



신재생에너지 관련 위험요인 예측 및 안전기준 개선

OSHRI

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



연구보고서

신재생에너지 관련 위험요인 예측 및 안전기준 개선

변 정 환

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



요약문

- 연구기간 2022년 1월 ~ 2022년 11월
- 핵심단어 태양광, 풍력, 위험요인, 안전기준
- 연구과제명 신재생에너지 관련 위험요인 예측 및 안전기준 개선

1. 연구배경

정부는 『2050 탄소중립 추진전략』 달성을 위하여 2034년까지 신재생에너지 발전 비중 목표를 25.8%로 설정하여 확대 추진하고 있으나, 관련 위험요인에 대한 평가 및 위험성 관리방안은 고려되지 않고 있다.

이에, 신재생에너지 관련 신기술·신공법 관련 특성 파악을 통해 위험요인을 예측하고 평가하고 그 결과를 토대로 관계 법령 및 안전기준 등의 개선방안을 모색하고자 한다.

2. 주요 연구내용

○ 미래환경 분석 및 안전보건 전망

- 국제 에너지 기구(IEA) 2050 탄소중립 시나리오, 우리나라의 제5차 신재생에너지 기본계획 및 RE100 등에 대한 고찰을 통해 신재생에너지 관련 미래환경 분석
- 향후 발생할 수 있는 신재생에너지 관련 위험요인을 확인하고 그 위험성에 대응하고자 문헌고찰을 통해 안전보건 전망 예측

○ 신재생에너지 기술 및 산업 현황

- 태양광, 풍력에 대한 발전원리 및 기술 특성 파악
- 국내 신재생에너지 발전 및 보급 현황과 산업규모 파악
- 국내·외 신재생에너지 관련 보급 전망 및 산업 생태계 파악

○ 신재생에너지 관련 사고 및 위험요인

- 태양광, 풍력 관련 산업재해 사고사망자 발생 현황 분석, 산업재해통계 외 국내·외 사고발생 현황 파악 등
- 공정 및 작업내용 분석과 실태조사 등을 통해 태양광, 풍력 관련 위험요인을 도출하고, 도출 결과를 신재생에너지 안전기준 개선(안) 마련을 위한 근거자료로 활용

○ 신재생에너지 안전기준 개선(안)

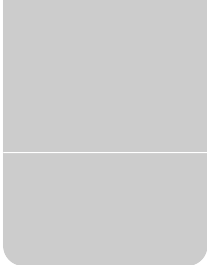
- 도출된 위험요인을 산업안전보건기준에 관한 규칙(타 법령 포함)과의 적정성 검토를 통해 개선사항 발굴
- 태양광 및 풍력 관련 이슈, 문제점 등에 대한 안전조치 개선방안 마련
- 태양광 및 풍력 산업현장 노동자의 안전성 확보를 위한 산업안전보건 체크리스트 마련
- 태양광 발전설비 설치에 관한 기술지침 개정(안) 마련

3. 연구 활용방안

- 연구결과로 도출된 신재생에너지 안전기준 개선(안)에 대해서는 타당성 검토 등을 거쳐 산업안전보건기준에 관한 규칙 개정(안)으로 제시 예정
- 태양광 및 풍력 산업안전보건 체크리스트는 안전보건기술지침 제정 또는 사업수행 시 활용할 수 있도록 매뉴얼 작업 후 배포 예정
- 태양광 발전설비 설치에 관한 기술지침 개정 예정

4. 연락처

- 연구책임자 : 산업안전보건연구원 산업안전연구실 연구위원 변정환
 - ☎ 052) 703. 0843
 - bjh6918@kosha.or.kr



목 차

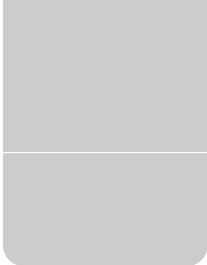
I. 서 론	1
1. 연구의 배경	3
2. 연구의 목표	3
3. 연구의 내용 및 방법	4
4. 관련 선행 연구	7
II. 미래환경 분석 및 안전보건 전망	9
1. 미래환경 분석	11
2. 안전보건 전망	24
3. 시사점	34

Ⅲ. 신재생에너지 기술 및 산업 현황 35

1. 주요 신재생에너지 구분 및 특성 37
2. 신재생에너지 보급 및 사용 현황 46
3. 신재생에너지 발전설비 설치 현황 51
4. 신재생에너지 산업 규모 57
5. 신재생에너지 산업 동향 61

Ⅳ. 신재생에너지 관련 사고 및 위험요인 77

1. 신재생에너지 관련 사고발생 현황 79
2. 신재생에너지 관련 위험요인 예측 및 평가 97
3. 소결 123



목 차

V. 신재생에너지 안전기준 개선(안)	125
1. 안전기준 관련 타법령 검토	127
2. 안전기준 적정성 검토	136
3. 안전조치 개선사항	142
VI. 결 론	177
1. 연구 내용 및 결과	179
2. 기대효과 및 활용방안	181
참고문헌	183
Abstract	187

부록 1: 풍력에너지 관련 사고발생 현황	189
부록 2: 태양광 발전 산업안전보건 체크리스트 ...	199
부록 3: 풍력발전 산업안전보건 체크리스트	213

표 목차

〈표 Ⅰ-1〉 신재생에너지 관련 선행 연구	7
〈표 Ⅰ-2〉 신재생에너지 안전보건 관련 선행 연구	8
〈표 Ⅱ-1〉 탄소중립 달성을 위한 상용화 필요 기술(KISTEP, 2021)	13
〈표 Ⅱ-2〉 2034년 최종에너지 기준 부문별 신재생에너지 보급 목표	17
〈표 Ⅱ-3〉 발전량 기준 신재생에너지 비중 목표	18
〈표 Ⅱ-4〉 발전량 기준 신재생에너지원별 비중 목표	18
〈표 Ⅱ-5〉 신재생에너지 설비의 안전성 강화 대책	19
〈표 Ⅱ-6〉 신재생에너지원별 유망분야 R&D 지원	20
〈표 Ⅱ-7〉 글로벌 RE100과 한국형 RE100 비교표	22
〈표 Ⅱ-8〉 신재생에너지원·기술별 주요 유해·위험성	26
〈표 Ⅱ-9〉 신재생에너지원·기술별 주요 유해성	27
〈표 Ⅱ-10〉 신재생에너지원·기술별 주요 위험성	28
〈표 Ⅱ-11〉 신재생에너지원·기술별 공공 유해·위험성	29
〈표 Ⅱ-12〉 신재생에너지원·기술별 유해·위험요인 파악 가이드	30
〈표 Ⅲ-1〉 태양광 발전 시스템의 구성	37
〈표 Ⅲ-2〉 태양전지에 의한 발전원리	38
〈표 Ⅲ-3〉 태양광의 특징	39
〈표 Ⅲ-4〉 풍력발전 터빈 구성품별 주요기능	44
〈표 Ⅲ-5〉 해상풍력발전 하부구조물 구성품별 주요기능	45

〈표 Ⅲ-6〉 OECD 주요 국가의 재생가능에너지 비율	47
〈표 Ⅲ-7〉 신재생에너지 발전량과 발전비율	49
〈표 Ⅲ-8〉 신재생에너지 생산량 현황	50
〈표 Ⅲ-9〉 전국 태양광 발전소 설치 현황	51
〈표 Ⅲ-10〉 전국 발전소 설비용량 현황	52
〈표 Ⅲ-11〉 전국 발전소 발전량 현황	53
〈표 Ⅲ-12〉 전국 지역별 풍력 생산량, 발전량 및 보급용량 현황	54
〈표 Ⅲ-13〉 전국 지역별·용도별 풍력 보급용량 현황	55
〈표 Ⅲ-14〉 전국 지역별·단계별 풍력 누적 보급용량 현황	56
〈표 Ⅲ-15〉 신재생에너지 산업 일반현황	57
〈표 Ⅲ-16〉 신재생에너지 관련 제조업 규모	58
〈표 Ⅲ-17〉 신재생에너지 관련 건설업 규모	58
〈표 Ⅲ-18〉 신재생에너지 관련 발전 및 열공급업 규모	59
〈표 Ⅲ-19〉 신재생에너지 관련 서비스업 규모	60
〈표 Ⅲ-20〉 실리콘 태양전지 기술 분류 체계	63
〈표 Ⅲ-21〉 태양광 산업 가치사슬	65
〈표 Ⅲ-22〉 국내 태양광산업 시장 동향	66
〈표 Ⅲ-23〉 국내 태양광산업 수출 동향	67
〈표 Ⅲ-24〉 국내 태양광산업 수입 동향	68
〈표 Ⅲ-25〉 풍력산업 기술분류 체계	71
〈표 Ⅲ-26〉 풍력산업 가치사슬	73

표 목차

〈표 IV-1〉 년도별 사고사망자 발생 신재생에너지원 현황	79
〈표 IV-2〉 신재생에너지원별 사고발생 생애주기 현황	80
〈표 IV-3〉 신재생에너지별 사고 발생형태 현황	80
〈표 IV-4〉 신재생에너지원별 기인물 현황	81
〈표 IV-5〉 풍력에너지 관련 사고발생 현황	82
〈표 IV-6〉 태양광에너지 관련 화재사고 발생 현황	83
〈표 IV-7〉 풍력발전 설치 공정의 작업 절차 및 내용(CWIF)	89
〈표 IV-8〉 사고종류별 부가내용(CWIF)	90
〈표 IV-9〉 고장 및 사고 발생원인 및 내역(NEDO)	94
〈표 IV-10〉 사고발생 위치별 발생건수(NEDO)	95
〈표 IV-11〉 태양광 발전설비의 설치공정 및 작업내용	97
〈표 IV-12〉 풍력발전 설치 공정의 작업 절차 및 내용	99
〈표 IV-13〉 풍력발전 유지보수 공정의 작업 절차 및 내용	101
〈표 IV-14〉 태양광 발전설비의 설치작업 관련 위험요인	106
〈표 IV-15〉 풍력 발전설비의 설치작업 관련 위험요인	108
〈표 IV-16〉 풍력 발전설비의 운용 관련 위험요인	110
〈표 IV-17〉 전문가 자문회의 주요 내용	112
〈표 IV-18〉 태양광 발전설비 인터뷰 내용	114
〈표 IV-19〉 풍력 발전단지 관계자 인터뷰 내용	116
〈표 IV-20〉 풍력발전 업체 관계자 인터뷰 내용	118
〈표 IV-21〉 태양광 발전설비 위험요인	122

〈표 V-1〉 신재생에너지 설비에 대한 시공기준 관련 안전조치 내용	127
〈표 V-2〉 태양광 관련 전기안전관리법 및 전기사업법 주요 개정내용	128
〈표 V-3〉 풍력 관련 전기안전관리법 및 전기사업법 주요 개정내용	129
〈표 V-4〉 전기설비 검사·점검 기준 관련 안전조치 내용	131
〈표 V-5〉 태양광 관련 안전조치 적정성 검토(일반안전)	137
〈표 V-6〉 태양광 관련 안전조치 적정성 검토(전기안전)	138
〈표 V-7〉 풍력 관련 안전조치 적정성 검토(일반안전)	139
〈표 V-8〉 풍력 관련 안전조치 적정성 검토(전기안전)	141
〈표 V-9〉 IRATA 교육과정	144
〈표 V-10〉 전원부 접지방식 분류	148
〈표 V-11〉 전원 및 설비측 관계에 따른 접지방식 분류(TT, TN, IT)	149
〈표 V-12〉 태양광 발전설비 설치에 관한 기술지침	159

그림목차

[그림 I-1] 연구 추진체계	6
[그림 II-1] IEA 2050 탄소중립 경로에 따른 2030년까지 청정에너지 확대 효과	12
[그림 II-2] IEA 2050 탄소중립 경로에 따른 2030년 에너지 일자리 수 변화	14
[그림 II-3] IEA가 제시하는 2050 탄소중립 주요 이정표	16
[그림 III-1] 태양전지에 의한 발전원리	39
[그림 III-2] 태양광 시스템 구성도	40
[그림 III-3] 태양광 발전 기술의 분류	41
[그림 III-4] 풍력 발전의 분류	42
[그림 III-5] 풍력발전 시스템 구성도	43
[그림 III-6] 풍력발전 터빈 구성도	44
[그림 III-7] 해상풍력발전 하부구조물의 구성도	45
[그림 III-8] 태양광 보급 전망(중간 시나리오)	61
[그림 III-9] 태양광 산업 생태계 구조	62
[그림 III-10] 풍력 보급전망	69
[그림 III-11] 풍력산업의 생태계 구조	70
[그림 III-12] 2012년~2020년 신재생에너지 원별 일자리 현황	74

[그림 IV-1] 국외 년도별 풍력에너지 관련 사고발생 현황	84
[그림 IV-2] 국외 년도별 풍력에너지 관련 인명피해 현황	85
[그림 IV-3] 국가별 풍력에너지 관련 사고발생 현황	85
[그림 IV-4] 국외 사고유형별 발생 현황	86
[그림 IV-5] 년도별 풍력발전기 사고발생 건수(CWIF)	88
[그림 IV-6] 풍력발전설비의 유지보수 내역(AWEA)	105
[그림 V-1] 매트릭스 방법을 활용한 안전기준 적정성 검토	136
[그림 V-2] 태양광 발전 시스템 구성도	142
[그림 V-3] 인체의 임피던스	146
[그림 V-4] TT DC 시스템의 하향경로(음극도체 접지, 양극지락)	150
[그림 V-5] TT DC 시스템의 상향경로(양극도체 접지, 음극지락)	150
[그림 V-6] TN DC 시스템의 하향경로(음극도체 접지, 양극지락)	151
[그림 V-7] TN DC 시스템의 하향경로(양극도체 접지, 음극지락)	151
[그림 V-8] 태양광발전 시스템에서의 누설전류 종류와 경로	152

I. 서론

.....

I. 서론

1. 연구의 배경

정부는 「2050 탄소중립 추진전략」 달성을 위하여 2034년까지 신재생에너지¹⁾ 발전 비중 목표를 25.8%로 설정하여 확대·추진하고 있으나, 관련 위험요인에 대한 평가 및 관리방안은 고려되지 않고 있다.

최근 보급·확산되고 있는 신재생에너지 관련 사고사망자수가 많지는 않으나 떨어짐, 끼임 등 유형의 사고가 지속·반복적으로 발생하고 있어, 신재생에너지 관련 신기술·신공법으로 인해 발생할 수 있는 위험요인의 사전 예측 및 평가를 통해 안전기준을 개선할 필요가 있다.

따라서 신재생에너지 관련 신기술·신공법 관련 특성 파악을 통해 위험요인을 예측하고 평가함으로써 관계 법령 및 안전기준 등의 개선방안을 모색하고자 한다.

2. 연구의 목표

미래 산업현장의 위험요인에 대한 선제적 대응으로 사회 안전망 공고화를 위한 기반을 구축하고자 신재생에너지 관련 안전기준 개선(안)을 마련하고자 한다.

또한, 신재생에너지 관련 안전기준 개선(안)을 산업안전보건기준에 관한 규칙, 안전인증기준 및 안전보건기술지침 등의 제·개정예 활용하고자 한다.

1) 수소에너지, 연료전지, 석탄액화가스 및 중질산사유 가스화, 태양광, 태양열, 풍력, 수력, 해양, 지열, 바이오, 폐기물

3. 연구의 내용 및 방법

1) 연구 내용

(1) 미래환경 분석 및 안전보건 전망

국제 에너지 기구(IEA)의 2050 탄소중립에 따른 청정에너지의 기술 혁신을 통한 에너지 전환의 가속화, 에너지 전환에 따른 단계별 계획 및 사회·경제적 영향과 국내 제5차 신재생에너지 기본계획 및 국내 RE100 추진내용 등에 대한 미래환경 분석을 실시하였다. 또한 미래 신재생에너지원 및 관련 기술별 주요 유해·위험성, 산업안전 측면에서의 위험성 및 산업보건 측면에서의 유해성 그리고 공공 유해·위험성 등에 대한 안전보건 전망을 실시하였다.

(2) 신재생에너지 기술 및 산업 현황

OECD 주요 국가의 재생가능 에너지 비율, 우리나라의 신재생에너지 발전량과 발전 비율 및 신재생에너지 생산량 등 신재생에너지 보급 및 사용 현황을 파악하였다. 또한 태양광 및 풍력에 대한 신재생에너지 발전설비 설치 현황을 파악하였다. 그리고 신재생에너지 관련 업체수, 종사자수, 매출액 및 투자액 등 산업 규모를 파악하였다. 마지막으로 태양광 및 풍력의 가치사슬, 기술분류 체계, 시장 동향 및 산업 생태계 등을 파악하였다.

(3) 신재생에너지 관련 사고 및 위험요인

신재생에너지 관련 산업재해 사고사망 발생 현황, 산업재해통계 외 국내 사고발생 현황 및 풍력 관련 국외 사고발생 현황 등 파악하였다. 또한 태양광 및 풍력 관련 위험요인 파악을 위해 태양광 및 풍력 발전설비의 설치공정 및 작업내용을 확인하고 직무위험분석을 실시하여, 관련 위험요인을 도출하였다.

(4) 재생에너지 관련 안전기준 개선(안)

태양광 및 풍력의 안전기준 관련 타법령 검토 내용과 위험요인 도출 내용을 토대로 현재 산업안전보건기준에 관한 규칙과의 적정성 검토를 실시하였다. 그리고 실태조사 및 이해 관계자 의견수렴을 통해 도출된 안전조치 관련 문제점과 주요 이슈사항에 대한 개선방안을 제시하였다.

또한, 태양광 및 풍력 관련 안전조치 개선방안의 일환으로 태양광 및 풍력 관련 산업안전보건 체크리스트를 제안하였다. 태양광 발전설비 설치에 관한 기술지침 개정을 검토의견을 제시하였다.

2) 연구 방법

(1) 선행연구 분석 및 문헌고찰

신재생에너지 관련 국외 사고사례 및 안전기준 등을 포함한 관련 선행연구 분석 및 문헌고찰을 통해 연구 범위 및 내용을 세분화하여 구분한다.

(2) 신재생에너지 관련 현황 통계의 조사 및 분석

신재생에너지 관련 현황 통계를 조사 및 분석하여 미래환경 분석 및 안전보건 전망에 기초자료로 활용한다.

(3) 최근 5년간 사고사례 조사 및 사고사망 원인분석

신재생에너지 관련 최근 5년간 사고사례를 조사하고 사고사망 원인분석을 통해 관련 위험요인 예측 및 평가에 활용한다.

(4) 신재생에너지 관련 설비 구축 및 사용 현장 실태조사

신재생에너지 관련 위험요인 예측 및 평가를 위해 관련 설비 설치 및 운용

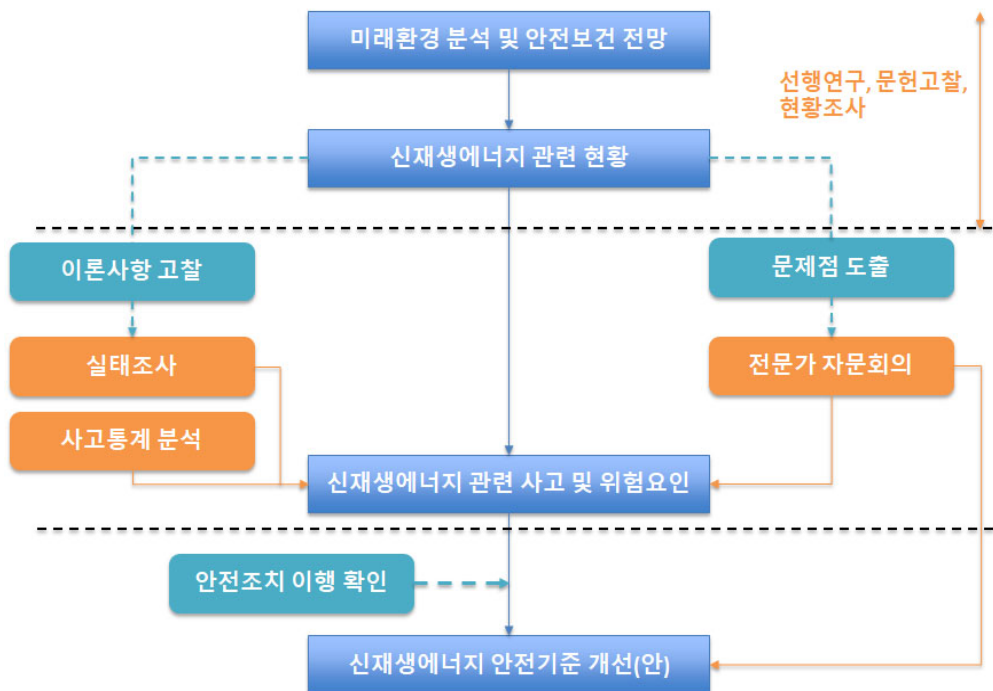
사업장 10개소 내·외를 방문하여 관계자를 대상으로 심층 인터뷰 실시하고 실태조사를 실시한다.

(5) 전문가 자문회의 운영

전력회사 관계자, 신재생에너지 설치·운영 사업장 관계자, 전기안전 전문가 및 학계 등 8명 내·외의 전문가 그룹을 구성하여 연구방향, 실태조사 계획 및 안전기준 개선(안) 등에 대한 타당성을 검토를 실시한다.

3) 연구 추진체계

신재생에너지 관련 미래환경 분석을 통한 안전보건 전망, 신재생에너지 관련 현황 파악, 신재생에너지 관련 사고 및 위험요인 분석을 통한 신재생에너지 관련 안전기준 개선(안) 도출을 위한 연구 추진체계는 다음 그림 I-1과 같다.



[그림 I-1] 연구 추진체계

4. 관련 선행 연구

1) 신재생에너지 관련

신재생에너지 관련 국내·외 연구는 신재생에너지 관련 발전기술, 도입방안, 정책추진, 경제적 효과 및 보급사업의 성과 등 기술, 경제 및 성장정책 분야 위주로 다음 <표 I-1>과 같이 수행되었다.

<표 I-1> 신재생에너지 관련 선행 연구

과제명	내용
신재생에너지 보급사업의 성과와 경제성 분석 (박용철, 2015)	신재생에너지 보급사업의 성과를 자가용과 사업용 보급사업의 실증자료를 이용하여 연도별 성과와 경제성을 분석하였음
신재생에너지 발전기술과 국가 온실가스 감축목표 평가(조경엽, 2012)	온실가스 감축의 경제적 비용과 신재생에너지 발전 기술의 보급 확대 가능성을 평가하는 동시에 비용 효과적인 새로운 국가 온실가스 감축경로를 추정하였음
신재생에너지 확대와 미래 환경변화 대응을 위한 중장기 발전방향(노태호, 2020)	신재생에너지 확대 정책으로 인한 사회적환경적 문제와 관련하여 다양한 이해 당사자들의 토론을 통해 향후 발전방향에 대한 검토를 실시하였음
재생에너지 확산 이행방안 연구(이상엽, 2021)	에너지 전환 관련 국내 전문가들과 공동으로 재생에너지 확산을 위한 구체적 현안을 도출하고, 해결하기 위한 근원적인 방안을 모색하였음
친환경선박법의 체계 및 조선소의 대응을 고려한 발전방향에 대한 고찰 (최병열, 2021)	새로 시행된 수소법을 기존 신재생에너지 법 및 친환경선박법의 현황과 비교하여 선박에 대한 친환경 관련 법규의 개선 가능성을 검토하였음
100%신재생에너지 자원 기반 에너지 공급을 위한 태양광, 풍력 및 바이오 발전의 통합전략 및 경제성 평가(황혜진, 2020)	신재생에너지원 기반 전력 공급 시스템을 구축으로 각 시스템의 최적 전력 공급 비용을 비교분석하였으며, 신재생에너지 생산 기술과 에너지 저장 시스템 및 바이오매스 기반 전력 생산 기술을 포함함으로써, 신재생에너지 자원의 간헐성 및 공급과 수요 불균형을 해소하고자 하였음

2) 신재생에너지 안전보건 관련

신재생에너지 안전보건 관련 국내·외 연구는 다음 <표 I-2>와 같이 수행되었으나, 신재생에너지 관련 안전인증 시스템 기반 부재로 미래 대응을 위한 안전인증 관련 시험방법 및 인증기준 등의 개발 필요 등 신재생에너지 관련 설비 설치·운영 과정에서 산업재해예방을 위한 안전관리에 관한 연구는 미흡하였다.

<표 I-2> 신재생에너지 안전보건 관련 선행 연구

과제명	내용
국내 신재생 미래에너지 산업 종사자의 유해요인 노출 특성 (장재길, 2012)	신재생에너지 관련 산업별 생산 공정별 종사자에 대한 잠재 유해요인을 정리하였음
전기안전 신공법의 안전조치기준 개발에 관한 연구(최상원, 2016)	전기안전 신공법에서의 전기 위험성 감소를 위해 안전조치기준을 개발을 통한 개선방안을 제시하였음
에너지 저장장치 화재 위험과 안전대책에 관한 연구 (임경범, 2020)	에너지 저장장치 관련 화재 발생현황 분석결과를 토대로 소방시설 의무화와 더불어 특화된 소방기준 제정 필요성을 제기하였음
신재생에너지의 안전관리 개선방안 (산업통상자원부, 2021)	신재생에너지 안전관리 실태조사를 통해 설비 특성을 고려하여 안전관리를 강화하고자 하였음
에너지 설비 안전관리를 위한 IoT와 빅데이터 활용방안 연구(임철홍, 2021)	태양광 발전설비 등 안전관리가 필요한 장소에 IoT 기기를 설치하여 실시간 모니터링 및 빅데이터 분석이 가능하도록 분산 적응형 아키텍처 구축하고자 하였음

Ⅱ. 미래환경 분석 및 안전보건 전망

.....

II. 미래환경 분석 및 안전보전 전망

1. 미래환경 분석

1) 국제 에너지 기구(IEA) 2050 탄소중립

국제 에너지 기구(IEA)에서는 앞으로 지구 온도 상승 한계를 1.5℃로 설정하고 2050년까지 세계 이산화탄소(CO₂) 「넷제로(Net Zero)」 달성을 목표로 하고 있으나, 지금까지의 탄소중립 규모는 제시된 경로의 요구 수준까지는 못 미치는 단계로 향후 관련 조치가 지연되는 경우에는 2050 탄소중립 달성은 더욱 어려울 것으로 예상하고 있다.

따라서 2050년까지 탄소중립 달성을 위해 에너지 외 부분의 배출 감소 및 역 배출 기술에 대한 의존도를 낮추고, 기술적 타당성, 비용 효과성, 사회적 타력성 및 지속적 경제 성장과 안정적 에너지 공급을 고려하여 다음과 같이 탄소중립 경로 및 필수조건을 제시하였다.

(1) 청정에너지 기술 혁신을 통한 에너지 전환의 가속화

가) 대규모 청정에너지 기술 보급 필요

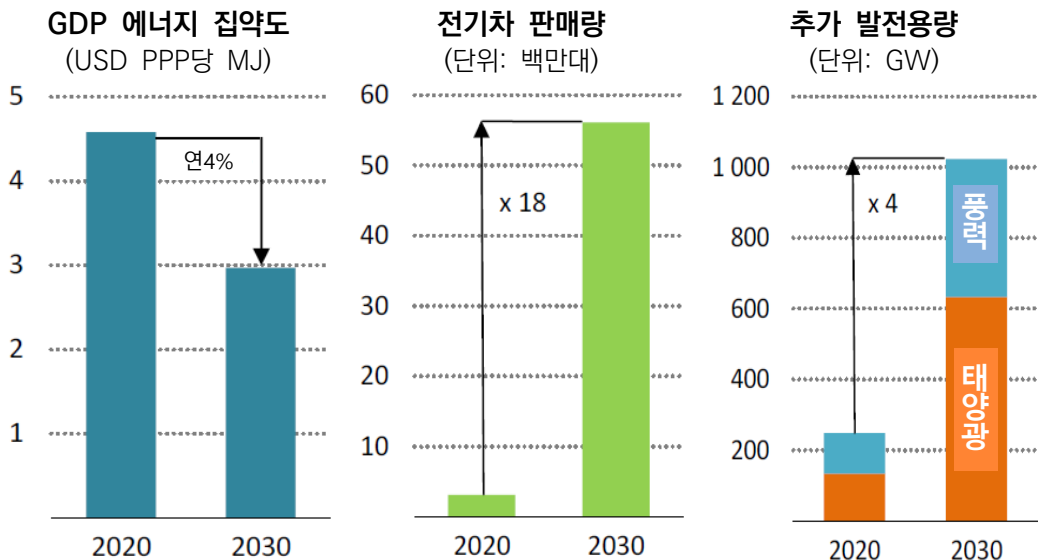
IEA는 2030년 세계 경제규모가 현재보다 40% 정도 더 성장하지만 에너지 사용량은 7% 정도 감소할 것으로 전망하는데, 이를 위해서는 연평균 4% 정도의 에너지 집약도 개선이 가능하도록 에너지 효율을 향상시켜야 한다고 가정하고 있다. 따라서 2050 탄소중립 경로 유지를 위해서는 활용 가능한 모든 청정·효율 에너지 기술의 활용이 시급하다고 볼 수 있다.

이를 위해서는 급속한 태양광 및 풍력 발전 인프라 확대가 요구될 것이며 이를 통해 신재생에너지 관련 기술이 전력산업에서 경제적 경쟁 우위를 차지할 것이다. 실제로 IEA 탄소중립 경로에 따라서 2030년까지 필요한 태양광

및 풍력의 추가 발전용량은 630 GW 및 390 GW로 2020년 대비 4배나 증가해야 하는 상황이다.

또한, 2030년까지 전 세계적으로 이산화탄소(CO₂) 저감 목표 달성을 위한 필요 기술은 이미 상용화되었으며, 코로나 19 이후의 경제성장 지원을 위한 투자정책 및 지출방향이 탄소중립 경로와의 부합되는 것이 중요하기 때문에 이러한 방향성은 청정·효율 에너지 보급의 가속화를 위해 더욱더 수렴할 것이다. 즉, 화석연료 보조금 점진적 폐지 및 탄소 가격책정 등은 관련 시장에 가격신호로 작용하며, 탄소저감 기술 미적용 석탄화력 발전소, 가스보일러 및 내연기관차 등 특정 연료·기술 사용제한 정책과 반(反)인센티브 제도가 활성화될 것이다.

다음 그림 II-1은 IEA 2050 탄소중립 경로에 따라서 청정에너지 기술 보급에 따른 2030년까지의 예상·확대 효과를 나타내고 있다(IEA, 2021).



[그림 II-1] IEA 2050 탄소중립 경로에 따른 2030년까지 청정에너지 확대 효과

나) 상용화 이전 기술의 혁신

2050 탄소중립을 달성하기 위해 상용화 기술의 신속한 보급을 포함한 실용화 단계 이전 기술의 활용이 요구되며, 이러한 신기술이 조기에 상용화될 수 있도록 향후 10년간은 혁신적인 기술 개발이 이뤄져야 한다.

또한, 2030년까지는 탄소배출 감소 목표가 현재 기술로 달성 가능하지만, 2050년 감소 목표의 절반은 현재 실증 또는 프로토타입 단계 기술에 의존하기 때문에 다음 <표 II-1>과 같은 기술 상용화 등의 대대적 혁신이 필요하다.

<표 II-1> 탄소중립 달성을 위한 상용화 필요 기술(KISTEP, 2021)

구분	기술명	기술 개요
CCUS	이산화탄소 포집 및 전환기술	산업 공정에서 배출되는 기체에서 CO ₂ 를 포집하고 연료·기초화학제품으로 전환하는 기술
산업	바이오 기반 원료제품 생산기술	석유계 기초/응용 원료·플라스틱을 바이오매스 유래 기초/응용 원료·플라스틱으로 전환하여 온실가스 배출을 저감하는 기술
산업	탄소저감형 고로-전로 공정기술	고로의 환원에 필요한 탄소 사용량 저감 기술과 전로에서 스크랩 사용 확대로 쇳물 사용 감소를 통한 CO ₂ 저감 기술
수송·교통	고용량 장수명 이차전지 기술	전기차 및 ESS에 활용되는 리튬이온전지, 이차전지, 관련 모듈/팩/시스템 등을 포함한 이차전지 기술
에너지	청정수소 생산 기술	천연가스, 납사, LPG로부터 CO ₂ 포집 기술이 접목된 수소생산, 재생전력 또는 기존 전원을 이용한 수전해 수소생산 기술
에너지	암모니아 발전 기술	청정연료(수소, 암모니아) 활용 무탄소 발전 및 암모니아 단계적 혼소 확대 전환 기술
에너지	전력망 계통연계 시스템	재생에너지 변동성과 EV충전 인프라 증가 등으로 전력계통 불안정성 해소와 전력품질 확보, 분산에너지 변환 효율 향상 및 계통 연계기준 고도화 기술
에너지	고효율 태양전지 기술	한계 효율 극복을 위한 페로브스카이트(Perovskite), 탠덤, 이종접합 태양전지 등 차세대 태양전지
에너지	초대형 해상풍력 시스템	해상풍력 시스템을 초대형화 하여 해상에 설치 및 운영하는 기술
환경	유용자원(희토류) 회수 기술	희토류 회수를 위한 수거, 분리, 선별 및 회수 기술

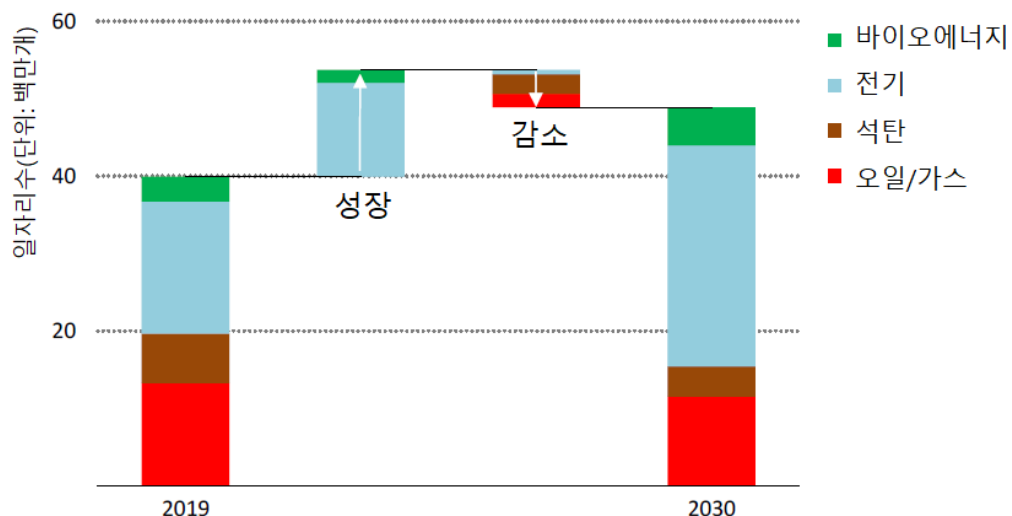
(2) 에너지 전환에 따른 단계별 계획

가) 에너지 전환에 따른 사회·경제적 영향

IEA에서는 청정·효율 에너지 관련 정책 및 투자로 인해 탄소중립 달성 경로 상에서 1,400만개의 일자리가 창출되는 등 새로운 고용시장 기회가 생길 것으로 예상하고 있으며, 에너지 효율 등급이 높은 전자제품, 전기 및 연료전지 자동차, 건축물의 에너지 효율화를 위한 개조 및 신축 등에 대한 투자 증대로 1,600만개의 일자리가 추가될 것으로 예상하고 있다.

다만, 화석연료 사용 감소로 인해 약 500만개의 일자리가 소멸될 것으로 전망하고 있는데, 이는 다른 장소 및 부문에서 다른 직업으로 생겨날 것이며 직업별 요구 기술·역량도 서로 상이할 것이다. 더불어 소멸되는 일자리는 화석연료 매장지와 근접한 장소의 일자리로 보수도 높은 편에 속하기 때문에 이러한 일자리와 관련된 사회구조적 변화가 지역사회에 당분간은 영향을 미칠 수 있다고 예상하고 있다.

다음 그림 II-2는 IEA 2050 탄소중립 경로에 따른 2019년부터 2030년까지의 에너지부문에서의 일자리 수 변화를 나타내고 있다(IEA, 2021).



[그림 II-2] IEA 2050 탄소중립 경로에 따른 2030년 에너지 일자리 수 변화

나) IEA 2050 탄소중립 달성을 위한 단계별 계획

IEA 탄소중립 경로에서는 2050년에는 세계 에너지 공급원의 2/3기 풍력, 태양광, 바이오에너지, 지열 및 수력에너지로 구성되며, 특히 태양광의 경우 전체 공급원의 1/5를 차지하는 가장 큰 에너지원으로 자리매김 할 것이며, 또한 2050년까지 태양광 및 풍력 발전용량이 각각 20배, 11배 정도 성장할 것으로 예상하고 있다.

2050년 기준 전체 에너지원에서 전력 에너지 비중은 50%로 운송, 건물, 산업 등 전체 부문에서 핵심적 역할을 할 것이며, 수소 등의 탄소 저배출 연료 생산에 필수적이므로 현 수준 대비 2.5배 이상 증가할 것으로 예상하고 있다. 또한 전력 부문의 경우 신규 석탄발전소에 대한 추가 투자를 금지하고 있으며, 저효율 발전소의 경우 2030년까지 단계적으로 폐쇄 조치하고, 잔여 발전소의 경우도 2040년까지 개조를 완료할 것으로 요구하고 있다.

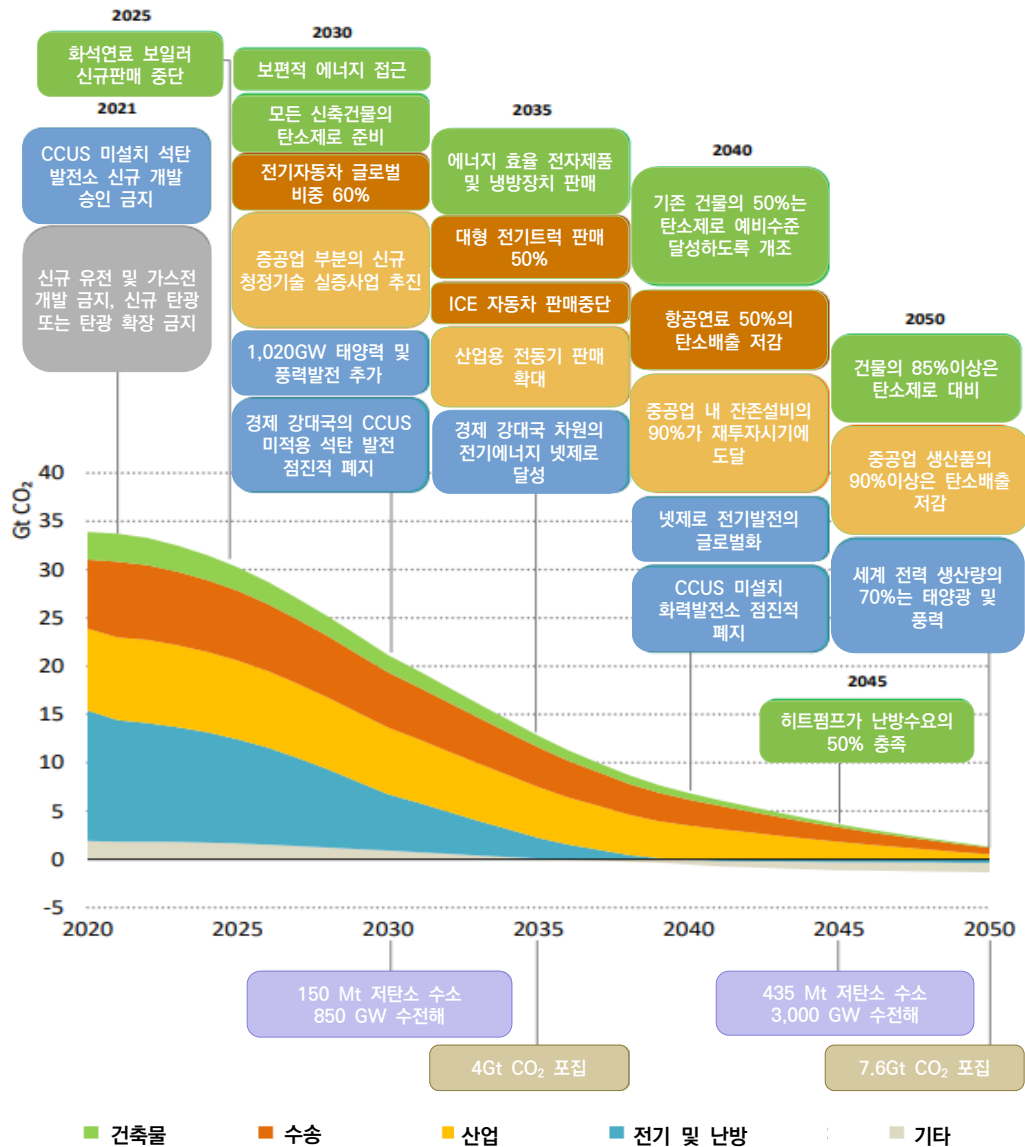
다만, 산업, 운송 및 건물 부문에서의 탄소 배출량 저감은 전력 부문의 경우보다 장기간 소요될 것으로 예상하고 있다.

산업부문에서는 탄소 배출량을 95% 감소하기 위해서는 무엇보다도 신규 기반시설을 구축하여야 하고, 신규 청정에너지 기술의 상용화를 위해 2030년까지 연구개발, 실증 및 실용화 보급을 통한 기술혁신이 필요하다.

운송부문에서는 2035년까지 신규 내연기관차 판매를 금지하고 전기자동차 사용을 장려하여 탄소 배출량 저감을 촉진하고 있으므로, 2050년에는 전기 또는 연료전지 자동차가 도로 대부분을 점유할 것으로 예상하고 있다.

건물부문에서는 전 세계적으로 2025년까지 신규 화석연료 보일러 사용을 금지하는 제도가 시행되면서 전기 히트펌프 판매가 증가할 것으로 그리고 노후 및 신축 건축물은 탄소제로 건축물 기준을 준수해야 할 것으로 예상하고 있다.

다음 그림 II-3은 IEA 2050 탄소중립 달성을 위한 건물, 교통, 산업, 전기 및 난방, 기타 분야별 주요 이정표를 나타내고 있다(IEA, 2021).



[그림 II-3] IEA가 제시하는 2050 탄소중립 주요 이정표

2) 제5차 신재생에너지 기본계획

(1) 목표

가) 신재생에너지 보급 목표

2034년까지 최종에너지 중에서 신재생에너지 비중은 각각 재생 12.4%, 신 1.3%로 총 13.7%로, 발전·건물·산업·수송 부문별로 최종 에너지 기준 신생에너지 보급목표는 다음 <표 II-2>와 같다.

<표 II-2> 2034년 최종에너지 기준 부문별 신재생에너지 보급 목표

(단위 : 백만toe)

구분	2019년	2034년	증가량
발전	2.5(49%)	12.6(53%)	10.1
건물	0.9(17%)	3.5(15%)	2.6
산업	1.0(20%)	6.2(26%)	5.2
수송	0.7(14%)	1.3(5%)	0.6
합계	5.0(100%)	23.5(100%)	18.5

건물부문의 신재생에너지는 2034년까지 3,456천 TOE 보급을 목표로 제로에너지 건축물 의무화 제도를 활용, 신축 건물의 사용 에너지 일정 비율을 신재생에너지로 공급하는 것을 의무화하고 있다. 의무대상은 단계별 연면적 기준 이상 신축 건물의 에너지 사용량 중 20% 이상을 신재생에너지로 공급하는 것이다.

산업부문의 신재생에너지는 2034년까지 6,202천 TOE 보급을 목표(산업 부문 신재생 비중 6.5%)로 하고 있다.

