시설 신설 용량을 토대로 2030년에 태양광 10조 원, 풍력 5.2조 원의 생산유발효과가 나타나며, 태양광·풍력 발전으로 10억 원의 수요 발생시 6.7명, 풍력 발전으로 4.8명의 노동자가 발생한다는 연구결과를 제시한 바 있다.<sup>197)</sup>

태양광·풍력 자원분석 및 입지 타당성 조사 중 사업 수익 추정은 ‘연평균 SMP(x원/kWh) x 연간에너지생산량(AEP)’으로 계산되는데, 이때 발전단지의 연간에너지생산량은 후류효과, 가동률, 전기적 송전 효율, 풍력 터빈 성능, 환경적 영향, 기타 영향 등 요소를 종합적으로 고려하여 산정한다. 강정마을 해상풍력발전 보급사업 경제성 분석 보고서는 연간에너지생산량의 총 손실률을 10.4%로 측정한 바 있다.<sup>198)</sup> 만약 재생에너지 기상지원을 통해 발전량 및 설비효율 예측정확도를 높여 이러한 손실률을 5% 이하로 낮출 수 있다면 발전량 확대 및 설비 증설 효과로 사업성 제고에 크게 기여할 수 있을 것이다.

그럼에도 일부 전문가들은 기상환경의 영향을 크게 받는 태양광 및 풍력 에너지의 한계로 전력 공급 및 수급의 변동성과 불확실성을 제어하기 어렵다는 점을 지적하고 있는데, 이를 제어하지 못할 경우 발생하는 전력계통 측면의 문제는 크나큰 경제적 손실을 초래하게 된다고 전망하고 있다. 대표적으로 2020년 제주도에서 나타난 재생에너지 전력 과잉 생산으로 총 77회, 약 1만 9,449MWh의 출력제한 사례가 있다. 제주에너지공사 등 6개 풍력발전사업자들은 출력제한으로

197) 에너지경제연구원, 재생에너지 확대의 국민경제 파급효과 분석, 2019

198) 제주특별자치도, 강정마을 해상풍력발전 보급사업 경제성 분석, 2016

2021년 3월 기준 65억원의 손실액이 발생하였다고 주장하며 ‘제주 풍력발전 출력제약 판매손실 보전위원회’를 구성하여 정부에 대책 마련을 요구한 바 있다.<sup>199)</sup>

고품질의 기상관측 및 예측자료를 제공하여 발전량 예측 오차를 낮추면 이러한 과잉 발전으로 발생하는 전력 낭비 및 블랙아웃으로 발생하는 비용을 절감할 수 있을 뿐 아니라 추가로 발전사업자는 발전량 예측 정산금 이익을 얻게 되어 사업 수익성을 제고할 수 있다.

기상청 위성자료 등을 활용하여 현재 전력거래소에 집계되지 않는 3.9GW 규모(’21.12월 기준)<sup>200)</sup>의 미계량 태양광 발전량(BTM)을 예측할 수 있다면 전력수요 예측 및 계통 안정성 확보에 크게 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

더불어, 재생에너지 산업 규모와 성장이 가속화됨에 따라 서비스 부가가치 확대와 고용 창출 효과를 기대할 수 있고, VPP, P2X 등 미래 산업전환 대응 전력중개거래와 O&M 플랫폼 구축 사업 등 신규 비즈니스와 전·후방산업 확대가 이루어질 수 있다. 기술사업화 및 이전 지원, 국산 기술 및 제품의 해외시장 진출로 국내 재생에너지 산업의 국제 경쟁력 강화를 기대할 수 있다.

## □ 사회적 측면

재생에너지 분야 기상지원에 의해 전력계통이 안정적으로 운영되고 재생에너지로의 전환이 가속화되면, 온실가스 배출 감소로 탄소중립 이행 목표 달성에 이바지함으로써 수자원·산림생태계·기후변화 취약계층의 건강·해수면 상승 등에 대한 기후변화 대응력을 제고하는 효과를 가져온다.

이어 사업 추진 타당성의 객관적인 근거가 마련됨에 따라 주민 수용성이 증대되고 지역주민 및 시민단체와의 갈등 저감으로 지역주민의 후생이 증진하는 편익을 기대할 수 있다. 재생에너지 전환에 대한 우호적인 여론이 확산함에 따라 재생에너지 발전사업 및 지원정책도 추진력을 얻게 될 것이다.