수송부문의 신재생에너지는 2034년까지 1,293천 TOE 보급을 목표로, 경유휘발유 등의 화석연료를 바이오연료로 대체하여 수송부문 에너지 전체 수요의 3.7% 공급을 목표로 하고 있다.

나) 신재생에너지 발전량 비중 목표

전력부문의 신재생에너지 발전 비중은 다음 <표 II-3>과 같이 '20년 7.4%, '30년 20.3%, '34년 25.8% 달성을 목표로 하고 있으며, '20년 ~ '34년 연평균 증가율은 10%로 같은 기간 연평균 0.6% 증가에 그친 전력수요를 상회할 것으로 예상하고 있다.

<표 II-3> 발전량 기준 신재생에너지 비중 목표

구분	2020년	2022년	2030년	2034년
신재생 비중	7.4%	10.1%	20.3%	25.8%
재생에너지	6.5%	8.7%	17.3%	22.2%
신에너지	0.9%	1.4%	3.0%	3.6%

신재생에너지원별로는 다음 <표 II-4>와 같이 태양광과 풍력 중심으로 보급 확대될 것으로 예상하고 있다.

<표 II-4> 발전량 기준 신재생에너지원별 비중 목표

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

다) 온실가스 배출감소 목표

2034년 기준, 재생에너지 보급을 통한 온실가스 감축량 목표는 69백만 tCO₂로 2017년 감축량 14.6백만tCO₂ 대비 4.7배로 감축량은 부문별 재생에너지 보급 목표에 대체 대상 에너지원의 배출계수를 적용하여 산정하였다.

(2) 안전관련 세부 추진과제

가) 신재생에너지 설비의 안전성 강화

신재생에너지의 지속 가능한 확산체계 구축을 위한 안전성 강화 대책은 다음 <표 II-5>와 같다.

<표 II-5> 신재생에너지 설비의 안전성 강화 대책

에너지	핵심 내용
태양광	태풍, 집중호우 등 기후변화로 인한 설비 피해 최소화를 위한 시공기준 등 개선 및 재활용 폐모듈 선제적 처리역량 확충
풍력	- 블레이드 안전성 제고를 위한 인증기준 강화, 안전점검 매뉴얼 마련 등 추진 * 내부 이물질 유무 확인 및 연결부 상태점검을 위한 비파괴검사 적용 등
수소	- 연료전지, 수전해 설비, 수소 추출기 등 저압 수소용품 사용시설 안전관리 강화를 위해 상세 안전기준 마련 * 수소용품 및 시설의 배치·구조, 성능·재료, 시험·항목 등 규정

나) 노후설비 교체 및 안전관리형 기술개발

보급사업 등으로 설치한 소용량(자가용) 노후설비를 고효율 태양광 패널 등으로 교체·지원 및 ICT 기반 안전관리 사업 모델 발굴하고, 기술개발 및 상용화 과정에서 집중적인 안전관리가 필요한 과제는 안전관리형 과제로 지정하여 별도 관리한다.

다) 재생에너지 설비 통합 안전관리 체계 구축

재생에너지 인·허가 통합시스템과 연계하여 안전관리를 강화하고, 안전 유관기관 협의체 운영을 위한 전담조직을 확충한다. 또한 범정부 보급설비에 대한 사업수행 기관의 사후관리 계획수립 의무 이행실태의 모니터링 강화로 관련 제도를 조기에 안착시키고자 한다.

(3) 신재생에너지원별 R&D 지원 강화

신재생에너지 新시장 창출을 통한 위한 사업화 연계를 위한 유망분야 R&D 지원 내용은 다음 <표 II-6>과 같다.

<표 II-6> 신재생에너지원별 유망분야 R&D 지원

에너지	핵심 내용	주요 내용
태양광	경쟁력의 핵심인 기술력경제성 강화 및 新서비스 개발	■ 탠덤전지 등 초고효율 태양전지 및 관련 소재·부품·장비 R&D 집중지원을 통한 차세대 시장 선점 및 산업생태계 자립도 제고 ■ 건물 일체형(BIPV), 수상해상 태양광 등 입지 다변화를 위한 新시장 기술개발
풍력	초대형 풍력 터빈 및 부품 패키지 국산화 기술 개발	■ 초대형 블레이드(길이 100M, 8MW급), 카본 복합재 부품, 증속기, 발전기, 전력변환기 및 제어시스템 등 국산화 ■ 부유식 풍력 터빈용량 확대 및 부유체 기술개발·실증
수소	전주기 핵심기술 개발상용화 및 그린수소 조기 대체	■ 제주도 풍력, 새만금 태양광 등을 활용한 그린수소 실증사업 추진 → ‘30년 100MW급 그린수소 양산 체제 구축 ■ 고효율·고온 수전해 기술개발 및 중대형 추출수고 기술 상용화 → ‘30년 수소가격 4,000원/kg 달성 ■ 수소 5대 분야(수전해·모빌리티·연료전지·충전소·액화 등) 소·부·장 R&D 집중지원을 통해 핵심기술 확보
재생열	R&D 제도개선을 통한 수열 시장창출 및 재생열 범위 확대	■ 수열 히트펌프 운영시스템 성능개선 R&D, KS 인증기준 개정, 공공기관 시범사업 등으로 수열에너지 시장 창출 ■ 수열 성과, 국제 추세 등을 감안해 기타 열원(공기열, 하수 열 등)의 재생에너지 인정기준 검토
사업화	R&D 개발제품의 성공적 사업화 위한 지원 강화	■ R&D 성과물의 ‘수요 연계형 R&D’ 확대 ■ 우수 R&D 성과물이 공기업의 시범사업으로 연계되어 현장 실증 및 트랙레코드 확보 지원

3) RE100

(1) 개요(한국RE100협의체, 2022)

「RE100(Renewable Energy) 캠페인」은 기업의 전력수요를 태양광, 풍력 등 청정 재생에너지원을 활용하여 100% 조달한다는 기업들의 자발적인 글로벌 재생에너지 이니셔티브이다. 「RE100 캠페인」은 국제 비영리 환경단체(The Climate Group)와 CDP¹⁾가 연합하여 2014년 뉴욕 기후주간에 처음 발족되어, 2014년 파리협정의 성공을 지지하는 캠페인으로부터 시작되었다.

캠페인 참여 기업은 2050년까지 100% 달성을 목표로 하고 있으며, 기업이 자율적으로 목표를 수립할 수 있지만 2030년 60%, 2040년 90%이상 실적 달성을 권고하고 있다. 또한 참여 대상은 연간 전력소비량이 100GWh 이상 기업이나 Fortune 1,000대 기업과 같은 글로벌 기업을 대상으로 하고 있으며, RE100 이행여부는 기업의 재생에너지 사용 현황을 제3자를 통해 검증하고 CDP 위원회의 연간 보고서를 통해 이행 현황을 공개하고 있다.

구글, 애플, 마이크로소프트, 지엠 등 글로벌 기업을 중심으로 전력부문에서 재생에너지 사용 비중을 확대하고 있으며, 자사 협력사나 부품·서비스 제공사에 RE100 이니셔티브 참여 및 재생에너지 사용을 요구하고 있다. 최근 국내 대기업에서도 RE100 이니셔티브 참여 기업으로부터 재생에너지 사용 확대 요구사례가 증가하고 있으며, 계약서·협약서 등을 통해 납품요건으로 재생에너지 사용을 명시적으로 요구하고 있어 국내 대기업도 글로벌 RE100 이니셔티브 참여 요구수준이 점차 높아지고 있다.

2021.7 기준 전 세계적으로는 278개 기업이 RE100에 가입 중이며, 그 중 30개 기업은 전력 수요량 100%를 재생에너지로부터 조달하고 있다. 또한, 캠페인 참여 기업의 재생에너지 100% 달성 평균시기는 2028년도이며, 풍력 및 태양광 중심으로 조달하고 있다.

1) Carbon Disclosure Project : 세계 주요 상장사들에게 기후변화 관점에서 기업의 경영전략을 요구, 수집하여 연구분석을 수행하는 글로벌 프로젝트

(2) 한국형 RE100(K-RE100)(한국에너지공단, 2022)

기업·공공기관 등이 '21년부터 재생에너지 전력을 구매할 수 있도록 다양한 이행수단을 가동하고 사용실적 인정을 지원하는 등 관계부처와 협력하여 공공기관의 선도적 K-RE100 참여를 유도한다. 또한 K-RE100이 효율적으로 시행될 수 있도록 재생에너지 발전사업자와 전기소비자간 직접 PPA 허용을 검토 중이다.

다음 <표 II-7>은 글로벌 RE100과 한국형 RE100의 비교표이다.

〈표 II-7〉 글로벌 RE100과 한국형 RE100 비교표

구분	글로벌 RE100	한국형 RE100
참여 대상	연간 100GWh이상 전력소비 기업 또는 Fortune지 선정 1000대 기업 등 영향력이 있는 기업	- 산업용, 일반용 전기소비자 - 연간 전력소비량 제한 없이 중소, 중견 기업, 공공기관, 지자체 등 참여 가능
이행 수단	인증서 구매, 전력회사와 녹색 전력 구매계약 체결, PPA 자가설비 등	REC구매, 녹색 프리미엄, 제3자 PPA, 지분참여, 자가설비
이행 목표	'50년까지 100% 이행, '30년 60%, '40년 90% 이행 목표 설정 권고	'50년 까지 100% 이행 목표설정 권고, 중간목표는 자발적 설정
이행 범위	전 세계 보유 사업장	국내 보유 사업장
이행 보고	연 1회 CDP에 재생에너지 사용 실적 보고(Spreadsheet 등 제출)	K-RE100 관리시스템에 실적 등록 후 재생에너지 사용 확인서를 발급받아 실적 인정
활용	글로벌 RE100 선언 및 대외 홍보	국내 RE100 선언 및 대외 홍보, 온실가스 감축 실적 활용, 글로벌 RE100실적으로 활용

* 출처 : 한국에너지공단 발표자료, 한국RE100협의체(RE100정보플랫폼)

(3) 기업·공공기관의 K-RE100 참여 본격 확산(산업통상자원부, 2020)

가) 이행수단을 활용한 K-RE100 본격 시행

기업·공공기관 등이 '21년부터 재생에너지 전력을 구매할 수 있도록 다양한 이행수단²⁾을 가동하고 사용실적 인정을 지원하는 등 관계부처와 협력하여 공공기관의 선도적 K-RE100 참여를 유도한다. 또한 K-RE100이 효율적으로 시행될 수 있도록 재생에너지 발전사업자와 전기소비자간 직접 PPA³⁾ 허용을 검토 중이다.

나) RE100 참여 유도를 위한 인센티브 및 보완장치 마련

제3자 PPA, REC 구매 등 추가성이 인정되는 이행수단에 대해서는 온실가스 감축실적으로 인정하여 기업의 RE100 참여부담을 완화하고, 참여기업에 대해서는 녹색보증 지원, 대출금리 인하 등 녹색금융을 활성화하여 재생에너지 투자구매 확산을 촉진한다. 그 외에도 RE100 라벨링(Labelling) 부여, 기업의 사회적 책임(CSR) 활동 지원, 공공조달 우대 검토 등 다양한 지원방안을 마련 중이다.

2) 녹색 프리미엄, 제3자 PPA, 인증서(REC) 구매, 지분투자, 자가발전

3) 재생에너지와 사업자와 전기소비자간 직접구매계약 체결(전기사업법 개정 필요)

2. 안전보건 전망

1) 개요

최근 전세계적으로 신재생에너지 생산, 친환경 교통·산업 및 건물, 폐기물 관리, 지속 가능한 농업과 임업, 재활용과 저탄소 기술의 개발과 사용은 상당한 성장세를 보이고 있다. 또한 건설업과 같은 전통산업에서도 에너지 절약을 위해 건물 개조 등의 녹색활동으로 전환하고 있어, 고용 형태 및 구조도 변화하고 있다.

다만, 산업안전보건 측면에서의 유해·위험성이 높은 석탄 채굴 및 석유 시추 등의 일부 직종은 감소하고 있어 고용 형태 및 구조도 변화하고 있다. 녹색 일자리가 반드시 안전하고 건강한 일자리라고는 할 수 없기 때문에 친환경·녹색 기술의 산업안전보건 문제는 원자재 추출, 생산설비의 제조, 운송, 설치, 운영 및 폐기 까지 생애주기의 모든 단계에서 고려되어야 한다.

따라서 신재생에너지 생산기술과 관련하여 유해·위험성을 정확하게 구분하여 효과적으로 관리하고 통제하는 것이 선행되어야 하지만 이러한 위험성 평가 방법 및 절차 수립과 더불어 산업현장에서의 위험성 평가 수행은 더욱더 쉽지 않다. 예를 들어 풍력발전의 경우 위험성 평가에 활용되는 터빈 고장을 등의 관련 데이터가 부족하여 효과적인 위험성 평가가 이루어지지 않고 있다. 따라서 신재생에너지 관련 기술·공법 등의 확장성에 따라 그에 대응하여 발현하는 위험성에 대한 상당한 불확실성이 존재할 수밖에 없다.

또한 다수의 신재생에너지 생산기술 적용에 있어 여전히 연구, 개발 및 실증실험 등이 진행 중이며 향후에도 장기간 지속될 것으로 예상된다. 예를 들어 전 세계적으로도 탄소 포집 및 저장(CCS) 기술은 아직까지는 범용적으로 사용되지 않고 있다. 이러한 잠재적 기술의 핵심은 발전소에서 발생하는 이산화탄소를 포집하여 압축·이송하여 안전하게 저장하기 위하여 지하의 지질구조에 주입하는 것이다. 이러한 상업적 규모의 CCS 프로젝트에서는 이전에 취급되지 않은 수준의 양과 농도의 이산화탄소 발생으로 독성 위험을 야기할 수

있다. 따라서 이산화탄소 영향으로 인한 발전소 무결성을 조사하고 이산화탄소의 누출 거동 형태를 이해하기 위해서는 여전히 많은 연구·개발 등의 수행 절차가 필요하다.

이제는 산업현장의 신재생에너지 관련 기술의 적용으로 인해 유사한 형태의 유해·위험성이 존재할 수밖에 없다. 이러한 새로운 에너지 프레임워크로 인해 새로운 형태의 사고 발생 위험성은 높아져 가고 있으며 특히, 제조업, 농업, 운송업 및 폐기물 관리업 분야에서 두드러지게 나타나고 있다. 또한 건설업 및 해양/항만산업에서 신재생에너지 인프라가 건설, 확정, 연결 및 유지됨에 따라서 관련 작업 증가로 인해 유해·위험성이 증가할 것으로 예상할 수 있다.

향후 예상되는 신재생에너지 관련 생산기술·에너지원 관련 사고예방을 위해 증거 기반의 위험성 평가를 수행하고자 다음과 같이 신재생에너지 관련 기술·에너지종류별로 구분하고 대응하는 유해·위험성을 정리하였다.

2) 신재생에너지원·기술별 위험특성에 따른 주요 유해·위험성

산업안전보건 측면의 신재생에너지 관련 주요 위험은 단일사고의 결과가 인해 사망자, 부상자 또는 재산·환경적 피해를 유발할 수 있는 것으로 정의한다. 그러나 이러한 사고는 발생현장을 포함하여 외부 지역까지 확대될 수 있기 때문에 사업장 내 근로자뿐만 아니라 일반 대중에게 까지 영향을 미칠 수 있다는 점도 고려해야 한다.

따라서 신재생에너지원·기술별 위험특성에 따른 주요 위험을 다음 <표 II-8>과 같이 정리하였다(HSE, 2010).

〈표 II-8〉 신재생에너지원·기술별 주요 유해·위험성

에너지원/기술	주요 유해·위험성
바이오가스, 바이오디젤 및 바이에탄올 생산	▪ 대규모 생산 공정·설비에서의 화재·폭발 ▪ 폭발위험장소에서의 전기기계기구 점화원에 의한 화재·폭발 ▪ 압력용기 폭발 ▪ 해당 가스 특성에 부합되지 않는 바이오가스 또는 혼합가스
탄소 포집 및 저장	▪ 다량의 이산화탄소의 압축, 운송 및 지하저장 과정에서 생성 ▪ 탄소포집 공정의 일부 탄소연소공정에서 중독성, 가연성 및 폭발성 물질(아민, 암모니아, 산소)의 생성 ▪ 고밀도(액체) 또는 초임계 상태에서의 이산화탄소 취급 ▪ 공정 무결성 상실 또는 가스에 기인하는 설비의 취성으로 인한 이산화탄소 누출
석탄: 석탄층에서의 메탄 추출	▪ 혼합, 이송, 저장 및 사용 단계에서의 표면에서 발생하는 가스 누출로 인한 화재·폭발 ▪ 화재·폭발과 연관성이 높은 위험성/위험
석탄: 석탄의 동시 연소 및 바이오매스	▪ 바이오매스의 대규모 저장 과정에서 동시 연소 ▪ 석탄과 바이오매스의 동시 채굴과정에서의 폭발 및 폭굉 ▪ 산화성가스 제거
석탄: 석탄가스화복합발전 (IGCC)	▪ 독성 및 가연성 물질(황산화수소 및 산소) 생성 ▪ 가스화 설비 및 압력용기의 파국적 고장
석탄: 초임계 석탄발전소	▪ 고온, 고압 보일러의 파국적 고장
석탄: 지하석탄 가스화	▪ 산소발생 장소에서의 화재·폭발 ▪ 표면에서의 혼합가스 누출로 인한 화재·폭발 ▪ 고온(최고 1,000℃) 연소
수소 발전, 분배, 저장 및 사용	▪ 이송, 저장 및 사용 단계에서의 화재·폭발
천연액화가스(LNG) 및 재가스화	▪ 이송, 저장 및 재가스화 단계에서의 화재·폭발
해상 재생 (풍력, 조력)	▪ 터빈/사이트 건설현장에서의 해상작업 플랫폼 붕괴
지하가스 저장	▪ 지하가스 이송 및 저장 중 화재·폭발

3) 신재생에너지원·기술별 산업보건 측면에서의 유해성

신재생에너지원·기술별 위험특성에 따른 산업보건 측면에서의 유해성을 다음 <표 II-9>와 같이 정리하였다(HSE, 2010).

<표 II-9> 신재생에너지원·기술별 주요 유해성

에너지원/기술	산업보건 위험성
바이오가스 또는 폐기물 연료의 최신 열처리	잠재적인 발암성 방향족 화합물, 중금속, 산성가스 및 황화수소 노출
바이오가스, 바이오디젤 및 바이오에탄올 생산	- 밀폐공간에서의 질식 - 발효과정에서 의 이산화탄소, 연료생산 및 공정청소에 사용되는 화학물질/유기용제, 미생물 공정에서 생성되는 휘발성 부산물 노출
바이오매스 연소	- 원료 저장 및 이송 중 발생하는 알데히드 및 일산화탄소로 인한 질식, 기능장애 - 분해된 바이오매스 연료 취급으로 인한 호흡기 알레르기 - 바이오매스 수입중 도크에서의 위험(밀폐공간에서 산소부족, 배출되는 유해 VOC, 먼지, 곰팡이, 내독소 등에 대한 노출)
탄소 포집 및 저장(CCS)	- 고농도 이산화탄소 노출로 인한 급성 및 만성 건강 위험(예: 호흡기, 심혈관 및 중추신계 문제) - 눈, 피부 및 호흡기에 자극을 일으킬 수 있는 화학물질 및 용제(아민, 메탄올 등)
석탄: 석탄과 바이오매스의 동시연소	- 미생물 및 금속 잔류물에 노출 - 바이오매스 수입중 도크에서의 위험(밀폐공간에서 산소부족, 배출되는 유해 VOC, 먼지, 곰팡이, 내독소 등에 대한 노출)
석탄: 석탄가스화복합발전(IGCC), 지하석탄 가스화, 초임계 석탄발전소	합성가스 또는 연료가스 처리중 또는 공장 유지보수 작업중 독성물질에 노출
수소 연료전지, 수소 저장 시스템, 배터리 및 초 저장시설	생산, 폐기 및 재활용 단계에서의 잠재적인 독성을 가진 나노물질에 노출
태양 에너지	태양광 패널 제조, 폐기 및 재활용 단계에서의 독성 화학물질 및 금속에 노출
풍력	풍력터빈 제조과정에서 에폭시 수지, 스티렌 및 기타 유해 화학물질/용매에 노출

4) 신재생에너지원·기술별 산업안전 측면에서의 위험성

신재생에너지원·기술별 위험특성에 따른 산업안전 측면에서의 위험성을 다음 <표 II-10>과 같이 정리하였다(HSE, 2010).

<표 II-10> 신재생에너지원·기술별 주요 위험성

에너지원/기술	산업안전 위험성
바이오가스, 바이오디젤 및 바이오에탄올 생산	바이오연료의 회분식 생산과정에서의 화재·폭발
탄소 포집 및 저장(CCS)	액화 이산화탄소와의 우발적 접촉으로 인한 심한 화상/동상
석탄: 석탄가스화복합발전 (IGCC), 지하석탄 가스화, 초임계 석탄발전소	고압 파이프 및 용기의 누출로 인한 화재·폭발
전기 인프라, 배전 및 연결	- 신규 전력원의 설치, 연결 및 유지보수 과정에서의 플래쉬 오버로 인한 화상, 떨어짐 및 감전 - 계통의 복잡화로 인한 활선작업으로 플래쉬 오버로 인한 화상, 감전 - 지붕에 설치된 초소형 풍력 터빈 또는 태양광 패널 설치, 연결 또는 유지보수 과정에서의 떨어짐 - 케이블 설치, 변전소 건설 및 기타 작업을 위한 건설 및 굴착과정에서의 위험
수소발전, 분산, 저장 및 사용	- 극저온 저장 시 화상 - 연료전지로부터의 전기적 위험
재생(풍력, 조류)	- 건설 및 유지보수 과정에서의 떨어짐, 감전 및 기타 사고 - 해상 터빈 장비의 부두 조립 및 적재: 터빈 부품의 부두 수입 - 북해 등의 환경이 열악한 조건에서의 양력선 이용 및 선원 작업
스마트 그리드	측정기의 설치, 유지보수 및 사용
태양광	- 지붕에서 판넬설치 작업중 고소에서 떨어짐 - 인력 운반·조립 등의 작업

5) 신재생에너지원·기술별 공공 유해·위험성

신재생에너지원·기술별 위험특성에 따른 공공 유해·위험성을 다음 <표 II-11>과 같이 정리하였다(HSE, 2010).

<표 II-11> 신재생에너지원·기술별 공공 유해·위험성

에너지원/기술	공공 유해·위험성
바이오디젤 생산	회분식 생산공정에서의 화재·폭발
바이오매스 연소	지역 또는 구역 난방 설비의 일부로 설치된 보일러 또는 다른 장비로부터의 화상 위험
전기 인프라, 배전 및 연결	지붕에서 초소형 풍력 터빈 또는 태양 판넬을 연결 시 떨어지거나 감전 위험
수소발전, 분산, 저장 및 사용	전기자동차에 사용되어지는 연료전지로부터의 전기적 위험
내륙 재생에너지 (풍력, 태양광)	- 극저온 저장 시 화상 - 연료전지로부터의 전기적 위험
재생(풍력, 조류)	- 학교, 병원 등에 설치된 풍력터빈에 발생하는 블레이드 떨어짐 또는 터빈 붕괴 - 지붕에서 초소형 풍력 터빈 또는 태양 판넬을 연결 시 떨어지거나 감전 위험
스마트그리드	해당 구역내 계량기 설치 불량으로 인한 전기적 위험

6) 신재생에너지원·기술별 유해·위험요인 파악 가이드

신재생에너지원·기술별 위험특성 분석결과를 토대로 다음 <표 II-12>와 같이 신재생 에너지원·기술별 유해·위험요인 파악을 가이드를 구성하였다(HSE, 2010).

〈표 II-12〉 신재생에너지원·기술별 유해·위험요인 파악 가이드

에너지 기술/ 에너지원	주요 위험성	산업안전보건										대중 위험성
		생화학적	밀폐공간	설비설치	굴착작업	전기관련	화재폭발	기계적	구조물 파괴	압력유지 실패	고소작업	
고급 석탄 및 탄소 저감												
석탄층 메탄	√			√	√		√		√			
석탄과 바이오가스 동시 정제	√	√	√				√					
복합주기 통합 가스화	√	√		√			√		√	√		
초임계 석탄발전	√	√		√					√	√		
지하석탄 가스화	√	√		√	√		√		√	√		
탄소 포집 및 저장	√	√	√	√	√		√			√	√	√
천연가스 저장 및 천연액화가스(LNG) 수입												
LNG 수입 및 재 가스화	√						√		√	√		√

〈표 II-12〉 계속

에너지 기술/ 에너지원	주요 위험성	산업안전보건										대중 위험성
		생화학적	밀폐공간	설비설치	굴착작업	전기관련	화재폭발	기계적	구조물 파괴	압력유지 실패	고소작업	
지하가스 저장(해상)	√				√		√			√		
지하가스(내륙)	√				√		√			√		

재생에너지

바이오디젤/바이오 에탄올 생산(대형)	√	√		√		√	√			√		
바이오가스 생산 (대형 규모)	√	√	√	√		√	√			√		
바이오가스 생산(중소규모)		√	√			√	√			√		
바이오매스(직접 또는 최신 열처리)		√	√	√		√	√			√		√
지열			√		√	√				√		

<표 II-12> 계속

에너지 기술/ 에너지원	주요 위험성	산업안전보건										대중 위험성
		생화학적	밀폐공간	설비설치	굴착작업	전기관련	화재폭발	기계적	구조물 파괴	압력유지 실패	고소작업	
태양열/태양광		√				√					√	
조류				√		√		√	√			
풍력(해양)		√	√	√		√	√	√	√		√	
풍력(내륙-중대형)		√	√	√		√		√	√		√	√
풍력(내륙-소규모)				√		√		√	√		√	
전력 및 에너지 인프라/변환												
대용량 배터리		√				√						
전기 인프라, 분산 및 연결(지역/지방)				√		√					√	√

〈표 II-12〉 계속

에너지 기술/ 에너지원	주요 위험성	산업안전보건										대중 위험성
		생화학적	밀폐공간	설비설치	굴착작업	전기관련	화재폭발	기계적	구조물 파괴	압력유지 실패	고소작업	
전기 인프라, 분산 및 연결(국가/국제 인프라)				√		√					√	√
연료전지		√				√						√
가스 분배 네트워크						√						√
비 재래형 에너지 저장 시스템						√		√	√			
스마트 그리드						√						√
수소												
수소 발전, 분산, 저장 및 사용	√	√				√	√			√		√

3. 시사점

신재생에너지 관련 생산기술 및 에너지원으로 인한 사고예방을 위해서는 관련 유해·위험요인을 정확하게 파악하고 구분하여 관리 및 통제하는 것이 중요하다. 그러나 위험성평가에 활용할 수 있는 고장 및 부품 신뢰성 등의 관련 데이터가 부족하여 효과적인 위험성평가가 이루어지지 못하고 있다. 또한, 현재 신재생에너지 생산기술 적용이 연구, 개발 및 실증 단계로 위험성평가를 위한 관련 데이터를 축적할 수 없다. 따라서 신재생에너지 관련 신기술·신공법의 확장성에 대응하여 발현되는 위험성에 대한 불확실성이 존재할 수밖에 없다.

따라서 본 장에서는 향후에 증거기반의 위험성평가를 수행하고자 신재생에너지원 및 관련 설비로 인한 사고예방을 위해 신재생에너지 관련 기술별·에너지원별로 구분하여 대응하는 유해·위험성을 정리하였다.

또한, 신재생에너지 관련 신기술·신공법의 확장성에 대응하여 발현되는 유해·위험성의 불확실성을 제거하기 위해서는, 현장 실태조사 및 이해관계자 인터뷰 등을 통해 신재생에너지 관련 신기술·신공법을 정확히 파악·확인하여 관련 유해·위험요인을 도출하고 발현 가능성을 예측하는 차별화된 위험성평가가 필요하다. 더불어 신재생에너지 관련 설계, 설치, 운용, 유지보수, 해체 등 생애주기별로 효과적인 위험성평가를 위한 고장 등의 관련 데이터 축적이 중요하며, 생애주기별로 책임 주체 및 권한 부여 등에 명확화가 필요하다.

현재, 국내의 신재생에너지 산업과 시장은 기술, 발전량 및 운용시간 등에 대한 상호 경쟁이 치열하여 발전단지별·사업장별 관련 기술, 정보 및 사고사례 등에 대한 공유가 없는 관계로 효과적인 위험성평가를 위한 고유의 데이터 축적에는 장기간 소요될 것으로 전망된다.

Ⅲ. 신재생에너지 기술 및 산업 현황

.....

Ⅲ. 신재생에너지 기술 및 산업 현황

1. 주요 신재생에너지 구분 및 특성(한국에너지공단, 2022)

1) 태양광

(1) 개요

태양광은 발전 시스템을 이용하여 빛 에너지를 모아 전기로 바꾸는 것으로 태양광 발전 시스템은 몸에 나쁜 공해를 만들지 않고, 연료도 필요 없으며 소리도 나지 않아 조용하며 쉽게 설치 할 수 있으며 오랫동안 사용 할 수 있다.

이러한 태양광 발전 시스템은 풍력발전, 디젤발전 등 타 에너지원에 의한 발전방식과 결합된 하이브리드 방식, 한전계통선이 들어오는 지역의 주택, 빌딩, 대규모 발전시스템에 사용되는 계통 연계형 및 등대, 중계소, 인공위성, 도서, 산간, 벽지 등에 사용되는 독립형 시스템으로 구분한다.

태양광 발전 시스템의 구성기기는 다음 <표 Ⅲ-1>과 같다.

〈표 Ⅲ-1〉 태양광 발전 시스템의 구성

구성기기	주요기능
태양전지	태양에너지가 입사되어 전류를 생성시키는 곳
접속함	모듈에서 발생된 직류(DC)전력을 모아 인버터로 전달하는 기기
인버터(Inverter)	태양전지에서 생산된 직류전기(DC)를 교류전기(AC)로 바꾸는 기기
축전지(Battery)	낮에 생산된 전기를 밤에 사용할 수 있도록 전기를 저장하는 기기
모니터링 시스템	시스템의 상태를 파악하고 고장 및 이상을 진단

(2) 발전원리

태양광 발전은 태양의 빛에너지를 변환시켜 전기를 생산하는 발전기술로 햇빛을 받으면 광전효과에 의해 전기를 발생하는 태양전지를 이용한 발전방식이다. 이러한 태양광 발전시스템은 태양전지(solar cell)로 구성된 모듈(module)과 축전지 및 전력변환장치로 구성된다.

가) 태양전지에 의한 발전원리

태양전지에 의한 발전원리를 다음 <표 III-2>와 같이 구분하여 정리하고, 다음 [그림 III-1]과 같이 나타내었다.

<표 III-2> 태양전지에 의한 발전원리

발전원리	주요내용
태양전지	- 태양에너지를 전기에너지로 변환할 목적으로 제작된 광전지로서 금속과 반도체의 접촉면 또는 반도체의 pn접합에 빛을 조사(照射)하면 광전효과에 의해 광기전력이 일어나는 것을 이용한 것 - 금속과 반도체의 접촉을 이용한 것으로는 셀렌광전지, 아황산구리 광전지가 있고, 반도체 pn접합을 사용한 것으로는 태양전지로 이용되고 있는 실리콘광전지가 있음
PN접합	- 태양전지는 반도체기술의 발달과 반도체 특성에 의해 자연스럽게 개발되었으며 대표적으로 실리콘 태양전지가 있음 - 태양전지는 전기적 성질이 다른 N(negative)형의 반도체와 P(positive)형의 반도체를 접합시킨 구조를 하고 있으며 이들 반도체의 경계 부분을 PN접합(PN-junction)이라 일컬음 - 이러한 태양전지에 태양빛이 닿으면 태양빛은 태양전지 속으로 흡수되며, 흡수된 태양빛이 가지고 있는 에너지에 의해 반도체내에서 (+)와 (-)의 전기를 갖는 입자(정공(正孔:hole), 전자(電子:electron))가 발생하여 각각 자유롭게 태양전지 속을 움직이지만, 전자(-)는 N형 반도체 쪽으로, 정공(+)은 P형 반도체 쪽으로 모이게 되어 전위가 발생하게 된다. 이 때문에 앞면과 뒷면을 붙여 만든 전극에 전구, 모터와 같은 부하를 연결하게 되면 전류가 흐르게 되는데 이것이 태양전지의 PN접합에 의한 태양광발전의 원리이다.



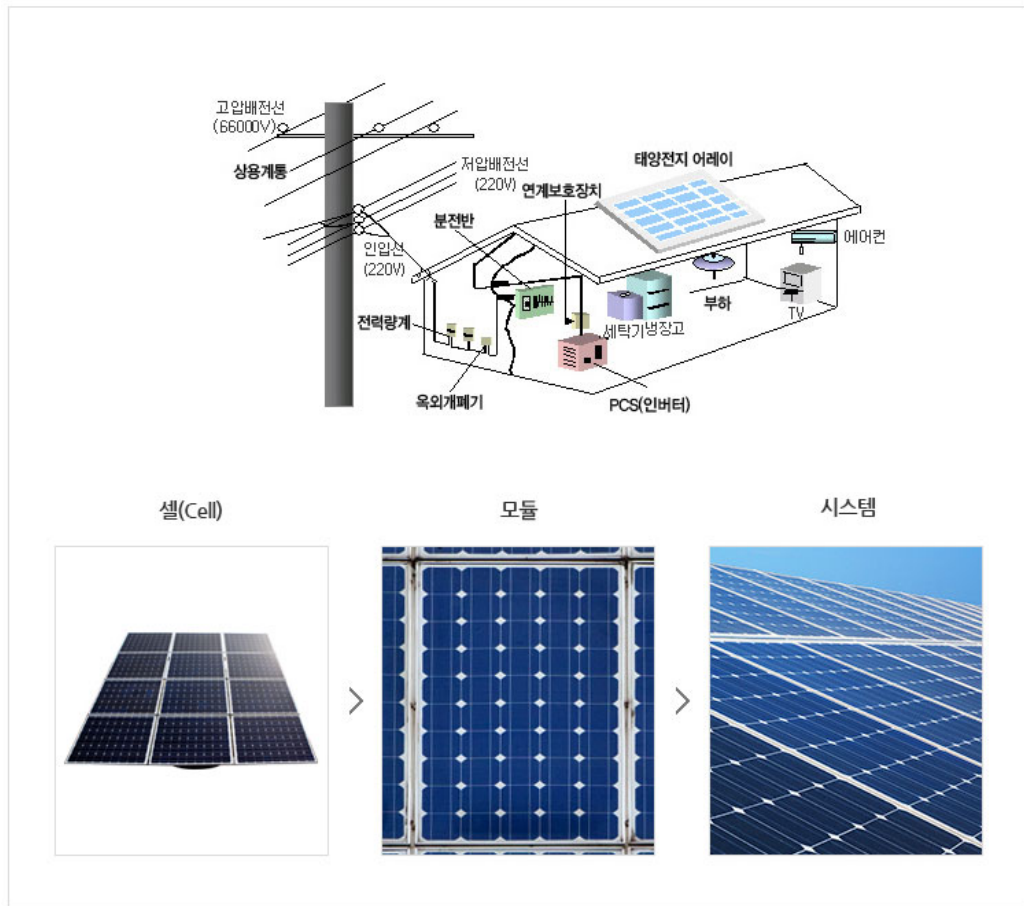
[그림 Ⅲ-1] 태양전지에 의한 발전원리

나) 태양광의 특징 및 시스템 구성도

태양광의 특징을 다음 <표 Ⅲ-3>과 같이 구분하여 정리하고, 태양광 시스템 구성도를 다음 [그림 Ⅲ-2]와 같이 나타내었다.

<표 Ⅲ-3> 태양광의 특징

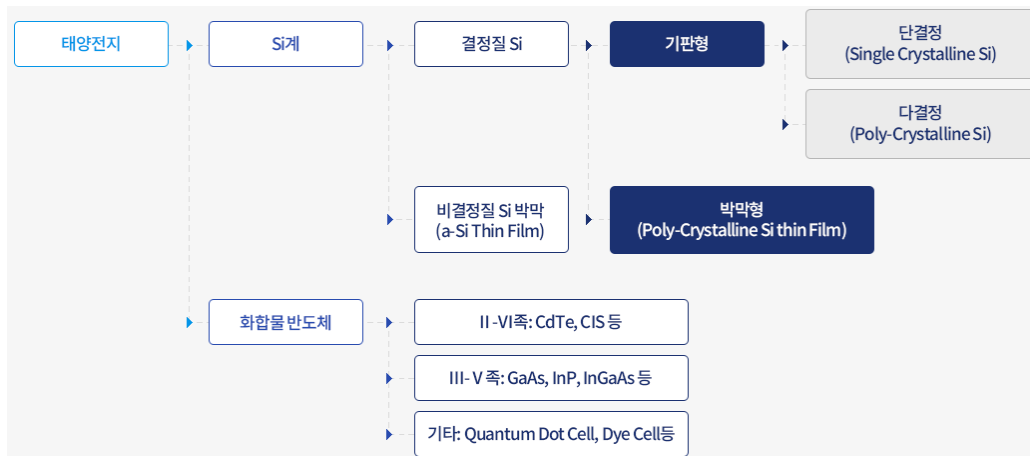
단점	장점
- 전력생산량이 지역별 일사량에 의존 - 에너지밀도가 낮아 큰 설치면적 필요 - 설치장소가 한정적, 시스템 비용이 고가 - 초기투자비와 발전단가 높음	- 에너지원이 청정·무제한 - 필요한 장소에서 필요한 발전량 가능 - 유지보수가 용이하며, 무인화 가능 20년 이상의 긴 수명



[그림 III-2] 태양광 시스템 구성도

다) 태양광발전 기술의 분류

태양광발전 기술은 태양전지(solar cell, solar battery)의 재료에 따라 결정질 실리콘, 비정질실리콘, 화합물반도체 등으로 다음 [그림 III-3]과 같이 분류한다.



[그림 Ⅲ-3] 태양광 발전 기술의 분류

2) 풍력

(1) 개요

풍력 발전은 바람이 가진 운동에너지를 변환하여 전기 에너지를 생산하는 발전시스템으로, 다음 [그림 III-4]와 같이 육상에 설치된 풍력발전기를 육상 풍력 발전기, 해상에 설치된 풍력발전기를 해상풍력 발전기라고 분류하며, 여기서 해상풍력 발전기는 설치 형식에 따라 고정식과 부유식으로 분류된다.



[그림 III-4] 풍력 발전의 분류

풍력발전시스템에서 육상풍력발전의 경우 프로펠러형(수평축), 다리우스형(수직축), Geared형, Gearless형으로, 고정식 해상풍력발전의 경우 모노파일형, 트라이포드형, 자켓형, 버킷형으로, 부유식 해상풍력발전의 경우 반잠수형, 스파형, 인장계류형으로 각각 분류한다.

(2) 발전원리

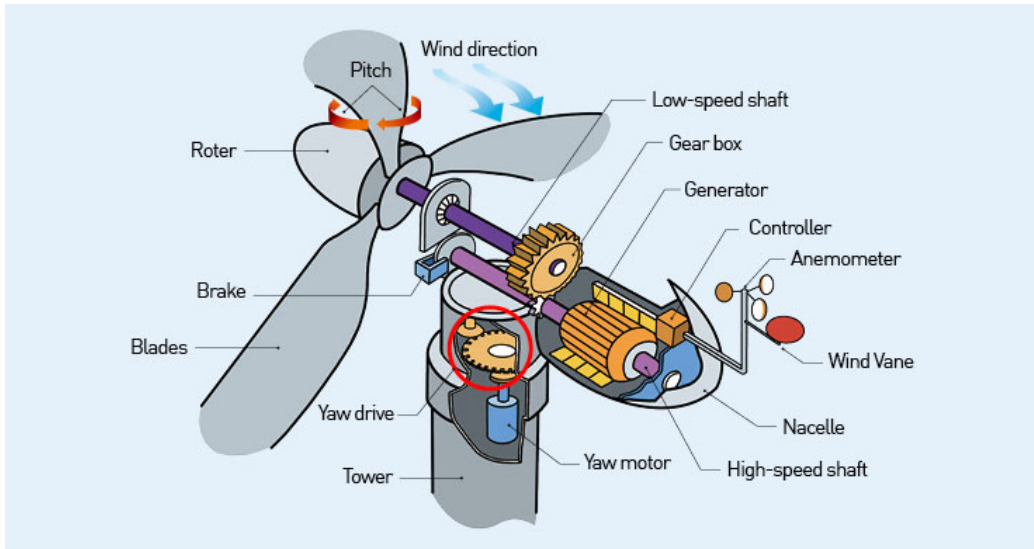
풍력발전의 원리는 다음 [그림 III-5]와 같이 블레이드가 바람을 받아 회전할 때 회전 운동 에너지가 만들어 지는데, 이때, 증속기는 기어를 이용해 초기의 저속 회전을 발전용 고속 회전으로 전환하여 회전 운동 에너지를 증폭시키고, 증폭된 회전 운동 에너지는 발전기를 거쳐 전기에너지로 변환된다. 이렇게 변환된 전기에너지는 변전소를 거쳐 소비자에게 공급되게 된다.



[그림 III-5] 풍력발전 시스템 구성도

가) 풍력발전 터빈의 구성

풍력발전 터빈의 구성과 구성품별 주요기능은 다음 [그림 III-6] 및 <표 III-4>와 같다.



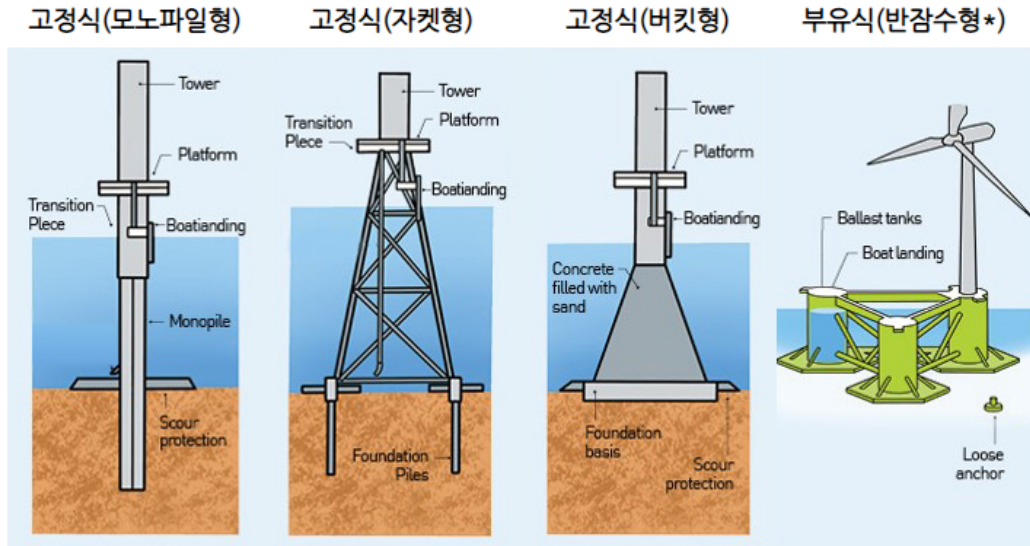
[그림 III-6] 풍력발전 터빈 구성도

〈표 III-4〉 풍력발전 터빈 구성품별 주요기능

구성품	주요기능
블레이드(Blade)	바람의 운동에너지를 회전운동에너지로 변환하는 설비
축(Shaft)	블레이드의 회전력을 증속기와 발전기에 전달하는 설비
증속기(Gear Box)	주축의 저속회전을 발전용 고속회전으로 전환하는 설비
발전기(Generator)	증속기로부터 전달받은 회전력을 전기에너지로 변환하는 설비
나셀(Nacelle)	터빈 내부 구성품을 수용하기 위한 설비
요잉 시스템 (Yaw Drive, Motor)	블레이드를 바람의 방향에 맞추기 위해 나셀을 회전시키는 설비
피치시스템(Pitch)	풍속에 따라 블레이드 각도를 조절하는 설비
브레이크(Brake)	터빈의 제동을 위한 설비
컨트롤러(Controller)	무인 운전을 설정하고, 운영하기 위한 설비
타워(Tower)	풍력발전기 터빈을 지지해주는 구조물

나) 해상풍력발전 하부구조물의 구성

해상풍력발전 하부구조물의 구성과 구성품별 주요기능은 다음 [그림 Ⅲ-7] 및 <표 Ⅲ-5>와 같다.



[그림 Ⅲ-7] 해상풍력발전 하부구조물의 구성도

<표 Ⅲ-5> 해상풍력발전 하부구조물 구성품별 주요기능

구성품	주요기능
트랜지션 피스 (Transition Piece)	타워와 하부구조물을 연결하고 지지하는 역할을 담당하는 설비
선착장 (Boat Landing)	풍력발전기의 유지, 보수 및 관리를 위한 설비
세굴방지 설비 (Scour protection)	파랑에 의하여 바닥이 침식되는 세굴현상을 방지하기 위한 설비
밸러스트 탱크 (Ballast Tank)	Ballast Water(평형수)를 담아 부력을 활용해 부유체의 복원력을 확보하는 설비
계류선 (Mooring Line)	부유체를 일정 위치에 유지시키는 기능을 수행하는 설비
앵커 (Loose Anchor)	계류선을 지지하기 위한 설비

2. 신재생에너지 보급 및 사용 현황

1) OECD 주요 국가의 재생가능 에너지 비율(국가지표체계, 2022)

우리나라에서는 신재생에너지이라는 개념을 사용하고 있지만, 국제적으로는 재생에너지라는 개념으로 통용되고 있다. OECD에서 사용하는 재생에너지는 태양, 바람, 물, 생물유기체, 해양에너지와 생분해가 가능한 폐기물에너지가 포함되는데, 즉 재생 가능하면서 친환경적인 에너지로 정의된다.

그러나 우리나라의 신재생에너지 분류기준에는 국제기준의 재생에너지 분류기준에 부합되지 않는 것들도 포함되어 있다. 예를 들어, 석탄액화 및 가스화 에너지와 화석연료 기반의 폐기물 에너지는 재생 가능하지도 않고 친환경적이지도 않다. 그리고 수소의 경우에는 생산에 에너지가 투입되기 때문에 에너지라기보다는 에너지 전달자로, 연료전지는 에너지가 아니라 에너지를 사용하는 기기로 구분될 수 있다.

국제기준의 재생가능 에너지는 총 1차 에너지 공급에 대한 재생 가능한 에너지의 기여도로 정의할 수 있다. 이러한 재생가능 에너지는 수력(양수 저장 제외), 지열, 태양열, 풍력, 조력 및 파력에 해당하는 1차 에너지가 포함되며, 고체 바이오 연료, 바이오 가솔린, 바이오 디젤, 기타 액체 바이오 연료, 바이오 가스 및 생활 폐기물의 재생 가능한 부분에서 파생된 에너지도 포함된다.

국제기준에 따라서 다음 <표 III-6>과 같이 OECD 주요 국가들의 1차 에너지 대비 재생에너지 비율을 비교하면, 2020년 기준 한국은 2.3%로 이탈리아 19.4%, 독일 16.4%, 영국 13.9%, 프랑스 11.8%, 미국 8.5%, 호주 8.5%, 일본 6.8% 등 다른 선진국들과는 현저한 차이를 보이고 있다(OECD, 2022).

<표 III-6> OECD 주요 국가의 재생가능에너지 비율

년도	한국	일본	호주	미국	영국	프랑스	독일	이탈리아
1990	1.1	3.3	5.9	5.0	0.5	6.8	1.5	4.4
1991	0.6	3.5	6.1	5.1	0.5	7.2	1.5	5.0
1992	0.5	3.1	5.5	5.3	0.6	7.7	1.6	5.3
1993	0.5	3.3	6.0	5.0	0.6	7.2	1.6	5.4
1994	0.3	2.7	5.9	4.9	0.8	7.6	1.7	5.6
1995	0.3	3.1	6.0	5.1	0.8	7.2	1.8	4.9
1996	0.4	3.0	6.2	5.2	0.8	6.9	1.8	5.3
1997	0.4	3.2	6.3	5.0	0.9	6.7	2.1	5.4
1998	0.5	3.2	6.0	4.9	0.9	6.4	2.2	5.5
1999	0.4	3.1	5.9	4.7	1.0	6.6	2.4	5.8
2000	0.4	3.0	5.9	4.5	1.0	6.3	2.7	5.9
2001	0.4	2.9	6.1	4.0	1.0	6.4	2.8	6.0
2002	0.4	3.1	6.2	4.1	1.1	5.8	3.2	6.3
2003	0.5	3.4	6.0	4.3	1.2	5.8	4.1	7.1
2004	0.5	3.3	5.8	4.4	1.5	5.8	4.7	7.1
2005	0.5	3.2	5.7	4.5	1.8	5.8	5.5	7.6
2006	0.6	3.4	5.6	4.8	1.9	5.7	6.5	8.3
2007	0.6	3.4	5.7	4.7	2.1	6.3	7.9	9.2
2008	0.6	3.4	5.6	5.1	2.8	7.0	8.1	10.8
2009	0.7	3.5	4.4	5.4	3.3	7.4	8.7	12.4
2010	0.7	3.7	5.3	5.7	3.6	8.0	9.3	12.6
2011	0.7	4.0	5.4	6.2	4.3	7.0	10.2	12.5
2012	0.9	3.9	5.5	6.4	4.5	8.2	11.4	14.8
2013	1.0	4.2	6.0	6.8	5.6	9.1	11.5	17.0
2014	1.5	4.6	6.2	6.9	6.9	8.8	11.9	18.1
2015	1.5	5.1	6.3	6.8	8.1	8.9	12.6	17.2
2016	1.5	5.0	6.6	7.2	8.6	9.7	12.5	17.2
2017	1.7	5.4	7.0	7.5	9.7	9.6	13.3	17.1
2018	1.9	5.7	7.0	7.8	10.9	10.4	14.0	17.7
2019	2.0	6.3	7.3	7.9	12.2	10.6	15.0	18.1
2020	2.3	6.8	8.5	8.5	13.9	11.8	16.4	19.4

2) 우리나라의 신재생에너지 발전량과 발전비율(국가지표체계, 2022)

우리나라의 신재생에너지 발전량과 발전비율을 다음 <표 III-7>과 같이 정리하였다.

재생에너지에 대한 국제적인 정의 및 분류기준은 없으며, 통계기준도 국가마다 다르다. 다만, 우리나라에서는 관련 법률에 따라서 기존의 화석연료를 변환시켜 이용하거나 태양, 물, 지열 등 재생 가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 에너지로 정의하고 있다. 신재생에너지는 신에너지로 분류되는 「수소에너지, 연료전지, 석탄가스화에너지, 중질잔사유가스화에너지」와 재생에너지로 분류되는 「태양에너지, 풍력, 바이오에너지, 폐기물에너지, 지열, 수력, 해양에너지」 등 총 11가지가 있다.

우리나라의 총발전량 대비 신재생에너지발전량 비중은 2001년 0.04%에 불과하였으나 2003년에는 1.56%까지 증가하였다가 2010년까지는 감소추세를 보였다. 이러한 상승추세는 신재생에너지 발전량의 실질적 증가라기보다는 2003년부터 수력을 신재생에너지 통계로 분류·집계하였기 때문이다. 그럼에도 불구하고 신재생에너지 발전설비 용량은 점진적으로 증가세를 보이고 있으며, 2002년에 도입한 발전차액보전제도와 2012년부터 새롭게 대체 도입한 신재생에너지의무할당제(RPS)의 시행으로 신재생에너지 발전설비 용량이 증가하였다. 신재생에너지 발전설비 용량 증가와 함께 발전량도 증가하였지만 총발전량이 지속적으로 증가함에 따라서 그 비중은 크게 증가하지 않았다. 다만 발전차액보전제도 시행 마지막해인 2011년에는 신재생에너지 발전설비 설치가 급격히 증가하였으며, 이후 2012년에는 RPS 도입으로 발전회사들이 자사의 생산 전력 일부를 신재생에너지 생산해야 함에 따라서 신재생에너지 이용이 확대되었다. 따라서 신재생에너지 발전 비중이 2011년에 3%를 넘게 되었고 2018년에는 9.03%까지 이르게 되었다.

<표 III-7> 신재생에너지 발전량과 발전비율

년도	총발전량 ¹⁾ (GWh)	신·재생에너지 발전량(GWh)	신·재생에너지 발전비율 ²⁾ (%)
2001	285,224	103	0.04
2002	306,474	203	0.07
2003	322,452	5,035	1.56
2004	342,148	4,534	1.33
2005	364,639	3,950	1.08
2006	381,181	3,899	1.02
2007	426,647	4,395	1.03
2008	422,355	4,227	1.00
2009	433,604	4,618	1.07
2010	474,661	5,890	1.24
2011	501,533	17,351	3.46
2012	532,214	19,522	3.67
2013	543,161	21,500	3.96
2014	546,387	27,020	4.95
2015	561,224	37,329	6.65
2016	562,219	41,049	7.30
2017	578,013	47,305	8.18
2018	594,586	53,665	9.03
2019	589,148	52,289	8.88
2020	579,937	43,062	7.43

1) 총발전량은 양수발전을 포함하고, 신재생에너지 발전량은 사업자용, 사용자가용, 신재생 소규모자가용 함께 수치임

2) 신재생에너지발전비율=(신재생에너지발전량÷총발전량)×100

3) 우리나라의 신재생에너지 생산량

우리나라의 신재생에너지 생산량 현황을 다음 <표 Ⅲ-8>과 같이 정리하였다(e-나라지표, 2022). 다만, 2019년부터는 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 개정('19.10.1)에 따라 비재생 폐기물은 제외되었다.

<표 Ⅲ-8> 신재생에너지 생산량 현황

(단위 : 천toe)

구분	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년
생산량	8,856	9,893	11,569	13,350	14,268	16,604	18,054	10,583	12,361
생산비중	3.2%	3.5%	4.1%	4.7%	4.9%	5.5%	5.9%	3.5%	4.2%
태양열	26.3	27.8	28.5	28.5	28.5	28.1	27.4	26.9	26.4
태양광	243.0	358.7	579.1	907.0	1,183.3	1,672.4	2,194.0	3,055.2	4,156.0
풍력	192.7	242.4	241.8	283.5	355.3	462.2	525.2	570.8	671.1
수력	814.9	892.2	581.2	453.8	603.2	600.7	718.8	594.5	826.3
바이오	1,334.7	1,558.5	2,822.0	2,765.7	2,765.5	3,598.8	4,442.4	4,162.4	3,899.2
폐기물	5,998.5	6,502.4	6,904.7	8,436.2	8,742.7	9,359.0	9,084.2	-	-
재생 폐기물	-	-	-	-	-	-	-	1,119.8	1,166.0
해양	98.3	102.1	103.8	104.7	104.6	104.3	103.4	101.0	97.4
지열	65.3	87.0	108.5	135.0	162.0	183.9	205.5	224.7	241.0
수열	0.0	0.0	0.0	4.8	6.0	7.9	14.7	21.2	21.3
연료전지	82.5	122.4	199.4	230.2	241.6	313.3	376.3	487.2	750.8
IGCC	0.0	0.0	0.0	1.3	76.1	273.9	362.5	219.7	506.4

3. 신재생에너지 발전설비 설치 현황

1) 태양광

전국 태양광 발전소 설치 현황을 지역별·연도별로 구분하여 다음 <표 III-9>와 같이 정리하였다.

<표 III-9> 전국 태양광 발전소 설치 현황

(단위 : Kw)

구분	~2018년	2019년	2020년	2021년	누적
계	35,508	18,612	24,391	25,632	104,143
서울특별시	319	74	53	59	505
부산광역시	239	94	102	92	527
대구광역시	210	177	157	204	748
인천광역시	298	165	118	61	642
광주광역시	676	240	198	221	1,335
대전광역시	200	71	77	85	433
울산광역시	114	71	95	88	368
세종특별자치시	150	81	57	56	344
경기도	2,845	1,867	1,728	1,786	8,226
강원도	2,369	1,348	1,601	1,645	6,963
충청북도	2,194	1,621	2,039	1,848	7,702
충청남도	4,054	2,577	3,520	3,995	14,146
전라북도	9,206	3,896	5,876	5,172	24,150
전라남도	6,221	2,421	3,843	3,286	15,771
경상북도	3,597	2,197	3,058	4,968	13,820
경상남도	2,208	1,452	1,565	1,704	6,929
제주특별자치시도	608	260	304	362	1,534

* 에너지공단 재생에너지 클라우드 플랫폼 참조

전국 태양광 발전소 설치 현황을 토대로 연도별 누적 설비용량 현황 및 지역별 누적 설비용량 현황을 다음 <표 Ⅲ-10>과 같이 정리하였다.

<표 Ⅲ-10> 전국 발전소 설비용량 현황

년도	누적 설비용량(MW)	지역별	누적 설비용량(MW)
2010	21.07	서울	46
2011	60.2	부산	148
2012	244.8	대구	112
2013	635.35	인천	98
2014	1,509.82	광주	230
2015	2,499.34	대전	40
2016	3,307.47	울산	76
2017	4,474.37	세종	57
2018	6,886.57	경기	1,169
2019	10,114	강원	1,464
2020	14,560.99	충북	1,071
2021	18,659.26	충남	2,431
2022	20,487.34	전북	3,648
-	-	전남	4,087
-	-	경북	2,547
-	-	경남	1,319
-	-	제주	514

* 에너지공단 재생에너지 클라우드 플랫폼 참조

전국 태양광 발전소 설치 현황을 토대로 연도별 누적 발전량 현황 및 지역별 누적 발전량 현황을 다음 <표 III-11>과 같이 정리하였다.

<표 III-11> 전국 발전소 발전량 현황

년도	누적 발전량(MWh)	지역별	누적 발전량(MWh)
2012	194,255	서울	232,972
2013	1,210,720	부산	687,336
2014	4,065,888	대구	387,479
2015	9,569,112	인천	375,541
2016	17,182,661	광주	837,086
2017	28,161,650	대전	155,022
2018	43,155,160	울산	195,240
2019	65,236,864	세종	224,742
2020	96,697,141	경기	2,768,137
2021	117,425,941	강원	3,489,000
-		충북	2,462,795
-	-	충남	6,310,736
-	-	전북	9,022,905
-	-	전남	10,918,068
-	-	경북	5,529,486
-	-	경남	3,562,221
-	-	제주	1,189,795

* 에너지공단 재생에너지 클라우드플랫폼 참조

2) 풍력

전국 풍력 관련 생산량, 발전량 및 보급용량 현황을 2020년 기준 지역별·연도별로 구분하여 다음 <표 III-12>와 같이 정리하였다(국가통계포털, 2022).

<표 III-12> 전국 지역별 풍력 생산량, 발전량 및 보급용량 현황

구분	생산량 (toe)	발전량 (MWh)	보급용량 (kW)
계	671,072	3,149,798	1,645,305
서울특별시	319	74	53
부산광역시	239	94	102
대구광역시	210	177	157
인천광역시	298	165	118
광주광역시	676	240	198
대전광역시	200	71	77
울산광역시	114	71	95
세종특별자치시	150	81	57
경기도	2,845	1,867	1,728
강원도	2,369	1,348	1,601
충청북도	2,194	1,621	2,039
충청남도	4,054	2,577	3,520
전라북도	9,206	3,896	5,876
전라남도	6,221	2,421	3,843
경상북도	3,597	2,197	3,058
경상남도	2,208	1,452	1,565
제주특별자치시도	608	260	304

2020년 기준 지역별 누적 보급용량을 용도별로 다음 <표 Ⅲ-13>과 같이 정리하였다(국가통계포털, 2022).

<표 Ⅲ-13> 전국 지역별·용도별 풍력 보급용량 현황

(단위 : Kw)

구분	가정용	공공시설	교육시설	사회복지 시설	산업시설	상업시설	발전 사업용	기타
계	1,053	4,275	62	40	330	66	1,632,055	7,425
서울특별시	1							100
부산광역시	5	46	3				758	
대구광역시		6			7			
인천광역시		34			20	1	49,000	
광주광역시			1					
대전광역시								200
울산광역시		5		1			1,650	1
세종특별자치시								
경기도	2	10	1		10	1	5,326	2
강원도	2	198	1		11	13	407,250	836
충청북도	3		1		4			
충청남도	10	10		20		3	2,000	
전라북도		3,007	1		6	1	79,800	3
전라남도	482	785	19	20	21	20	328,075	222
경상북도	1	15	34		239	2	419,000	100
경상남도	24	9			13	20	46,006	762
제주특별자치시도	518	154			3	1	293,190	5,160

2020년 기준 지역별 누적 보급용량을 단계별로 다음 <표 III-14>와 같이 정리하였다(국가통계포털, 2022).

〈표 III-14〉 전국 지역별·단계별 풍력 누적 보급용량 현황

(단위 : Kw)

구분	1 이하	1~3	3~10	10~ 50	50~ 100	100~ 500	500~ 1,000	1,000~ 5,000	5,000~ 10,000	10,000~ 20,000	20,000 초과
계	32	166	211	652	735	1,295	5,160	136,480	51,600	600,225	848,750
서울	1				100						
부산		15	8	39			750				
대구	1		12								
인천	2			93				3,000			46,000
광주	1										
대전					200						
울산	2	5						1,650			
세종											
경기	2	4	20	21	55			5,250			
강원	4	3	36	188	80		750	40,450	5,100	165,800	195,900
충북	1	3	4								
충남	1	12	10	20				2,000			
전북	3	3	12					14,900	7,900		60,000
전남	4	49	22	174		570	750	23,650	9,000	187,625	107,800
경북	6	4	24	32	100	225		3,500	14,100	106,350	295,050
경남	2	35	27	20			1,500	5,000	7,500	32,750	
제주	2	33	36	65	200	500	1,410	37,080	8,000	107,700	144,000

4. 신재생에너지 산업 규모(에너지공단, 2022)

1) 신재생에너지 산업 일반현황

신재생에너지 산업의 국내 보급으로 인한 효과가 제조업에서만 아니라 전후방 산업으로 확산되고 있으며, 2020년도 기준 매출액 25.5조원, 종사자 11.9천명, 투자액 7.7조원의 대규모 산업으로 성장하고 있다. 신재생에너지 산업의 세부 현황은 다음 <표 Ⅲ-15>와 같다.

<표 Ⅲ-15> 신재생에너지 산업 일반현황

구분	업체수 (개소)	비중(%)	종사자수 (명)	비중(%)	매출액 (억원)	비중(%)	투자액 (억원)	비중(%)
전산업	81,097	100	118,508	100%	254,370	100%	76,845	100%
제조업	499	0.6	12,759	10.8	107,369	42.2	3,180	3.9
건설업	2,169	2.6	17,617	14.9	71,886	28.2	995	1.2
서비스업	963	1.2	5,322	4.5	12,779	5.0	210	0.3
발전·열공급업	78,276	95.6	82,810	69.9	62,696	24.6	72,460	94.6

* 2020년 신재생에너지 산업통계 조사결과

매출액은 제조업에서 비중이 42.2%로 가장 크며, 건설업 28.2%, 발전열공급업 24.6% 및 서비스 5.0% 순이다. 또한 종사자수는 발전열공급업이 69.9%로 가장 크며, 건설업 14.9%, 제조업 10.8% 및 서비스업 4.5% 순이다.

다음은 제조업, 건설업, 발전 및 열공급업, 서비스업 등 산업별로 업체수, 종사자수, 매출액 및 투자액을 각각 정리하였다.

2) 제조업

신재생에너지 산업의 제조업 세부 현황은 다음 <표 III-16>과 같다.

<표 III-16> 신재생에너지 관련 제조업 규모

구분	업체수 (개소)	종사자수 (명)	매출액 (억원)				투자액 (억원)
				내수	수출	해외 공장	
2019	334	12,662	106,133	45,705	33,941	26,487	2,400
2020	499	12,759	107,369	49,007	26,487	31,875	3,180
증감율	49.4%	0.8%	1.2%	7.2%	△22.0%	20.3%	32.5%

* 2020년 신재생에너지 산업통계 조사결과

제조업에서의 매출액은 풍력, 연료전지 및 바이오 분야의 성장을 토대로 전년대비 증가하였으며, 국내시장의 증가세 유지와 해외 현지공장 가동 확대로 인해 내수와 해외 현지공장의 매출이 전년대비 증가하였으며 수출은 상대적으로 감소하였다.

3) 건설업

신재생에너지 산업의 제조업 세부 현황은 다음 <표 III-17>과 같다.

<표 III-17> 신재생에너지 관련 건설업 규모

구분	업체수(개소)	종사자수(명)	매출액(억원)	투자액(억원)
발전설비	2,084	17,099	70,390	972
태양광	2,028	16,058	57,653	930
풍력	7	158	3,275	25
수력해양	4	46	49	-
바이오·폐기물	9	285	1,350	-
연료전지	36	552	8,063	17
열 생산설비	85	518	1,496	23
합계	2,169	17,617	71,886	995

* 2020년 신재생에너지 산업통계 조사결과

4) 발전 및 열공급업

신재생에너지 산업의 발전 및 열 공급업 세부 현황은 다음 <표 III-18>과 같다.

<표 III-18> 신재생에너지 관련 발전 및 열공급업 규모

구분	업체수 (개소)	종사자수 (명)	매출액 (억원)			투자액 (억원)
				국내	해외	
발전업	78,172	82,135	60,456	57,689	2,767	72,013
태양광	77,737	78,734	32,479	31,558	921	58,625
풍력	93	375	5,152	4,191	961	4,096
수력	124	715	3,003	2,118	885	784
해양	2	70	307	307	-	-
바이오	105	1,135	10,479	10,479	-	1,656
폐기물	47	648	1,443	1,443	-	253
연료전지	63	289	6,007	6,007	-	6,600
기타	1	169	1,586	1,586	-	-
열 공급업	104	675	2,240	2,240	-	447
합계	78,276	82,810	62,696	59,929	2,767	72,460

* 2020년 신재생에너지 산업통계 조사결과

발전 및 열공급업의 경우 누적 및 신규 설치 설비가 가장 많은 태양광 발전업이 큰 비중을 차지하고 있으며, 특히 태양광 특성상 소규모 발전 사업자가 많은 관계로 업체수와 종사자수가 각각 99.3%, 95.1%를 각각 차지하고 있다.

5) 서비스업

신재생에너지 산업의 서비스업 세부 현황은 다음 <표 III-19>와 같다.

<표 III-19> 신재생에너지 관련 서비스업 규모

구분	업체수 (개소)	종사자수 (명)	매출액 (억원)			투자액 (억원)
				국내	해외	
발전 관련 엔지니어링	396	2,280	5,872	3,467	2,405	186
생산설비 유지보수	353	2,090	3,563	3,546	16	18
기타 서비스업 (연구개발, 교육 등)	214	952	3,344	3,323	22	6
합계	963	5,332	12,779	10,336	2,443	210

* 2020년 신재생에너지 산업통계 조사결과

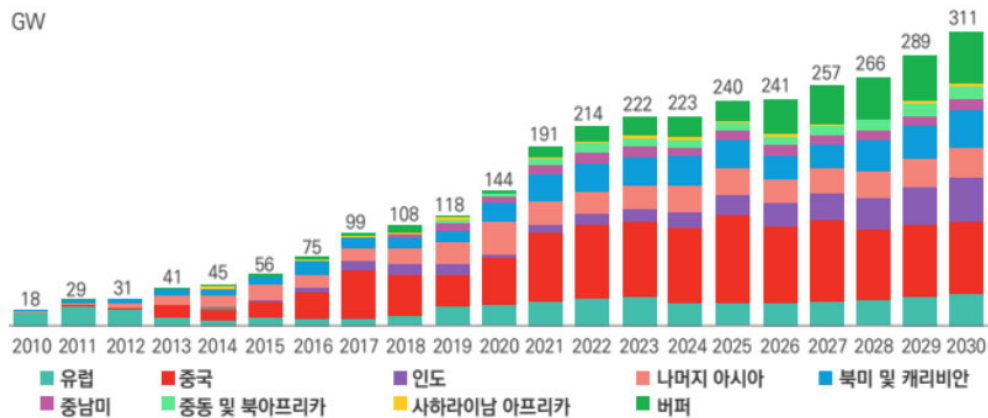
서비스업의 매출액은 약 1.3조원, 종사자수는 약 5천여명 규모로, 구성은 발전 관련 엔지니어링 및 생산설비 유지보수 서비스가 중심이다.

5. 신재생에너지 산업 동향

1) 태양광

(1) 보급전망(공지영 등, 2021)

BNEF(BloombergNEF)에서는 2030년까지 태양광 시장 전망을 낙관적, 중간, 보수적 시나리오를 각각 제시하고 있는데, 중간 시나리오 기준으로는 지속적으로 시장은 확대되어 2030년에는 다음 [그림 III-8]과 같이 신규 태양광 발전설비 용량이 300GW가 넘을 것으로 예상하고 있다.



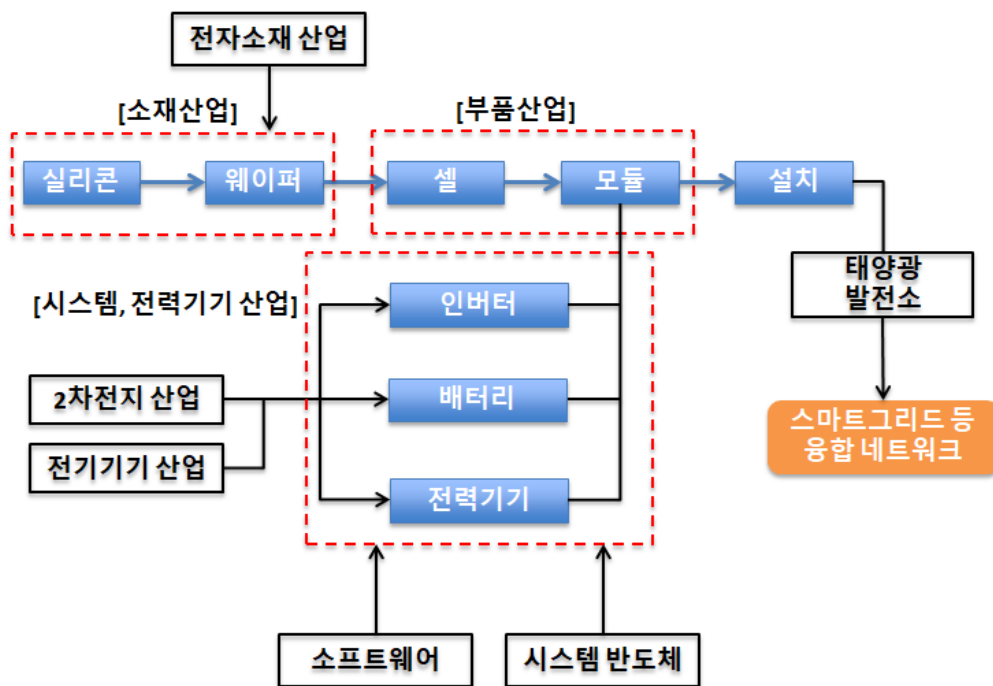
[그림 III-8] 태양광 보급 전망(중간 시나리오)

* 에너지경제연구원, BNEF(2021e), p.2

(2) 생태계 구조(연구개발특구개발진흥재단, 2021)

태양광 발전 산업 생태계 구조는 다음 [그림 III-9]와 같이 전자소재 산업, 시스템 및 전력기기 산업과 태양광 발전소로 구분할 수 있다.

태양광 발전 시스템은 주원료인 실리콘을 사용하여 제조한 웨이퍼를 가공하여 태양전지를 만들어 조합하여 모듈을 구성하게 되며, 추가적으로 상용전력을 이용하기 위해 직류를 교류로 변환시켜주는 인버터(Inverter)와 일조량에 따른 발전량의 불안정을 보완하기 위해 전력저장장치(ESS)와 시스템을 지원하는 기타 전력기기로 구성된다. 부가적으로는 태양광 발전 시스템을 운용하기 위한 소프트웨어, 시스템반도체 등의 관련 산업으로 구성되며, 최종적으로는 스마트그리드(Smart Grid) 등과 연계되어 전력 공급망에 접속된다.



[그림 III-9] 태양광 산업 생태계 구조

(3) 가치사슬 분류(김기봉 등, 2018)

「2016 국가 특허전략 청사진 구축사업」 내 태양전지 분야 분류체계를 기반으로 하고, 실리콘 태양전지로 범위를 한정하여 이에 해당하는 기술체계를 다음 <표 III-20>과 같이 분류한다.

가치사슬 기술 분류 체계는 주로 「부품소재 및 장비」, 「태양전지(셀) 및 모듈」, 「태양광 발전시스템」 및 「태양광 발전단지」로 구분할 수 있다. 또한 관련 산업을 고려하여 요소부품 → 공정 및 장비 → 태양전지(셀) 및 모듈 → 태양광 발전시스템 → 태양광 발전단지로 가치사슬을 구분할 수 있다.

<표 III-20> 실리콘 태양전지 기술 분류 체계

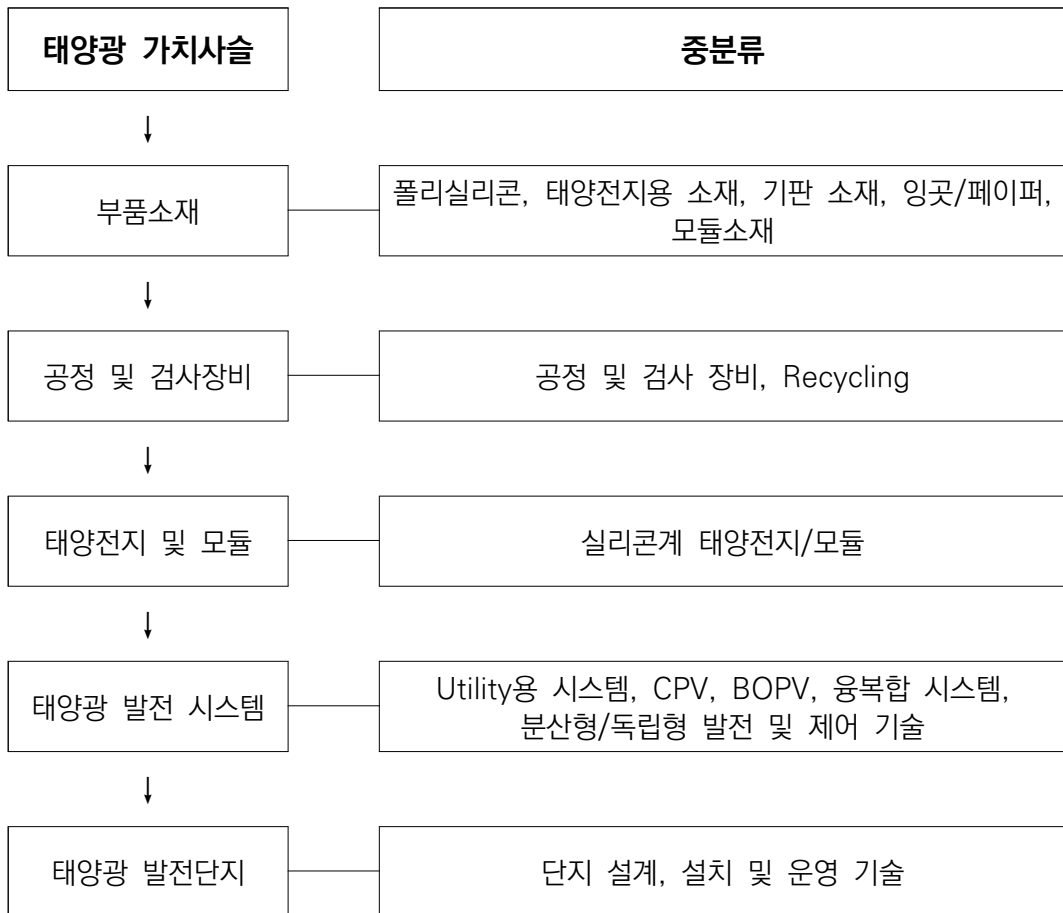
대분류	중분류	소분류
부품소재 및 장비	공정 및 검사장비	결정질 실리콘 태양전지 및 모듈 제조장비/설비기술
		웨이퍼, 셀 및 모듈 검사장비
		Flexible 및 대면적 박막 태양전지 모듈 제조장비/설비기술
		Si 원료 및 잉곳/웨이퍼 기판 제조장비/설비기술
	기판소재	박막 태양전지용 유리 기판
		Flexible 박막 태양전지용 금속 기판
		Flexible 박막 태양전지용 폴리머 기판
	폴리실리콘	고순도 SOG-Si 제조기술
	태양전지용 소재	결정질 실리콘 태양전지용 전극소재, 텍스처링 기술
	잉곳/페이퍼	결정질 실리콘 잉곳 및 웨이퍼 제조기술
	모듈소재	고품질 모듈 부품소재(봉지재, back sheet, 유리 기판 등) 기술
	Recycling	결정질 실리콘 태양전지 모듈의 분리기술, 보수, 재활용 기술
		결정질 태양전지 모듈의 Ag, Cu, Al, Pb 회수기술

<표 III-20> 계속

대분류	중분류	소분류
태양전지 및 모듈	실리콘계 태양전지/모듈	박형 결정질 실리콘 셀 및 모듈화 기술
		결정질 실리콘 셀 및 모듈 고효율화 기술
		나노기반 차세대 셀 기술(결정질, 박막)
		플렉서블 및 대면적 유리 기판 박막 실리콘 셀, 모듈화 기술
		n형 결정질 태양전지
		초고효율 Si 또는 Ge 웨이퍼 기반 태양전지 기술
태양광 발전 시스템	융복합 시스템	DIPV용 태양광발전시스템
		신재생 하이브리드 시스템(태양광+풍력+ESS)
		시스템 ICT/융합 플랫폼 및 Engineering Consulting 기술
		제로 에너지 빌딩을 위한 NRE-H 통합솔루션 시스템 기술
		VIPV용 태양광발전시스템
	분산형/독립형 발전 및 제어기술	열전소자 등 타 기술분야 활용 신재생에너지 하이브리드 발전
		계간 축열 기반의 열에너지 활용 기술
		신재생에너지 하이브리드 시스템 통합 제어 기술개발
		태양광/연료전지/ESS 하이브리드 발전/전력 저장 기술
	건물일체형 태양광 발전시스템(BIPV)	출력 이상 자가 진단 시스템 설계 및 운용 기술
		건축 외장재 BIPV 시스템 개발
		BIPV 설치 형태에 따른 배기 기술
	집광형 태양광 발전 시스템(CPV)	중-저집광형 태양전지 및 모듈 제조기술
		태양광 추적장치 기술
		초정밀 광학패턴 성형 및 금형기술
		초정밀 광학설계 집광 기술
		고집광형3-5족 화합물 태양전지 및 모듈 제조기술
	Utility용 시스템	AC system
		DC system
태양광 발전단지	단지 설계, 설치 및 운영기술	대규모 태양광 발전단지 설계기술
		대규모 태양광 발전단지 운영기술
		태양광 중심 복합발전단지 운영기술
		대규모 태양광 발전단지 설치 및 유지관리

「2016 국가 특허전략 청사진 구축사업」 내 태양전지 분야 분류체계를 기반으로 하고, 실리콘 태양전지로 범위를 한정하여 이에 해당하는 기술체계를 바탕으로 다음 <표 Ⅲ-21>과 같이 가치사슬을 분류한다.

<표 Ⅲ-21> 태양광 산업 가치사슬



(3) 시장 동향(강정화, 2021)

가) 국내 태양광산업 시장 동향

우리나라의 태양광 시장 동향을 다음 <표 Ⅲ-22>와 같이 시장 현황, 시장 전망 및 REC 가격 동향으로 각각 구분하였다.

<표 Ⅲ-22> 국내 태양광산업 시장 동향

구분	수출 동향
시장 현황	2021년 국내 태양광 설치규모는 4.4GW, 전년대비 7.3% 증가 2021년 국내 태양광 시장규모는 약 4.5조원으로 추정, 글로벌 기준 약 8위권의 시장규모로 성장
시장 전망	- 국내 태양광 설치단가는 2021년 하반기 이후 폴리실리콘 등 원자재 가격 상승으로 2022년 상반기까지 제품 가격 강세 기조로 국내 태양광 프로젝트 개발 어려움 가중 - 탈원전 기조의 변경이 예상됨에 따라 태양광 중심의 우호적인 정책 환경 변화 예상 - 최근 유럽을 중심으로 탄소중립 달성을 위해 원전의 역할이 재부상 되는 점을 고려하면 안정적인 전력 공급과 친환경 에너지의 보급 접점을 찾는 방향으로 정책 변경 예상 - 국내 태양광 시장은 2021년을 정점으로 성숙단계로 진입할 것으로 예상
REC 가격 동향	- 태양광 발전 수익은 SMP+REC로 구성되며, REC 가격이 높을수록 태양광 사업 수익이 늘어나는 구조임 - REC 가격도 전년 대비 크게 상승했으며, 당분간 매도자 우위의 시장이 예상되므로 REC 가격 강세가 지속될것으로 전망 - 향후 기업들의 RE100 달성을 위한 친환경에너지 사용 확대 등은 REC 수요 증가로 이어질 것으로 예상되며, 충분한 REC 공급이 이루어지지 않을 경우 지속적인 REC강세 유지

* 2021년 하반기 태양광 산업 동향 보고서(한국수출입은행) 재정리

나) 국내 태양광산업 수출 동향

우리나라의 태양광산업 수출 동향을 다음 <표 III-23>과 같이 폴리실리콘, 태양전지 및 모듈로 각각 구분하였다.

<표 III-23> 국내 태양광산업 수출 동향

구분	수출 동향
폴리실리콘	- 글로벌 태양광 수요 증가 및 폴리실리콘 가격 상승에도 불구하고 폴리실리콘 수출액은 2018년 이후 감소세를 지속 - 폴리실리콘 가격 강세로 국내 실리콘 폴리콘 공장의 재가동에 대한 기대감이 있으나, 여전히 생산 재개는 불투명한 상황
태양전지	- 태양전지 수출물량은 2021년 기준 전년 대비 1.8% 감소했으나, 태양전지 수출 단가 상승으로 수출액은 전년 대비 21.6% 증가 - 국가별 수출액은 미국이 248백만 달러, 중국이 73백만 달러, 베트남이 40백만 달러로 태양전지 수출에서 3개국이 차지하는 비중이 99%임 - 태양전지 수출에서 미국 비중은 68.4%로 태양전지 수출의 전략적 시장으로 중요성이 대두되고 있는 상황 - 태양광 수요 증가 및 태양광 서플라이체인 확보 측면에서 미국의 한국산 태양전지에 대한 우호적인 조치는 당분간 지속 전망
모듈	- 완제품 모듈 대신 태양전지로 미국으로 수출되고 있으며, 대미 모듈 수출은 2021년 기준 전년 대비 23.3% 감소한 473백만 달러 기록 - 미국의 경우 태양전지 수출증가로 모듈 수출이 감소했으며, 유럽 등 주요 수출지역에서는 중국산 제품과의 경쟁에서 밀려 수출 감소세가 나타나고 있음 - 모듈 수출액 감소는 글로벌 태양광 시장에서 한국산 제품의 경쟁력 약화를 의미하며, 향후 수출전망도 부정적인 상황

* 2021년 하반기 태양광 산업 동향 보고서(한국수출입은행) 재정리

다) 국내 태양광산업 수입 동향

우리나라의 태양광산업 수입 동향을 다음 <표 III-24>와 같이 웨이퍼, 태양전지 및 모듈로 각각 구분하였다.

<표 III-24> 국내 태양광산업 수입 동향

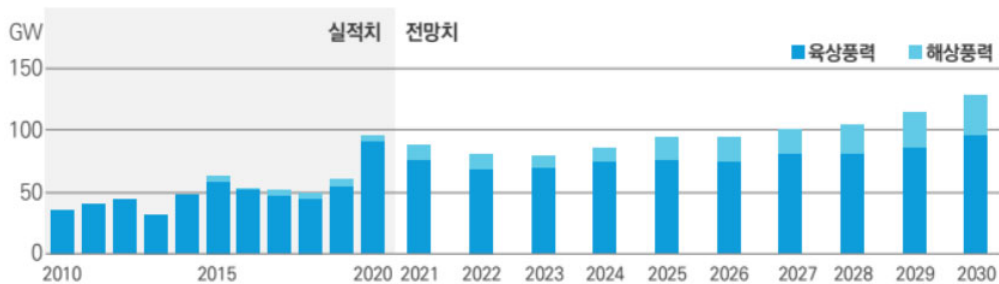
구분	수출 동향
웨이퍼	• 중량 기준으로 수입량은 2021년 기준 전년 대비 10.3% 감소했으나, 금액 기준 웨이퍼 수입액은 최근 웨이퍼 가격 상승으로 41.4% 증가 • 중국으로부터 수입액은 438.5백만 달러로 중국산 비중이 90%로, 대만으로부터 29백만 달러 수입
태양전지	• 중량 기준으로 2021년 전년 대비 16% 감소했으나, 태양전지 단가 상승으로 수입액은 크게 증가 • 중국으로부터 수입액은 267.7백만 달러로 중국산 비중이 87%로, 대만 27백만 달러, 말레이시아 11.5백만 달러를 기록 • 국내 태양전지 대비 20% 정도 저렴한 중국산 태양전지 수입이 늘어나고 있으며, 가격 경쟁에서 중국업체에게 밀리고 있어 향후 생존에 대한 불확실성이 커지고 있음
모듈	• 중국으로부터 모듈 수입액은 335백만 달러이며, 중국산 비중은 99%를 차지 • 탄소인증제 실시로 직접적인 모듈 수입보다는 태양전지 형태로 수입하여 국내에서 모듈로 제작하는 물량이 늘어나고 있는 것이 특징 • 중국산 모듈과 가격 격차가 커지고 있어 현재 상황이 지속될 경우 국내 내수시장에서 중국산 비중이 확대될 수 밖에 없는 상황

* 2021년 하반기 태양광 산업 동향 보고서(한국수출입은행) 재정리

2) 풍력

(1) 보급전망(공지영 등, 2021)

BNEF(BloombergNEF)의 풍력 신규 발전설비 보급 전망을 살펴보면, 2023년까지의 신규 보급은 다소 줄어든 것으로 전망된다. 그 이유는 중국 시장 규모의 위축으로 인한 지역별로 단기적인 보급 감소 때문이다. 다만 그 이후부터는 다음 [그림 III-9]와 같이 2020년 이전 50GW 수준에서 2030년까지 100GW 이상으로 보급하는 규모로 성장할 것으로 전망된다. 또한 풍력에너지원을 육상과 해상으로 구분한다면 육상풍력의 제약사항으로 인해 해상풍력 비중이 육상풍력보다는 증가할 것으로 전망하고 있다.