또한, 분산에너지 전력계통 운영에서 고품질 기상정보 및 서비스의 위상이 증대됨에 따라 기상 및 전력 서비스에 대한 대국민 신뢰도가 점진적으로 향상될 것이며, 기존의 전력 공급 중심의 전력계통 운영 패러다임이 점차 재생에너지 친화적인 수요 중심의 전력계통 운영 패러다임으로 이동하게 될 것이다.

199) <https://www.hani.co.kr/arti/area/jeju/1042472.html>

200) 본 연구 전문가포럼의 발표자료 참고

## □ 과학·기술적 측면

재생에너지 기상지원은 에너지 기상 분야의 도약과 발전을 가져온다. 기상융합서비스 지원을 위한 기상관측망 확충 및 품질관리체계 고도화로 일사계, 운량·운고계 관측자료의 정확성을 향상할 수 있고, 나아가 ICT 기술기반 고해상도 입체관측·자동관측이 확산되어 발전소 지점별 상세 기상관측자료 생성 및 제공이 가능하게 될 뿐만 아니라 발전설비 유지보수 및 효율에 큰 영향을 미치는 위험기상에 대한 관측 및 예측 역량도 향상할 수 있다.

이와 함께 기상기후 빅데이터 처리·활용 기술과 예보자료 생성에 필요한 수치예보모델 및 보정기술 연구가 활발히 진행되고 AI 학습 기반 기상 및 발전량 예측모델을 구축하면, 건물 그림자·태양광 패널 경사각·설비효율·구름 이동 예측·고도별 풍속·풍향을 고려한 기상 및 발전량 예측정보뿐만 아니라 출력발전 변동성과 불확도 데이터까지 함께 제공할 수 있을 것이다. 더하여 기상예측 모델의 예측값과 실제 기상 데이터의 교차검증 및 모델 파라미터 최적화, 적절한 기상정보 매핑 등을 통해 정확도를 개선할 수 있다.

민간 발전시설 자료수집 및 통합관리 체계를 구축하여 고해상도 입체 기상관측자료 생산 기반 및 ICT 융합기술 기반 예측기술의 고도화를 도모하고 기상관측장비 검정기준과 품질관리체계 강화 및 공공-민간 데이터 교차 검증을 통한 기상정보 품질 향상에 따라 태양광·풍력 발전사업 입지 선정, 발전량 예측, O&M, 경제성 등 산업 밸류체인별 분석기술의 고도화를 기대할 수 있으며, 장기적 관점에서 현장 수요 맞춤형 상세 기상정보 및 서비스 제공체계의 수준을 해당 분야의 선진국인 유럽과 영국의 수준까지 높일 수 있을 것이다.



## 1. 태양광·풍력에너지 기상지원의 실행력 제고를 위한 종합 제언

본 절에서는 태양광·풍력에너지 분야 기상지원의 실행력 제고를 위해 효율적인 예산확보, 재생에너지 분야 기상지원 고도화를 위한 기술력 확보, 기상지원 서비스의 효과 증진을 위한 국내외 협력 및 역량 강화 등 종합적인 제언을 아래와 같은 4가지 측면에서 제시하였다.

### □ 효율적인 예산 확보

태양광·풍력에너지 분야의 기상지원 서비스의 전 주기적 관리 프로세스를 고도화하고 이에 따른 투자 지원을 확대할 필요가 있다. 재생에너지 분야의 직·간접적인 사회경제적 파급 효과를 종합하여 미래가치에 대한 타당한 예산확보로 지속가능한 미래 사회의 기반을 마련하고 시급성과 효과성을 고려한 효율적인 예산 분배 및 투자 확보를 통해 추진력을 극대화할 필요가 있다.

### □ 태양광·풍력에너지 분야 기상지원 서비스 고도화를 위한 기술력 확보

국내 재생에너지 발전단지별 실정에 맞는 수요자 중심의 서비스 고도화를 위해 발전소 지점별 맞춤형 기상예측정보 생산기술을 개발하고, 발전량 예측 향상을 지원하기 위해 기상관측 및 예측자료의 시공간 해상도를 확대할 수 있는 기술개발을 추진해야 한다. 기상예보 수치모델 및 보정기술을 고도화하고, AI 기반 분산지원 발전 모니터링 및 발전량 예측기술을 발전시키는 등 R&D 역량 강화를 통한 기술을 확보해야 한다.

### □ 기상지원 추진의 효과 증진을 위한 국내외 협력 및 역량 강화

해외 관계기관과의 협력 네트워크를 발굴하여 중장기적인 업무협력체계(MOU 체결 등)를 구축하고 진취적으로 국제협력을 주도함으로써 국제적 위상을 높이고 국내외 관계기관과의 정례적인 실무협의회, 세미나 및 전문가 포럼 등을 통해 국제협력을 지속하고 결속력을 다질 수 있는 다양한 노력을 기울여야 한다. 또한, 해외 선진기관과의 전문영역별 인력교환과 지원서비스 조직운영을 위한 실무진 협조 등을 포함한 인력교류 프로그램을 운영하여 전문인력의 역량을 강화할 수 있는 기반을 마련해야 한다.

#### □ 관리자 리더십 확보

재생에너지 분야 기상지원을 위한 중장기적인 사업 추진을 위해서는 무엇보다도 관련 경영층이나 관리자의 관심과 리더십을 체계적으로 확보하여 정기적인 사업 추진성과 분석을 통한 전략적 성과관리 체계를 강화할 필요가 있다.

1. 전기저널, 주요국 신재생에너지 지원제도 현황 및 변화과정, 2021
2. 전기저널, 주요국의 신재생에너지 지원 정책 동향, 2019
3. 산업통상자원부, 제2차 지능형전력망 기본계획, 2018
4. 관계부처 합동, 재생에너지산업 경쟁력 강화방안, 2019
5. 산업통상자원부, 제5차 신재생에너지기본계획, 2019
6. 산업통상자원부, 제9차 전력수급 기본계획, 2020
7. 환경부, 한국 재생에너지 동향과 대응정책, 2020
8. 산업통상자원부 보도자료, 재생에너지 발전량 예측제도 도입, 2020
9. 한국에너지기술연구원, 탄소중립 기술혁신 추진전략-10대 핵심기술 개발 방향, 2021
10. 한전경제경영연구원, 미국 전력도매시장 운영 현황 및 거래유형 분석, 2017
11. 서울에너지공사, 배전계통운영자의 기능과 구조, 2018
12. 한국에너지공단, 2020년 신재생에너지 보급통계, 2021
13. 전력거래소, 2020년 전력시장 통계, 2021
14. 한국기상산업기술원, 풍력산업 동향 및 기상정보 활용 사례, 2021
15. 한국기상산업기술원, 기상정보 활용 신재생 에너지 연구 동향 분석, 2021
16. 한국에너지정보문화재단, 덴마트 에너지 인공섬, 2021
17. 녹색기술센터, 2020년 기후기술 수준조사, 2020
18. 특허청(한국특허전략개발원), 특허 메가트렌드 분석보고서 (신재생에너지), 2019
19. 한국과학기술기획평가원(KISTEP), 2020년 기술수준조사, 2020
20. 한국환경정책·평가연구원, KEI 포커스-육상태양광 발전사업의 환경평가 현황과 환경적 수용성, 2019
21. 한국풍력산업협회, 2018 Annual Report, 2019
22. 전력거래소, 발전소 건설사업 추진현황, 2016~2021

23. 허진 외, 신재생에너지 모니터링 시스템 구축을 위한 예측기술 동향, 2019
24. 한국에너지기술연구원, 신재생에너지 자원지도 출판물-태양에너지, 2018
25. 한국에너지기술연구원, 신재생에너지 자원지도 3.0 - 표준화 및 예보기술 개발, 2016
26. 정준홍 등(한전KDN(주) 전력ICT연구원), 기상정보를 이용한 태양광 발전량 예측서비스 개발, 2021
27. 에너지경제연구원, 신재생에너지 보급 확산을 대비한 전력계통 유연성 강화방안 연구, 2017
28. 한국기상산업기술원, 2021년도 4분기 신기술 및 R&D 정책 동향 보고서, 2021
29. 기상청, 기상기후 융합서비스 카탈로그, 2019
30. 에너지경제연구원, 재생에너지 확대의 국민경제 파급효과 분석, 2019-2021
31. 산업통상자원부 · 한국에너지공단, 신재생에너지 백서, 2020
32. 한국산학기술학회, 태양광 정책 및 기술 동향분석, 2021
33. 한국에너지기술연구원, 해상풍력단지 개발을 위한 부유식 라이다 검증, 2020
34. 전재호 등, 태양에너지 예보기술 동향분석, Journal of the Korean Solar Energy Society, 39(4), 2019
35. 한국산업기술진흥원, 재생에너지 발전량 사전 예측기술, 글로벌 산업기술 주간브리프, 2020
36. 외교부, 국제재생에너지기구(IRENA) 약황, 2021
37. WMO, Climate Services for affordable wind energy, WMO Bulletin Vol66(2)
38. IEA, Getting Wind and Sun Onto the Grid, 2017
39. IRENA, Innovation landscape for a renewable-powered future, 2018
40. IRENA, Power system flexibility for the energy transition, 2018
41. OECD I-Library 홈페이지, IEA Energy Technology RD&D Statistics, 2020
42. REN21, Renewables 2020 Global Status Report, 2020-2021
43. Met Office, Met Office science strategy 2010-2015-Unified science and modeling for unified prediction, 2010