[그림 III-10] 풍력 보급전망

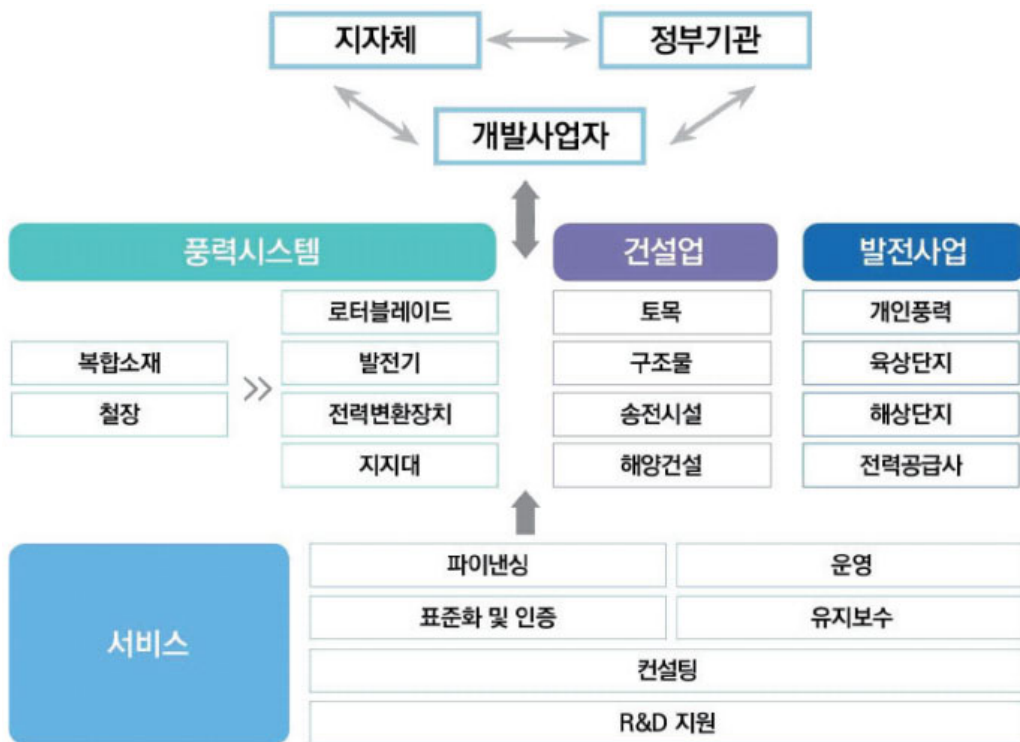
* 에너지경제연구원, BNEF(2021d), p.1

향후 해상풍력 보급량이 2021년 기준 누적 보급량 36GW에서 2035년까지 368GW로 약 11배 증가할 것으로 전망한다. 또한, 신규 보급량의 경우 2020년 기준 6.5GW 수준에서, 2030년 이후에는 년 30GW 수준까지 성장할 것으로 전망한다. 국가별로는 2035년까지 중국 109.7GW, 영국 54.6GW, 미국 49.8GW, 독일 30.5GW, 대만 20.7GW, 네덜란드 17.4GW, 베트남 13.7GW, 한국 12.3GW 순으로 보급될 것으로 전망한다.

(2) 생태계 구조(윤정길, 2022)

풍력에너지 관련 기술은 풍력터빈을 통한 에너지 변환 기술뿐만 아니라 에너지 관련 운송·설치·시공·운영 및 유지보수, 계통연계 등을 포함한다.

따라서 풍력산업 생태계는 다음 [그림 Ⅲ-10]과 같이 소재, 부품 및 시스템을 포함한 풍력터빈 뿐만 아니라 발전업, 건설업, 금융업, 운영·유지보수업, 표준화 및 인증 그리고 연구개발, 자문 등의 종합적인 구조를 가진다.



[그림 Ⅲ-11] 풍력산업의 생태계 구조

* KOTRA, KDB산업은행 미래전략연구소 참조

(3) 가치사슬 분류(김기봉 등, 2018)

「2016 국가 특허전략 청사진 구축사업」 내 풍력 분야 분류체계를 기반을 가치사슬 분류하였다. 기술 분류체계는 주로 풍력발전 시스템, 계통연계 시스템, 풍력발전단지로 구분한다. 풍력산업의 가치사슬은 요소부품 풍력발전시스템 계통연계 자원평가/단지설계 단지시공 단지운영/유지보수 단지 리모델링으로 구성되며 세부 구성은 다음 <표 III-25>와 같다.

<표 III-25> 풍력산업 기술분류 체계

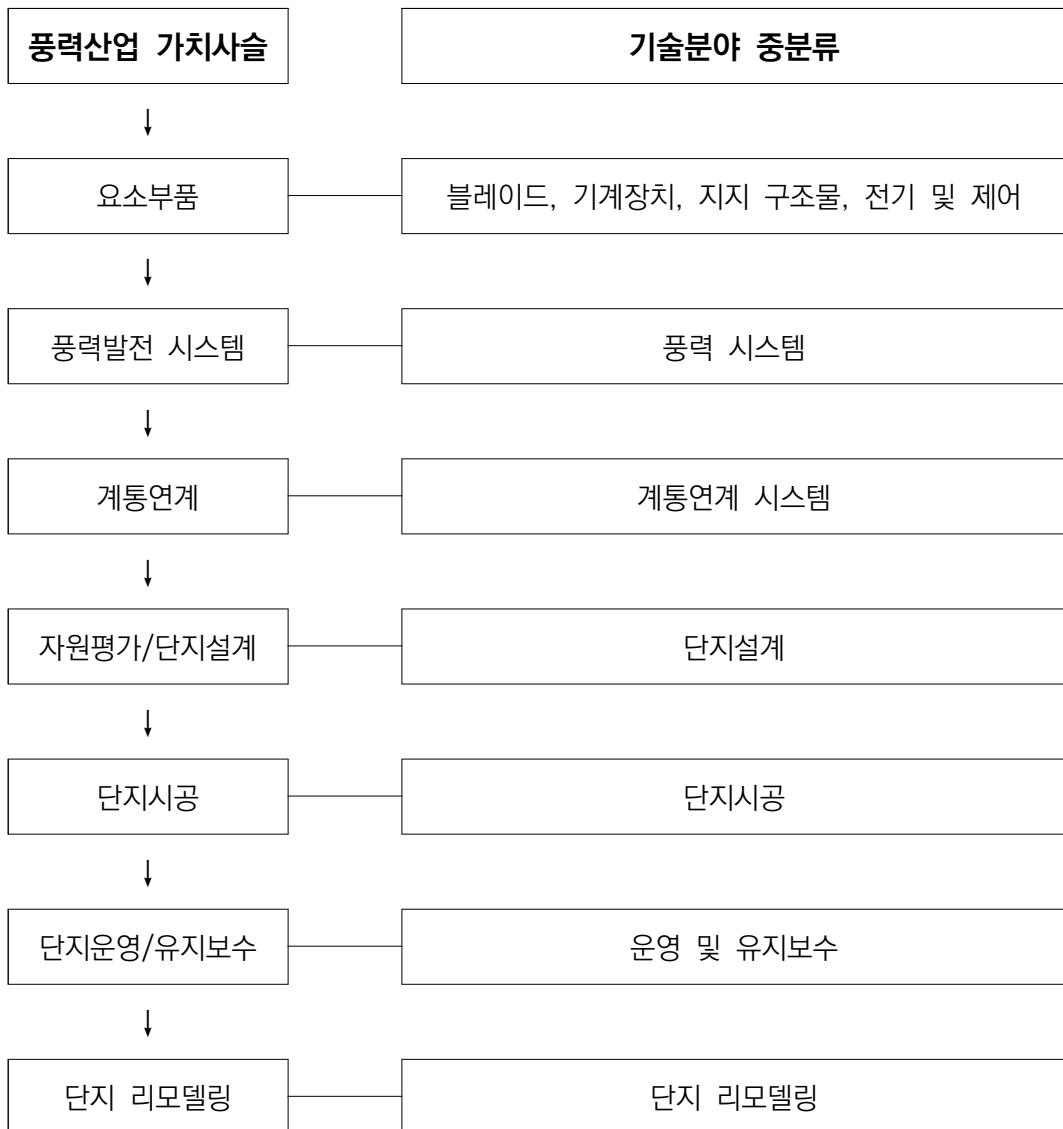
대분류	중분류	소분류
풍력발전시스템	요소부품 (블레이드)	블레이드익형 및 형상설계
		블레이드 소재 및 구조, 제작
	요소부품 (기계장치)	축 구동계
		너셀 및 프레임
		증속기
		요/피치 시스템
		안전장치
	요소부품 (지지 구조물)	타워
		고정식 해상풍력 하부 구조물
		부유식 해상풍력 하부구조물 및 계류시스템
	요소부품 (전기 및 제어)	발전기
		전력변환장치
		제어시스템
	풍력시스템	소형 풍력시스템
		대형 풍력시스템
		초대형 풍력시스템
		융복합 발전시스템
계통연계시스템	계통연계시스템	해상변전소
		HVDC 송전
		해저 케이블

〈표 III-25〉 계속

대분류	중분류	소분류
풍력발전단지	단지설계	자원평가
		환경영향평가
		단지설계 및 모델링
		주민 수용성 확보
	단지시공	육송 운송 및 설치
		해상 운송 및 설치
	운영 및 유지보수	유지보수 전용 선박 제작 및 운영기술
		복합발전 운영 기술
		감시 및 출력제어 운영 기술
	단지리모델링	계측기반 성능평가
		리파워링 기술
		수명 연장 기술

「2016 국가 특허전략 청사진 구축사업」 내 풍력 분야 분류체계를 기반으로 하고, 이에 해당하는 기술체계를 바탕으로 다음 <표 Ⅲ-26>과 같이 가치사슬을 분류한다.

<표 Ⅲ-26> 풍력산업 가치사슬

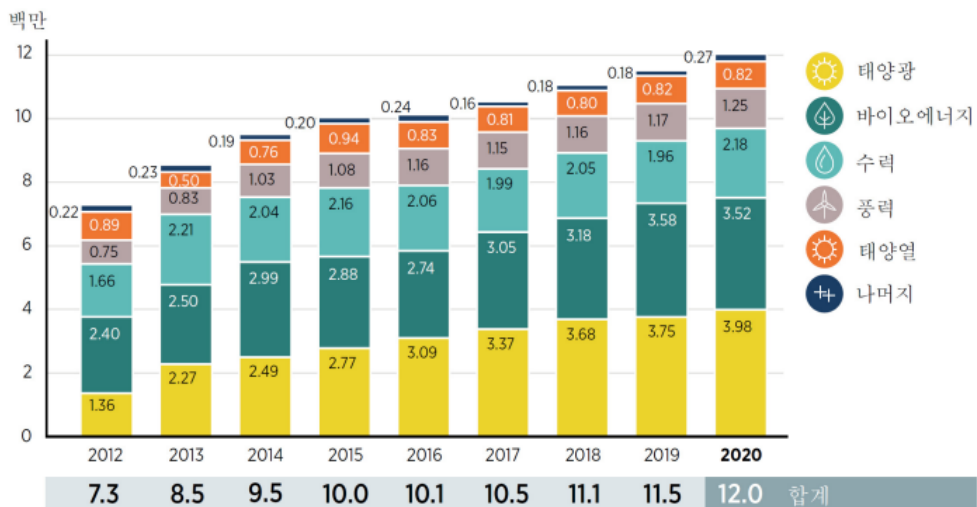


3) 고용(공지영 등, 2021)

IRENA의 글로벌 신재생에너지 관련 고용 추이를 분석결과에 따르면, 신재생에너지 산업(대수력 포함)에서의 직·간접 종사자수는 다음 그림 III-4와 같이 2019년 1,150만 명에서 코로나 19상황임에도 2020년 1,200만 명으로 꾸준히 증가하였다.

신재생에너지 산업의 일자리는 관련 국가에 집중되어 있는데, 국가별로는 근로자수는 중국 473만 명, 브라질 120만 명, 미국 84만 명, 인도 73만 명, EU 130만 명이다. 특히 중국이 전체 일자리의 39%를 차지하고 있으며, 중국을 포함한 아시아 지역은 신재생에너지 관련 일자리 전체의 62%를 차지하고 있다.

2012~2020년 신재생에너지원별 일자리 현황은 다음 [그림 III-11]과 같다.



[그림 III-12] 2012년~2020년 신재생에너지 원별 일자리 현황

* IRENA(2021a), p11, 에너지경제연구원, p25.

태양광 산업의 전체 일자리 수는 398만개로, 중국이 전체의 58%로 비중이 가장 높고, 중국을 포함한 아시아 지역에서는 79.4%를 차지하고 있다. 특히, 중국, 미국, 일본, 인도, 베트남, 방글라데시아, 브라질, 말레이시아, 독일, 호

주 등 상위 10개국의 일자리 비중이 85%를 차지하고 있다.

다음은 바이오 산업의 일자리 수는 352만개로 전체 일자리 중에서 액체 바이오 연료 산업의 일자리 수가 240만개이다. 다만, 액체 바이오 연료 산업의 일자리 수는 소수이고 대부분이 농업 종사자이다. 특히, 브라질이 바이오 연료 일자리의 36%를 차지하고 그 뒤를 인도네시아, 미국, 콜롬비아, 태국, 말레이시아, 중국, 폴란드, 루마니아, 인도 순으로 차지하고 있다. 태양광과 마찬가지로 상위 10개국이 91%를 차지하고 있으며, 남미와 아시아에 일자리가 집중되어 있다. 미국과 유럽의 경우 기계화 비율이 높아 노동 집약도가 낮지만, 나머지 국가의 일자리는 노동 집약적 특성을 보인다.

풍력 산업의 일자리 수는 약 125만 명으로, 전체 일자리 중에서 중국의 풍력 산업 일자리 비중이 44%를 차지하고 있다. 다만, 태양광 산업과 비교하여 아시아 일자리 비중이 54%로 지역적으로는 일자리가 분산되어 있는데 유럽이 27%, 미주가 17%를 차지한다. 풍력산업 일자리는 상위 10개국에 80%가 집중되어 있고, 미국, 독일, 영국, 인도, 브라질, 덴마크, 스페인, 멕시코, 네덜란드 순이다.

IV. 신재생에너지 관련 사고 및 위험요인

.....

IV. 신재생에너지 관련 사고 및 위험요인

1. 신재생에너지 관련 사고발생 현황

1) 산업재해 사고사망자 발생 현황

2017년부터 2021년까지 최근 5년간 신재생에너지 관련 중대재해 원인조사 의견서(37건) 검토를 통해 산업재해 사고사망자 발생 현황을 분석하였다.

년도별 신재생에너지원 종류와 신재생에너지원 종류별 사고발생 생애주기, 발생형태 및 기인물을 각각 분석하였다.

(1) 년도별 사고사망자 발생 신재생에너지원

2017년부터 2021년까지 최근 5년간 사고사망자 발생 신재생에너지원 현황은 다음 <표 IV-1>과 같다.

<표 IV-1> 년도별 사고사망자 발생 신재생에너지원 현황

(단위 : 명)

구분	계	2017년	2018년	2019년	2020년	2021년
계	37	5	2	13	6	11
태양광	30	5	2	12	4	6
풍력	5	-	-	1	1	3
폐기물	2	-	-	-	1	1

최근 5년간 사고사망자가 가장 많이 발생한 신재생에너지원은 태양광, 풍력, 폐기물 순으로 분석되었으며, 3개 신재생에너지원을 제외한 다른 에너지원은 산업재해통계에서는 확인되지 않았다.

(2) 신재생에너지원별 생애주기 현황

2017년부터 2021년까지 최근 5년간 사고사망자 발생 신재생에너지원별 생애주기 현황은 다음 <표 IV-2>와 같다.

<표 IV-2> 신재생에너지원별 사고발생 생애주기 현황

(단위 : 명)

구분	계	설치	제조	유지보수	분류불능
계	37	23	7	6	1
태양광	30	23	1	5	1
풍력	5	-	4	1	-
폐기물	2	-	2	-	-

태양광의 설치 단계에서 최근 5년간 사고사망자가 가장 많이 발생하였으며, 풍력의 경우 풍력설비 제조 단계에서 사고사망자가 많이 발생하였다.

(3) 신재생에너지별 발생형태 현황

2017년부터 2021년까지 최근 5년간 사고사망자 발생 신재생에너지원별 발생형태 현황은 다음 <표 IV-3>과 같다.

<표 IV-3> 신재생에너지별 사고 발생형태 현황

(단위 : 명)

구분	계	떨어짐	빠짐·익사	끼임	갈림·뒤집힘	폭발·파열	화재	감전	물체에 맞음	분류불능
계	37	27	2	2	1	1	1	1	1	1
태양광	30	26	1	1	1			1		
풍력	5	1	1	1						1
폐기물	2					1	1			

태양광의 경우 떨어짐이 26명으로 가장 많이 발생하였으며, 다른 발생형태와 비교 시 전체 사고사망자 대비 약 70.3%가 태양광 설비에서 떨어짐으로 사고사망자가 발생하고 있었다.

(4) 신재생에너지원별 기인물 현황

2017년부터 2021년까지 최근 5년간 사고사망자 발생 신재생에너지원별 기인물 현황은 다음 <표 IV-4>와 같다.

<표 IV-4> 신재생에너지원별 기인물 현황

(단위 : 명)

구분	계	태양광	풍력	폐기물
계	37	30	5	2
지붕	20	20	-	-
사다리	4	2	2	-
전주	2	2	-	-
열분해로	2	-	-	2
비계	1	1	-	-
납땜기	1	1	-	-
부유체	1	1	-	-
굴삭기	1	1	-	-
크레인	1	-	1	-
배전선로	1	1	-	-
용접기	1	-	1	-
분류불능	2	1	1	-

태양광의 경우 지붕 기인물에서 사고사망자수가 20명으로 가장 많이 발생하였으며 다른 기인물과 비교 시 전체 사고사망자 대비 약 54.0%가 태양광 설비 관련 지붕에서 발생하고 있었다.

2) 산업재해통계 외 국내 사고발생 현황

산업재해통계 외 풍력과 태양광 에너지원 사고발생 현황을 파악하고 다음과 같이 구분하여 정리하였다.

(1) 풍력 에너지 관련 사고발생 현황

2010년부터 2020년까지 풍력에너지 관련 사고발생 현황을 다음 <표 IV-5>와 같이 정리하였다.

<표 IV-5> 풍력에너지 관련 사고발생 현황

연번	발생년도	설치위치	발생원인	인명/재산 피해
1	2010	육상	브레이크 과열에 의한 화재	발전기 손실
2	2012	육상	화재	발전기 손실
3	2012	육상	강풍	블레이드 파손
4	2015	육상	브레이크 과열에 의한 화재	발전기 손실
5	2016	육상	강풍	타워 넘어짐
6	2016	육상	강풍	블레이드 파손
7	2016	육상	강풍	블레이드 파손
8	2016	해상	-	설치작업 중 작업자 떨어짐
9	2017	육상	-	정비작업 중 작업자 떨어짐
10	2017	육상	화재	발전기 손실
11	2017	육상	낙뢰	블레이드 파손
12	2018	육상	-	전력변환장치(PCS) 파손
13	2018	육상	화재	에너지저장장치(ESS) 손실
14	2018	육상	화재	에너지저장장치(ESS) 손실
15	2019	육상	강풍	풍향계 및 릴레이 소손
16	2019	육상	화재	에너지저장장치(ESS) 손실
17	2019	육상	낙뢰	블레이드 파손
18	2019	육상	-	정비작업 중 작업자 떨어짐
19	2020	육상	태풍	발전기 손실
20	2020	육상	태풍	타워 넘어짐
21	2020	육상	-	블레이드 파손
22	2020	해상	-	정비작업 중 작업자 떨어짐
23	2020	육상	태풍	송전선로 파손

(2) 태양광에너지 관련 화재사고 발생 현황

2012년부터 2021년까지 최근 10년간 태양광에너지 관련 화재사고 발생 현황을 다음 <표 IV-6>과 같이 정리하였다(소방청, 2022).

<표 IV-6> 태양광에너지 관련 화재사고 발생 현황

연번	발생년도	발생건수(건)	사망자수(명)	부상자수(명)	재산피해(백만원)
1	2012	6	0	0	15
2	2013	4	0	0	8
3	2014	8	0	0	49
4	2015	6	0	0	71
5	2016	79	0	1	222
6	2017	45	0	0	171
7	2018	80	0	0	527
8	2019	62	0	0	133
9	2020	69	0	0	193
10	2021	81	0	0	1,199

여기서 2012년부터 2015년까지 태양광에너지 설비의 화재사고 발생건수는 매년 10여건 미만으로 발생하였으나, 이는 2015년까지는 소방청 국가화재정보시스템의 사고분류 체계가 정립되지 않아 관련 정보가 누락된 것으로 확인되었다(김완수 등, 2019).

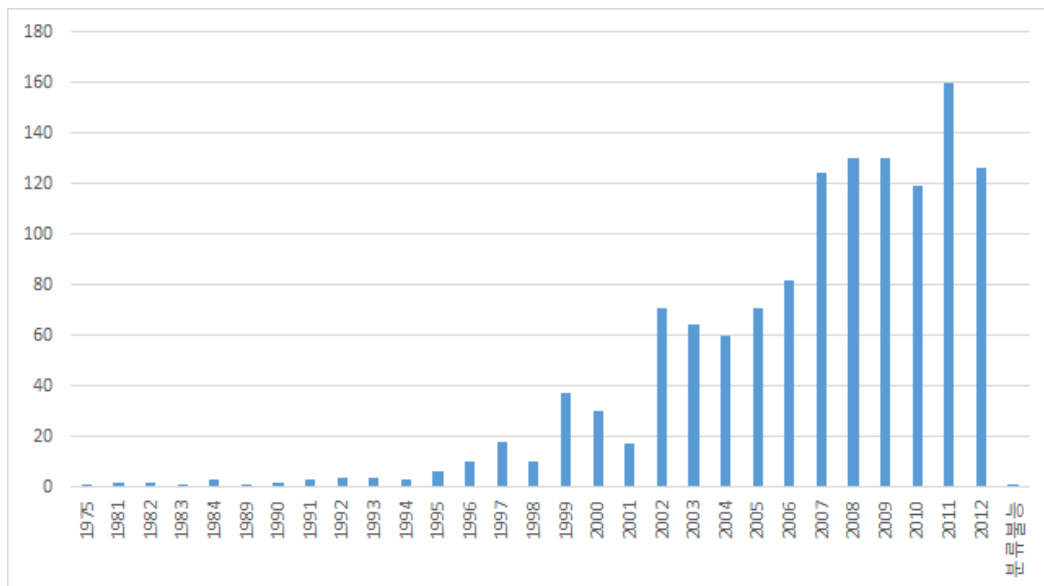
3) 국외 사고발생 현황

1975년부터 2012년까지 풍력 에너지 관련 국외 사고발생 현황을 문헌조사 및 해외 정부기관·국제기구, 신재생에너지 관련 유관기관·협회·업체 및 인터넷 사이트 확인을 통해 다음과 같이 정리하였다.

그리고 풍력 에너지 관련 국외 사고발생 현황에 대한 교차분석을 실시하고 결과를 부록 1에 제시하였다.

(1) 년도별 사고발생 현황

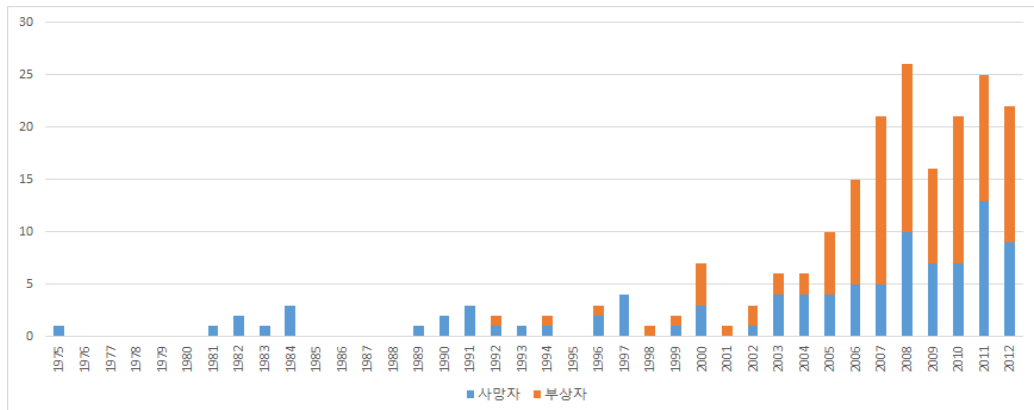
1975년부터 2012년까지 풍력 에너지 관련 사고발생 현황을 다음 [그림 VI-1]과 같이 년도별로 정리하였다.



[그림 IV-1] 국외 년도별 풍력에너지 관련 사고발생 현황

(2) 년도별 사망자 및 부상자 현황

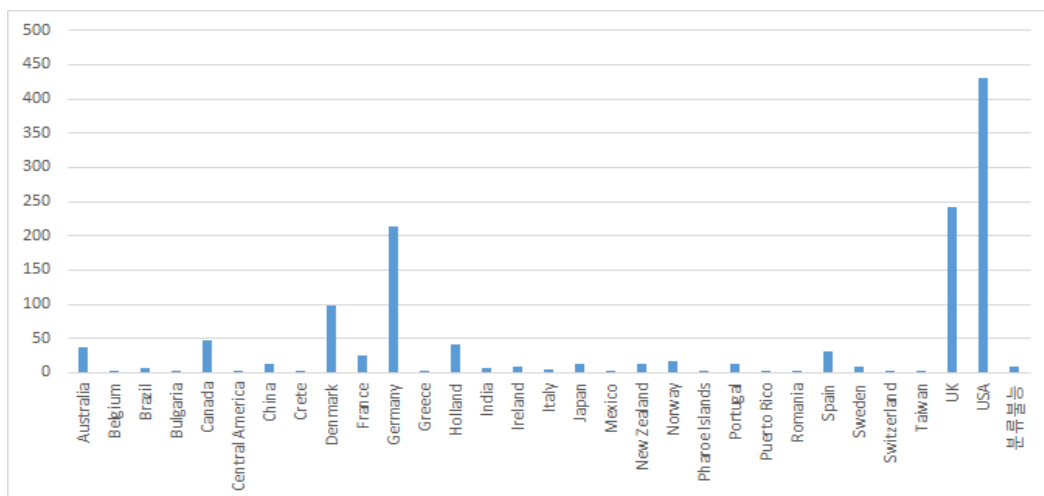
1975년부터 2012년까지 풍력 에너지 관련 인명피해 발생 현황을 다음 [그림 IV-2]와 같이 년도별로 사망자와 부상자를 구분하여 정리하였다.



[그림 IV-2] 국외 년도별 풍력에너지 관련 인명피해 현황

(3) 국가별 사고발생 현황

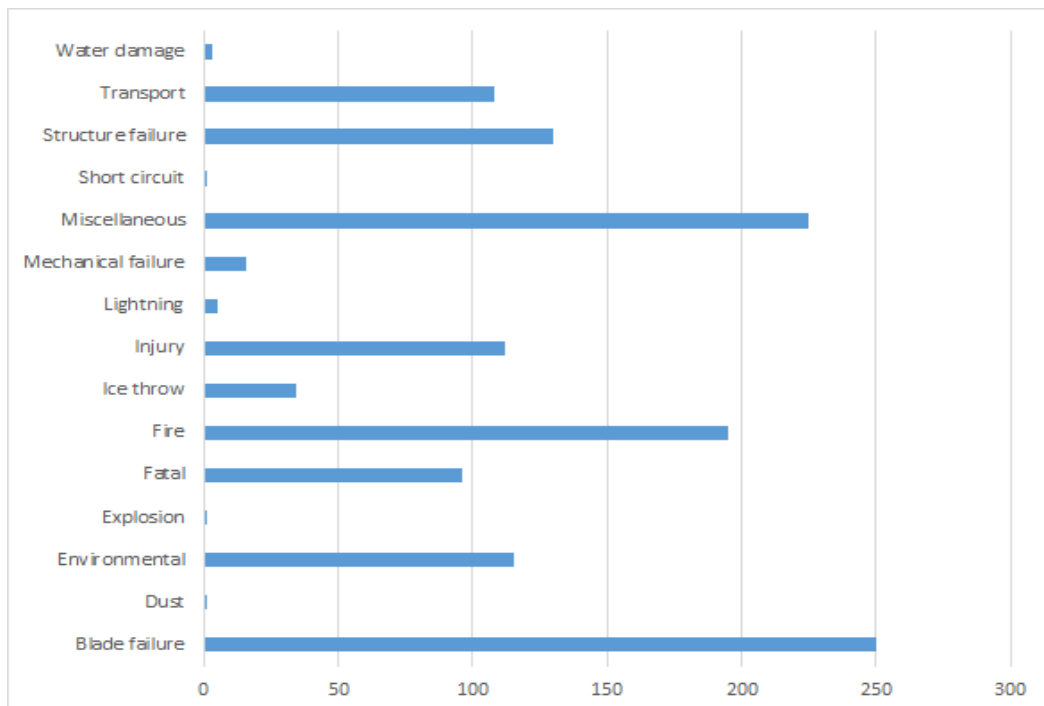
1975년부터 2012년까지 풍력 에너지 관련 사고발생 현황을 국가별로 다음 [그림 IV-3]과 같이 정리하였다.



[그림 IV-3] 국가별 풍력에너지 관련 사고발생 현황

(4) 사고유형별 발생 현황

1975년부터 2012년까지 풍력 에너지 관련 사고 1,292건을 분석하여 사고 유형별 발생 현황을 다음 [그림 IV-4]와 같이 정리하였다.



[그림 IV-4] 국외 사고유형별 발생 현황

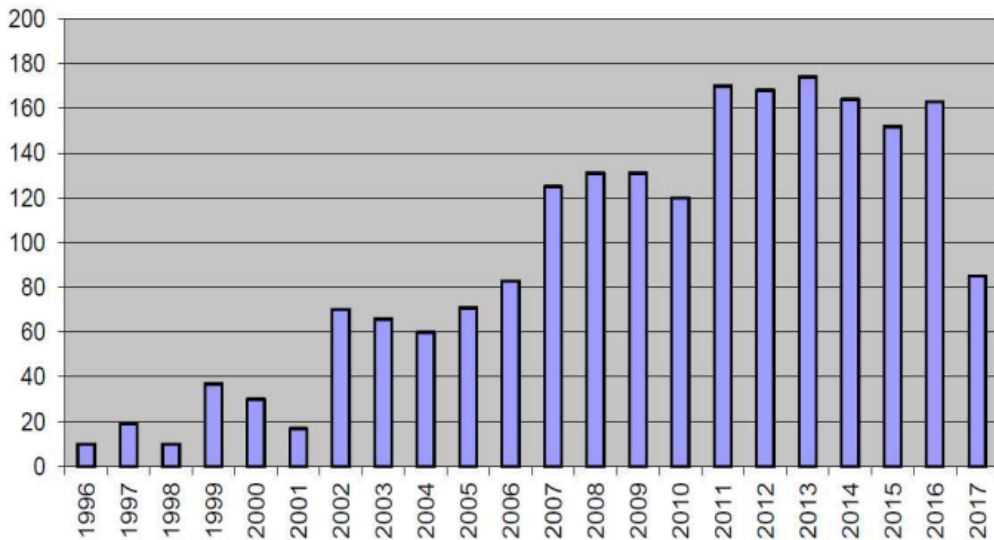
(5) CWIF 사고자료(백태현, 2017)

앞서 분석한 1975년부터 2012년까지 풍력 에너지 관련 국외 사고발생 현황과 별도로 CWIF 사고자료를 활용하여 사고발생 현황을 2017년 5월까지 최신화 하였다.

영국 스코틀랜드의 케이스네스(Caithness) 지역에서 개최되는 케이스네스 풍력단지 정보포럼(CWIF: Caithness Windfarms Information Forum)에서는 세계 풍력발전단지에서 발생한 상대적으로 큰 규모의 사고에 대하여 1996년부터 2017년 5월까지 발생한 풍력발전기 사고 유형을 종류별, 연대별로 분류·분석한 자료를 발표하였다.

- 이 자료에는 해당기간 동안 공식적으로 언론 또는 다른 방법을 통한 정보공개를 통해 발표되고 확인될 수 있는 풍력터빈 관련 사고에 대한 대부분의 자료가 포함되어 있으며, CWIF는 풍력발전기 사고에 관한 이 보고서가 필요한 용도에 참고할 수 있는 공식 기록에 의거한 유용한 자료라는 견해를 밝히고 있었다.
- 또한, CWIF는 사고 종류와 빈도 측면에서 이 자료가 단지 극히 일부분인 자료, 즉 “빙산의 일각”인 자료라고 밝히고 있다. 예로서 2011년 12월 11일자 데일리 텔레그래프(Daily Telegraph)는 Renewable UK가 지난 5년간 영국에서만 1,500건의 풍력 터빈사고와 고장이 있었음을 확인 보도하였다. 그러나 CWIF의 데이터는 영국에서 2006년부터 2010년 사이에 발생한 142건의 사고만 보고되었으므로 실제 사고의 9%만 차지하고 있으며, 이 자료는 발생할 수 있는 사고유형과 그 결과에 대한 자료만 제공하였다. 또한 1997년 이전에는 단지 치명적인 사고만 보고되었다.

CWIF의 풍력발전기 사고에 관한 연도별 사고발생 건수를 다음 [그림 IV-5]와 같이 나타내고 있다. 사고발생 추세를 살펴보면 더 많은 터빈이 건설됨에 따라 예상대로 더 많은 사고가 발생되었다. 1997년부터 2001년까지 확인될 수 있는 사고발생 건수는 단지 매년 평균 23건의 사고가 발생하였다. 2002-2006년까지 매년 70건의 사고가 발생, 2007년부터 2011년까지는 매년 135건의 사고가 발생, 그리고 2012년부터 2016년까지는 매년 164건의 사고가 발생하여 사고발생 건수는 지속적으로 증가하는 추세이다.



[그림 IV-5] 연도별 풍력발전기 사고발생 건수(CWIF)

CWIF 자료에서는 1996년부터 2017년 5월 31일 현재까지 21년 5개월 동안 전 세계에서 보고되고 확인된 연도별 주요 사고종류와 발생건수에 대해 다음 <표 IV-7>과 같이 통계 현황을 발표하였다. 다만, 이 표에서는 2000년 이전의 사고발생 건수는 1996년부터 2000년까지의 사고발생 건수를 합한 숫자로 나타냈다. 또한, CWIF 자료에서 설명한 각각의 사고 종류에 관한 부가적인 사고 내용은 다음 <표 IV-8>과 같다.

〈표 IV-7〉 풍력발전 설치 공정의 작업 절차 및 내용(CWIF)

사고유형	00*	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	전체
전체	109	30	17	70	66	60	71	83	125	131	131	120	170	168	174	164	152	163	85	2089
사고사망	24	3		1	4	4	4	5	5	11	8	8	15	16	4	2	7	5	6	132
부상	5	4	1	2	2	2	6	10	16	16	9	14	12	15	9	8	8	9	4	152
질병														6	27	19	13	17	20	102
블레이드 파괴	35	4	6	15	13	15	12	17	23	20	26	20	20	28	35	31	19	21	10	370
화재	7	3	2	24	17	16	14	12	21	17	17	13	20	19	24	19	18	28	7	298
구조물 파괴	15	9	3	9	7	4	7	9	13	9	16	9	13	10	14	13	12	11	6	189
아이스 낙하	9			2	2	4	4	3		3	4	1	1	1		1	1	3		39
운송				4		3	6	6	19	10	11	11	24	17	12	17	14	15	8	177
환경파괴	1		1	1	8	1	6	5	10	21	13	19	20	20	16	21	18	22	9	212
기타	13	7	4	12	13	11	12	16	18	24	27	25	43	36	33	33	42	32	15	417

〈표 IV-8〉 사고종류별 부가내용(CWIF)

구분	부가내용
① 치명적 인명 사고	- 조사기간 동안 인명사고는 총 132회 발생하였음 - 풍력산업에 직접 관련된 인원이나 또는 지원 근로자(다이버, 건설, 유지 보수, 엔지니어 등)가 포함된 경우도 있음 - 예를 들면, 풍력산업에 직접 업무에 종사하지 않는 71명의 근로자(운송 근로자 등)가 큰 규모의 인명사고를 당하여 2012년 3월 브라질에서 한 건의 사건으로 버스승객 17명이 이 사망했다. 2014년 5월 항공기 추락사고로 4명이 사망했고 2014년 9월에 교통사고로 3명이 사망했음
② 상해 부상	- 한 사고로 인해 여러 명이 부상당하고 상해를 입어 사고 발생 횟수보다 더 많은 부상자가 발생한 경우도 있음 152건의 사고 중 168명의 풍력산업 또는 건설/유지보수 근로자가 부상을 입었고, 74명의 공공 근로자 또는 풍력산업에 직접 종사하지 않은 근로자(소방관, 운송 근로자 등)가 풍력산업 관련으로 부상당함 - 이 부상자 중 8명은 영국에서 발생하였음
③ 건강 질병	2012년 이후, 인체의 건강 재해 및 건강 악화에 관련된 사고가 새로운 항목으로 추가되었음 - 이전에는 건강관련 사고가 "기타(miscellaneous)로 분류되었지만 CWIF는 이 항목이 풍력산업 사고범주에 속하는 것으로 간주하였다. 이 항목에는 터빈소음, 블레이드 회전으로 인한 갭박거림 등으로 정서적 불안과 건강 악화등과 같은 건강재해가 포함되었음 - 풍력터빈이 거주지 주택과 가까운 장소에 설치될 경우 이 항목의 사고 횟수가 상당히 증가할 것으로 예측하였음
④ 블레이드 파손	- 블레이드 파손에 의한 사고는 보고된 사고 중 기타 사항을 제외하고 가장 많은 사고 횟수로 나타났음 - 블레이드 파손은 여러 원인에 의해 발생하였는데, 블레이드 전체 또는 일부가 터빈에서 분리되기도 하였으며, 총 370건의 블레이드 개별 사고가 보고되었음 - 블레이드 파손에 의해 파편조각이 최대 1600 m (1 mile) 까지 날아간 적도 있으며, 독일에서는 블레이드 파편조각이 근처 건물의 지붕과 벽을 통과한 경우도 있었음 - CWIF는 공공 안전과 소음 및 블레이드 회전에 의한 그림자의 갭박거림(shadow flicker)을 비롯한 기타 문제를 해결하기 위해 터빈과 주택사이의 거리가 최소 2 km 정도는 유지해야 할 것을 제시하였음

〈표 IV-8〉 계속

구분	부가내용
⑤ 화재사고	• 화재사고는 보고된 자료 중 기타사고를 제외하고 두 번째 많은 순서로 발생하였음 • 화재는 여러 가지 원인에 의해 발생되었으며 일부 터빈구조물 형태는 다른 구조의 형태보다 더 많이 발생하였음 • 〈표〉에서와 같이 총 298건의 화재 사건이 보고되었는데, 2015년 11월, 전 세계의 유틸리티 규모 프로젝트에 대한 신재생 에너지 보험기관인 GCube에 의하면 연간 평균 50개의 풍력터빈 화재가 발생하는 것으로 보고되었음 • 이 자료는 CWIF 데이터의 두 배가 넘으며 여기에 제시된 데이터는 단지 일부분인 것으로 여겨졌으며, 터빈화재의 가장 큰 문제점은 터빈 타워의 높이 때문에 소방대원이 거의 접근할 수 없고, 화재 현장을 단지 지켜 볼 수밖에 없는 경우도 있었음 • 폭풍우에 화재가 발생될 경우에도 진압이 곤란하며, 건조한 날씨에는 넓은 지역에 걸쳐 화재가 발생할 위험이 높음 • 특히 산림지역에서는 풍력발전기 인근에 건설된 주택과 가까운 곳의 화재 위험도 있으며, 화재 사고로 인해 풍력산업 근로자가 불에 타 사망한 경우도 4건이 있었음
⑥ 구조물 파손	• 구조물 파손은 기타사항을 제외하고 사고 순위가 세 번째로 높으며 〈표〉에서와 같이 총 189회의 사고가 발생하였는데, "구조물 파손"은 기계 구조물 부품이 견딜 수 있도록 설계된 조건에서도 고장이 발생한 경우임 • 이러한 파손은 주로 폭풍으로 인한 풍력터빈의 파손과 풍력타워 붕괴와 관련이 있으나, 열악한 품질관리, 유지보수 관리의 소홀 및 구성요소 결함도 원인으로 나타났음 • 구조적 파손에 의한 고장은 블레이드의 고장보다 경제적 손실이 훨씬 더 크지만, 풍력터빈은 주로 주거 지역에 떨어져 특정 지역에 설치되어 있기 때문에 인명사고 위험은 다소 낮게 나타났음 • 그러나 소형 풍력터빈이 학교를 비롯한 인구가 밀집된 건물주변에 설치되면 사고빈도가 증가할 것으로 예상하였음
⑦ 동결에 의한 얼음조각 비산 사고	• 얼음조각 파편의 비산에 의한 사고는 총 39건이 보고되었는데, 일부는 여러 사고와 겹쳐 발생하였으며, 여기의 사고 횟수는 사람에게 부상을 입히지 않았던 자료임 • 얼음 파편에 의해 부상당한 경우는 ② 항의 부상(human injury) 자료에 포함시켰으며, 얼음조각이 140 m까지 비산된 경우도 있었음

〈표 IV-8〉 계속

구분	부가내용
⑦ 동결에 의한 얼음조각 비산 사고	- 캐나다 일부에서는 풍력터빈 가동 시 동결 기간 동안에 사람은 풍력터빈으로부터 최소한 305m 거리를 유지하라는 경고표지판을 게시하고 있음 2003년에 발표된 보고서에 따르면 1990년에서 2003년 사이에 독일에서만 880건의 빙결에 의한 사고가 보고되었으며, 이들 중 약 33%가 저지대 및 해안선 부근에서 발생하였음
⑧ 수송에 의한 사고	〈표〉 예서와 같이 조사기간 동안 총 177건의 수송(운송)사고가 발생되었음 - 풍력터빈 수송도중 45 m의 터빈 구조물이 주택에 충격을 가하고, 풍력터빈 기둥인 타워가 식당에 충돌하여 건물이 파손되었으며, 여러 종류의 터빈 구조물이 도로에 낙하하여 주요 고속도로를 차단하는 사고도 있었음 - 수송에 의한 사망자와 인명 부상은 항목에 포함시켰는데 대부분의 사고는 수송차량 운행 중 낙하되는 터빈 구조물 부품으로 인하여 발생하지만, 일부 터빈구조물은 길이가 50 m인 £50M 바지선과 함께 수송도중 해상에서 분실된 경우도 있었음 - 수송 사고는 많은 인명 피해와 부상을 입힐 수 있는 가장 큰 원인 중 하나임
⑨ 환경사고-조류 충돌포함	〈표〉 예서와 같이 조사기간 동안 총 212건의 환경피해 사례가 보고되었으며, 이는 2007년 이후 대다수 사고가 발생되었는데, 이유는 환경에 관한 규정과 법이 변경되었거나 또는 새롭게 제정된 규정 때문일 수 있거나 모두가 야생 동물이 현장에서 사고를 당하여 죽게 된 경우로, 이들 중에 66건은 풍력터빈에 의해 보호 조류가 죽은 경우임 - 그러나 야생동물의 죽은 사고 횟수는 훨씬 더 많은 것으로 추측되는데, 20년 동안 알타몬트 패스(Altamont Pass) 풍력단지에서만 2,400마리의 보호 조류인 황금독수리(golden eagle)가 죽었으며, 약 1만 마리는 보호 중인 맹금류(protected raptor)임 - 독일에서는 보호 조류인 흰 꼬리독수리(white tailed eagle)가 풍력터빈에 의해 32마리가 죽었으며, 호주에서는 멸종 위기에 놓인 보호조류인 태즈메이니아 독수리(Tasmanian eagle)가 울노스(Woolnorth) 한 곳의 풍력단지에서 22마리가 죽었음 - 한편으로 미국에서는 2012년 한해에 60만 마리의 박쥐가 풍력터빈에 의해 죽은 것으로 추정된다. 미국의 풍력발전 비율이 20%에 도달하면 연간 1.4백만 마리의 조류가 죽게 될 것으로 예상하였다. 호주의 맥아더(MacArthur) 풍력발전 단지에 의해 1500마리의 새가 매년 사멸될 것으로 추정하며, 그 중 500마리는 특별한 보호 조류인 맹금류(raptor)임

〈표 IV-8〉 계속

구분	부가내용
⑩ 기타사고	- 기타 사고는 조사기간 동안 총 417건이 보고되었는데, 구조적 손상이 없는 작동 부품의 고장이나 다른 기계고장도 여기에 포함됨 - 또한 유지보수 태만, 전기고장(화재 또는 감전사가 아닌 고장)로 인한 사고 등도 여기에 해당되며, 건설 및 시설공사 중에 발생한 사고도 포함되고 낙뢰로 인해 블레이드 손상이나 화재가 발생하지 않은 경우에도 이 사고에 포함됨 - 독일에서만 1992년에서 1995년까지 낙뢰에 대한 393건의 사고가 발생하였으며, 나머지 124건은 배전망 사고에 관련된 것임

(6) NEDO 사고자료(김귀식 등, 2015)

일본의 신에너지·산업기술 총합 개발기구(NEDO)에서는 2004년부터 2008년까지 풍력발전기 고장 및 사고를 조사한 자료를 발표하였다.

2004년부터 2008년 3월까지 4년간 조사 대상 풍력 발전기 대수는 3,618 대로 고장 및 사고발생 횟수는 총 445회였다. 여기서 풍력 발전기의 고장 및 사고의 정의는 풍력 발전기가 다양한 원인 및 사유로 인해 3일(72시간) 이상정지한 경우로서 풍력 발전기의 외부 계통고장에 의해 정지한 경우도 포함된다.

가) 고장 및 사고 발생원인 및 내역

일본의 신에너지·산업기술 총합 개발기구(NEDO)에서 발표한 주요 고장 및 사고 발생원인 및 내역은 다음 <표 IV-9>와 같다.

<표 IV-9> 고장 및 사고 발생원인 및 내역(NEDO)

구분	원인	발생건수		빈도(%)
자연재해	번개	94	133	30
	폭풍	22		
	태풍	4		
	빙결 떨어짐	4		
	기타	9		
구조적 원인	설계 결함	55	111	25
	건설 결함	11		
	제조 결함	45		
작업자 원인	유지보수 결함	10	10	2
시스템 원인	시스템 실패	4	4	1
기타	원인불명	169	187	42
	기타	18		
전체	445			

〈고장 및 사고 원인 및 내역 분석〉

- 고장 및 사고요인은 자연현상 30%, 풍력발전기 고장 25%. 인적요인 2%, 계통고장 1% 및 기타 42%이었음
- 발생 내역은 자연현상에서 폭풍 5%, 낙뢰 21%, 난류 1%, 동결 1%, 그 외 2%이었음
- 풍력발전기 고장에서는 설계불량 12%, 제조불량 10%, 시공불량 2%이었음
- 기타 내역 중에서 원인불명은 38%, 그 외 기타 4%이었음
- 낙뢰의 경우 블레이드와 제어장치의 고장이 많은데, 특히 블레이드 고장의 80%가 낙뢰 때문에 발생하였음
- 원인불명은 복합적인 부위에서 나타난 고장으로 피치 제어장치, 발전기, 제어장치, 전기장치 및 유압장치 등으로 고장 발생빈도가 비교적 높았음
- 설계불량은 풍향풍속계의 고장, 주축·베어링, 발전기의 고장발생 횟수도 비교적 많았음
- 제조불량은 제어장치, 전기장치, 외장재 등의 고장이 많았고, 폭풍에서는 내풍속 설계기준을 초과한 풍속에서 파손된 풍향풍속계의 사례가 많았음

나) 사고발생 위치별 발생건수와 평균 정지시간

일본의 신에너지·산업기술 종합 개발기구(NEDO)에서 발표한 사고발생 위치별 발생건수와 평균 정지시간은 다음 〈표 IV-10〉과 같다.

〈표 IV-10〉 사고발생 위치별 발생건수(NEDO)

위치	발생건수	빈도(%)	위치	발생건수	빈도(%)
풍향풍속계	67	15	유압장치	20	4
제어장치	61	14	센서	13	3
블레이드	52	12	기어박스	10	2
전기장치	41	9	축 및 베어링	8	2
피치 제어장치	36	8	브레이크	7	2
발전기	30	7	기타	100	22
			계	445	100

〈사고발생 위치 분석〉

- 사고발생 횟수가 많은 고장부위는 풍향풍속계 67건, 제어장치 61건, 블레이드 52건, 전기장치 41건, 피치제어장치 36건의 순임
- 발생부위별 평균정지시간은 블레이드 1,606 hr/회, 주축 · 베어링 1,619 hr/회, 기어박스 1,467 hr/회, 발전기 2,209 hr/회, 요 장치 2,401 hr/회, 센서 1,522 hr/회, 전기장치 974 hr/회, 제어장치 658 hr/회로서, 고장사고발생회수가 많으면 정지시간이 길어져서 이용 가능율이 저하함
- 발생회수가 적어도 정지시간이 긴 부위 즉, 블레이드, 요제어, 발전기, 주축 · 베어링, 기어박스 등도 이용 가능율을 저하시킴

2. 신재생에너지 관련 위험요인 예측 및 평가

1) 공정 및 작업내용 분석

(1) 태양광 발전

태양광 발전설비의 설치공정 및 작업내용은 다음 <표 IV-11>과 같다(경기도, 2021).

<표 IV-11> 태양광 발전설비의 설치공정 및 작업내용

공정 및 작업		내용
기초공사	기준	• 풍압, 적설, 정하중에 견딜 수 있도록 설치 • 건축물 방수에 문제가 없도록 설치 • 점검통로 확보 및 건축한계선 준수 등
	작업	• 기초 구조물의 설치위치 확인·표시 • 태양광 포스트 설치위치에 칼럼(Column) 베이스 및 브라켓(Bracket) 설치 • 태양광 발전설비 설치 구조물(Base)의 기둥(Post) 설치
거더 및 모듈 설치	기준	• KS 인증 태양전지 모듈 사용 • 경사각, 방위각, 음영발생 여부를 고려하여 설치 • 용융아연도금 또는 동등 이상의 방청제 사용 • 철골 구조물 재료, 규격, 강도, 부재 등 적정 시공
	작업	• 태양광 발전설비 구조물의 하중을 지지하는 기둥과 기둥을 연결하는 거더(Girder) 조립 • 모듈의 하중을 지지하는 퍼린(Perlin) 설치 작업 • 태양광 발전설비 구조의 안정화를 위한 보강대 설치작업
주요 기기 설치	기준	• KS인증 인버터 및 접속반 사용 • 옥내 및 옥외용으로 구분하여 설치 • 모든 기기에는 용량, 제작자 및 제작일자 명판 부착
	작업	• 인버터 장착용 기초 구조물 설치 및 인버터/접속반 설치 • 인버터의 간선을 차단기 연결/설치 • 발전량을 기록하는 계량기 설치

〈표 IV-11〉 계속

공정 및 작업	내용	
전기배선 및 접속반 설치	기준	- 태양전지 출력배선은 군별, 극성별로 확인 가능하도록 회로별로 선로명을 표시하는 꼬리표 부착 - 접속반에는 LED 조명등 표시 등 경보장치 설치
	작업	- 발전 전기를 모듈에서 안전하게 보내기 위한 전기배선[모듈DC케이블 결선] 작업 - 케이블 정리용 트레이 및 트레이 커버 설치작업 - 케이블 트레이를 따라 인버터로 AC/DC선 설치작업
접지 및 피뢰침 공사	기준	(기준) 전기설비기술기준 및 전기사업법에 의한 사용전 점검 또는 사용전 검사 기준에 부합하도록 설치
	작업	구조물 접지는 보호접지와 본딩접지로 구분되며, 고장 및 사고전류로 인한 감전방지와 기기보호를 위해 접지 공사
계통연계 및 모니터링 설비 설치	기준	- 한전 계통연계기술기준에 적합하게 시공 - 인버터 동작상태, 발전량 등을 감시하는 모니터링 시스템 설치
	작업	태양광 발전 전력을 송전하기 위한 한전측 인입 공사
사용전 점검 또는 검사	기준	자가용 및 사업용 전기설비 → 사용전 검사(한국전기안전공사)
준공 및 발전개시	기준	- 설치확인 현장점검표 작성, 설치확인서 신청·발급 - 정산보고 및 관리카드 작성관리 - 시스템 안정적 운영 및 사후관리

(2) 풍력 발전(DeWind, 2012)

풍력 발전설비 설치 공정의 작업 절차 및 내용은 다음 <표 IV-12>와 같다 (DeWind, 2012).

<표 IV-12> 풍력발전 설치 공정의 작업 절차 및 내용

단계	기계분야 설치	전기분야 설치
1단계	냉각팬 및 나셀(Nacelle) 후면의 공기배출 후드 조립	-
2단계	나셀(Nacelle) 전면의 공기배출 후드 조립	-
3단계	나셀(Nacelle) 양쪽 측면의 공기흡입 덕트 조립	-
4단계	-	기상관측장치 조립
5단계	-	나셀(Nacelle) 제어반에 기상관측장치 연결 및 접지
6단계	MV 스위치기어 장치 설치	
7단계	주 타워 섹션(Section) 설치 및 타워 섹션(Section) 접지	
8단계	로터 장착 지지물 조립	
9단계	허브(Hub)에 블레이드(Blade) 조립	
10단계	노즈(Nose) 커버 조립	
11단계	외부 계단 구조물 조립 및 설치	
12단계	-	MV 스위치기어 장치 접지
13단계	타워 제어반(TCC) 설치	
14단계		타워 제어반(TCC) 접지
15단계		타워 제어반(TCC)과 타워 조명등 및 소켓 연결 박스와 연결
16단계		외부 조명등 설치 및 연결
17단계		타워 제어반(TCC)과 보조 전원 발전기 연결
18단계	2 nd 타워 섹션(Section) 설치	
19단계		주 타워 및 2 nd 타워 섹션(Section) 사이에 조명등과 소켓 케이블 설치
20단계		주 타워 및 2 nd 타워 섹션(Section) 사이에 접지선 설치
21단계	타워 내부 서비스 리프트 설치	
22단계	3 rd 타워 섹션(Section) 설치	

〈표 IV-12〉 계속

단계	기계분야 설치	전기분야 설치
23단계		주 타워 및 3 rd 타워 섹션(Section) 설치 사이에 조명등과 소켓 케이블 설치
24단계		주 타워 및 3 rd 타워 섹션(Section) 사이에 접지선 장착
25단계	4 th 타워 섹션(Section) 설치	
26단계		주 타워 및 4 th 타워 섹션(Section) 설치 사이에 조명등과 소켓 케이블 설치
27단계		주 타워 및 4 th 타워 섹션(Section) 사이에 접지선 장착
28단계	5 th 타워 섹션(Section) 설치	
29단계		주 타워 및 5 th 타워 섹션(Section) 설치 사이에 조명등과 소켓 케이블 설치
30단계		주 타워 및 5 th 타워 섹션(Section) 사이에 접지선 장착
31단계	나셀(Nacelle) 설치	
32단계		타워 상부 나셀(Nacelle) 피뢰침과 타워 제어반(TCC)을 연장 케이블로 연결
33단계	로터(Rotor) 설치	
34단계	로터(Rotor)와 나셀(Nacelle) 사이의 유압라인 연결	
35단계		허브(Hub) 제어반(HCC)과 나셀(Nacelle) 제어반(NCC) 연결
36단계	타워 볼트 고정	
37단계	건설 장비 및 잔유물 제거	
38단계		변압기 MV 스위치기어 장치를 MV 케이블 설치 및 연결
39단계		타워 제어반과 나셀(Nacelle) 제어반 사이를 5×25^2 케이블 설치 및 연결
40단계		타워 제어반과 서비스 리프트 사이를 5×2.5^2 케이블 설치 및 연결
41단계		타워 제어반(TCC)에 2LWL 케이블 설치 및 연결
42단계		그리드(Grid)에 MV 스위치기어 장치 연결
43단계		건설 장비 및 잔유물 제거

풍력발전 유지보수 공정의 작업 절차 및 내용은 다음 <표 IV-13>과 같다 (DeWind, 2013).

〈표 IV-13〉 풍력발전 유지보수 공정의 작업 절차 및 내용

단계	단위공정	작업내용
1단계	블레이드 주 구성요소 - LPS 철제링/블레이드 각도 표지판	로터를 그림과 같은 위치로 돌림
2단계		로터를 볼트로 고정하여 잠금상태로 유지
3단계		잠금상태를 해제하지 못하도록 개별 잠금장치를 사용하고 표시
4단계		주요 철제링 표면 또는 오염여부와 블레이드 각도판 및 c의 위치를 육안으로 체계적 확인
5단계		로터 잠금장치를 해제하고 그림과 같이 로터를 Y 위치로 돌림
6단계		블레이드 b가 수직위치에 있는지 확인
7단계		로터를 볼트로 고정하여 잠금상태로 유지
8단계		잠금상태를 해제하지 못하도록 개별 잠금장치를 사용하고 표시
9단계		주요 철제링 표면 또는 오염여부와 블레이드 각도판의 위치를 체계적으로 확인
10단계		누락된 각도판이 발견되면 제조사 전문가에 문의
11단계	표면오염	로터를 그림과 같은 위치로 돌림
12단계		로터를 볼트로 고정하여 잠금상태로 유지
13단계		잠금상태를 해제하지 못하도록 개별 잠금장치를 사용하고 표시
14단계		블레이드 a와 c의 표면에 오염(먼지, 곤충 등) 여부를 육안으로 확인
15단계		1mm 이상 두께 발견시 유지관리 기록에 블레이드의 오염을 기록
16단계		로터 잠금장치를 해제하고 그림과 같이 로터를 Y 위치로 돌림
17단계		블레이드 b가 수직위치에 있는지 확인
18단계		로터를 볼트로 고정하여 잠금상태로 유지
19단계		잠금상태를 해제하지 못하도록 개별 잠금장치를 사용하고 표시
20단계		잠금상태를 해제하지 못하도록 개별 잠금장치를 사용하고 표시
21단계		1mm 이상 두께 발견시 유지관리 기록에 블레이드의 오염을 기록

〈표 IV-13〉 계속

단계	단위공정	작업내용
22단계		제조사 전문가 블레이드 청소가 필요하다고 판단하는 경우 청소
23단계	블레이드 표면 손상	터빈 로터를 그림과 같은 위치로 돌림
24단계		로터를 볼트로 고정하여 잠금상태로 유지
25단계		잠금상태를 해제하지 못하도록 개별 잠금장치를 사용하고 표시
26단계		첫 번째와 두 번째 블레이드 표면의 손상여부를 순차적으로 확인
27단계		가급적 구체적인 수치로 카메라를 이용하여 손상 부위별로 기록
28단계		블레이드 유지보수 보고서에 모든 표면 손상을 기록하고, 문서는 포함내용은 최소화
29단계		그림과 같이 로터 잠금장치를 해제하고 로터를 Y위치로 돌림
30단계		두 번째 블레이드가 수직 위치에 있는지 확인
31단계		로터를 볼트로 고정하여 잠금상태로 유지
32단계		잠금상태를 해제하지 못하도록 개별 잠금장치를 사용하고 표시
33단계		두 번째 블레이드도 4단계에서 6단계를 반복
34단계	강우 칼라(Collar) [블레이드 칼라(Collar)] 조립	터빈 로터를 그림과 같은 위치로 돌림
35단계		로터를 볼트로 고정하여 잠금상태로 유지
36단계		잠금상태를 해제하지 못하도록 개별 잠금장치를 사용하고 표시
37단계		첫 번째, 두 번째 블레이드 표면에서 레인 칼라의 위치를 육안으로 확인
38단계		그림과 같이 로터 잠금장치를 해제하고 로터를 Y위치로 돌림
39단계		두 번째 블레이드가 수직 위치에 있는지 확인
40단계		로터를 볼트로 고정하여 잠금상태로 유지

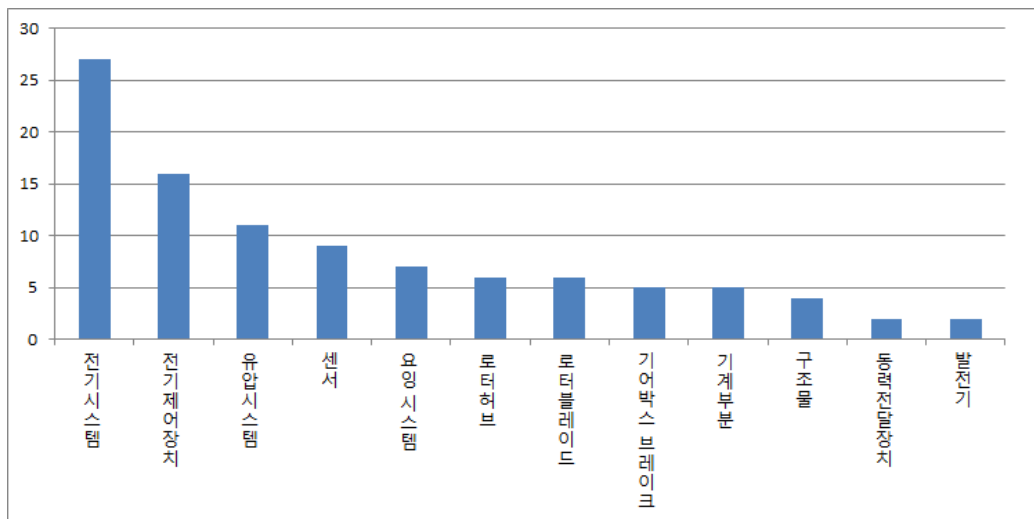
〈표 IV-13〉 계속

단계	단위과정	작업내용
41단계		잠금상태를 해제하지 못하도록 개별 잠금장치를 사용하고 표시
42단계		블레이드 표면에서 레인 칼라의 위치를 육안으로 확인
43단계		레인 칼라가 지정된 위치를 이탈한 경우 제조사 전문가에 보고
44단계	내부 블레이드 구조물 손상	T터빈 로터를 그림과 같은 위치로 돌림
45단계		로터를 볼트로 고정하여 잠금상태로 유지
46단계		잠금상태를 해제하지 못하도록 개별 잠금장치를 사용하고 표시
47단계		두 번째와 세 번째 블레이드 표면의 손상여부를 순차적으로 확인
48단계		가급적 구체적인 수치로 카메라를 이용하여 손상 부위별로 기록
49단계		블레이드 유지보수 보고서에 모든 표면 손상을 기록하고, 문서는 포함내용은 최소화
50단계		그림과 같이 로터 잠금장치를 해제하고 로터를 Y위치로 돌림
51단계		두 번째 블레이드가 수직 위치에 있는지 확인
52단계		로터를 볼트로 고정하여 잠금상태로 유지
53단계		잠금상태를 해제하지 못하도록 개별 잠금장치를 사용하고 표시
54단계		두 번째 블레이드도 4단계에서 6단계를 반복
55단계		허브 승강
56단계		블레이드 구조물 내부 손상 여부를 순차적으로 확인
57단계		가급적 구체적인 수치로 카메라를 이용하여 손상 부위별로 기록
58단계		첫 번째, 두 번째 블레이드 맨홀 뚜껑을 닫음
59단계		나셀로 복귀
60단계		그림과 같이 로터 잠금장치를 해제하고 로터를 Y위치로 돌림
61단계		두 번째, 세 번째 블레이드가 수직 위치에 있는지 확인

〈표 IV-13〉 계속

단계	단위공정	작업내용
62단계		로터를 볼트로 고정하여 잠금상태로 유지
63단계		잠금상태를 해제하지 못하도록 개별 잠금장치를 사용하고 표시
64단계		두 번째 블레이드도 11단계에서 16단계를 반복
65단계		블레이드 유지보수 보고서에 모든 구조물 손상을 기록하고, 문서는 포함내용 최소화
66단계		블레이드 손상 이전 기록과 비교하여 손상여부 확인
67단계	블레이드 배수구 관리	그림과 같은 위치로 터빈 로터를 돌림
68단계		로터를 볼트로 고정하여 잠금상태로 유지
69단계		잠금상태를 해제하지 못하도록 개별 잠금장치를 사용하고 표시
70단계		첫 번째와 세 번째 블레이드 표면의 손상여부를 순차적으로 확인
71단계		가급적 구체적인 수치로 카메라를 이용하여 손상 부위별로 기록
72단계		블레이드 유지보수 보고서에 모든 구조물 손상을 기록하고, 문서는 포함내용 최소화
73단계		그림과 같이 로터 잠금장치를 해제하고 로터를 Y위치로 돌림
74단계		두 번째 블레이드가 수직 위치에 있는지 확인
75단계	블레이드 내부 청소	그림과 같은 위치로 로터를 돌림
76단계		로터를 볼트로 고정하여 잠금상태로 유지
77단계		잠금상태를 해제하지 못하도록 개별 잠금장치를 사용하고 표시
78단계		첫 번째, 세 번째 블레이드 표면의 레인 칼라의 위치를 육안으로 확인
79단계		그림과 같이 로터 잠금장치를 해제하고 로터를 Y위치로 돌림
80단계		두 번째 블레이드가 수직 위치에 있는지 확인
81단계		로터를 볼트로 고정하여 잠금상태로 유지
82단계		잠금상태를 해제하지 못하도록 개별 잠금장치를 사용하고 표시
83단계		블레이드 표면의 레인 칼라의 위치를 육안으로 확인

특히, 대형 풍력 발전설비의 유지보수는 규정된 절차에 따라 적절히 수행되어야 하는데, 대부분의 고장은 전기 및 전자제어 장치와 센서, 기구 등에서 발생한다. 기계적 고장은 발생 빈도가 낮은 편이지만 풍력터빈 발전의 정지 시간에 심각한 영향을 끼친다. 다음 [그림 IV-6]은 미국 풍력협회(AWEA: American Wind Energy Association)에서 발표한 유틸리티 규모의 풍력 터빈에서 필요한 수리 및 유지 보수 비율 그래프를 나타낸다. 그래프에서는 전기시스템 수리(27%), 전자 제어장치 수리(16%), 그리고 유압시스템 수리(11%)가 높은 비율로 나타났다(백태현, 2017).



[그림 IV-6] 풍력발전설비의 유지보수 내역(AWEA)

2) 직무위험분석

(1) 태양광 발전

태양광 발전설비 관련 공정에서 발생할 수 있는 위험요인은 다음 <표 IV-14>와 같이 작업별로 구분·분석 하였다(The Clean Energy Regulator, 2018).

〈표 IV-14〉 태양광 발전설비의 설치작업 관련 위험요인

작업	발생형태	상해/질병	위험관리
고소작업	- 지붕에서 떨어짐 - 사다리에서 떨어짐 - 천장에서 떨어짐	- 트라우마 - 골절 - 사망	(제거) 지상 설치 (기술) 계단 부착 비계 설치 (보호구) 안전대 착용
천장작업	- 충전부 접촉 - 호흡기를 통한 유해물질 노출 - 석면 노출 - 과도한 열 노출 - 떨어짐, 미끄러짐 - 해충, 뱀, 거미 및 곤충	- 감전 - 호흡기 질병 - 암 - 중피종 - 탈진, 피로, 열 스트레스 - 트라우마, 골절 - 찢림, 베임 및 질병 - 사망 - 피부발진, 점액 증가	(제거) 천장작업을 대체하기 위해 지상 설치 (격리) 전원투입 방지를 위한 정전작업 절차 수립, 시행 (보호구) 호흡기 보호구, 보안경, 보호장갑 및 보호복 등을 포함하는 천장작업에 적합한 개인용 보호구 착용 (보호구) 안전대 착용
전기설비 설치 및 관련작업	- 충전부 접촉 - 단락사고	- 감전 - 아크, 화상 - 사망	(격리) 전원투입 방지를 위한 Lockout Tagout 실시 (승인) 유자격자(구조 및 심폐소생술) 배치 - 방염 또는 난연성능 작업복 착용 (보호구) 보안경 및 보호장갑 착용

〈표 IV-14〉 계속

작업	발생형태	상해/질병	위험관리
패널운반	• 운반 중 떨어짐, 깔림, 베임 등 • 운반 중 인대파열 등 근육 손상	• 골절 • 부상 • 사망 • 근골격계질환	• 이동대차 및 운반기구 사용 • 보호장갑 착용 • 작업절차 준수 등
옥외작업	• 햇볕 노출	• 피부암 • 그을림 • 탈진, 피로 및 열 스트레스	• (제거) 오전 10시부터 오후 3시까지는 옥외작업 금지 • (대체) 직사광선 노출을 고려하여 순환작업 • (대체) 차양막을 활용한 그늘지대 조성 • (보호구) 충분한 물, 자외선차단제, 모자, 선글라스
작업 관련 석면 또는 가능성	• 석면섬유의 흡입	• 중피종 또는 암	• (제거) 면허업체에 의한 석면함유 물질 제거 후 작업 실시 • (대체) 석면 스위치보드를 무해한 스위치보드로 교체

(2) 풍력 발전

풍력 발전설비의 설치공정에서 발생할 수 있는 위험요인을 작업별로 다음 <표 IV-15>와 같이 구분·분석 하였다(M. Gul, 2018).

<표 IV-15> 풍력 발전설비의 설치작업 관련 위험요인

구분	위험(Hazard)	위험성(Risk)
운송	• 작업현장 내 신호수단 미흡	• 작업현장 내 위급상황 대처 불가
위급상황	• 작업현장 내 위험작업 미결정	• 작업현장 내 일반인 무단 접근
전기작업	• 분전반 경고표지 미부착	• 감전 및 오조작
악천후 작업	• 기상조건 악화	• 불안정한 작업 수행
야간작업	• 불충분한 조명	• 시야 미확보로 불안정한 행동
화물차	• 토사운반 차량의 임의 이동	• 임의 이동으로 인한 차량의 기울어짐 및 기계적 고장
기계 및 설비	• 굴착 및 하치장에서의 유도자 및 하치장 장벽 부재	• 유도자가 없어 사고에 노출
차량 사용	• 운전자를 제외한 트럭 적재함의 탑승 여부	• 운전자가 아닌 사람의 트럭 적재함 탑승으로 인한 산재사고
작업방법	• 굴착면 도로에서의 경사 부적정	• 경사로 인한 교통사고
외부인 활동	• 의도하지 않은 출입	• 비공식 인원이 굴착작업 장소에 출입하여 발생하는 산재사고
청소작업	• 물 성분 미확인	• 물의 부적절한 사용
식당작업	• 식당 종사자의 위생교육 미흡	• 위생관념이 부족한 종사자의 조리
현장	• 맹독성 야생동물	• 동물 공격에 대한 부주의
조정	• 작업량	• 위험성평가 미실시
터빈 운송	• 도로표지판 부재	• 위험 및 사고 인지 불가
터빈 운송	• 벌목	• 고소에서 떨어짐
터빈 조립	• 크레인 사용, 설비 떨어짐	• 중량물 및 수공구 떨어짐
하이트크 취급	• 유압유 방출 및 파괴음	• 유압유 비산 및 청력 손실
순찰	• 방해 및 도난	• 초기 대응 시 직원 폭행
거푸집 작업	• 안전대를 부착설비 미설치	• 안전대 미사용, 고소에서 떨어짐
거푸집 작업	• 고소작업 시 지시 미 이행	• 고소에서 떨어짐
화재 및 비상상황	• 비상조치계획 미수립 및 조치부서 부재	• 비상상황에 대한 신속한 개입이 불가능하여 공황사태 발생

〈표 IV-15〉 계속

구분	위험(Hazard)	위험성(Risk)
콘크리트 작업	• 고소에서 콘크리트 작업	• 안전그네식 안전대 미착용으로 떨어짐
레미콘 차량	• 차량의 후방 이동 영역에서 작업하거나 신호 불일치	• 건설장비 및 노동자 충돌
기상조건	• 비가 많이 오거나 바람이 심한 경우의 고소작업	• 고소에서 떨어짐, 산사태 및 홍수, 비산물에 의한 충돌
사고 및 질병	• 위험작업 근로자의 전문역량 부족	• 사고 및 질병 증가
한열작업	• 뜨거운 태양 아래에서의 작업	• 일사병
발전소 차량	• 야간 및 악천후 조건에서의 차량 운행	• 제한적인 시야
굴착작업	• 굴착	• 굴착토사 이동
이송	• 작업현장 내 제한속도 초과	• 교통사고
포스트 조립	• 포스트 외부 승·하강	• 고소에서 떨어짐
일반작업	• 수공구 관리상태 미흡	• 수공구 파손 또는 비래에 의한 작업자 상해
인력작업 및 인간공학	• 인력으로 운반할 수 없는 무거운 하중	• 중량물의 단독 운반
사다리 사용	• 가장자리에서 사다리 취급작업	• 균형상실 및 떨어짐
관리감독	• 편향-상충 검토	• 고소에서 떨어짐, 인력작업, 기계적 재료 손상, 재료 떨어짐
절연체 설치	• 기동에 스푼(spool) 및 절연체 링 설치	• 고소작업, 재료낙하, 인력작업, 기동외부에서의 승·하강
가이드 와이어 설치	• 가이드 와이어 위로 당기기	• 스푼(spool) 또는 철사에 찢림, 의사소통 부재 및 철사 꼬임
보호구 사용	• 개인보호장비 미사용	• 인식부재
원자재 취급	• 원자재의 적재불량	• 원자재 붕괴 또는 무너짐
경고표지	• 불충분한 경고표지	• 위험성에 대한 부적절한 정보 제공
브레이크 및 와이어 감기	• 브레이크와 인양설비의 부적절한 교체	• 설비와 부합되지 않는 잘못된 위치 선정
인력장비	• 수공구 사고	• 수공구 사용에 따른 상해

풍력 발전설비의 운용과정에서 발생할 수 있는 위험요인을 영역별로 다음 <표 IV-16>과 같이 구분·분석 하였다(M. Gul, 2018).

<표 IV-16> 풍력 발전설비의 운용 관련 위험요인

구분	위험(Hazard)	위험성(Risk)
관리영역	- 인적요인 - 정화조와 물탱크 - 해충과 벌레 - 위험작업 도급	- 디젤 발전기와 변압기가 설치된 장소에 미인가자 출입 - 익사 - 해충과 벌레 물림 - 감전
보안순찰	전기장비 사용·취급에 따른 감전 가능성	보안 담당자의 감전 가능성
오염 폐기물 영역	폐기물 보관 용기에 미인가자 접근	미인가자의 화학물질 접촉에 의한 중독
창고 및 폐기물 영역	- 미인가자의 보관영역 접근 - 운용구역 내의 농업활동	- 미인가자의 창고 및 폐기물 영역으로 무의식 접근 - 미인가자의 고전압 취급 타워 접촉 및 승강 - 케이블 설치 경로에서 밧갈이를 위한 굴착 시 감전
트렌치 수로 (중간전압 케이블)	- 도로변 수로 개통 및 운용구역 내 장비 사용 - 폭우로 인한 트렌치 수로 피해	- 도로변 수로 개통 작업 중 장비에 의한 MV 케이블 접촉에 의한 감전 - 폭우로 인한 트렌치 수로의 케이블 노출 손상 위험
풍력터빈	자연재해로 인한 낙뢰, 아이스 낙하, 타워 붕괴	낙뢰, 결빙 타워 가동시 얼음조각으로 인한 미끄러움, 자연재해로 인한 타워 붕괴
터빈 영역	- 미인가자 출입 - 터빈 작업	- 미인가자 출입으로 충전부 접촉 - 미인가자의 터빈작업 영역 출입
터빈 승압용 변압기	변압기	- 변압기에서 발생할 수 있는 높은 온도와 압력 - 변압기 폭발에 따른 오일 비산 - 미인가자 출입 - 물적 피해 및 확산을 초래하는 사고

〈표 IV-16〉 계속

구분	위험(Hazard)	위험성(Risk)
RMU cell	• RMU(Ring Main Unit) cell	• 충전부 노출 및 폭발 화상 • 운전 중 폭발 및 아크 • 미인가자 출입 • 운전중 제어반 조작으로 인한 저압 감전
외함	• 콘크리트 외함 • 정류기	• 케이블 시스템의 곤충과 설치류에 의한 손상 • 미인가자 출입 • 화재로 인한 손상 • 충전부 접촉

3) 실태조사 및 이해관계자 의견수렴

(1) 공통 및 일반 사항

전문가 자문회의를 통해 신재생에너지 관련 최신 동향, 주요 이슈 및 개선 필요 사항 등을 다음 <표 IV-17>과 같이 파악하였다.

<표 IV-17> 전문가 자문회의 주요 내용

회차	대상	주요 내용
1회차	한국안전학회 전기안전부문 위원회 산·학·연 담당자 8명	- 신재생에너지 범위를 태양광, 풍력 및 수소로 한정하여 감전, 떨어짐 및 화재·폭발 재해예방 중심으로 수행 필요 - 신재생에너지 안전기준 개선을 위해서는 위험성평가를 통한 위험요인 도출이 중요함 - 태양광 사고는 주로 제도권(검사) 외 소규모 사이트 또는 소용량 설비에서 발생하고 있음 - 신재생에너지 관련 공법·기술·작업과 안전기준의 비교를 통해 사각지대 발굴 필요 - 고소작업, 직류감전 및 폭발위험장소 구분 등 다양한 현안사항 해결 필요 - 태양광, 풍력 사고의 경우 대부분이 화재사고로 명확한 원인규명이 어려운 상황임 - 풍력 발전설비 내부 승강기 경우 안전성 확인제도 부재로 안전관리 사각지대에 있음
2회차	- 전기안전공사 - 본사 및 연구원 신재생에너지 검사기준 업무 등 담당자 6명	- 태양광 및 풍력 발전설비 관련 화재사고는 국가화재정보시스템에서 확인 가능하나, 화재사고에 국한 및 분류체계 미정립 - 사용단계의 안전성 확인 전기안전공사에서 수행하고 있으나, 설계·설치·폐기단계에서의 안전성 확인 전기공사협회 및 에너지공단 협의 필요 - 발전설비의 주요 부품에 대한 안전성 확인은 전기용품 및 생활용품 안전관리법 또는 한국 표준화법에 근거함

〈표 IV-17〉 계속

회차	대상	주요 내용
2회차	- 전기안전공사 - 본사 및 연구원 신재생에너지 검사기준 업무 등 담당자 6명	- 향후 태양광 및 풍력 발전설비의 입지조건 제약으로 바다강산건물일체형 설치 증가가 예상되며, 작업조건과 환경이 열악해짐에 따라 위험요인 증가 예상 - 태양광 및 풍력 발전설비 관련 떨어짐 재해는 타법에서도 산업안전보건기준에 관한 규칙을 준용 - 태양광 사고는 주로 제도권(검사) 외 소규모 사이트 또는 소용량 설비에서 발생하고 있음 - 태양광 및 풍력 발전설비에서 다수 발생하고 있는 떨어짐 재해예방을 위해 특화된 안전조치 마련 및 안전장치 개발 필요 - 고소작업, 직류감전 및 폭발위험장소 구분 등 다양한 현안사항 해결 필요 - 태양광 및 풍력 발전설비 유지보수 시 직류(발전)와 교류(송전)가 공존하여, 일부 활선 작업으로 인해 직류 감전에 대한 기술적 대책도 필요 - 풍력터빈 내부 이산화탄소 소화설비로 인한 질식위험 고려 필요
3회차	한국에너지공단 신재생에너지센터 시공안전팀 2명	- 자연재해 및 화재사고 등으로 인한 발전중단 현황은 대외비로 제공 불가 - 일반적인 유지보수로 인한 발전중단은 에너지공단으로 통보대상 아님 - 정부 신재생에너지 보급사업은 신재생에너지 설비의 지원 등에 관한 지침에 따라 수행되며, 고시 관련 설치 확인 기준에 따라 설비의 적정 시공 및 작동상태를 확인하고 있음

(2) 태양광 발전

관계자 인터뷰를 통해 태양광 발전의 주요 기술, 작업 방법 및 절차, 설치·유지보수 관련 위험요인을 다음 <표 IV-18>과 같이 파악하였다.

<표 IV-18> 태양광 발전설비 인터뷰 내용

이슈	내용
태양광 발전설비의 대형화 및 입지조건 제약 가속화	- 태양광 발전 효율과 발전량을 높이기 위해 태양광 패널 및 모듈 규격의 대형화로 운반설치 작업시 재해발생 위험 증가 - 전기에너지 용량 증가로 유지보수 작업시 감전 위험성 증가 - 입지조건 제약에 따른 수상, 산지, 건물 옥상 및 벽면 등에 설치 증가로 관련 작업 위험성은 증가
태양광 발전설비 설치 관련 안전관리비 표준 부재	- 태양광 발전설비 설치 공사 시 전기공사 표준품셈을 적용하고 있어, 적절한 공사비 산정이 어려움 - 적절한 공사단가를 산정할 수 없고 가격 경쟁력 때문에 설치공사 시 산업안전보건관리비를 적정하게 책정할 수가 없음 - 따라서 설치공사 시 위험성평가가 적정하게 이루어질 수 없고, 안전관리 상태도 미흡함
태양광 발전설비 안전관리 상태 미흡	- 태양광 발전설비 설치공사 현장은 발전소에 준하여 안전관리가 필요하지만 - 현재 관리주체 및 안전기준은 송배전 중심으로 구성되어 있어 - 태양광 발전설비 특성 및 위험성에 대응할 수 있는 안전관리가 이루어지지 못하고 있음
태양광 발전설비 구조물 공사 시 비계 미설치	- 태양광 발전설비 구조물 설치 시 비계 설치가 원칙이나 설치비용과 입지조건 제약, 기술적 문제로 인해 비계 설치 없이 구조물 설치공사가 이루어지고 있음 - 특히 고소작업, 중량물 취급 및 운반작업이 대부분을 차지하고 있음에도 불구하고 안전관리 사각지대가 발생하고 있음 - 또한 태양광 발전설비 구조물 상부에서 설치작업이 이루어지므로 안전대 부착설비 적용도 불가능함

〈표 IV-18〉 계속

이슈	내용
전기공사업 및 강구조물공사업의 도급관계	- 태양광 발전설비 설치공사 현장에서는 통상적으로 공사수주를 받은 전기공사업 면허업체가 구조물 설치공사에 대해서는 강구조물공사업 면허업체에게 도급을 주게 되는데 - 소규모 태양광 발전설비 설치공사 현장에서는 공사수주를 받은 전기공사업 면허업체가 직접 구조물 설치공사를 실시하거나 강구조물공사업 면허업체가 아닌 업체에 도급을 주거나 관련 면허 대여 등으로 인해, - 도급업체의 안전관리 역량 부족 및 수급업체의 공사역량 부족 등으로 재해발생위험이 상존하고 있음
근로자 안전교육 미 실시	- 태양광 발전설비 설치 관련 작업자에 대한 자격, 경험, 교육 및 면허 등에 대한 세부 규정이 없어 사업장 자체적으로 근로자 안전교육을 실시하고 있음 - 특히 태양광 발전설비 설치공정에서 고소작업 및 중량물 취급 작업에 대한 교육 내용, 방법 및 과정이 미흡함 - 또한 건설업 기초안전보건교육도 이수하지 않는 것으로 확인됨
지붕 채광창 안전덮개 구입비용 지원사업	- 공단에서는 지붕공사 중 빈번하게 발생하는 채광창(썬라이트) 파손에 의한 떨어짐 사고사망을 예방하기 위해 채광창 안전덮개 구입비용을 지원하고 있음 - 태양광 발전설치 설치공사의 경우 공사기간이 짧아 지원절차에 따른 기간소요로 인해 대여시점을 예정하기 어려움 - 홍보부족 및 신청절차가 복잡하여 지원사업의 효용성에 대한 문제점 제기 (개선필요) 태양광 발전설비 설치공사 현장의 지원 확대를 위해 홍보 강화 및 신청절차 간소화 필요
근로자 안전교육 제도화	- 태양광 발전설비 설치공사 특성을 반영한 근로자 안전교육 제도 마련 필요 (개선필요) 태양광 발전설비 설치작업을 유해위험작업의 취업 제한에 관한 규칙 제3조(자격면허 등이 필요한 작업의 범위등)에 포함시켜 - 태양광 발전설비 설치공사의 작업별 위험특성을 반영한 안전교육 실시로 교육 효과성 제고 필요

(3) 풍력 발전

풍력 발전단지 관계자 인터뷰를 통해 풍력 발전설비 운용과정 및 유지보수 작업관련 의견수렴 내용을 다음 <표 IV-19>와 같이 정리하였다.

<표 IV-19> 풍력 발전단지 관계자 인터뷰 내용

이슈	내용
운용사업장의 안전관리 조직 및 체계	• 풍력 발전단지 운용 사업장의 경우 본사에서는 중대재해 관련 부서를 사업소에서는 재해안전 관련 부서를 운영하고 있음 • 전조직 차원에서 안전관리 업무를 수행하고 있음 • 산업안전보건법 및 전기안전관리법 외 자율적으로 안전작업 절차 및 기준을 마련하여 풍력발전설비의 안전관리 실시
풍력 발전설비 관련 위험성평가	• 유지보수단계에서의 위험성평가는 세부작업별로 상세하게 수행하고 있으며, 위험요인을 주기적으로 발굴하여 개선대책을 수립하고 있음 • 위험성평가 실시상태는 대체적으로 양호하며 활용성을 높이기 위한 관련 데이터 축적 및 관련업체와의 정보교류 필요 • 풍력 발전단지 운용 사업장의 경우 전력품질, 기술력 및 경제성을 이유로 개별 사업장의 정보교류가 제한적임
안전작업허가	• 전조직 차원에서 유기적으로 안전작업허가 시스템이 잘 작동되고 있음 • 화기작업 등 10개 작업에 대하여 안전작업허가 대상으로 규정하고 있음 • 부서별 관리감독자, 사업 담당자 및 협력업체 안전보건 관리책임자를 지정하여 책임과 권한을 부여하고 있음 • 특히 안전조치 사항에 대한 요구권 및 작업 중지권을 협력업체에게 부여하고 있음

〈표 IV-19〉 계속

이슈	내용
설치단계 위험요인 및 안전조치	• 건설업 유해위험방지계획서 제출 및 심사를 통해 사전 안전성을 확보하고 있음 • 그러나 풍력 발전설비 관련 중량물 운반 및 설치에 주안점을 두고 있어 • 풍력 발전설비의 위험요인 발굴 및 관리에는 한계가 있음
유지보수단계 위험요인 및 안전조치	• 운용 사업장의 규정, 지침에 따라 자체적으로 자율안전관리체계를 구축하고 안전관리를 실시하고 있음 • 비상탈출 훈련 등 전조직 차원의 자율적 안전관리를 실시하고 있음 • 다만, 법, 제도 미비사항 및 규제에 의한 추가적인 안전상의 문제가 발생할 수 있음

풍력발전 업체 관계자 인터뷰를 통해 풍력 발전의 주요 기술, 작업 방법 및 절차, 설치·유지보수 관련 위험요인을 다음 <표 IV-20>과 같이 파악하였다.