44. REL, Wind Energy Forecasting: A Collaboration of the National Center for Atmospheric Research(NCAR) and Xcel Energy, 2011
45. The Weather Company, an IBM Business, Forecasts on Demand for Renewable Energy and Agriculture at The Weather Company, an IBM Business, 2018

## 주요 용어 정리

### ○ 발전차액지원제도(Feed In Tariff, FIT)

발전차액지원제도는 생산한 전기의 거래 가격이 에너지원별로 표준비용을 반영한 ‘기준가격’ 보다 낮으면 그 차액을 정부에서 지원하여 전력회사가 고정가격으로 전력을 매입하도록 보장하는 제도이다.

### ○ 의무할당제도(Renewable Portfolio Standard, RPS)

의무할당제도는 500MW 이상 발전사업자(공급의무자)에게 반드시 일정 비율 이상을 신재생 에너지원으로 공급할 의무를 부과하는 제도로, 공급의무자는 직접 발전 혹은 타 신재생에너지 발전사업자로부터 공급인증서(REC) 구매를 통해 의무공급량 달성하며, 발전사업자 간 경쟁 요소가 도입된 시장기반 정책으로 재생에너지 보급 확대 추진과 동시에 정부의 비용 부담 감소 효과가 발생한다.

### ○ 차액계약제도(Contract for Difference, CfD)

차액계약제도는 정부와 발전사업자 간 거래계약을 체결하여 재생에너지 발전설비로 생산한 전력에 장기 보장하는 제도로, 기준가격이 계약상의 권리행사 가격보다 낮은 경우 차액을 보상받아 기대 수익을 달성할 수 있으며, 반대의 경우 차액을 반납하여 전력소비자에 대한 부담을 제한한다.

### ○ 발전차액경매제(Feed-In Premium, FIP)

발전차액경매제도는 시장가격에 연동된 참조가격(도매시장전력가격)과 시장가격보다 높게 설정한 기준가격과의 차이(프리미엄)만큼을 정부 보조금 형태로 지급하는 제도이며, 일정 규모 이상의 신재생에너지 발전설비에 대해서 경매 입찰제도와 직접거래를 통해 시장 프리미엄(Market Premium)을 지급하여 안정적인 수익을 보장한다.

### ○ 스마트전력망보장제도(Smart Export Guarantee, SEG)

스마트 미터기 설치 및 계량을 의무화하고 25만 가구 이상의 전력수요를 보유한 전력 판매회사에 구입을 의무화하는 제도이다.

### ○ 생산세액공제(Production Tax Credit, PTC)

생산세액공제는 신재생에너지에 의해 발전된 단위전력 생산량 당 일정 금액의 법인세를 공제해주는 제도이다.

### ○ 투자세액공제(Investment Tax Credit, ITC)

투자세액공제는 태양광, 풍력, 수력 등 신재생에너지 설비 및 기술 투자비에 대한 부가세 일부를 공제하는 미 연방정부의 장려제도이다.

○ 전력구매계약(Power Purchase Agreement, PPA)

전력구매계약은 에너지 생산자(개발업자, 민간 발전업자, 투자자)와 전기구매가 필요한 기업 간 사전 동의한 기간에 사전 동의한 가격으로 직접 전력을 거래하는 계약으로, 글로벌 기업들이 동참하는 RE100 캠페인의 이행수단 중 하나이다.

○ 가상발전소(Virtual Power Plant, VPP)

가상발전소는 다양한 분산자원을 ICT(정보통신기술)를 이용하여 하나의 발전소처럼 운영하는 통합관리 시스템이다.