<표 IV-20> 풍력발전 업체 관계자 인터뷰 내용

이슈	내용
개인용 보호구 안전인증	개인용 보호구(하네스)의 경우 안전인증 비대상으로 안전성 확인 절차 및 방법 마련 필요
풍력 발전설비 내부 사다리	- 풍력 발전설비 내부에 설치되어 있는 사다리의 경우 구조 및 형태, 특성상 방호울과 계단참 설치가 불가능함 - 현재 풍력 발전설비 내부 사다리 승강 시에는 사다리용 추락방지 시스템을 사용하고 있으나 산업안전보건 기준에 관한 규칙 제24조(사다리식 통로 등의 구조)와는 상충됨 - 미국과 영국에서는 추락방지 시스템 또는 사다리 안전 시스템을 인정하고 있음
풍력 발전설비 안전보건정보 제공	- 외국 제조사의 경우 설비 관련 정보 및 작업 매뉴얼을 충분히 제공하고 있지 않아 해당 작업 관련 유해위험 요인 발굴이 용이하지 않음 - 또한, 풍력 발전설비의 핵심기술(발전기) 대부분은 외국 제조사에 의존하고 있음
풍력 발전설비 내부 리프트의 안전성 확보	- 풍력 발전설비 내부에 유지보수용 리프트가 설치되어 있음 - 해당 리프트는 산업안전보건법 및 안전인증자율안전확신고의 절차에 관한 고시에 따른 안전인증대상기계 등의 적용범위에는 미포함 - 또한 승강기안전관리법 규제 대상도 아닌 것으로 확인되어 사각지대에 있음
풍력 발전설비 위험성평가	- 풍력 발전설비 위험성평가 관련 데이터 부족으로 위험요인 도출 애로 - 제조사별 제공 데이터의 차이가 있고, 적용 표준에 따른 데이터 차이가 있음 - 풍력 발전설비 설치공사 및 유지보수 현장에서는 위험성평가가 이루어지지 않고 있음

〈표 IV-20〉 계속

이슈	내용
풍력 발전설비의 대형화 및 주요 구조부의 집적화, 모듈화	• 풍력 발전기 용량 및 규격 대형화로 설치 및 유지보수 작업 시 위험성은 증가할 것으로 예상 • 너셀(Nacell) 내부에 설치된 발전기에 인버터, 변압기 (22.9kV)가 추가 설치되어 고전압에 의한 위험성이 있음 • 너셀과 지상 구간에 장대 케이블 설치작업은 보조로프를 사용하여 인력으로 인양 및 운반하게 되는데, 떨어짐 재해발생위험이 있음
태양광 발전설비 안전관리 상태 미흡	• 태양광 발전설비 설치공사 현장은 발전소에 준하여 안전관리가 필요하지만 • 현재 관리주체 및 안전기준은 송배전 중심으로 구성되어 있어 • 태양광 발전설비 특성 및 위험성에 대응할 수 있는 안전관리가 이루어지지 못하고 있음
고소작업 시 개인용 보호구 안전성	• 고소작업 시 착용하는 개인용 보호구(하네스)에 대한 국내 안전성 확인 및 인증 제도가 없어 안전성 확인 불가 • 자일로프에 대한 폐기기준이 없어 자체적으로 점검 및 관리하고 있으나, 사업장마다 관련 기준이 달라 끊어짐으로 인한 떨어짐 등의 사고발생 위험이 높음
고소작업 시 안전대 부착설비 설치 불가	• 풍력 발전설비 타워 내부에서 케이블 인양작업, 나셀 내부에서 발전기, 변압기 등의 설치 및 조립작업과 타워 외부 유지보수 작업시 사용할 수 있는 안전대 부착설비가 없음 • 따라서 자일로프를 구조물 일부에 묶어서 지지·고정하는 방법으로 안전대 부착설비를 대체·사용하고 있음
풍력 발전설비 타워 외부 유지보수 시 로프 유도작업	• 풍력 발전설비 입지조건 제약으로 설치장소가 대부분 산악지대 또는 해상으로 작업장소 여건이 불량함 • 타워 외부 작업자의 로프 유도작업 시 경사, 개구부 구조물 및 해상 등으로 인해 떨어짐, 부딪힘 및 익사 등의 재해발생위험이 있음

〈표 IV-20〉 계속

이슈	내용
태양광 발전설비 불시기동	• 너셀 내부 유지보수 작업 시 블레이드 불시기동으로 인해 허브로터 동작으로 기어박스 등에 끼임 등의 재해발생위험이 있음 • 기술적으로 블레이드 불시기동에 의한 허브로터 동작을 방지할 수 있는 기계적 잠금장치 등의 인터록 시스템이 없음
타워섹션 조립작업 시 토크렌치 위험성	• 타워섹션 연결볼트 조립작업 시 토크 과다로 인한 너트 파열로 물체에 맞음 재해발생위험이 있음 • 연결볼트 체결간격이 좁아서 토크렌치 작업 시 끼임 등의 재해발생위험이 있음
전기공사업 및 강구조물공사업의 도급관계	• 전기공사업법에서는 풍력 발전설비 설치공사의 경우 전기공사업 면허를 가진 공사업자가 수행하여야 한다고 규정하고 있으며, 설치공사 중 강구조물공사의 경우 건설업 면허를 가진 공사업자에게 도급을 주고 있는 상황임 • 풍력 발전설비 설치공사는 대부분이 중량물(타워섹션, 블레이드, 발전기, 인버터, 변압기) 취급운반조립 작업으로 구성되며, 이는 도급을 받은 강구조물 공사업자가 수행하고 있음 • 풍력 발전설비 설치공사는 건설업 특성 및 관련 위험성을 내포하고 있어, 전기안전분야를 포함한 다양한 관점에서 안전관리가 필요함
근로자 안전교육 미실시	• 풍력 발전설비 설치 관련 작업자에 대한 자격, 경험, 교육 및 면허 등에 대한 규정이 없어 사업장 자체적으로 근로자 안전교육을 실시하고 있음 • 풍력 발전설비 설치 시 고소작업 및 중량물 취급조립 작업에 대한 교육 내용 및 방법이 미흡하고, • 일부 설치 작업자는 건설업 기초안전보건교육도 이수하지 않는 것으로 확인됨

- 미국(29 CFR 1910.28)
 - 새로운 추락 및 낙하물 방지의무 (Duty to fall protection and falling object protection) 조항에서는 2018년도부터 높이 7.3 m 이상의 고정식 사다리를 새로 설치하는 경우에는 등받이울 대신 개인 추락방지 시스템 또는 사다리 안전시스템을 설치하도록 개정
- 영국(HSE, Workplace (Health, Safety and Welfare) Regulations 1992)
 - 높이가 2.5 m를 초과하는 수직각도 75도 이상의 고정 사다리는 가능한 경우 적절한 등받이울 또는 영구적으로 고정된 추락방지시스템을 장착해야 한다고 규정

(4) 직류 누전차단기

직류 누전차단기 관련 이해 관계자 의견수렴을 통해 직류 누전차단기의 산업현장 수요 파악 및 개발 가능성 및 타당성을 확인하였다.

먼저 직류 누전차단기 관련 특허 현황을 다음 <표 IV-21>과 같이 파악하였다.

<표 IV-21> 태양광 발전설비 위험요인

발명의 명칭	등록일자	출원인	발명자
직류 전원 회로 및 이 직류 전원 회로를 이용한 누전차단기	2005.5.3.	후지 덴키 기기세이교 가부시끼가이샤	초지노부히코
직류 누전차단기	2013.2.13.	(주)금성계전, (재)기초전력연구원	한송엽, 한후석
직류전압 누전차단기	2011.2.15.	(주)에네	박우영
직류 누전 차단기	2014.3.31.	(주)대륙	김관영, 최원규

현재 직류 누전차단기 기술 수준은 지락차단장치의 개념을 적용하고 있으며, 지락전류 센서와 지락전류 신호처리장치로 구성되어 있다. (주)피에스디테크놀로지스에서 이미 개발한 지락차단장치는 태양광 발전설비의 직류전로에 지락 발생시 자동적으로 전로를 차단하는 장치로써 센서, 신호처리, 차단기를 연결하여 지락사고를 예방하는 장치이다. 이러한 지락차단장치를 설치해야하는 이유는 태양광 발전설비에 지락사고가 발생하거나 기생 커패시턴스에 의한 Stray 전류가 클 경우 GPT 소손, 이중지락에 의한 화재, 인버터 GPT 소손, 출력 손실, 부식 및 감전사고 등의 영향이 있기 때문이다.

(주)피에스디테크놀로지스에서 개발한 지락차단장치는 지락전류 센서, 지락전류 신호처리장치, 차단기를 연결하여 지락사고를 예방하는 장치로 기술 협의를 통해 센서, 지락전류 신호처리장치, 차단기 일체형 직류 누전차단기 개발할 예정이다.

3. 소결

태양광, 풍력 관련 산업재해 사고사망자 발생 현황 분석 및 산업재해통계 외 국내외 사고발생 현황 등을 파악하였다. 그리고 공정 및 작업내용 분석과 실태조사 등을 통해 태양광, 풍력 관련 위험요인을 도출하고, 도출 결과를 신재생에너지 안전기준 개선(안) 마련을 위한 근거자료로 활용하고자 하였다.

산업재해통계에서는 최근 5년간 사고사망자가 가장 많이 발생한 에너지원은 태양광, 풍력 및 폐기물 순이며, 생애주기별로는 태양광은 설치단계, 풍력은 제조단계에서 사고사망자가 가장 많이 발생하였다. 또한 기인물별로는 태양광의 경우 지붕에서 떨어지는 사고사망자가 가장 많이 발생하였다.

산업재해통계 외 풍력발전 관련 인명피해는 확인할 수 없었으며, 태양광 발전은 소방청 국가화재정보시스템을 통해 발생건수를 확인할 수 있었다. 또한, 케이스네스 풍력단지 정보 포럼 및 일본의 신에너지산업기술 총합 개발기구 등을 통해 풍력발전 관련 사고발생 건수, 사망자 및 부상자 수 및 사고발생원인 등을 확인할 수 있었다.

다만, 국내·외 태양광 및 풍력 발전 관련 사고의 경우 공식적으로 통계를 산출하고 있지 않고 있으며, 사고발생 원인에 대해서도 정확한 내용을 공개하지 않고 있다. 또한, 산업재해통계를 제외한 대부분의 사고발생 원인이 설비 결함 또는 문제 중심으로 작성 및 분석되어, 산업재해예방을 위한 작업자 중심의 위험요인 도출과 문제 예측에 있어서는 일부 한계가 있었다. 이러한 한계점은 공정작업 내용 및 직무분석 결과를 토대로 위험성분석을 통해 위험요인을 도출하고 현재 안전기준 및 안전조치 내용과 비교 분석하여 개선사항을 발굴하고자 하였다.

V. 신재생에너지 안전기준 개선(안)



V. 신재생에너지 안전기준 개선(안)

1. 안전기준 관련 타법령 검토

1) 신재생에너지 설비의 지원 등에 관한 지침

한국에너지공단에서는 신재생에너지 보급 사업을 효율적으로 추진하기 위하여 「신재생에너지설비의 지원 등에 관한 지침」을 제정하여 시행하고 있다.

동 지침 제7조(시공기준 등)에서는 신·재생에너지 설비에 대한 시공기준을 규정하고 있는데, 관련 내용 중 산업안전보건기준에 관한 규칙과의 내용 동일성, 유사성 및 개선 필요성 등을 고려한 고찰 결과를 다음 <표 V-1>과 같이 정리하였다.

<표 V-1> 신재생에너지 설비에 대한 시공기준 관련 안전조치 내용

조항	내용	비고
[별표 1] 신재생에너지 설비 원별 시공기준 (제7조제1항 관련)	1. 총칙 나. 공통 적용 기준 2) KS인증(이하 “인증”이라 한다)받은 설비를 우선 설치하여야 한다. 다만, 다음 각 호의 경우에는 지침 제12조 및 원별 시공기준에서 세부적으로 정한 기준에 따라 설치할 수 있다. 가) 인증표준이 없거나 설비용량이 인증표준을 초과하는 등 인증대상설비가 아닌 경우 나) 인증대상설비임에도 불구하고 해당용량에 인증받은 설비가 없는 경우	-
	2. 태양광설비 시공기준 나. 공통 준수사항 7) 기타 마) 안전사고 방지시설 ① 설비시공 및 설치확인, 유지보수시 안전사고 예방을 위한 작업공간(이동통로, 발판, 안전난간 등의 포함) 및 접근장치(계단, 사다리, 사다리차 등)를 확보하여야 한다. ② 설치시에는 산업안전보건기준에 관한 규칙 제45조를 준수하여 지붕위에서 작업하는 근로자의 안전에 항상 유의해야 한다.	산업안전보건 기준에 관한 규칙 제45조

2) 전기안전관리법 및 전기사업법

산업통상자원부는 신재생에너지 발전설비 보급이 급속히 확대되어, 발전설비의 안전관리 재정비 필요성이 지속적으로 제기됨에 따라서 신재생에너지 전기설비의 안전관리 제도 개선을 위한 전기안전관리법 시행규칙 및 전기사업법 시행규칙을 2022년 4월 22일에 개정·공포하였다.

이는 이상기후, 자연재난 등으로 인한 안전사고를 예방하고, 제품·부품의 기술력 제고 및 신재생에너지 설비의 안전성 확보를 위해 검사제도를 개편하고자 하였다.

(1) 태양광 발전

구조물 및 모듈 1/2이상 교체 시 사용전검사, 기초부지 및 구조물에 대한 정기검사 도입 등 전기안전관리법 및 전기사업법 주요 개정내용은 다음 <표 V-2>와 같다.

<표 V-2> 태양광 관련 전기안전관리법 및 전기사업법 주요 개정내용

구분	내용	법령
구조물모듈 사용전 검사	- 구조물 및 모듈의 잦은 교체에 따른 안전사고 발생 - 안전사고 예방을 위해 구조물 설치대체(누적 1/2 이상인 경우 포함) 및 태양광 모듈의 1/2(누적 1/2 이상인 경우 포함) 교체 시 사용전검사 대상으로 추가	- 전기안전관리법 시행규칙 별표1 - 전기사업법 시행규칙 별표5
부지구조물 정기검사	- 태풍 및 강풍으로 모듈이탈, 구조물 등 피해 발생 증가('19년도 26건, '20년도 84건/에너지공단 자료) - 농지, 산지, 염전, 간척지 구조물의 피로 누적, 토사 유출, 산사태, 태풍 등으로 인한 파손을 예방하기 위하여 정기검사 대상에 포함하고 검사주기를 단축함	전기안전관리법 시행규칙 별표4

(2) 풍력발전

제조단계에서 안전성 사전 확보, 나셀, 타워, 블레이드 등 주요부품 교체 시 사용전 검사 실시, 설치 기초부지에 대한 정기검사 도입 및 정기검사 주기 단축 등 전기안전관리법 및 전기사업법 주요 개정내용은 다음 <표 V-3>과 같다.

<표 V-3> 풍력 관련 전기안전관리법 및 전기사업법 주요 개정내용

구분	내용	법령
제조단계 안전성 확보	- 최근 풍력발전 안전사고 중 제품결함에 의한 안전사고가 지속적으로 발생하고 있음 - 제작 완료 시점에 풍력발전기 주요 구성품에 대한 필수 안전요구사항 확인절차 마련(자체 시험성적서 제출 등)	- 전기안전관리법 시행규칙 별표3 - 전기사업법 시행규칙 별표9
주요설비 교체 시 안전검사	- 해상 및 산악지 돌풍현상에 의해 풍력발전 타워 도괴사고, 제품결함 및 나셀 화재 등 다수의 풍력발전설비 사고가 매년 발생하고 있음 - 블레이드, 타워, 나셀 교체 시 사용전검사 대상에 포함	- 전기안전관리법 시행규칙 별표1 - 전기사업법 시행규칙 별표5
정기검사 개선	- 기후변화로 산지, 해안 등에 설치된 풍력설비는 국지성 집중호우, 태풍 등으로 산지 비탈면 경사도에 따라 사면파괴, 붕괴 등의 위험성 상존 - 기초부지 정기검사(3년) 도입 및 검사주기 단축(4년→3년)	전기안전관리법 시행규칙 별표4
타워 용접부 사용전 검사	1,295톤 내외의 하중을 지탱하고 기계적인 피로응력을 받는 타워 용접부에 대한 검사제도 부재로 안전사고의 위험해소를 위해 사용전검사 도입	- 전기안전관리법 시행규칙 별표3 - 전기사업법 시행규칙 별표9

(3) 중대사고 보고대상 확대

신재생에너지 발전설비의 소규모 특성으로 인해 기존의 중대사고에 포함되어 있지 않고, 가동중단 등에 대해서도 보고되지 않아 사고현황 파악 및 대응에 한계가 있어 중대사고 기준을 현재 감전사고(사망 2명, 부상 3명)에서 감전사고(사망 1명, 부상 1명)으로 조정하였다. 다만, 중대사고 보고대상을 확대 개정하였지만, 사고형태를 감전으로만 규정하고 있어 떨어짐, 끼임, 충돌 등 다른 형태의 사고 발생시에는 중대사고에 포함되지 않을 수도 있다.

3) 전기설비 검사·점검 기준

한국전기안전공사는 한국전기설비규정(KEC) 전면 시행(2022.1.1.)에 따라 법 제8조부터 제15조 및 전기사업법 제63조에서 규정하는 전기사업용, 자가용 및 일반용 전기설비의 검사·점검에 대한 기준을 제시하기 위해 「전기설비 검사·점검 기준」을 제정하였다.

주요 내용으로는 첫째, 한국전기설비규정(KEC) 전면 시행에 대한 검사·점검기준 적용원칙 규정, 둘째, 고시에서 정하는 설비별 검사항목, 검사 세부 종목별 검사·점검기준, 셋째, 외관검사, 시험·측정·분석에 의한 전기설비 검사·점검 항목과 세부 판단기준, 넷째, 전기기계기구의 안전성 확보를 위한 적합성 확인 방법과 세부기준, 다섯째, 전기저장장치, 태양광발전설비 등 분산형 전원설비 안전성 확보를 위한 세부기준 등이 포함되어 있다.

한국전기안전공사의 전기설비 검사·점검 기준 내용 중 산업안전보건기준에 관한 규칙과의 내용 동일성, 유사성 및 개선 필요성 등을 고려한 고찰 결과를 다음 <표 V-4>와 같이 정리하였다.

〈표 V-4〉 전기설비 검사·점검 기준 관련 안전조치 내용

조항	전기설비 검사·점검 기준	비고
630.1 태양광발전설비	1. 태양전지 모듈, 전력변환장치 및 접속함은 한국산업표준(KS)에 따른 인증제품을 설치하여야 한다. 다만, 한국산업표준(KS)에 규격이 없는 제품인 경우 검사기관장이 별도로 정하는 요건에 따른 시험성적서 제출 시 예외로 할 수 있다. 가. 결정질태양전지모듈 및 박막형전지모듈, BIPV모듈은 한국산업표준(KS)에 따른 인증제품을 설치할 것 나. 전력변환장치는 다음의 것을 사용할 것1) 250 kW 이하 전력변환장치는 KS인증제품을 설치할 것2) 250 kW 초과 전력변환장치는 KS C 8565 에 따라 ‘절연성능’, ‘보호기능’, ‘정상특성’ 등을 만족하는 시험결과가 포함된 시험성적서를 제출할 것 다. 접속함 및 접속함 일체형 전력변환장치는 KS인증제품을 설치할 것. 다만, 접속함 일체형 전력변환장치 중 전력변환장치의 용량이 250 kW를 초과하는 경우에는 KS C 8567(태양광발전용 접속함) 및 KS C 8565(중대형 태양광 발전용 인버터)에 따라 ‘절연성능’, ‘보호기능’, ‘정상특성’ 등을 만족하는 시험결과가 포함된 시험성적서를 확인하고 인정할 것 2. 태양전지 발전설비의 직류 지락차단장치는 IEC 60364-7-712 (2017) 712.42(또는 712.53)에 따라 발행된 한국인정기구(KOLAS) 인증을 받을 것. 다만, 수입제품인 경우 APAC 및 ILAC에 가입된 국제인정기구의 공인시험성적서로 갈음한다.	
630.4 풍력발전설비	1. 풍력 터빈의 금속 구조물에 사용되는 재료는 KS C IEC 61400-1(풍력터빈-제1부 : 설계요구사항) 및 KS C IEC61400-3(풍력발전기-제3부 : 해상용 풍력발전기에 대한 설계 요구조건)에 적합한 재료를 사용하여야 한다. 2. 날개의 회전 면적이 200 m² 미만 또는 정격 출력 30 kW 이하(정격전압 AC 1,000 V 또는 DC 1,500 V 미만)인 소형 풍력발전설비는 KS C 8570(소형 풍력터빈), KS C 8571(소형 풍력터빈용 인버터) 규격에 따른 인증제품을 사용하여야 한다. 다만, 한국산업표준(KS)에 규격이 없는 제품인 경우 검사기관장이 별도로 정하는 요건에 따른 시험성적서를 제출하여야 한다	

<표 V-4> 계속

조항	전기설비 검사·점검 기준	비고																					
720.1.2 설치장소의 요구사항	4. 태양전지 모듈을 지붕에 시설하는 경우 취급자에게 추락의 위험이 없도록 점검통로 및 사다리를 표 720-1, 표 720-2에 적합하도록 다음에 따라 시설하여야 한다. 가. 슬레이트, 선라이트 등 강도가 약한 재료로 덮은 지붕인 경우 폭 30cm 이상의 발판 또는 추락 방호망을 설치하거나 동등 이상의 점검통로를 확보할 것 나. 안전난간의 구조 및 설치는 다음과 같이 시설할 것 1) 상부 난간대, 중간 난간대, 발끝막이판 및 난간기둥으로 구성할 것. 다만, 중간 난간대, 발끝막이판 및 난간기둥은 이와 비슷한 구조와 성능을 가진 것으로 대체 가능 2) 상부 난간대는 바닥면발판 또는 경사로의 표면으로부터 90cm 이상 설치 3) 난간대는 지름 2.7cm 이상의 금속제 파이프나 그 이상의 강도가 있는 재질로 설치 4) 안전난간은 구조적으로 가장 취약한 지점에서 가장 취약한 방향으로 적용하는 100kg 이상의 하중에 견딜 수 있는 튼튼한 구조 다. 지붕 내 개구부 등이 있을 경우 방호 조치를 할 것 라. 안전대 걸이(고리) 설치는 다음과 같이 시설할 것 1) 안전대 걸이를 태양광 구조물에 체결 시 관계전문기술자로부터 '구조안전확인서' 확인 2) 안전대 걸이를 와이어로프에 체결 시 와이어로프는 최소 공칭지름 0.4cm 이상 또는 동등 이상의 성능의 제품 사용 표 720-1 지붕형태에 따른 점검통로 설치기준 <table border="1"> <thead> <tr> <th>강한지붕재료와 약한지붕재료가 혼재된 경우</th><th>지붕부착형(지붕면적 전체설치 또는 일부설치)</th><th>평지붕형</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>약한지붕재료에만 안전발판 설치 의무</td><td></td><td>약한지붕재료에만 안전발판 설치 의무</td></tr> <tr> <td>안전난간 또는 안전대 걸이 (고리) 설치</td><td>점검통로 설치의무 없음</td><td>안전난간 또는 안전대 걸이 (고리)설치</td></tr> <tr> <td>수직이동통로(사다리)설치</td><td></td><td>수직이동통로(사다리)설치</td></tr> </tbody> </table> 표 720-2 사다리 설치기준 <table border="1"> <thead> <tr> <th>구분</th><th>건물높이 6 m 이하</th><th>건물높이 6 m 초과</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>20 kW 이하</td><td>이동식 사다리 설치</td><td>착탈식 사다리 설치</td></tr> <tr> <td>20 kW 초과</td><td>착탈식 사다리 설치</td><td>고정형 사다리 설치 (등받이 설치)</td></tr> </tbody> </table>	강한지붕재료와 약한지붕재료가 혼재된 경우	지붕부착형(지붕면적 전체설치 또는 일부설치)	평지붕형	약한지붕재료에만 안전발판 설치 의무		약한지붕재료에만 안전발판 설치 의무	안전난간 또는 안전대 걸이 (고리) 설치	점검통로 설치의무 없음	안전난간 또는 안전대 걸이 (고리)설치	수직이동통로(사다리)설치		수직이동통로(사다리)설치	구분	건물높이 6 m 이하	건물높이 6 m 초과	20 kW 이하	이동식 사다리 설치	착탈식 사다리 설치	20 kW 초과	착탈식 사다리 설치	고정형 사다리 설치 (등받이 설치)	산업안전보건기 준에 관한 규칙 제13조, 제43조, 제45조
강한지붕재료와 약한지붕재료가 혼재된 경우	지붕부착형(지붕면적 전체설치 또는 일부설치)	평지붕형																					
약한지붕재료에만 안전발판 설치 의무		약한지붕재료에만 안전발판 설치 의무																					
안전난간 또는 안전대 걸이 (고리) 설치	점검통로 설치의무 없음	안전난간 또는 안전대 걸이 (고리)설치																					
수직이동통로(사다리)설치		수직이동통로(사다리)설치																					
구분	건물높이 6 m 이하	건물높이 6 m 초과																					
20 kW 이하	이동식 사다리 설치	착탈식 사다리 설치																					
20 kW 초과	착탈식 사다리 설치	고정형 사다리 설치 (등받이 설치)																					

〈표 V-4〉 계속

조항	내용	비고
720.1.3 설비의 안전 요구사항	1. 태양전지 모듈, 전선, 개폐기 및 기타 기구는 충전 부분이 노출되지 않도록 시설하여야 한다. 2. 모든 접속함에는 내부의 충전부가 전력변환장치로부터 분리된 후에도 여전히 충전상태일 수 있음을 나타내는 경고가 부착되어야 한다. 3. 태양광설비의 고장이나 외부 환경요인으로 인하여 계통 연계에 문제가 있을 경우 회로분리를 위한 안전시스템이 있어야 한다.	KEC 521.2
720.3.4 수상형 태양광 발전설비	5. 안전장치는 다음과 같이 시설하여야 한다. 가. 유지보수 통로는 유지관리의 편의성을 위해 유지관리 인원이 구조물 위에서 이동함은 물론, 관련 기자재를 운반할 수 있도록 안정적인 구조로 설치하여야 하고 태양광 어레이별 유지보수 통로를 폭 40 cm 이상으로 설치할 것 나. 점검통로의 끝부분에는 점검인력의 추락을 방지할 수 있는 안전난간 또는 동등 이상의 추락방지장치를 설치할 것 다. 조난 해결을 위한 구명 용품(구명 튜브 및 로프 등)을 설치할 것 라. 야간에도 수상구조물을 인지할 수 있도록 경광등 시설을 설치할 것	-
740.1.2 설치장소의 요구사항	4. 나셀 등 풍력발전기 상부시설에 접근하기 위한 안전한 시설물을 강구하여야 한다. 6. 500 kW 이상의 풍력터빈은 나셀내부의 화재 발생 시 이를 감지하고 자동으로(KEC 531.3) 소화할 수 있는 화재방호설비를 시설하여야 한다.	-
740.3.1 풍력설비의 기초 및 구조	2. 풍력터빈을 지지하는 구조물 가. 풍력발전기의 구조, 성능 및 시설조건은 다음을 따른다. 1) 풍력터빈을 지지하는 구조물은 자중, 적재하중, 적설, 풍압, 지진, 진동 및 충격 등을 고려하여야 한다. 2) 동결, 착설 및 분진의 부착 등에 의한 비정상적인 부식 등이 발생하지 않도록 고려하여야 한다. 또한, 타워 연결 부 및 기초부에 사용되는 볼트, 너트 및 와셔 등은 용융아연도금처리 또는 동등 이상의 녹 방지 처리를 하여야 하며, 용접부위는 방식처리를 하여야 한다.	-

〈표 V-4〉 계속

조항	내용	비고
740.4.1 풍력터빈 시설의 일반 요구사항	1. 풍압에 대하여 구조상 안전하여야 한다. 6. 풍력터빈의 점검 또는 수리를 위하여 회전부를 정지 및 고정할 수 있는 구조여야 하며 검사와 유지보수 인력의 안전을 확보하여야 한다. 12. 모든 볼트조립은 규정된 토크로 체결하고, 조립 후에 접합부 등에 빈틈이나 힘 등의 손상이 없어야 하며, 최상단부의 수평레벨을 맞추어야 한다. 13. 설계 시 검사 및 유지보수 인력이 안전하게 작업할 수 있도록 다음의 사항을 갖추어야 한다. 가. 안전한 접근 경로, 검사 및 일상적 유지보수를 위한 작업 장소 나. 회전부품 또는 작동부에 접촉해서 부상을 입지 않도록 하는 적절한 수단 다. 지상 작업 또는 올라갈 때 고정을 위해 사용하는 생명선 및 안전벨트 또는 기타 승인된 보호장치 라. 유지보수 중에 바람조건 및 설계상황에 따라 블레이드 피칭 같은, 로터 및 요 메커니즘의 회전, 또는 기타 기계적 운동을 차단하기 위한 수단 그리고 안전한 차단 해제 수단 마. 전기가 통전되는 상태임을 알리는 경고표지 바. 충전된 전기의 방전을 위한 적절한 장치 사. 적절한 개인 화재 보호장치 아. 나셀로부터의 대체 탈출 경로	
740.4.3 풍력터빈의 제어 및 보호장치 시설의 일반요구사항	4. 풍력터빈은 작업자의 안전을 위하여 유지, 보수 및 점검 시 전원 차단을 위해 풍력터빈 타워의 기저부에 개폐장치를 시설하여야 한다.	-

〈표 V-4〉 계속

조항	내용	비고
740.5.5 해상풍력발전 설비의 시운전, 운영 및 유지	4. 검사 및 유지보수 인력의 안전확보를 위해 설계 시 다음 사항을 고려해야 한다. 가. 검사와 통상적인 유지를 위한 안전한 접근통로와 작업장소 나. 회전하거나 움직이는 부품과의 접촉사고로부터 작업자를 보호할 수 있는 충분한 수단을 제공할 것 다. 등반 또는 플랫폼보다 높은 곳에서 작업 시 구멍 밟출 및 안전벨트 및 기타 승인된 보호장비를 제공할 것 라. 하중케이스에서 규정된 바람조건 및 설계상태에 따른 점검 시에 로터 및 요잉 메커니즘 또는 블레이드 피칭과 같은 기타 기계적 동작을 잠글 뿐만 아니라 안전잠금 해제 장치가 제공될 것 마. 반도체에 대한 경고표시 바. 축적된 전기의 방전에 적합한 장치 사. 작업자를 위한 적합한 방화 아. 나셀로부터 추가 탈출경로 자. 비상시 해상풍력발전설비로부터 추가 탈출경로 제공 차. 해상풍력발전설비에서 일주일간 머무를 수 있어야 함(음식, 물, 난방, 옷/담요) 카. 해상용 안전장비(구명조끼, 구명 뗏목, 조명, 경고 권총, 조명탄)	-

2. 안전기준 적정성 검토

1) 안전기준 적정성 검토 방법

안전기준 개선사항은 매트릭스(Matrix) 방법을 활용하여, 위험요인×「산업 안전보건기준에 관한 규칙」(이하 ‘기준규칙’)을 정리하고, 다음 [그림 V-1]과 같은 방법으로 적정성을 검토하였다. 여기서, 위험요인 중심으로 기준규칙에 해당되지 않으면 추가 검토필요 기준규칙 사항, 기준규칙 중심으로 위험요인에 대하여 적용 가능성 검토필요 기준규칙 사항으로 2개 에너지원(태양광, 풍력)의 안전기준 적정성을 검토하였다(서용운, 2022).

구분	기준규칙 1	기준규칙 2	비고
위험요인 1			추가 검토가 필요한 위험요인
위험요인 2	●		
		삭제 검토가 필요한 규칙	

[그림 V-1] 매트릭스 방법을 활용한 안전기준 적정성 검토

2) 태양광

IV. 신재생에너지 관련 사고 및 위험요인에서 분석한 태양광의 위험요인 분석내용을 토대로, 다음 <표 V-5> 및 <표 V-6>과 같이 현재의 안전기준에서 안전조치 사항을 적절하게 규정하고 있는지를 확인하고 검토의견을 정리하였다.

<표 V-5> 태양광 관련 안전조치 적정성 검토(일반안전)

산업안전보건기준에 관한 규칙 위험요인	관련 조항	검토의견
- 태양광 패널 설치 시 떨어짐 - 태양광 발전 시스템 관련 작업 시 지붕, 사다리 및 천장 등에서 떨어짐	제44조(안전대의 부착설비 등) 제45조(지붕 위에서의 위험방지)	- 타 법에서도 제44조 및 45조를 준용하여 안전기준 적용하고 있음 - 다만, 전기설비 검사점검 기준에서는 안전대 부착설비 지지로프 사양 및 이상 유무 점검방법에 대하여 구체적으로 제시하고 있음
	제13조(안전난간의 구조 및 설치요건) 제24조(사다리식 통로 등의 구조)	- 타 법에서도 제13조 및 24조를 준용하여 안전기준 적용하고 있음 - 다만, 전기설비 검사점검 기준에서는 지붕 재료 및 구조에 따라 점검통로 및 사다리 설치 세분화하고 있음
악천후 및 강풍 시 옥외 작업	제37조(악천후 및 강풍 시 작업중지) 제383조(작업의 제한)	설치, 수리, 점검 또는 해체 작업중지를 위한 풍속, 강우량 및 강설량 조건 지정 필요
수상형 태양광 발전설비 설치 및 유지보수 중 익사	제47조(구명구 등) 제390조(하역작업장의 조치기준) 제398조(통선 등에 의한 근로자수송 시의 위험 방지) 제399조(수상의 목재·뗏목 등의 작업 시 위험방지)	- 수상형 태양광 발전설비 설치장소는 강이나 호수로 하역작업장이 아니므로 제390조 적용 불가 - 제399조에는 물 위의 목재·원목·뗏목 등으로 규정하고 수상형 태양광 발전설비 명문화 필요
산지형 태양광 발전설비 설치 등 작업 시 경사면에서의 재해	제3조(전도의 방지) 제386조(경사면에서의 중량물 취급)	제3조는 작업장 바닥으로 포괄적으로 규정하고 있어, 산지 등에서 미끄러짐 또는 넘어짐 재해 예방을 위한 세부 규정 필요

〈표 V-6〉 태양광 관련 안전조치 적정성 검토(전기안전)

산업안전보건기준에 위험요인 관한 규칙	관련 조항	검토의견
태양광 발전 시스템의 직류누설전류에 의한 감전	제304조(누전차단기에 의한 감전 방지)	- 직류 누설전류를 차단할 수 있는 상용화된 누전차단기는 없음 - 문헌고찰에 따르면 교류와 직류에 대한 인체감전 조건은 상이함
접속반 등이 태양광 발전 시스템의 구조물 상부에 설치로 점검 및 보수 시 고소에서 떨어짐	제310조(전기 기계·기구의 조작 시 등의 안전조치) 제1항	- 전기 기계기구의 조작부분을 점검하거나 보수하는 경우 근로자가 안전하게 작업할 수 있도록 70cm 이상의 폭을 가지는 작업 공간을 확보하거나 절연용 보호구를 착용하도록 하고 있으나, - 태양광 발전 시스템의 조작부분이 대부분 고소에 설치되어 있으므로 떨어짐 재해를 예방하기 위해 제310조 안전조치 사항 보완 필요
직류전기에 의한 전기적 불꽃 또는 아크에 의한 화상	제310조(전기 기계·기구의 조작 시 등의 안전조치) 제2항	- 방염처리된 작업복 또는 난연성능을 가진 작업복에 대한 규정 명확화 - 타법 준용 필요
태양광 모듈과 접속반 구간의 활선상태에서 유지보수로 인한 감전	제319조(정전전로에서의 전기작 업)	- 태양광 모듈과 접속반 구간의 전원차단장치가 없어서, 활선상태로 유지보수 작업 중 - 전원차단장치 설치 등 기술적 해결 또는 활선작업절차 마련 필요
전력계통 연계 시 감전	제321조(충전전로에서의 전기 작업)	- 태양광 발전 시스템의 송전계통과 연계 시 활선상태로 작업 중 - 간접활선 작업에 대한 작업 범위 및 내용 명확화 필요
낙뢰로 인한 구조물 파괴 및 감전	제326조(피뢰설비의 설치)	화약류 또는 위험물을 저장하거나 취급하는 시설물로만 한정하여 규정하고 있음
태양광 발전설비의 계통 연계 케이블 손상	-	수중 케이블에 대한 안전기준 마련 필요

3) 풍력

IV. 신재생에너지 관련 사고 및 위험요인에서 분석한 풍력의 위험요인 분석 내용을 토대로, 다음 <표 V-7> 및 <표 V-8>과 같이 현재의 안전기준에서 안전조치 사항을 적절하게 규정하고 있는지를 확인하고 검토의견을 정리하였다.

<표 V-7> 풍력 관련 안전조치 적정성 검토(일반안전)

산업안전보건기준에 관한 규칙 위험요인	관련 조항	검토의견
나셀, 포스트 등 풍력터빈 내부에서 화재 등 사고 발생 시 탈출할 수 있는 비상구 부재	제17조(비상구의 설치)	별표 1에 규정된 위험물질 제조·취급 작업장 및 건축물에 한하여 비상구를 설치하도록 규정
포스트 내부에 설치된 사다리의 폭, 계단참 등에 기준규칙 준수 불가	제24조(사다리식 통로 등의 구조)	산업안전보건기준에 관한 규칙에서는 잠함 내 사다리식 통로와 건조·수리중인 선박의 구명종이 설치된 사다리식 통로에 한해서 예외 규정이 있음
풍력 터빈의 블레이드, 포스트 등에 대한 외부 유지보수 작업시 떨어짐 등의 재해위험이 있음	제35조(관리감독자의 유해위험 방지 업무 등)	- 풍력 발전설비의 블레이드, 포스트 등에 대한 외부 유지보수 작업은 달비계가 아닌 자일 로프를 사용하여 작업하고 있음 - 작업의 형태 및 방법 등이 달비계 작업과 유사함에도 불구하고 로프 결손상태, 결속방법 및 작업방법 등에 관리감독 부재
풍력 터빈의 포스트 내부의 리프트 안전성 확인 미실시	제36조(사용의 제한)	산업안전보건법에서 규정하는 안전인증 대상품 적용범위에 미포함
악천후 및 강풍 시 옥외 작업	제37조(악천후 및 강풍 시 작업 중지) 제383조(작업의 제한)	설치, 수리, 점검 또는 해체 작업 중지를 위한 풍속, 강우량 및 강설량 조건 지정 필요
풍력터빈 유지보수시 산업안전보건기준에 관한 규칙에서 규정하는 안전대 부착설비를 사용하지 않고, 등산용 로프를 사용한 별도의 체결방식을 활용중	제44조(안전대의 부착설비 등)	달비계 작업방식이 아닌 자일 로프 사용방식의 작업절차 및 방법에 대한 검토 필요

<표 V-7> 계속

산업안전보건기준에 관한 규칙 위험요인	관련 조항	검토의견
유지보수 작업시 포스트 내부에서 재료·기구 또는 공구 등을 올리거나 내리는 중 떨어짐·비레 등의 위험	제57조(비계 등의 조립·해체 및 변경) 제366조(조립 등 작업 시의 준수 사항) 제369조(작업 시 준수사항)	비계, 거꾸집 및 교량작업에만 달줄, 달포대 등을 사용하도록 규정하고 있음
풍력 터빈의 블레이드, 포스트 등에 대한 외부 유지보수 작업시 떨어짐 등의 재해위험이 있음	제63조(달비계의 구조)	- 풍력터빈의 외부작업 시에는 달 비계를 사용하지 않고, - 안전대는 등산용 로프를 사용하 여 유지보수 작업 중 - 산업안전보건기준에 관한 규칙 에서는 현재의 작업 방법 및 절 차 등에서 안전조치 사항을 규정 하지 못하고 있음 - 고소에서 수공구·재료 등을 사 용하여 다양한 점검 및 보수 작 업을 수행하고 있음
블레이드 및 포스트 유지보수를 위한 외부작업 시 풍력터빈 불시기동에 의한 충돌 위험	제104조(금형조정작업의 위험 방지) 제153조(피트 청소 시의 조치) 제176조(수리 등의 작업 시 조치) 제205조(불 등의 강하에 의한 위 험 방지)	블레이드 및 포스트 유지보수를 위한 외부작업 시 풍력터빈의 불 시기동을 방지할 수 있는 규정 필요
풍력터빈의 포스트를 조립하는 경우 포스트 접합부 유동에 의한 떨어짐 등의 재해위험	제380조(철골조립 시의 위험 방지)	- 산업안전보건기준에 관한 규칙 에서는 철골작업으로 규정하고 있어, - 해당 작업의 안전조치를 위한 추 가 규정 필요
해상형 태양광 발전설비 설치 및 유지보수 중 익사	제47조(구명구 등) 제390조(하역작업장의 조치기준) 제398조(통선 등에 의한 근로자 수송 시의 위험 방지) 제399조(수상의 목재·뗏목 등의 작업 시 위험방지)	- 해상형 발전설비 설치장소는 강 이나 호수로 하역작업장이 아니 므로 제390조 적용 불가 - 제399조에는 물 위의 목재·원 목·뗏목 등으로 규정하고 수상 형 태양광 발전설비 명문화 필요

〈표 V-8〉 풍력 관련 안전조치 적정성 검토(전기안전)

산업안전보건기준에 관한 규칙 위험요인	관련 조항	검토의견
풍력 발전 시스템의 직류 누설전류에 의한 감전	제304조(누전차단기에 의한 감전 방지)	- 직류 누설전류를 차단할 수 있는 상용화된 누전차단기는 없음 - 문헌고찰에 따르면 교류와 직 류에 대한 인체감전 조건은 상 이함
직류전기에 의한 전기적 불꽃 또는 아크에 의한 화상	제310조(전기 기계·기구의 조작 시 등의 안전조치) 제2항	- 방염처리된 작업복 또는 난연성 능을 가진 작업복에 대한 규정 명확화 필요 - 타법 준용 가능
트렌치에 설치된 전력계통 연계 케이블의 폭우 등으로 인한 피복손상	-	지중 케이블에 대한 안전기준 마련 필요
풍력터빈 공간 특성상 유지보수 등의 작업 시 출입구에서 전원차단 필요	제88조(기계의 동력차단장치) 제303조(전기 기계·기구의 적정 설치 등)	유지보수 등 작업 시 안전작업 수행을 위해 전원차단장치를 지상입구에 설치하여 작업전 전원차단 필요
낙뢰로 인한 구조물 파괴 및 감전	제326조(피뢰설비의 설치)	화약류 또는 위험물을 저장하 거나 취급하는 시설물로만 한 정하여 규정하고 있음

3. 안전조치 개선사항

1) 주요 이슈 관련 안전조치

(1) 태양광 발전설비의 충전부(정한교, 2021)

태양광 발전 시스템 구성은 다음 [그림 V-2]와 같으며, 크게 PV모듈, 접속반, 인버터 및 수배전반으로 구성된다. 여기서 PV모듈은 태양광 모듈이라고도 하는데 태양광의 복사에너지를 직류(DC)로 변환시켜 전력을 생산한다. 그리고 인버터는 직류전력을 교류전력으로 변환하여 수용가(가정, 기업 등)측에 공급한다.



[그림 V-2] 태양광 발전 시스템 구성도

* (주)비엠이(BMEnergy) 홈페이지에서 인용

태양광 발전 시스템 자체만으로는 화재사고 발생 가능성은 낮지만, 지붕에 설치하는 태양광 발전 시스템의 경우에는 추가적인 안전조치가 필요하다. 태양광 발전 시스템의 주 차단기가 차단되어 있더라도 일사기간 동안에는 직류 고전압이 PV모듈과 케이블에 공급된다. 이는 PV모듈과 접속반 사이에 별도의 전원차단장치가 없어 발생하는 문제로, 화재사고 발생 또는 고장으로 인한 유지보수 작업 시 소방관 또는 작업자의 접근을 위해서는 해가 지는 저녁까지

기다려야 하는 상황이 발생할 수 있어, 활선상태에서 소방관이나 작업자가 접근할 수밖에 없는 상황이 발생할 수도 있다.

또한 기존의 스트링인버터는 주 차단기가 차단되더라도 직류전압을 낮추지 못하기 때문에 안전기능이 제한적이다. 독일의 VDE-Fire Safety 표준에 따르면, 교류전원 공급장치 차단 후에는 직류 고전압 케이블과의 직접접촉으로 인한 감전위험이 없어야 하며, 미국의 NEC 2017에서도 지붕형 태양광 발전 시스템에 대하여 신속한 전압강하 기능을 포함시켰다. 관련 요구사항은 1피트(30.5cm)를 초과하는 케이블의 직류전압을 30초 이내 30V 이하의 안전전압으로 줄이는 것이다. 이는 태양광 발전설비의 주요 구성품인 인버터 구성 특성상 커패시터(Capacitor)로 인해 잔류전하 방전에 장시간 소요되어 공급전원이 차단되더라도 충전부 접촉에 의한 감전위험이 상존한다는 것이다.

다만, 산업안전보건기준에 관한 규칙 제319조(정전전로에서의 전기작업)제2항제4호에서 「개로된 전로에서 유도전압 또는 전기에너지가 축적되어 근로자에게 전기위험을 끼칠 수 있는 전기기기 등은 접촉하기 전에 잔류전하를 방전시키길 것」라고 규정하고 있지만, 정전작업으로 한정하여 규정하고 있어 적용성에 대한 검토가 필요하다.

(2) 풍력 발전설비의 자일 로프 작업

풍력 발전설비의 블레이드, 포스트 등의 외부 유지보수 작업은 통상적으로 산업안전보건기준에 관한 규칙에서 규정하고 있는 달비계를 사용하지 않고, 산업용 로프(Rope) 접근 방식을 사용한다. 로프 접근 작업은 전 세계적으로 해양 및 석유화학 플랜트, 토목·건축공사, 조선소, 항만 및 발전소 등 다양한 분야에서 활용되고 있으며, 로프 접근 작업의 위험성 때문에 관련 자격을 요구하고 있으며 국제산업로프협회(IRATA, International Rope Access Trade Association)에서는 민간 공인 자격증을 발행하고 있다.

다음 <표 V-9>는 IRATA 로프 접근 자격종류별 요건 및 직무 등 교육과정을 나타내고 있다.

〈표 V-9〉 IRATA 교육과정

구분	LEVEL 1	LEVEL 2	LEVEL 3
교육대상	고소작업자 또는 로프 접근 작업 예정자	LEVEL1 이수자 중 LEVEL2 희망자	LEVEL2 이수자 중 LEVEL3 희망자
사전 요구사항	만 18세 이상, 육체적 및 의학적으로 건강한자	- LEVEL1 수료 후 12개월 경과자 - 만 18세 이상, 육체적, 의학적으로 건강한자	- LEVEL2 수료 후 12개월 경과자 - 만 18세 이상, 육체적, 의학적으로 건강한자
작업범위	LEVEL3 자격자의 감독 하에 제한된 범위 작업	LEVEL3 자격자의 감독 하에 리깅, 구조 및 로프 접근 작업	로프 접근 작업
교육내용	고소작업 원칙 및 관리, 개인용보호구, 등하강, 홀링 시스템 구성, 백업 등	고소작업 원칙, 사용 장비 설명 및 관리, 개인용보호구, 등하강, 홀링 시스템 구성 등	고소작업 원칙, 사용 장비 설명 및 관리, 크로스 홀링, 리-빌레이 구조 및 디비에이션 구조 등
교육일수	5일	5일	5일
평가관리	이론 및 실기 평가	이론 및 실기 평가	이론 및 실기 평가

* (주) 안나푸르나 블로그 참조 재작성

풍력 발전설비 현장에서도 로프 접근 방식의 유지보수 작업은 일반적으로 국제산업로프협회(IRATA)에서 관리하는 로프 접근 자격 보유자가 수행하고 있으나, 작업방식이 작업자 신체를 자일 로프에만 의지하여 작업하므로 자일 로프의 파손·파단 등으로 떨어지게 되면 대부분 사망할 수 있는 매우 위험한 작업조건이라고 볼 수 있다. 또한 로프 접근 작업의 경우 산업안전보건기준에 관한 규칙 제35조(관리감독자의 유해위험 방지 업무 등)에서 규정하는 관리감독자의 유해·위험 방지 대상 작업에도 미포함되어 안전관리가 제대로 실행되지 못하고 있다.

현재 풍력 발전설비 유지보수 회사 자체적으로 IRATA 자격 보유여부를 확인하고 있지만 풍력 발전설비의 블레이드, 포스트 등의 외부 유지보수 작업에 대한 안전성을 기술적으로 확보하기 위해서는 작업자에 대한 자격, 경험 또는 기능 보유여부 확인에 대한 제도적 뒷받침이 필요하다.

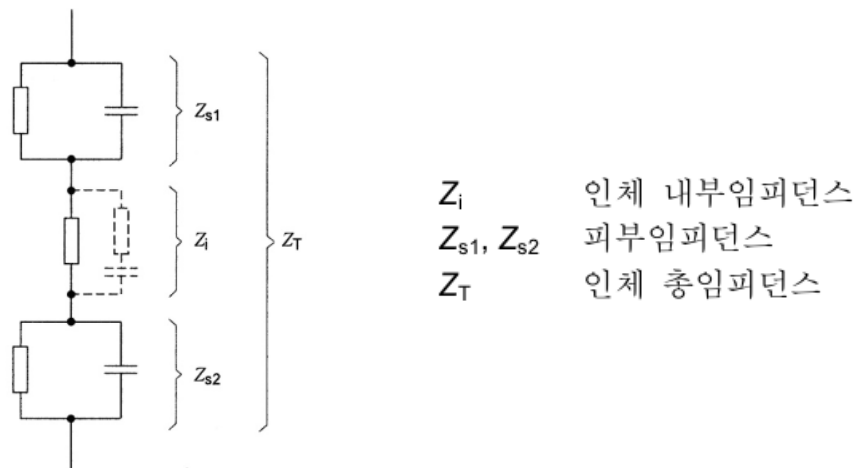
따라서 산업용 로프 접근 방식으로 이루어지고 있는 풍력 발전설비의 블레이드, 포스트 등의 외부 유지보수 작업을 유해·위험작업의 취업제한에 관한 규칙 제3조(자격면허 등이 필요한 작업의 범위 등)에 포함시켜, 고소작업 시 떨어짐 재해를 예방하기 위해 해당 작업자에 대한 산업용 로프 접근 작업에 대한 자격 등을 제도화하는 것을 제안한다.

2) 직류감전 관련 안전조치

(1) 인체 영향(이진성 등 2016)

IEC 60479에서는 인체감전 방지를 위한 인체통전 허용전류를 제시하고 있는데, IEC 60479-1에서는 인체와 가축의 전류 영향에 대한 일반적 사항을 규정하고 있으며, IEC 60479-5에서는 생리학적 영향을 고려하여 접촉전압의 한계치를 규정하고 있다.

인체 임피던스는 통전전류, 통전경로, 접촉전압, 통전시간, 주파수, 피부상태, 인체 접촉압력 및 접촉면적과 온도 등에 영향을 받는데, 인체 등가회로는 다음 그림과 같이 저항(R)과 커패시터(C)구성된다. 다음 [그림 V-5]는 IEC 60479에서 제시하는 인체 임피던스 모델로, 인체 내부를 둘러싼 피부 임피던스가 있고, 내부에는 내부 임피던스가 존재한다. 한 쪽 손에서 양발의 내부 임피던스는 손에서 손까지 또는 한 쪽 손에서 한 쪽 발까지 임피던스의 약 75%, 양 손에서 양발까지의 내부 임피던스는 50%, 그리고 양손에서 몸통까지의 임피던스는 25%이다.



[그림 V-3] 인체의 임피던스

* KS C IEC TS 600479-1:2007에서 인용

IEC 60479-5에 따른 직류에서의 인체감전 현상에 따른 실험 분석결과에 따르면 인체 임피던스는 교류감전 조건에서는 용량성 임피던스 특성을 보이지만, 직류감전 조건에서는 유도성 임피던스 특성을 보인다. 따라서 IEC 60479-1에서 제시하는 임피던스 모델은 교류감전에서는 적용할 수 있지만, 직류감전에서는 유도성 임피던스 특성을 가지므로 두 가지 특성을 가지는 새로운 임피던스 모델링이 필요하다.

특히 직류의 경우 전류의 방향성(상향 또는 하향)도 위험성에 영향을 미친다. IEC 60479-1에 따르면 인체감전 시 통전시간에 따른 직류 한계치가 교류 한계치보다 크다. 따라서 직류가 교류보다 상대적으로 안전하다고 볼 수 있지만, 직류의 경우 방향성이 있기 때문에 하향전류가 상향전류보다 약 2배 위험하다고 볼 수 있다(김동우 등, 2015).

따라서 직류감전에 대한 중대재해 원인조사 시에는 인체 통전전류 계산 시 적용하는 임피던스 값과 접촉전압의 한계치에 대한 새로운 정립이 필요하다.

더불어 통합 인체 임피던스 모델링을 통하여 신재생에너지 관련 직류 배전 시스템의 TN 접지방식에서 인체감전, 설비 누전에 따른 화재사고에 대한 구분동작이 가능한 직류용 누설전류 검출 기술의 상용화 및 구분동작 알고리즘 구현도 필요하다.

(2) 접지(김동우 등, 2015)

직류전원 시스템도 교류전원 시스템과 마찬가지로 접지방식은 다양하며, 직류접지는 전원부 접속지점에 따라서 양극접지, 음극접지 및 중간점 접지로 분류한다. 또한 「The green grid의 white paper」에서는 대지와 접속 시 저항삽입여부에 따라 직접접지, 임피던스 접지, 비접지, 전압제한 접지 등으로 세부 분류하고 있다. 전원부 접지방식의 분류에 따라 보호대책을 다음 <표 V-10>과 같이 제시하였다.

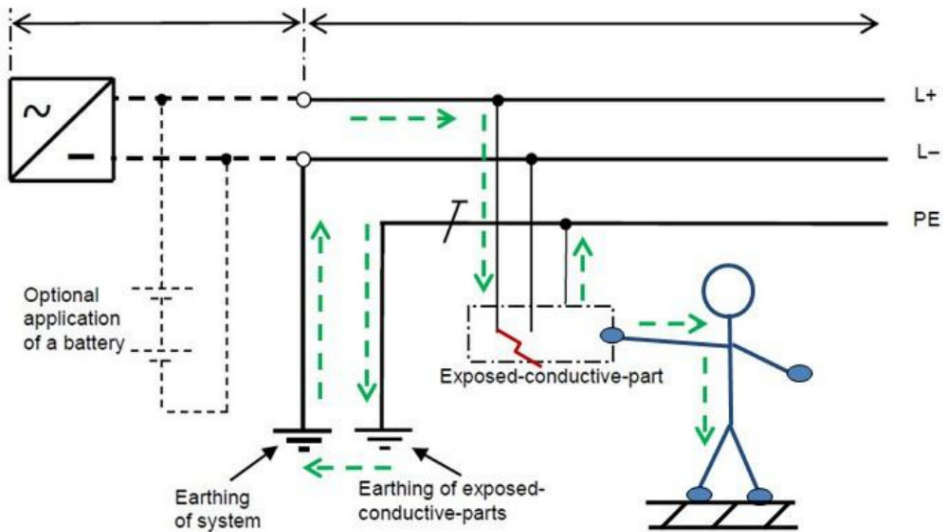
〈표 V-10〉 전원부 접지방식 분류

구분	내용
양극 접지방식	- 양(+)도체를 직접 대지에 접속하는 방법, 양(+)도체에 임피던스를 삽입하여 대지로 접속하는 방법, 양(+)도체에 과도전압 보호소자를 삽입하여 전압을 제한하는 방법으로 분류 - 양(+)도체를 접지할 경우 지락발생 시 상향전류가 흐르기 때문에 감전 위험성은 음(-)도체를 접지하였을 때 보다 상대적으로 높으므로, 이에 대한 보호대책 필요
음극 접지방식	- 음(-)도체를 직접 대지에 접속하는 방법, 음(-)도체에 임피던스를 삽입하여 대지로 접속하는 방법, 음(-)도체에 과도전압 보호소자를 삽입하여 전압을 제한하는 방법으로 분류 - 양(+)도체를 접지할 경우 감전보호가 필요하며, KEC 규정에 따라 음(-)도체를 접지할 경우 전기부식 방지장치를 설치하여야 함 - 또한 음(-)도체를 접지할 경우 지락발생 시 하향전류가 흐르기 때문에 감전 위험성은 양(+)도체를 접지하였을 때 보다 상대적으로 낮지만, 직류전압이 높아짐에 따라서 음(-)도체를 접지하는 경우도 감전 위험성은 높으므로, 지락보호장치가 필요함
중간점 접지방식	- 중간점 접지방식은 대지전압을 낮추는 효과가 있어서, 북미와 캐나다 등에서는 감전 위험성을 낮추기 위해 중간점 접지방식을 제안하고 있음 - 또한, KEC 규정에서는 주택의 옥내전로의 대지전압은 300V 이하로 규정하고 있어 직류 배전전압 검토 시 DC380V에 중간점 접지방식을 적용할 경우, 대지전압은 190V가 되어 규정을 만족함 - 중간점 접지방식은 다음과 같이 5가지 종류로 분류함 ① (직접접지) 전원의 양극과 음극의 중간점을 직접 대지로 접속하는 방법 ② (임피던스 접지 A형) 중간점에 임피던스 1개를 삽입하여 대지로 접속하는 방법 ③ (임피던스 접지 B형) 중간점을 찾기 어려운 경우 전원에 고저항 임피던스 2개를 병렬로 삽입하고 삽입된 임피던스의 중간점을 접지하는 방법 ④ (전압제한 접지 A형) 전원의 양극과 음극 중간점에 과도전압보호 소자 1개를 삽입하여 전압을 제한하는 방법 ⑤ (전압제한 접지 B형) 전원에 과도전압보호 소자 2개를 병렬로 삽입하고 그 중간점을 접지하는 방법 - 중간점 접지방식 중 임피던스 접지(B형) 방식은 중간점을 찾기 어려운 경우 유용한 방식이나, 각각의 저항값이 차이나는 경우 양극과 대지사이에 음극과 대지사이에 전위차가 발생할 수 있기 때문에 대지전압의 균형을 유지하기 위한 밸런서 사용 필요

IEC 60364(Low-voltage electrical installation)에서는 직류접지도 전원측과 설비측의 접지방식에 따라 TT, TN, IT 시스템으로 구분하고 있으며, 동작환경에 따라서 전원부의 접지를 양극 또는 음극으로 선택하도록 하고 있으나, 중간점 접지방식에 대한 내용은 자세히 언급하지 않고 있다. 「The green grid의 white paper」에서는 중간점 접지방식을 상세히 다루고 있으며, 직류 전원부의 양극 및 음극 접지방식에 따라서 TT, TN, IT의 분류방식에 따른 보호대책을 다음 <표 V-11>과 같이 제시하였다.

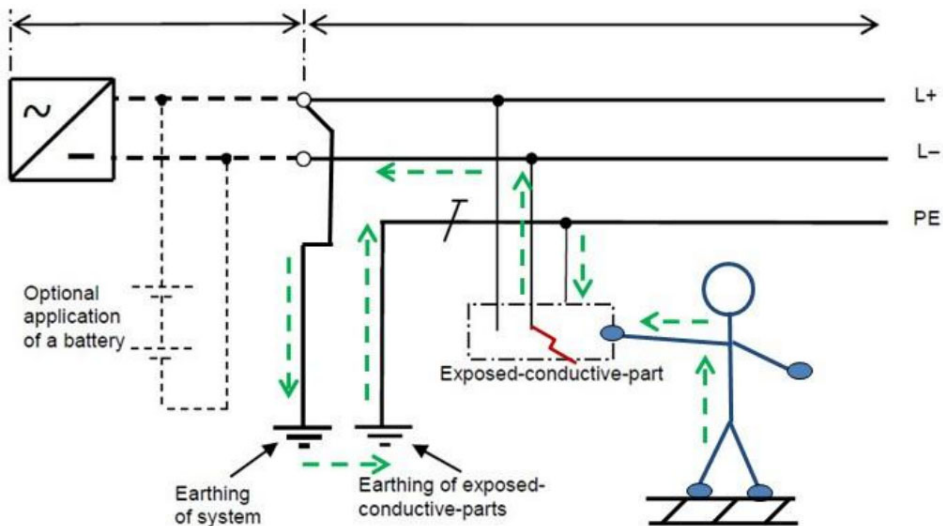
<표 V-11> 전원 및 설비측 관계에 따른 접지방식 분류(TT, TN, IT)

구분	내용
TT 직류 시스템	• [그림 V-4]에서는 IEC 60364에서 제시하는 TT 직류 시스템의 전원부 음(-) 도체를 접지한 경우를 나타내고 있으며, 부하설비 노출 도전부의 양극에 지락이 발생한 경우 전류는 하향 경로를 형성 • 이때 직류 300V까지는 하향 경로의 지락전류는 추가적인 보호가 없더라도 안전함 • 그러나 [그림 V-5]와 같이 양극 도체를 접지한 경우에는 부하설비 노출 도전부이 음극 지락이 발생하여 전류는 상향 경로를 형성 • 따라서 상향전류는 하향전류보다 위험성이 크기 때문에 직류 누전차단기 필요
TN 직류 시스템	• TN 시스템은 TN-S, TN-C, TN-C-S 등으로 구분되며, 안전성이 높은 방식은 TN-S 시스템임 • [그림 V-6]은 TN-S 시스템 전원부의 음극 도체를 접지하면, 양극 지락이 발생하는 경우로 TT 직류 시스템과 동일하게 부하설비 노출 도전부 양극에 지락이 발생하면 전류는 하향 경로를 형성하기 때문에 양극 도체를 접지한 경우보다 심실세동 전류의 한계값 및 허용접촉전압의 한계값이 증가하므로 상대적으로 안전함 • [그림 V-7]은 TN-S 시스템 전원부의 양극 도체를 접지하면, 음극 지락이 발생하는 경우로 TT 직류 시스템과 동일하게 부하설비 노출 도전부 음극에 지락이 발생하면 전류는 상향 경로를 형성하기 때문에 보호차단기가 제한시간 내 트립되지 않는 경우 직류 누전차단기 필요
IT 직류 시스템	• IT 직류 시스템은 1차 지락이 발생하더라도 접촉전압이 아주 낮기 eOANAS에 추가보호 없이 감전사고 예방 가능하며, 병원과 같은 전원공급의 지속성이 필요한 경우에도 사용 가능 • 그러나 1차 고장이 발생한 경우 고장검출이 어렵고, 절연 모니터링 장치와 같은 보호수단을 보호장치와 함께 사용해야 함 • 또한 1차 및 2차 고장이 동시에 발생할 경우 인체가 노출 도전부에 접촉 시 상향전류에 의한 감전위험이 있으므로 직류 누전차단기 적용이 필요함 • 따라서 IT 직류 시스템은 양도체 및 음도체의 접지여부와 상관없이 갈바닉 분리가 가능하므로 직류전원 시스템의 문제점 중 하나인 전식에 대한 예방효과가 크지만 절연감시가 필요함



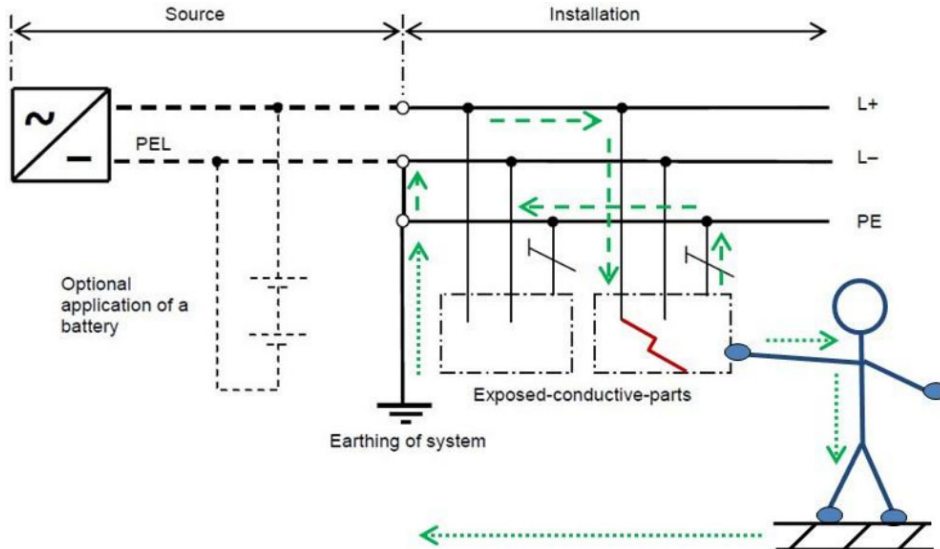
[그림 V-4] TT DC 시스템의 하향경로(음극도체 접지, 양극지락)

* 직류접지시스템의 접지 구성 방식별 인체 보호방법 분석(김동우 등, 2017)에서 인용



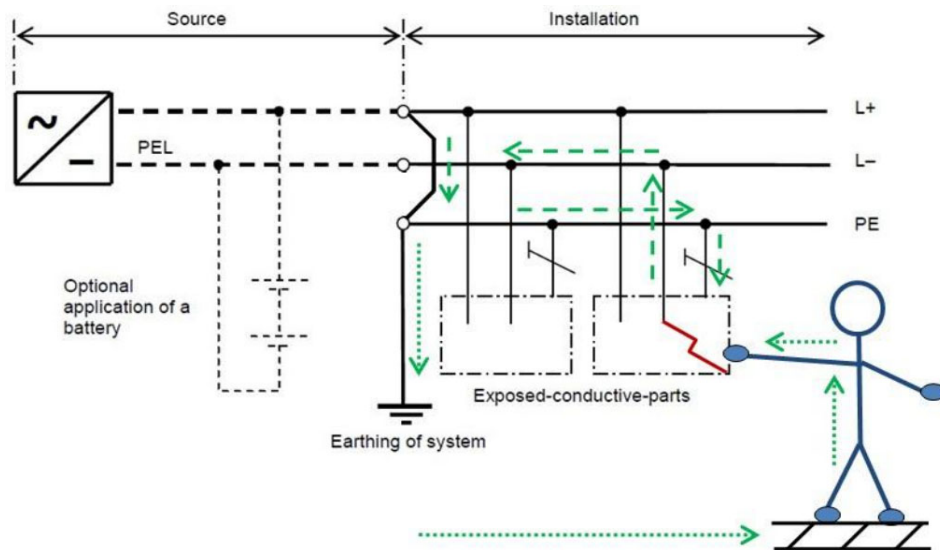
[그림 V-5] TT DC 시스템의 상향경로(양극도체 접지, 음극지락)

* 직류접지시스템의 접지 구성 방식별 인체 보호방법 분석(김동우 등, 2017)에서 인용



[그림 V-6] TN DC 시스템의 하향경로(음극도체 접지, 양극지락)

* 직류접지시스템의 접지 구성 방식별 인체 보호방법 분석(김동우 등, 2017)에서 인용



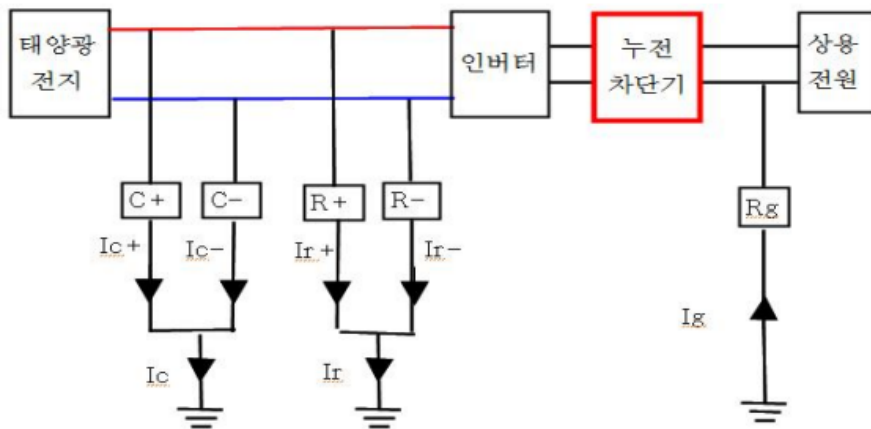
[그림 V-7] TN DC 시스템의 하향경로(양극도체 접지, 음극지락)

* 직류접지시스템의 접지 구성 방식별 인체 보호방법 분석(김동우 등, 2017)에서 인용

(3) 누전차단기(한후석 등, 2015)

지속적인 태양광 발전설비 증가와 더불어 급격한 설비 노후화가 진행됨에 따라서 태양광 발전설비의 누전에 의한 인체감전과 전기화재에 대한 안전조치가 미흡한 실정이다. 또한 태양광 발전설비의 누설전류는 정현파가 아니고 직류와 교류가 합쳐진 맥류이기 때문에 기존의 교류회로에서 사용되는 교류형 누전차단기로는 누전에 대한 보호가 불가능하다.

태양광 발전설비에서의 누설전류 종류와 경로는 다음 [그림 V-8]과 같다.



[그림 V-8] 태양광발전 시스템에서의 누설전류 종류와 경로

* 태양광 발전용 단상 30kW급 직류누전차단기 개발(한후석 등, 2015)에서 인용

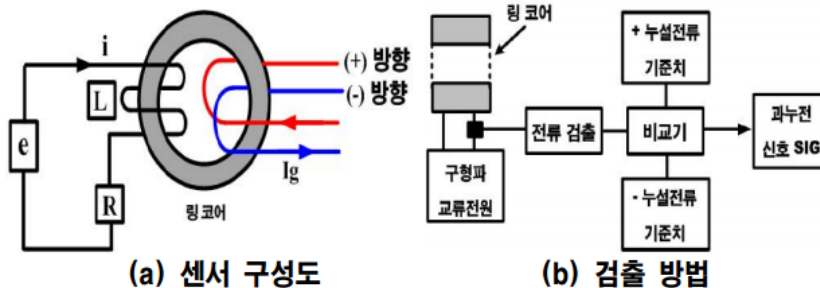
현재 국내에서는 전원주파수가 정현파 교류성분의 누설전류만 감지·차단할 수 있는 교류 누전차단기만 상용화되어 있어, 태양광 발전설비에서 누전 발생 시 안전조치가 불가능한 상황이다. 한편 독일에서는 B형 누전차단기를 개발하여 태양광 발전설비에서 설치·사용 중이나, 매우 고가로 인해 국내에서의 설치사용은 제한적이다. 또한, 교류형 누전차단기는 누전 맥동전류를 검출할 수 없고 태양광 및 풍력 발전설비 등 시스템에서 인체감전, 전기화재 등의 전기재해를 예방할 수 도 없는 상황이다.

기초전력연구원에서 개발한 태양광 발전용 단상 30kW 직류누전차단기 개

발 사례를 소개한다. 향후에는 현재 개발된 직류 누설차단기를 상용화 수준으로 고도화하여 신재생에너지 관련 직류전기 취급 사업장에 보급도 필요하다.

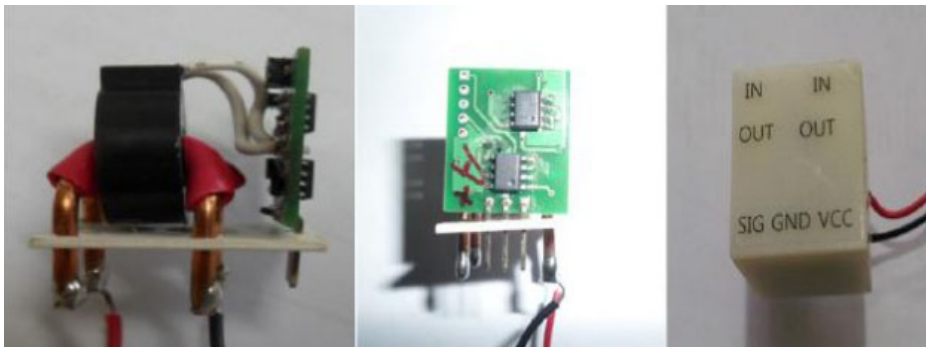
〈누설전류 센서의 검출방법과 시작품〉

- 직류 누설전류를 검출하기 위해서는 링 코어에 인가하는 구형파 교류전압을 디지털 회로로 구현한다.
- 크기가 +E와 0이 일정 주기로 교차하여 나타나는 구형파 교류전압에서 크기가 E/2인 직류전압을 감(-)하여 크기가 +E/2와 -E/2의 구형파 교류전압을 발생하여 L-R회로에 인가한다.
- 직류 누설전류 센서의 구성도와 검출방법은 다음 그림과 같다. 전류는 그림(a) 저항단자에 나타나는 전압을 마이크로프로세서로 측정한다. 마이크로프로세서에서 수행하는 직류 누설전류 검출 방법은 그림(b)와 같다.
- 이때 구형파 교류전압이 인가된 L-R 회로로부터 마이크로프로세서 전류를 검출하여 전류값이 (+)방향의 누설전류 기준치 또는 (-)방향의 누설전류 기준치를 초과할 경우 과누전신호 SIG를 발생한다.



[직류 누설전류 센서의 구성도와 검출 방법]

- 다음 그림은 직류 누설전류 검출 센서의 동작상태를 확인하기 위해 센서 시작품이다.



3) 안전보건 체크리스트 제안(EU OSHA)

(1) 태양광

태양광 발전 설비는 수명 주기 전반에 걸쳐 복합적인 위험의 원인이 될 수 있다. 이는 다음과 같은 주요 위험 영역의 영향을 받을 수 있다. 독성 화학물질 및 금속에 대한 노출, 전기 위험(PV)/화상(STP), 고소 작업 및 근골격계 질환(MSD) 등 심리 사회적 위험과 작업 조직 문제도 관련이 있다. 특히 하청 노동자, 이주 노동자, 불법 노동자, 신입 노동자, 해당 분야에 비숙련 진입자, 소규모 태양광 발전 설비에 대한 모든 작업은 다양한 위험을 인식하고 적절한 안전 및 보건 조치를 취하기 위한 교육이 필요하다.

태양광 발전 설비의 제조, 폐기 또는 재활용은 화학 물질에 노출될 수 있다. 조립 및 수리 중 사고로 인한 손상(누수 등)으로 인해 완제품에 소량의 반도체 재료만 포함되어 있기 때문에 발생할 수 있는 화학적 위험이 더 낮다. 태양광 설비는 설치(제거), 연결 및 유지 관리 중에 전기 위험을 초래합니다. 기존 시스템과 달리 전원을 차단할 수 없습니다. 설치, 제거 및 유지 보수 노동자와 소방관은 태양광에 노출되면 PV 시스템과 모든 구성 요소에 전기가 통하기 때문에 전기 위험에 직면하게 됩니다. 지붕에서 작업하면 근로자가 근처 전력선에서 감전될 위험에 노출될 수도 있습니다. 인력작업 문제는 수명 주기의 모든 단계에서 고려해야 한다. (경사) 지붕 위나 주변에서 작업하는 사람들의 경우 이 활동은 높은 곳에서 떨어지거나 움푹 들어가거나 자재가 떨어지는 위험에 기여할 수 있습니다. 호흡기 독성은 화재 시 일반적인 위험이 되지만 일반적인 건물 화재와 크게 다르지 않다.

건물 소유주, 회사 소유주, 관리인 또는 유지 관리 활동을 수행하는 회사나 사무실의 유지 보수 작업자도 위험에 처할 수 있다. 이러한 사람들은 일반적으로 다양한 위험을 처리할 수 있는 충분한 지식과 기술을 가지고 있지 않다. 또한 소유자나 관리자는 태양 에너지 시스템을 설치/유지하기 위해 계약할 때 잘 훈련된 계약자와 그렇지 않은 계약자를 구별하는 데 필요한 지식을 가

지고 있지 않을 수 있다. 주택이나 회사의 소유권이 이전되는 경우에도 태양광 설비의 안전한 유지보수에 필요한 정보가 손실될 위험이 있다.

부록 2에서 제시하는 태양광 안전보건 체크리스트는 소규모 태양 에너지 시스템 및 국내 수명주기의 모든 단계를 포괄하는 제조, 설치 및 유지 보수에서 해체 및 재활용 단계에서 노동자에게 발생할 수 있는 안전보건 위험요인을 방지하거나 개별 수준으로 위험을 줄일 수 있는 기술적, 조직적 작업 유형의 예를 제공한다. 또한 본 체크리스트를 활용하여 위험성평가의 수단으로 활용할 수 있다.

이 체크리스트는 모든 작업장의 모든 위험을 다루기 위한 것이 아니라 위험 식별 프로세스를 시작함에 있어 관련 예방 조치를 식별하고 실행하는 데 도움을 주기 위한 것이다.

- 체크리스트는 위험성 평가를 수행하는 첫 번째 단계로, 더 복잡한 위험을 평가하려면 추가 정보나 전문가의 도움이 필요할 수 있다.
- 특정작업 노동자별 특수 요구 사항이 있을 수 있으므로 특정 부문 또는 작업장 및 인력 특성에 체크리스트를 적용해야 한다. 일부 추가 항목을 다루어야 하거나 일부 항목이 관련이 없는 것으로 생략될 수 있다.
- 실용적인 분석을 위해 체크리스트는 문제/위험을 별도로 제시하지만 작업장에서는 서로 연관될 수 있다. 따라서 식별된 다양한 문제 또는 위험 요소 간의 상호 작용을 고려해야 하고, 동시에 특정 위험을 해결하기 위해 마련된 예방 조치는 다른 위험의 발생을 예방하는 데 도움이 될 수 있다.
- 또한, 하나의 위험 요소에 대한 노출을 줄이기 위한 조치가 다른 요소에 대한 노출 위험을 증가시키지 않는지 확인하는 것도 중요하다.

무엇보다도 태양광에서 노동자의 안전보건 확보를 위해서는 쏘조직 차원에서 해결해야 할 중요한 문제는 다음과 같다.

- 감독자와 노동자는 태양광 발전 설비와 관련된 잠재적 위험을 인식하고 예방에 전념하고 있습니까?
- 쏘조직이 문제 해결을 위해 실질적인 참여 방식(노동자 참여)을 채택했습니까?

- 적절하게 훈련된 노동자가 포괄적인 위험성 평가를 수행했습니까?
- 보고된 모든 사고 및 사건이 관리되고 있습니까?
- 전체 수명 주기 동안 태양광 발전 설비로 인한 위험을 방지하기 위해 취한 조치의 효율성이 어떻게 평가되고 모니터링 됩니까?

(2) 풍력

풍력 에너지는 환경에 좋은 '녹색'으로 간주되지만 반드시 노동자의 건강과 안전에 좋은 것은 아니다. 풍력 에너지에 종사하는 노동자는 풍력 발전 단지 프로젝트의 다양한 단계에서 사망 및 중상을 초래할 수 있는 위험에 노출될 수 있다. 풍력 터빈은 내륙 및 연안 시설을 포함하여 육지와 해안에서 멀리 떨어진 곳에 위치한 오프쇼어(Off-shore) 모두에 설치된다.

육상 및 해상 풍력 에너지 노동자는 풍력 터빈의 전체 수명 주기 동안 단독 작업, 고소작업, 제한공간에서의 작업, 떨어지거나 비래하는 부품 및 물체에 맞음, 미끄러짐 및 넘어짐, 타워 등반 시 육체적 한계, 근골격계질환(MSD), 심리·사회적 문제, 작업 조직, 의사소통 문제, 경험이 없는 노동자 작업, 유해 물질에 대한 노출과 같은 일반적인 위험에 노출될 수 있다. 특히, 해상 풍력 발전 단지의 경우 해상에서 작업하고 극한의 기상 조건은 추가적이고 보다 구체적인 위험을 초래한다.

풍력 에너지는 비교적 새로운 산업이며 일부 노동자는 이러한 작업 환경에 존재하는 위험을 완전히 인식하지 못할 수 있다. 또한, 풍력산업 규모의 급속한 확산 보급으로 인해 숙련되지 않은 프로세스에 경험이 없는 노동자가 참여함으로 인해 기술 격차가 발생하여 안전과 건강이 위험에 처하게 되었다.

부록 3에서 제시하는 풍력 안전보건 체크리스트는 풍력 에너지 부문과 관련된 활동에 종사하는 노동자에게 잠재적인 위험을 식별하는 데 도움이 되는 것을 목표로 한다. 부품 제조 및 운송에서 설치, 작동 및 유지 보수, 긴급 구조 및 폐기물 처리에 이르기까지 풍력 터빈의 전체 수명 주기에 걸쳐 노동자

의 활동과 특정 위험을 고려합니다. 본 체크리스트는 대규모 풍력 에너지 설치와 관련된 가장 일반적인 위험을 다루지만 체계적이고 효율적인 풍력 발전 단지의 철저한 위험성평가의 수단으로 활용할 수 있다.

체크리스트는 모든 대규모 풍력 에너지 설비의 수명 주기와 관련된 모든 위험을 다루기 위한 것이 아니라 위험 식별 프로세스를 수행함에 있어 효과적인 예방 조치를 실행하는 데 도움이 될 것으로 판단된다.

- 체크리스트는 위험성 평가를 수행하는 첫 번째 단계로, 더 복잡한 위험을 평가하려면 추가 정보나 전문가의 도움이 필요할 수 있다.
- 특정작업 노동자별 특수 요구 사항이 있을 수 있으므로 특정 부문 또는 작업장 및 인력 특성에 체크리스트를 적용해야 한다. 일부 추가 항목을 다루어야 하거나 일부 항목이 관련이 없는 것으로 생략될 수 있다.
- 실용적인 분석을 위해 체크리스트는 문제/위험을 별도로 제시하지만 작업장에서는 서로 연관될 수 있다. 따라서 식별된 다양한 문제 또는 위험 요소 간의 상호 작용을 고려해야 하고, 동시에 특정 위험을 해결하기 위해 마련된 예방 조치는 다른 위험의 발생을 예방하는 데 도움이 될 수 있다.
- 또한, 하나의 위험 요소에 대한 노출을 줄이기 위한 조치가 다른 요소에 대한 노출 위험을 증가시키지 않는지 확인하는 것도 중요하다.

무엇보다도 태양광에서 노동자의 안전보건 확보를 위해서는 쉼조직 차원에서 해결해야 할 중요한 문제는 다음과 같다.

- 감독자와 노동자는 태양광 발전 설비와 관련된 잠재적 위험을 인식하고 예방에 전념하고 있습니까?
- 쉼조직이 문제 해결을 위해 실질적인 참여 방식(노동자 참여)을 채택했습니까?
- 적절하게 훈련된 노동자가 포괄적인 위험성 평가를 수행했습니까?
- 보고된 모든 사고 및 사건이 관리되고 있습니까?
- 전체 수명 주기 동안 태양광 발전 설비로 인한 위험을 방지하기 위해 취한 조치의 효율성이 어떻게 평가되고 모니터링 됩니까?

4) 안전보건기술지침 개정(안) 검토

문헌고찰, 실태조사 및 전문가 자문 등을 통해 도출된 개정의견을 바탕으로 태양광 발전설비 설치에 관한 기술지침 개정(안)을 다음 <표 V-12>과 같이 검토하였다.

〈표 V-12〉 태양광 발전설비 설치에 관한 기술지침

개정 前	개정 後
4.2.2 고장방지 4.2.2.1 전원의 자동차단에 의한 감전방지 (2) 전기설비가 교류측과 직류측 사이에 최소한의 단순 분리가 이루어지지 않는 PV 발전 시스템을 포함하는 경우, 전원의 자동차단에 의한 고장방지를 위하여 RCD를 설치하여야 한다.(IEC/TR 60755,의 B형 권고)	4.2.2 고장방지 4.2.2.1 전원의 자동차단에 의한 감전방지 (2) 전기설비가 교류측과 직류측 사이에 최소한의 단순 분리가 이루어지지 않는 PV 발전 시스템을 포함하는 경우, 전원의 자동차단에 의한 고장방지를 위하여 RCD를 설치하여야 한다.(IEC/TR 60755,의 B형 권고) (가) 비절연 인버터(무변압기형)를 설치하고 그 전원측의 교류전로를 접지(저항접지 포함한다)하는 경우는 직류성분과 교류성분 합성 실효치(rms)에 동작하는 지락차단장치(B형 RCD)를 그림 1과 같이 교류 측에 시설하여야 한다. 인버터 직접(저항)접지 [그림 1] 지락차단장치 설치

〈표 V-12〉 계속

개정 前	개정 後												
	[비고1] RCD는 KS C IEC 60755에 의하여 표 1과 같이 3가지 종류로 나누고 있다. AC형은 교류계통에 사용되는 것이고 A형은 교류와 맥류에 사용되는 것이다. B형은 교류와 맥류 및 직류에 사용되는 것이다. 따라서 태양광발전시스템에서는 B형을 사용하여야 한다. 〈표 1〉 RDC 종류 <table><tr><th>심볼</th><th>형식</th><th>검출신호</th></tr><tr><td></td><td>Type AC</td><td>교류신호</td></tr><tr><td></td><td>Type A</td><td>교류, 맥류신호</td></tr><tr><td></td><td>Type B</td><td>교류, 맥류, 직류신호</td></tr></table> [비고2] RCD는 residual current device의 첫 글자를 딴 것으로 직류 두 선에 흐르는 전류의 벡터합을 실효값으로 나타낸 것이다. 정상적일 경우 벡터합은 0이지만 지락사고가 발생하면 차전류가 검출되어 지락전류를 검출 수 있다. 직류/교류의 지락전류를 검출하기 위하여 일반적으로 플럭스 게이트(Flux gate) 센서를 사용한다.	심볼	형식	검출신호		Type AC	교류신호		Type A	교류, 맥류신호		Type B	교류, 맥류, 직류신호
심볼	형식	검출신호											
	Type AC	교류신호											
	Type A	교류, 맥류신호											
	Type B	교류, 맥류, 직류신호											

〈표 V-12〉 계속

개정 前	개정 後								
	(나) 지락전류 검출 및 동작시간은 다음 두 가지 조건을 만족하여야 한다. ① 완만하게 상승하는 지락전류(slow rising leakage current) : B형 RCD는 인버터 용량(연속 출력정격)이 30 kVA 이하인 경우 지락전류 300 mA 이하에서 300 ms 이내에 동작하여야 한다. 인버터 용량이 30 kVA를 초과하는 경우 kVA당 10 mA를 가산한다. ② 급격한 변화하는 지락전류(sudden change leakage current) : B형 RCD는 지락전류가 급격히 변화하는 경우 표 2와 같은 시간 이내에 동작하여야 한다. 〈표 2〉 RCE 동작시간 <table border="1"> <thead> <tr> <th>지락전류의 급격한 변화</th><th>지락사고 발생 후 차단할 수 있는 최대시간</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>30 mA</td><td>0.3s</td></tr> <tr> <td>60 mA</td><td>0.15s</td></tr> <tr> <td>150 mA</td><td>0.04s</td></tr> </tbody> </table>	지락전류의 급격한 변화	지락사고 발생 후 차단할 수 있는 최대시간	30 mA	0.3s	60 mA	0.15s	150 mA	0.04s
지락전류의 급격한 변화	지락사고 발생 후 차단할 수 있는 최대시간								
30 mA	0.3s								
60 mA	0.15s								
150 mA	0.04s								
4.2.2.2 절연에 의한 감전방지 직류측에는 적절한 절연(Class II)을 사용한 보호방법 선택을 권고한다.	4.2.2.2 절연에 의한 감전방지 직류측에는 적절한 절연(Class II)을 사용한 보호방법 선택을 권고한다.								

〈표 V-12〉 계속

개정 前	개정 後
	직류 측에 사용되는 태양전지 모듈, 접속함, 케이블 등은 KS C IEC 61140에 따라 클래스II 또는 이와 동등한 절연 이어야한다. [비고1] 태양전지 모듈은 KS C IEC 61730-1에 규정된 클래스 A의 태양전지 모듈은 클래스 II의 요구에 부합하는 것으로 한다. [비고2] 접속함은 KS C 8567에 의하고 절연거리, 내전압시험 등은 이중절연 또는 강화절연 규정에 적합한 것이어야 한다. [비고3] 케이블은 5.2 배선 시스템에 따라 시설하는 경우는 클래스 II의 요구에 부합하는 것으로 본다.
5. 전기기기의 선정 및 설치 5.1 일반사항 5.1.2 작동 조건과 외부 영향 (1) 직류측의 전기기기는 직류전압과 전류에 적합한 것이어야 한다. (나) 블로킹 다이오드가 사용된다면, 그 역방향 전압은 PV 스트링의 $2 \times U_{OCSTC}$에 대해 정해진다. 블로킹 다이오드는 PV 스트링에 직렬로 연결된다.	5. 전기기기의 선정 및 설치 5.1 일반사항 5.1.2 작동 조건과 외부 영향 (1) 직류측의 전기기기는 직류전압과 전류에 적합한 것이어야 한다. (나) 블로킹 다이오드가 사용된다면, 그 역방향 전압은 PV 스트링의 $2 \times U_{OCSTC}$에 대해 정해진다. 블로킹 다이오드는 PV 스트링에 직렬로 연결된다.되는 경우 다음 조건을 만족하여야 한다. ① 용도 - 블로킹 다이오드는 과전류차단장치의 대안으로 사용되어서는 안 된다.