○ 석탄가스화복합화력발전소(Integrated Gasification Combined Cycle, IGCC)

석탄을 고온·고압에서 가스화시켜 연료로 사용하는 청정석탄화력 발전소이다.

○ GTL(Gas-to Liquid)

천연가스를 가솔린 또는 디젤 연료로 전환하는 화학 공정이다.

○ CTL(Coal to Liquid)

석탄에서 합성 운송 연료를 생산하는 과정으로 석탄을 가스화하여 합성 가스를 생성한 다음 촉매에 의해 액체 연료로 전환되는 과정 포함한다.

○ CCS(Carbon Capture and Storage)

이산화탄소 포집과 저장을 의미한다. 지구온난화의 원인물질인 대량의 CO<sub>2</sub>가 대기로 배출되기 전에 고농도로 모은 후 압축 수송해 저장하는 기술이다.

○ RE100(Renewable energy 100%)

2050년까지 기업 전력의 100%를 태양광·풍력 등 재생에너지로 전환하자는 국제 캠페인이다.

○ 전력구매계약(Power Purchase Agreement, PPA)

전력시장을 통하지 않고 정부의 신재생에너지 거래지침에 따라 발전사업자와 한국전력간 전력거래계약을 체결하여 전력을 거래하는 제도이다.

○ 최종에너지

제품의 생산 또는 활동을 위해 에너지원이 연료 또는 비에너지의 목적으로 산업, 수송, 가정, 상업, 공공부문에서 최종 소비되는 에너지를 의미한다.

○ 1차에너지

1차에너지 소비량으로 타 에너지로 전환되기 위해 투입되는 에너지와 산업, 수송, 가정, 상업, 공공부문에서 사용되는 최종에너지 소비의 합으로 계산된다.

○ 넷미터링(Net Metering)

소규모 재생에너지 발전설비를 이용하여 자가소비하고 남은 잉여 전력을 전력회사에 공급하고 전력회사는 공급받은 전력량을 상계한 이외 소비한 전력량에 대하여

전기요금을 청구하는 제도이다.

○ 신재생에너지 생산 인센티브

신재생에너지 생산설비에서 생산 판매되는 전력에 대해 생산이 시작된 시점부터 10년 동안 일정 금액을 인센티브로 지급한다.

○ 지역별한계가격

에너지비용에 지역별 혼잡비용과 손실비용을 포함한 가격이다.

○ 비화석연료의무화제도(Non-Fossil Fuel Obligation, NFFO)

가격지원제도의 일종으로 정부가 일정 기간 가격을 보장하면서 지역의 전력 판매사업자에게 원자력이나 신재생 전력을 구매하도록 강제하는 제도이다.

○ 신재생에너지 의무비율할당제도(Renewable Obligation, RO)

RPS제도와 동일한 제도로 전력 판매사업자에게 전력 판매량의 일정 비율을 신재생 전력으로 공급하는 것을 의무화하고 신재생에너지 공급인증서(Renewable Obligation Certificates, ROC)를 발급하는 것을 의미한다.

○ 배전계통운영자(Distribution System Operator, DSO)

신재생에너지 증가로 분산형 에너지 자원을 계통에 연계할 때 급전 지시, 출력제한 등 계통 내의 배전망을 관리하고 제어하는 운영자를 말한다.

○ 분산형 에너지 자원(Distributed Energy Resources, DER)

에너지의 사용지역 인근에 설치해 송전선로의 건설을 최소화할 수 있는 일정 규모 이하의 발전설비이다. 수요지 근처에서 에너지를 생산/저장하기 때문에 잉여 전력 해소와 전력계통 안정화에 기여한다.

○ 수요반응(Demand Response, DR)

현재 전력량의 수요에 맞추기 위해 전기 사용자가 사용량을 변화시키는 것을 말한다.

○ 에너지저장시스템(Energy Storage System, ESS)

화력이나 원자력, 그리고 태양광 및 풍력을 이용한 신재생에너지 발전 등으로 생산된 전기에너지를 저장하고 필요할 때 사용할 수 있는 장치를 말한다.

○ 섹터커플링(Sector Coupling, 부문간 연계)

서로 다른 에너지 섹터를 통합한다는 의미로 재생에너지로 생산하고 남은 전기를 다른 에너지로 전환해 저장, 활용하는 기술을 의미한다.

○ 초고압직류송전(Hight Voltage Direct Current, HVDC)

‘Hight Voltage Direct Current’의 약자로 초고압 직류송전 기술을 의미하며 발전소에서 생산된 교류전력을 진류로 변화하여 송전하고, 수 전점에서 교류로 변화하여



전력을 공급하는 방식을 의미한다.

○ CCUS(Carbon Capture, Utilization & Storage)

이산화탄소를 포집·저장하는 CCS(Carbon Capture, Storage) 기술과, 포집하여 활용까지 수행하는 CCU(Carbon Capture, Utilization) 기술 포함하는 개념이다.

○ 조림사업

경제림 육성단지 중심의 내실있는 조림으로 목재의 안정적 자급기반 구축 및 생태적·환경적으로 아름답고 가치있는 친환경 산림자원조성을 의미한다.

○ CdTe(Cadmium-Telluride)

Cd(II 족)와 Te(VI 족)가 결합된 직접 천이형 화합물 반도체로서 높은 광흡수계수로 인해 박막 태양전지에 유리할 뿐만 아니라 제조단가가 낮은 장점이 있다.

○ CIGS(Copper Indium Gallium Selenide)

태양빛을 전력으로 변환하기 위해 사용되는 박막 태양전지이다.

○ 나셀 라이다(Nacelle Lidar)

풍력 터빈의 전체 전단 및 바람 프로파일을 측정하여 풍력 단지 내에서 생성된 후류와 같은 복잡한 흐름 조건을 자동으로 감지하는 라이다이다.

○ 태양광 발전 로드맵(PV2030)

‘2030년까지 태양광 발전을 주요 에너지의 하나로 발전’ 시킬 것을 목표로 2004년에 수립된 일본의 기술개발 지침이다.

○ CIS 태양전지

황동석(Chalcopyrite)형 결정 구조를 가진 I-III-VI<sub>2</sub>족 화합물 반도체(II-VI족 화합물 반도체의 II족 원소를 I족 원소와 III족 원소로 반씩 치환한 것)의 한 종류인 CuInSe<sub>2</sub>(CIS)를 광흡수층에 이용한 태양전지이다.

○ NEDO(New Energy and Industrial Technology Development Organization)

지속가능한 사회 구현에 필요한 기술 개발을 촉진하여 혁신을 창출하는 일본 국가 연구 개발 기관이다.

○ EV(Electric Vehicle)

순수 전기자동차를 의미하며 전기를 동력으로 움직이는 자동차를 의미한다.

○ PHEV(Plug-in Hybrid Electric Vehicle)

하이브리드 전기차에 대용량 전기 배터리를 탑재한 자동차를 의미한다.

○ HEV(Hybrid Electric Vehicle)

한 가지 동력원만을 사용하는 일반적 자동차와 달리 두 개 이상의 동력원에 의해

차체가 구동되는 차량을 의미한다.

○ Rooftop Solar PV, Total Potential

LGA(Local Government Area) 수준에서 사용 가능한 옥상 태양열 용량(MW) 및 연간 에너지 출력(GH)의 추정치 표출한다.

○ Rooftop Solar PV, Zone Potential

다양한 구역의 LGA 수준에서 사용 가능한 옥상 태양열 용량(MW) 및 연간 에너지 출력(GH)의 추정치 표출한다.

○ Solar Satellite DNI & GHI

DNI는 ‘Solar direct normal irradiance’ 태양 직사광선 조도로 광선에 수직인 표면에 떨어지는 태양에너지의 순간 강도이며, GHI는 ‘Solar global horizontal irradiance’ 태양 전지구 수평 방사 조도를 의미한다.

○ 시스템 자문 모델(System Advisor Model, SAM)

미국 국가 재생에너지 연구소의 시스템 자문 모델(System Advisor Model, SAM)은 태양광, 풍력에너지 예측을 위한 관련 데이터를 국가 데이터베이스 프로그램을 활용해 웹사이트를 통해 무료 제공한다.

○ IP5(Intellectual Property 5)

세계 5대 특허청인 대한민국, 미국, 중국, 일본 및 유럽 5개국 특허청 간 협의체를 의미한다.

○ SVM(Support Vector Machine)

기계 학습 분야 중 하나이며 패턴 인식, 자료 분석을 위한 지도 학습 모델로 주로 분류와 회귀 분석 시 사용된다.