〈표 V-12〉 계속

개정 前	개정 後
	- 블로킹 다이오드는 태양전지 어레이에서 역전류를 방지하는데 사용할 수 있다. ② 정격 - 블로킹 다이오드의 정격전압은 태양전지 스트링 최대개방전압 ($U_{OC_MAX_string}$)의 2배 이상의 정격전압으로 선정하고 현장에서 확인할 수 있어야 한다. - 보호하고자 하는 회로의 표준시험조건(STC)에서 단락회로전류의 최소 1.4배의 전류정격 I_{MAX}를 갖도록 한다. · 태양전지 스트링 1.4 I_{SC_module} · 태양전지 서브-어레이 1.4 $I_{SC_sub_array}$ · 태양전지 어레이 1.4 I_{SC_array} ③ 설치 - 1개의 인버터에 연결된 태양전지 스트링이 3병렬 이상일 경우에는 각 스트링에 블로킹 다이오드를 설치하여야 한다. - 그림자 영향, 지락 및 단락 등 사고영향, 어레이의 출력 불균형 등의 경우에 역전류가 흐를 수 있으므로 블로킹 다이오드를 설치하여야 한다.

〈표 V-12〉 계속

개정 前	개정 後
	- 배터리와 연결되어 있는 경우는 블로킹다이오드를 설치하여야 한다. [비고1] KEC 522.3.1은 태양전지 스트링 3회로 이상으로 구성되어 있을 경우 블로킹 다이오드를 설치하도록 규정하고 있다. 그러나 KS C 8567에는 선택할 수 있도록 하고 있다.
5.2. 배선 시스템 5.2.1 외부 영향과 관련된 선정 및 설치 (1) PV 스트링 케이블, PV 어레이 케이블과 PV 직류 주 케이블은 지락 및 단락 위험이 최소화되도록 선정 및 설치하여야 한다. 주) 이 내용은 단심 피복 케이블의 사용을 통해 외부 영향에 대한 배선의 보호를 강화함으로써 충족할 수 있다. (2) 배선 시스템은 바람, 결빙, 온도, 태양광 등과 같이 예상되는 외부 영향을 견뎌야 한다.	5.2. 배선 시스템 5.2.1 전선 전선은 다음에 의하여 시설하여야 한다. (1) 전선은 허용전류, 전압강하 등을 고려하여 공칭단면적 2.5 mm² 이상의 연동선 또는 이와 동등 이상의 세기 및 굵기의 것일 것. (2) 전선은 KS C IEC 62930에 적합한 태양광전용케이블을 사용해야 한다. (3) 전선은 최대개방회로전압(U_{OC_MAX}) 이상의 정격전압을 가져야 한다. (4) 난연성 전선을 사용하거나 태양광 모듈의 주변온도보다 높은 온도 정격을 가져야한다(태양전지 모듈 하부의 주변온도는 70 ℃ 이상으로 간주하는 것이 바람직하다). (5) 환경에 노출될 경우 자외선에 견디거나 적절한 보호에 의하여 자외선으로부터 보호되거나 UV 방지도관 또는 플라스틱 관에 설치하여야 한다. (6) 동선이 사용되는 곳은 시간경과에 따라 케이블의 성능 저하를 줄이기 위해, 다연선 도체를 주석 처리 하여야 한다.

〈표 V-12〉 계속

개정 前	개정 後
	(7) 전선이 움직임이 있을 수 있는 곳(예: 추적장치 설비 또는 스트링 케이블이 바람에 노출되는 곳)에는 가연성 케이블을 사용하여야 한다. [해설] 현재 국내에서는 “KS IEC 60502-1” 규격 기준의 AC 0.6/1kV 급의 TFR-CV 케이블이 사용되고 있으나, IEC 62930 규격이 개정됨에 따라 태양광전용케이블이 개발되고 있으므로 이 규격을 따르는 것이 바람직하다. 태양광발전시스템의 수명은 약 30여년에 이르고 있다. 오랜 시간 자외선, 열 등의 외부환경에 노출되기 때문에 IEC는 케이블의 규격을 강화하고 있다. 특히 2021년부터 직류 저압 범위가 1,500V로 확대됨에 따라, 사용전압이 높아지면 지금의 케이블은 사용이 어려워질 수 있다. 이러한 문제 해결을 위하여 독일은 2007년부터 태양광용 DC 1,500V 전용케이블 시험 규격(TÜV 2 Pfg 1169/08.2007)을 제정하였고 EU도 2014년 EN 50618을 신규 제정하였으며 IEC는 DC 1,500V 태양광 케이블 규격을 통합한 IEC 62930 규격을 2017년 신규 제정했다. 5.2.2 전기배선 (1) 태양전지 모듈 및 기타 기구에 전선을 접속하는 경우는 나사로 조이고, 기타 이와 동등 이상의 효력이 있는 방법으로 기계적·전기적으로 안전하게 접속하고, 접속점에 장력이 가해지지 않도록 해야 한다.

〈표 V-12〉 계속

개정 前	개정 後
	(7) 전선이 움직임이 있을 수 있는 곳(예: 추적장치 설비 또는 스트링 케이블이 바람에 노출되는 곳)에는 가연성 케이블을 사용하여야 한다. [해설] 현재 국내에서는 “KS IEC 60502-1” 규격 기준의 AC 0.6/1kV 급의 TFR-CV 케이블이 사용되고 있으나, IEC 62930 규격이 개정됨에 따라 태양광전용케이블이 개발되고 있으므로 이 규격을 따르는 것이 바람직하다. 태양광발전시스템의 수명은 약 30여년에 이르고 있다. 오랜 시간 자외선, 열 등의 외부환경에 노출되기 때문에 IEC는 케이블의 규격을 강화하고 있다. 특히 2021년부터 직류 저압 범위가 1,500V로 확대됨에 따라, 사용전압이 높아지면 지금의 케이블은 사용이 어려워질 수 있다. 이러한 문제 해결을 위하여 독일은 2007년부터 태양광용 DC 1,500V 전용케이블 시험 규격(TÜV 2 Pfg 1169/08.2007)을 제정하였고 EU도 2014년 EN 50618을 신규 제정하였으며 IEC는 DC 1,500V 태양광 케이블 규격을 통합한 IEC 62930 규격을 2017년 신규 제정했다. 5.2.2 전기배선 (1) 태양전지 모듈 및 기타 기구에 전선을 접속하는 경우는 나사로 조이고, 기타 이와 동등 이상의 효력이 있는 방법으로 기계적·전기적으로 안전하게 접속하고, 접속점에 장력이 가해지지 않도록 해야 한다.

〈표 V-12〉 계속

개정 前	개정 後
	(2) 배선시스템은 바람, 결빙, 온도, 태양방사와 같이 예상되는 외부 영향을 견디도록 시설해야 한다. (3) 모듈의 출력배선은 극성별로 확인할 수 있도록 표시해야 한다. (4) 직렬 연결된 태양전지모듈의 배선은 과도과전압의 유도에 의한 영향을 줄이기 위하여 그림 2와 같이 도전성 루프 면적이 최소가 되도록 배치해야 한다. [그림 2] 태양전지모듈의 배선 (5) 배선설비 공사는 옥내에 시설할 경우에는 KEC 232.11, 232.12, 232.13, 232.51 또는 232.3.7의 규정에 준하여 시설해야 한다.

〈표 V-12〉 계속

개정 前	개정 後
	(6) 옥측 또는 옥외에 시설할 경우에는 KEC 232.11, 232.12, 232.13 또는 232.51(232.51.3은 제외할 것)의 규정에 준하여 시설하고 필요할 경우 적절한 방호장치를 시설해야 한다. 5.2.3 단자와 접속 (1) 단자의 접속은 기계적, 전기적 안전성을 확보하도록 하여야 한다. (2) 단자를 체결 또는 잠글 때 너트나 나사는 풀림방지 기능이 있는 것을 사용하여야 한다. (3) 외부터미널과 접속하기 위해 필요한 접점의 압력이 사용기간 동안 유지되어야 한다. (4) 단자는 도체에 손상을 주지 않고 금속표면과 안전하게 체결되어야 한다. 5.2.4 태양광발전 배선용 커넥터 (1) 직류 정격을 사용하여야 한다(KS C IEC 62852). (2) 커넥터는 설계 시 산출된 개방회로 최대전압 이상의 전압등급을 가져야 한다. (3) 장착된 회로에 대한 전류용량 이상의 전류정격을 가져야 한다. (4) 설치위치에 적합한 온도등급을 유지해야 한다. (5) 그림 3과 같이 함께 결합되는 암/수 커넥터는 동일한 제조업체의 동일한 형식이어야 하며, 즉 한 제조업체의 수 커넥터와 다른 제조업체의 암 커넥터 또는 그 반대로 연결해서는 안 된다.

〈표 V-12〉 계속

개정 前	개정 後
	[그림 3] 암수 커넥터 형식 (6) 자외선 환경에 노출된 경우 옥외용으로 평가되고 자외선에 강하며 위치에 적합한 IP 등급이어야 한다. 5.2.45 외부 영향과 관련된 선정 및 설치 (1) PV 스트링 케이블, PV 어레이 케이블과 PV 직류 주 케이블은 지락 및 단락 위험이 최소화되도록 선정 및 설치하여야 한다. 주) 이 내용은 단심 피복 케이블의 사용을 통해 외부 영향에 대한 배선의 보호를 강화함으로써 충족할 수 있다. (2) 배선 시스템은 바람, 결빙, 온도, 태양광 등과 같이 예상되는 외부 영향을 견뎌야 한다.

〈표 V-12〉 계속

개정 前	개정 後																				
5.3 단로, 개폐 및 제어 5.3.1 단로 PV 인버터의 정비를 허용하기 위하여 PV 인버터를 직류측과 교류측으로부터 분리시키는 수단이 있어야 한다. 주) 상용 전원 시스템과 병렬 운전하는 PV 설비의 절연에 대한 추가 요구사항은 KS C IEC 60364-5-55(건축 전기 설비-제5-55부 : 전기 기기의 선정 및 시공-기타 기기)의 551.7에 주어져 있다. 5.3.2 단로 장치 (1) PV 설비와 상용전원 사이에 설치하는 단로 및 개폐용 장치의 선정과 설치에서 상용전원(계통)은 전원으로 간주하고 PV 설비는 부하로 간주한다. (2) 개폐기는 PV 인버터의 직류 측에 설치하여야 한다. (3) 모든 정선박스에는 “PV 발전기와 PV 어레이 박스안의 충전부가 PV 인버터로부터 단로 된 후에도 여전히 충전 상태일 수 있다” 는 경고표시를 부착하여야 한다.	5.3 단로, 개폐 및 제어개폐장치 5.3.1 단로개폐장치의 구분 및 설치 PV 인버터의 정비를 허용하기 위하여 PV 인버터를 직류측과 교류측으로부터 분리시키는 수단이 있어야 한다. 주) 상용 전원 시스템과 병렬 운전하는 PV 설비의 절연에 대한 추가 요구사항은 KS C IEC 60364-5-55(건축 전기 설비-제5-55부 : 전기 기기의 선정 및 시공-기타 기기)의 551.7에 주어져 있다. 5.3.1.1 개폐장치 구분 개폐장치는 표 3과 같이 구분한다. 〈표 3〉 개폐장치 구분 <table><tr><th>기호</th><th></th><th></th><th></th></tr><tr><td>IEC 용어</td><td>d/SConnector</td><td>switch d/SConnector</td><td>circuit breaker</td></tr><tr><td>본 지침 용어</td><td>단로기</td><td>(부하)개폐기</td><td>(배선용)차단기</td></tr><tr><td>용도</td><td>무부하 개폐</td><td>부하전류 차단</td><td>단락전류 차단</td></tr><tr><td>동시차단</td><td>개별 분리</td><td>동시차단</td><td>동시차단</td></tr></table>	기호				IEC 용어	d/SConnector	switch d/SConnector	circuit breaker	본 지침 용어	단로기	(부하)개폐기	(배선용)차단기	용도	무부하 개폐	부하전류 차단	단락전류 차단	동시차단	개별 분리	동시차단	동시차단
기호																					
IEC 용어	d/SConnector	switch d/SConnector	circuit breaker																		
본 지침 용어	단로기	(부하)개폐기	(배선용)차단기																		
용도	무부하 개폐	부하전류 차단	단락전류 차단																		
동시차단	개별 분리	동시차단	동시차단																		

〈표 V-12〉 계속

개정 前	개정 後															
	5.3.1.2 태양광발전 시스템의 개폐장치 시설 접속함, 태양전지 어레이 등의 개폐장치는 다음과 같이 시설하여야 한다. (1) 개폐장치는 점검이나 조작이 가능한 곳에 시설하여야 한다. (2) 개폐장치의 구체적인 설치장소는 표 4 및 그림 4와 같다. 〈표 4〉 개폐장치 설치장소 <table><tr><th>회로</th><th>개폐장치 구분</th><th>요구사항</th></tr><tr><td>태양전지 스트링</td><td>단로기</td><td>필수</td></tr><tr><td>태양전지 서브-어레이</td><td>단로기</td><td>필수</td></tr><tr><td></td><td>(부하)개폐기</td><td>권장</td></tr><tr><td>태양전지 어레이</td><td>(부하)개폐기</td><td>필수</td></tr></table> [비고1] 특히 지붕에 설치하는 태양광발전시스템의 경우 개폐기는 쉽게 접근할 수 있고 눈에 잘 띄는 장소에 시설하여야 한다. [비고2] 태양전지 스트링 인버터 내부에 단로기 기능이 있는 경우 별도의 단로기 설치 생략할 수 있다.	회로	개폐장치 구분	요구사항	태양전지 스트링	단로기	필수	태양전지 서브-어레이	단로기	필수		(부하)개폐기	권장	태양전지 어레이	(부하)개폐기	필수
회로	개폐장치 구분	요구사항														
태양전지 스트링	단로기	필수														
태양전지 서브-어레이	단로기	필수														
	(부하)개폐기	권장														
태양전지 어레이	(부하)개폐기	필수														

〈표 V-12〉 계속

개정 前	개정 後
	[그림 4] 개폐장치 설치장소 5.3.2 개폐기 설치 5.3.2.1 태양전지 어레이에서 인버터에 이르는 전로에는 그 접속점에 근접하여 부하전류를 개폐할 수 있는 개폐기를 시설하여야 한다. [비고1] 인버터의 정비 등을 위하여 태양전지 인버터에 설치하는 개폐장치는 직류 측과 교류 측 양 측에 설치하여 인버터를 전원과 부하로부터 분리할 수 있도록 시설하여야 한다. 5.3.2.2 개폐기는 태양전지 모듈을 병렬로 접속하는 전로에는 그 전로에 단락전류가 발생할 경우에 단락전류를 차단하는 능력이 있는 것이어야 한다.

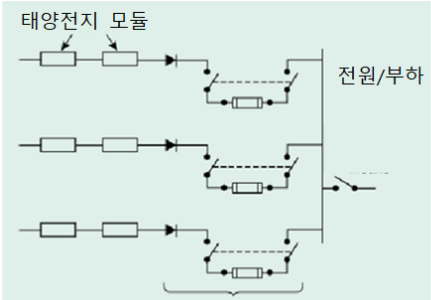
〈표 V-12〉 계속

개정 前	개정 後
	[해설] 기존의 계통과 달리 태양광발전시스템은 단락전류의 크기가 최대발전 시의 전류와 비교하여 크게 차이가 나지 않는다. 따라서 별도의 단락전류 차단능력을 고려하지 않는다. 그러나 배터리가 연결되어 있는 경우는 단락전류의 크기라 크게 증가한다. 5.3.2.3 태양광시스템에 사용되는 개폐기는 최대개방전압 (U_{OC_MAX})에서 모든 극의 정격 전류를 차단하여야 한다. 예를 들어 U_{OC_MAX}가 1,000 V 일 때 전류를 차단하려면 그림 5와 같이 직렬로 4개의 극 (각 극성에 대해 2개의 극이 직렬로 연결됨)이 필요하다. 특히 1,500 V 적용이 현실화 되면 더욱 검토가 필요하다. [그림 5] 4P를 사용한 개폐기

〈표 V-12〉 계속

개정 前	개정 後
	5.3.2.4 개폐기는 부하시 최대 회로 전류에서 개방되도록 정격을 갖추거나 "부하 상태에서 연결 해제를 하지 마십시오" 또는 "전류차단을 위한 것이 아닙니다."라는 내용의 표지를 하여야 한다. 5.3.3 단로-장치기 5.3.3.1 단로기는 다음의 한 가지를 사용할 수 있다. (1) 풀 아웃 퓨즈(Full-out Fuse) (2) 수동으로 작동 가능한 스위치 또는 배선용차단기 (3) 로컬에서 작동하고 제어 전원이 중단되면 자동으로 열리는 원격 제어 배선용차단기 [해설] 원격에서 자동으로 제어가 가능한 차단기, 부하개폐기 등을 단로기 용도로 사용할 수 있다. 이 경우 제어전원이 중단되면 필요할 때 제어를 할 수 없으므로 제어전원이 중단되면 자동으로 차단되도록 하여야 한다.

〈표 V-12〉 계속

개정 前	개정 後
	5.3.2 풀 아웃 퓨즈(Full-out Fuse) (1) 일반적으로 가장 많이 사용하고 있으며 전압은 최대개방전압 이상 이어야 한다. (2) KS C IEC 60269-6 규격에 의한 태양광발전시스템 전용 퓨즈인 gPV를 사용한다. (3) 정극성(+), 부극성(-) 양 쪽에 설치하여야 한다. (4) 풀 아웃 퓨즈(Full-out Fuse) 분리 위치는 그림 5와 같이 전원측 (1차)과 부하(2차)측 모두 분리하여 감전의 우려가 없는 구조이어야 한다.  [그림 6] 풀 아웃 퓨즈(Full-out Fuse) 형태 및 내부구조

〈표 V-12〉 계속

개정 前	개정 後
	5.3.23 단로-장차기 설치 (1) PV 설비와 상용전원 사이에 설치하는 단로 및 개폐용 장치의 선정과 설치에서 상용전원(계통)은 전원으로 간주하고 PV 설비는 부하로 간주한다. (2) 개폐기는 PV 인버터의 직류 측에 설치하여야 한다. (3) 모든 정선박스에는 “PV 발전기와 PV 어레이 박스안의 충전부가 PV 인버터로부터 단로 된 후에도 여전히 충전 상태일 수 있다” 는 경고표시를 부착하여야 한다.

VI. 결론

.....

VI. 결론

1. 연구 내용 및 결과

1) 주요 연구내용

본 연구에서는 신재생에너지 관련 신기술·신공법 관련 특성 파악을 통해 위험요인을 예측 및 평가하고 그 결과를 토대로 관계 법령 및 안전기준 등의 개선방안을 모색하고자 하였다.

먼저 국제 에너지 기구(IEA) 2050 탄소중립 시나리오, 우리나라의 제5차 신재생에너지 기본계획 및 RE100 등에 대한 고찰을 통해 신재생에너지 관련 미래환경 분석을 실시하고, 향후 발생할 수 있는 신재생에너지 관련 위험요인을 확인하고 관련 위험성에 대응하고자 안전보건 전망을 예측하였다.

그리고 신재생에너지 기술 및 산업 현황 분석을 통해 태양광, 풍력에 대한 발전원리 및 관련 기술 특성, 국내 신재생에너지 발전 및 보급 현황과 산업규모 그리고 국내·외 신재생에너지 관련 보급 전망 및 산업 생태계를 각각 파악하였다. 더불어 태양광, 풍력 관련 산업재해 사고사망자 발생 현황 분석, 산업재해통계 외 국내외 사고발생 현황 파악 및 태양광, 풍력의 신기술 및 신공법 관련 공정 및 작업내용 분석을 실시하고, 신재생에너지 관련 위험요인 예측 및 안전기준 개선에 활용하고자 하였다.

마지막으로 실태조사 등을 통해 도출된 위험요인을 산업안전보건기준에 관한 규칙(타 법령 포함)과의 적정성 검토를 통해 개선사항을 발굴하고, 태양광 및 풍력 관련 이슈, 문제점 등에 대한 안전조치 개선방안을 도출하였다.

2) 주요 연구결과

본 연구의 주요결과로는 첫째, 신재생에너지 관련 사고 및 위험요인 분석결과를 토대로 태양광 및 풍력 관련 안전조치 사항이 적절하게 규정되고 있는지를 확인하고 산업안전보건기준에 관한 규칙과의 비교 검토를 통하여 안전기준 개선(안)을 마련하였다. 태양광은 떨어짐, 감전, 익사 및 옥외작업 관련 사항을, 풍력은 떨어짐, 끼임, 충돌, 물체에 맞음, 감전, 익사 및 옥외작업 관련 사항에 대한 안전조치 적정성 검토하고 산업안전보건기준에 관한 규칙의 관련 조항 개선의견을 제시하였다.

둘째, 태양광 및 풍력 관련 주요 이슈의 안전조치 개선사항을 제시하였다. 태양광 발전설비의 경우 구성품인 인버터 특성상 커패시터로 인해 잔류전하 방전에 장시간이 소요되어 공급전원이 차단되더라도 충전부 접촉에 의한 감전위험이 상존하므로 전원차단장치 설치와 전압강하 기능 추가를 제시하였다. 또한 풍력 발전설비의 경우 블레이드 및 타워 외부 유지보수를 위한 자일로프 작업 시 근로자 역량, 교육 및 관리감독 등 안전조치를 「산업안전보건기준에 관한 규칙」과 「유해위험작업의 취업제한에 관한 규칙」에 관련 내용 추가를 제언하였다.

셋째, 직류감전 관련 안전조치를 위하여 인체영향 재해석, 접지방범 개선 및 직류 누전차단기 개발 필요성을 제안하였다.

넷째, 태양광 및 풍력 관련 위험성평가 수단으로 활용할 수 있는 안전보건 체크리스트를 제시하였다. 이는 태양광 및 풍력 수명주기의 모든 단계를 포괄하는 제조, 설치, 유지보수, 해체 및 재활용 단계에서 근로자에게 발생할 수 있는 안전보건 위험요인을 제거하거나 개별 수준으로 위험성을 줄일 수 있는 기술적, 조직적 작업 유형의 예를 제공하고 있다.

다섯째, 태양광 발전설비 설치에 관한 기술지침에 대한 개정 검토의견을 제시하였다.

2. 기대효과 및 활용방안

태양광 및 풍력 관련 신기술·신공법에 대한 직무위험 분석을 통해 도출된 위험요인은 쏘조직 차원의 위험성평가에 활용할 수 있으며, 위험성평가 결과를 토대로 생애주기별로 발현될 수 있는 위험성을 사전 예측 및 통제함으로써 산업재해예방에 기여할 것으로 기대한다. 또한 연구결과로 도출된 신재생에너지 안전기준 개선(안)에 대해서는 타당성 검토 등을 거쳐 산업안전보건기준에 관한 규칙 개정(안)으로 제시하고자 한다.

또한 태양광 및 풍력 발전 관련 주요 이슈사항으로 고려한 ❶ 태양광 발전설비의 충전부 안전조치, ❷ 풍력 발전설비의 자일 로프 작업 관련 안전조치 및 ❸ 직류 관련 인체영향, 접지방식 및 누전차단기 개발 등 안전조치 개선사항은 직류감전 예방영역에서 기초자료로 활용 예정이며 더불어 관련 법령·지침 개정, 사고조사 및 기술지원 시 활용 예정이다.

마지막으로 태양광 및 풍력 산업안전보건 체크리스트는 관련 산업의 수명주기의 모든 단계별로 근로자에게 발생할 수 있는 안전보건 위험요인에 대한 위험성평가 수단으로 활용할 수 있다. 또한 연구결과로 도출된 태양광 및 풍력 산업안전보건 체크리스트는 안전보건기술지침 제정에 활용하거나 관련 산업 기술지원시 활용될 수 있도록 매뉴얼 작업 후 일선기관에 배포 예정이다.

참고문헌

- IEA. Net Zero By 2050 : A Roadmap for the Global Energy. IEA. 2021.
- 에너지경제연구원. 세계 에너지시장 인사이트(제21-12호) : IEA가 제시하는 2050 탄소중립 달성의 필수조건. 에너지경제연구원. 2021.
- 한국과학기술기획평가원. 2022년 KISTEP 미래유망기술 선정에 관한 연구 : 2030 국가 온실가스 감축목표 달성에 기여할 미래유망기술. 한국과학기술기획평가원. 2021.
- 한국RE100협의체. RE100정보플랫폼. <https://www.k-re100.or.kr>. 2022.
- 한국에너지공단/신·재생에너지센터. 정책 및 제도 지원. 한국형 RE100. https://www.knrec.or.kr/biz/introduce/new_policy/intro_kre100.do?gubun=A. 2022.
- SAFETY AND HEALTH AT THE HEART OF THE FUTURE OF WORK. ILO. 2019.
- HSE. Health and safety in the new energy economy. HSE. 2010.
- OECD. OECD Green Growth Indicators. OECD. 2022.
- 국가지표체계. 국가발전지표/기후변화와 에너지/신재생에너지/신재생에너지 발전비율. 국가지표체계. 2022
- e-나라지표. 부단위기관/산업통상자원부/신재생에너지 보급현황. e-나라지표. 2022
- 한국에너지공단 신재생에너지센터. 신재생에너지 보급통계. 한국에너지공단

신재생에너지센터. 2022.

한국에너지공단 . 신재생에너지 클라우드플랫폼. 한국에너지공단. 2022

김기봉, 여준석, 정예슬 . R&D 산업생태계 분석을 통한 재생에너지 투자전력
수립. 한국과학기술기획평가원. 2018

윤정길. 풍력 발전 현황 및 산업 동향. KDB산업은행 미래전략연구소. 2022.

<https://www.caithness.org/windfarms/>

공지영, 조일현. 국제 신재생에너지 정책변화 및 시장분석. 에너지경제연구원.
2021.

강정화. 2021년 2분기 신재생에너지 산업 동향. 한국수출입은행/해외경제
연구소. 2021.

김완수, 박상준, 안성렬. 태양광발전설비 안전관리 현황 분석. Current
Photovoltaic Research 7(2) 38-45. 2019.

안전보건공단. 산업재해통계. 안전보건공단. 2022.

소방청. 국가화재정보시스템. 소방청. 2022.

서용윤. 특수형태근로종사 대상 안전조치 이행 실태조사 및 개선방안 도출과
효과적인 감독방안 검토. 안전보건공단 산업안전보건연구원. 2022.

https://www.knrec.or.kr/biz/korea/intro/kor_solar.do(한국에너지공단
신재생에너지센터/신재생E코리아/신재생에너지원별 소개)

백태현. [ReSEAT사업] 2017-17차 보고서; 해외 풍력발전기 사고 예방, 안전
점검 기술. 한국과학기술정보연구원. 2017.

EU-OSHA-European Agency for Safety and Health at Work, Hazard Identification Checklist: OSH Risks Associated With Small-Scale Solar Energy Application, E-FACT 69.

EU-OSHA-European Agency for Safety and Health at Work, Hazard Identification Checklist: Occupational Safety and Health (OSH) Risks in the Wind Energy Sector, E-FACT 80.

Clean Energy Regulator, Workplace Health & Safety when installing solar systems, NECA, 2018.

DeWind, Installation Manual, Dewind Europe GmbH, 2012.

DeWind, Maintenance Manual, Dewind Europe GmbH, 2013.

태양광 발전설치 설치 및 유지관리 가이드라인, 경기도, 2021.

M. Gul, A.F. Guneri, M. Basken, An occupational risk assessment approach for construction and operation period of wind turbine, Global J. Environ. Sci. Manage.,4(3):281-298, 2018.

김귀식, 정지현. 풍력발전기의 사고 발생요인의 분류. 한국동력기계공학회지 제19권 제4호 pp.76-81. 2015.

https://m.blog.naver.com/PostView.naver?isHttpsRedirect=true&blogId=annapurna_k&logNo=221465717628.(주) 안나푸르나. IRATA(아이라타) ROPE ACCESS 교육)

정한교. [칼럼] 태양광발전 설비 위험 예방을 위한 안전기술. 인더스트리 뉴스. 2021.<https://www.industrynews.co.kr/news/articleView.html?idxno=44678>.

이진성, 김효성. 직류환경에서 인체에 흐르는 감전전류 분석. The Transaction

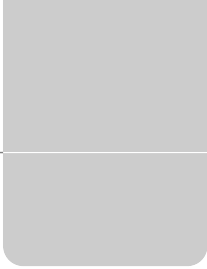
of the Korean Institute of Power Electronics, Vol. 21, No.3. 2016.

김동우, 임용배, 이상익 등. 직류시스템의 접지 구성 방식별 인체 보호방법 분석. 대한전기학회 하계학술대회 논문집. 2015.

한후석, 조성철. 태양광 발전용 단상 30kW급 직류누전차단기 개발. 대한전기학회 하계학술대회 논문집. 2015.

연구개발특구진흥재단. 유망시장 Issue Report 태양광 발전. 연구개발특구진흥재단. 2021.

IEC 60364-7-712(2017, Requirements for special installations or locations - Solar photovoltaic (PV) power supply systems)



Abstract

Prediction of risk factors and Improvement of Safety Standards related to Renewable Energy

Objectives : Risk factors were predicted and evaluated by identifying the characteristics of new and renewable energy-related new technologies and methods, and based on the results, measures to improve related laws and safety standards were sought.

Method : The future environment related to new and renewable energy was analyzed through consideration of the International Energy Agency (IEA) 2050 carbon neutral scenario, Korea's 5th New Renewable Energy Basic Plan and RE100. Through the analysis of new and renewable energy technology and industry status, identify the generation principle and related technology characteristics for solar and wind power, the current status of domestic new and renewable energy development and supply, the industrial scale, and the supply prospects and industrial ecosystems related to domestic and foreign new and renewable energy, respectively. Analysis of the current status of deaths in industrial accidents related to solar and wind power, identification of domestic and foreign accidents other than industrial accident statistics, and analysis of processes and work related to new technologies and new construction methods for solar and wind power

Results : First, based on the results of analysis of accidents and risk factors related to new and renewable energy, it is confirmed whether safety measures related to solar and wind power are appropriately prescribed, and safety standards are improved (proposal) through comparison with the rules on occupational safety and health standards. has been prepared. Second, safety measures for major issues related to solar and wind power were suggested. Third, for safety measures related to DC electric shock, the need for reinterpretation of human body effects, improvement of grounding method, and development of DC earth leakage circuit breaker was proposed. Fourth, a safety and health checklist that can be used as a risk assessment tool related to solar and wind power was presented.

Conclusion : Risk factors derived from job risk analysis on new technologies and methods related to solar and wind power can be used for risk assessment at the whole organization level, and based on the risk assessment results, risks that may occur by life cycle are predicted and controlled in advance. It is expected to contribute to the prevention of industrial accidents.

Key words : Solar, Wind Power, Risk Factor, Safety Measure

부록 1. 풍력에너지 관련 사고발생 현황

1975년부터 2012년까지 풍력에너지 관련 사고발생 현황에 대한 교차분석 결과를 정리하였다.

〈표 부록-1〉 풍력에너지 관련 년도별/국가별 사고발생 현황

구분	합계	USA	UK	Germany	Denmark	Canada	Holland	Australia
합계	1292	431	242	213	97	48	42	38
1975	1	1						
1981	2	1			1			
1982	2	1			1			
1983	1	1						
1984	3	3						
1989	1	1						
1990	2				1		1	
1991	3	1						2
1992	4	3	1					
1993	4	2	2					
1994	3	2						
1995	6		1	2		1		
1996	10	1		7			1	
1997	18	2	5	9	1			
1998	10	3	3	2				1
1999	37	3		24	3		5	
2000	30	6	4	11	2		3	1
2001	17	1	2	9	1			
2002	71	3	3	38	13	1	4	2
2003	64	6	8	26	12		1	1
2004	60	5	1	23	13		5	2
2005	71	10	14	19	12	1	5	3
2006	82	21	24	10	4	2	4	3
2007	124	40	42	15	3	2	2	1
2008	130	63	26	3	7	8	8	1
2009	130	58	25	3	4	9	3	1
2010	119	56	20	6	10	8		6
2011	160	84	29		8	11		5
2012	126	53	31	6	1	5		9
분류불능	1		1					

<표 부록-1> 계속

구분	Spain	France	Norway	Portugal	China	New Zealand	Japan	Ireland
합계	31	25	16	13	13	12	12	9
1975								
1981								
1982								
1983								
1984								
1989								
1990								
1991								
1992								
1993								
1994								
1995	1							
1996					1			
1997								
1998								
1999							1	
2000	1	1						
2001	3							
2002	1	3	2					
2003	2	5			1		1	1
2004	2	5						1
2005			1	1		1	2	1
2006	4	2	3		2			
2007	2	1	6	3		2	2	2
2008	2	1	1	2		1	1	1
2009	7	2	2	4			2	1
2010		3		2		4		
2011	1		1		6	3	3	1
2012	5	2		1	3	1		1
분류불능								

〈표 부록-1〉 계속

구분	Sweden	Brazil	India	Italy	Taiwan	Switzerland	Mexico	Pharoe Islands
합계	8	6	6	4	3	2	2	2
1975								
1981								
1982								
1983								
1984								
1989								
1990								
1991								
1992								
1993								
1994								
1995								
1996								
1997	1							
1998			1					
1999	1							
2000								
2001								
2002	1							
2003								
2004	1							
2005						1		
2006			1		1	1		
2007								
2008	1	1	1	1	1			
2009	2	3		2	1			
2010								
2011	1	1	2	1			2	
2012		1	1					2
분류불능								

<표 부록-1> 계속

구분	Belgium	Crete	Romania	Central America	Puerto Rico	Bulgaria	Greece	분류 불능
합계	2	1	1	1	1	1	1	9
1975								
1981								
1982								
1983								
1984								
1989								
1990								
1991								
1992								
1993								
1994								1
1995							1	
1996								
1997								
1998								
1999								
2000								1
2001								1
2002								
2003								
2004	2							
2005								
2006								
2007								1
2008								
2009		1						
2010			1		1	1		1
2011				1				
2012								4
분류불능								

〈표 부록-2〉 풍력에너지 관련 년도별/사고발생 원인별 현황

구분	합계	Blade failure	Miscellaneous	Fire	Structure failure	Environmental
합계	1292	250	225	195	130	115
1975	1					
1981	2				1	
1982	2					
1983	1					
1984	3					
1989	1					
1990	2					
1991	3					
1992	4	1				1
1993	4	1		1	1	
1994	3		1			
1995	6	3	1	1	1	
1996	10	3				
1997	18	6	3	1		
1998	10	2	1	1	4	
1999	37	18	3	2	8	
2000	30	4	7	3	9	
2001	17	6	4	2	3	1
2002	71	15	13	24	9	1
2003	64	13	12	16	7	8
2004	60	15	11	16	4	1
2005	71	12	12	14	7	6
2006	82	16	16	12	9	5
2007	124	22	18	21	13	10
2008	130	21	24	16	9	21
2009	130	26	19	17	16	13
2010	119	20	23	13	9	19
2011	160	19	30	21	11	16
2012	126	26	27	14	9	13
분류불능	1	1				

<표 부록-2> 계속

구분	Injury	Transport	Fatal	Ice throw	Mechanical failure	Lightning
합계	112	108	96	34	16	5
1975			1			
1981			1			
1982			2			
1983			1			
1984			3			
1989			1			
1990			2			
1991			3			
1992	1		1			
1993			1			
1994	1		1			
1995						
1996	1		2	3		1
1997			4	3		1
1998	1					1
1999	1		1	3		1
2000	4		3			
2001	1					
2002	2	4	1	2		
2003	2		4	2		
2004	2	3	4	4		
2005	6	6	4	4		
2006	10	6	5	3		
2007	16	19	5			
2008	16	10	10	3		
2009	9	11	7	4	7	1
2010	14	11	7	1		
2011	12	24	13	1	9	
2012	13	14	9	1		
분류불능						

〈표 부록-2〉 계속

구분	Water damage	Explosion	Dust	Short circuit
합계	3	1	1	1
1975				
1981				
1982				
1983				
1984				
1989				
1990				
1991				
1992				
1993				
1994				
1995				
1996				
1997				
1998				
1999				
2000				
2001				
2002				
2003				
2004				
2005				
2006				
2007				
2008				
2009				
2010	1			1
2011	2	1	1	
2012				
분류불능				

〈표 부록-3〉 풍력에너지 관련 국가별/사고발생 원인별 현황

구분	합계	Blade failure	Miscellaneous	Fire	Structure failure
합계	1292	250	225	195	130
USA	431	69	60	44	35
UK	242	49	70	10	29
Germany	213	70	25	43	17
Denmark	97	8	22	50	6
Canada	48	5	11	3	5
Holland	42	8	8	7	13
Australia	38	8	6	6	
Spain	31	1	1	10	6
France	25	12	2	3	6
Norway	16	4	2	6	1
Portugal	13	1		1	
China	13		2		3
New Zealand	12	1	2		1
Japan	12	2	3	1	4
Ireland	9		1	2	
Sweden	8	2	1	2	2
Brazil	6	1		2	
India	6	1	1	2	1
Italy	4	2		2	
Taiwan	3		1	1	
Switzerland	2				
Mexico	2				
Pharoe Islands	2	1			1
Belgium	2	2			
Crete	1				
Romania	1		1		
Central America	1				
Puerto Rico	1				
Bulgaria	1				
Greece	1	1			
분류불능	9	2	6		

〈표 부록-3〉 계속

구분	Environmental	Injury	Transport	Fatal	Ice throw
합계	115	112	108	96	34
USA	55	38	70	43	2
UK	15	38	18	7	4
Germany	9	7	7	14	20
Denmark	1	1	1	4	
Canada	7	2	3	4	4
Holland	1	1		2	2
Australia	6	5	5	2	
Spain	5	5		3	
France		2			
Norway	2				
Portugal		7		4	
China	1	2		5	
New Zealand	2	2	3	1	
Japan	2				
Ireland	4		1	1	
Sweden				1	
Brazil				3	
India		1			
Italy					
Taiwan	1				
Switzerland					2
Mexico		1		1	
Pharoe Islands					
Belgium					
Crete	1				
Romania					
Central America	1				
Puerto Rico	1				
Bulgaria	1				
Greece					
분류불능				1	

〈표 부록-3〉 계속

구분	Mechanical failure	Lightning	Water damage	Explosion	Dust
합계	16	5	3	1	1
USA	9	4	2		
UK	2				
Germany		1			
Denmark			1	1	1
Canada	4				
Holland					
Australia					
Spain					
France					
Norway	1				
Portugal					
China					
New Zealand					
Japan					
Ireland					
Sweden					
Brazil					
India					
Italy					
Taiwan					
Switzerland					
Mexico					
Pharoe Islands					
Belgium					
Crete					
Romania					
Central America					
Puerto Rico					
Bulgaria					
Greece					
분류불능					

부록 2. 태양광 발전 산업안전보건 체크리스트

태양광 발전에서 관계 노동자가 잠재적 위험을 확인할 수 있도록 체크리스트를 제안한다.

〈표 부록-4〉 태양광 발전 사고 및 질병 예방을 위한 체크리스트

항목	확인내용
1	제조
	유해물질 노출
1.1	▪ 유해물질에 대하여 법률에서 규정하는 관리조치의 우선순위에 따라서 화학물질과 먼지에 대한 노동자의 노출을 제거하였습니까?
1.2	▪ 생산공정에서 기계적 환기가 충분히 제공되고 있습니까?
1.3	▪ 위험성 감소 조치가 충분하지 않다면, 개인용 보호구 제공, 사용 및 유지 상태가 양호합니까?
1.4	▪ 근로자는 개인용 보호구를 사용할 수 있도록 충분한 교육을 받았습니까?
1.5	▪ 사용하지 않는 인화성 또는 독성물질은 적절한 용기와 환기가 충분한 장소에서 보관되고 있습니까?
1.6	▪ 실란 가스 실린더는 격리된 출입금지 장소 또는 퍼지 가스 용기에 보관되어 있습니까?
1.7	▪ 유해물질과 분진이 발생할 수 있는 제조설비에 대한 안전한 유지보수 및 제거 방안이 마련되어 있습니까?
1.8	▪ 작업장 공기질과 배출 공기질을 모니터링하고 있습니까?
1.9	▪ 물질안전보건자료가 비치되어 있습니까?
1.10	▪ 작업자가 안전한 작업절차에 대한 정보에 접근할 수 있습니까?
1.11	▪ 비상조치 계획이 마련되어 있습니까?

〈표 부록-4〉 계속

항목	확인내용
	인력 취급 이슈
1.12	▪ 유해물질 노출
1.3	▪ 인력으로 들어올리거나 운반하는 작업 및 가벼운 품목의 반복적인 취급을 회피하고, 불가능한 경우 작업량을 최소화할 수 있습니까?
2	설치, 유지보수, 폐기
	작업 조직, 심리사회적 위험
2.1	▪ 안전한 작업 수행을 위한 태양광 시스템, 전기설비 및 건물 관련 정보가 작업자에게 제공되고 있습니까?
2.2	▪ 안전한 작업 절차에 대한 교육이 이루어지고 있습니까?
2.3	▪ 특히 서로 다른 시공사 및 하청업체가 관련되어 혼재작업이 이루어지는 경우 안전한 작업이 이루어질 수 있도록 주체별(예: 건물주, 현장 관리자 및 작업자) 충분한 협의, 의사소통 및 정보교환이 가능합니까?
2.4	▪ 작업자가 작업장 위험성평가에 참여하고 있습니까?
2.5	▪ 작업장 위험성평가를 통해 작업 조직과 작업 스트레스 관련 위험요인이 도출되었습니까?
2.6	▪ 많은 업무량과 급박한 공기를 회피하기 위한 조치가 마련되어 있습니까?
2.7	▪ 다양한 작업자 그룹(이주, 청년, 고령 및 여성 근로자)의 특정 요구사항 파악 및 위험성 평가가 실행되고 있습니까?
2.8	▪ 의사소통이 어려운 이주 노동자가 안전하게 작업을 수행할 수 있도록 관련 정보를 전달할 수 있는 조치가 마련되어 있습니까?
	고소작업, 미끄러짐 및 넘어짐, 떨어짐
2.9	▪ 고소작업은 가능하나, 경사진 지붕에서 작업을 회피할 수 있습니까?
2.10	▪ 고소작업이 필요한 경우 이동식 승강 작업대와 비계가 설치되어 있습니까?

〈표 부록-4〉 계속

항목	확인내용
2.11	▪ 고소작업 시 사용하는 사다리는 안전하게 사용할 수 있습니까?
2.12	▪ 지붕작업 시 지붕상태가 건조하고 이끼, 눈, 얼음, 배관 및 주변 장비 등에 의해 미끄러지거나 걸려서 넘어질 위험이 없는지 확인하였습니까?
2.13	▪ 채광창이나 구멍/개구부가 안전하게 조치되었습니까?
	전기(PV) 관련 위험, 화상 및 열상
2.14	▪ 전기설비 작업은 유자격자 수행하고 있습니까?
2.15	▪ 유지보수 및 수리 작업 중 고전압 전력선으로부터 작업자, 장비 및 재료를 안전하게 이격 유지하고 있습니까?
2.16	▪ 전력 인버터 작업구간이 건조합니까?
2.17	▪ 작업자는 저전압에서도 전격으로 인해 넘어질 수 있다는 사실을 인지하고 있습니까?
2.18	▪ 작업자는 소량의 태양광이 PV시스템에 전압을 유기하여 전격 또는 아크 플래쉬 위험이 있다는 것을 인지하고 있습니까?
2.19	▪ STP의 경우 태양열 집열기는 냉각될 수 있습니까?
2.20	▪ 근원적인 위험 감소 조치가 충분하지 않은 경우 작업자에게 개인용보호구가 지급되고 있습니까?
	근골격계질환 위험
2.21	▪ 인력으로 들어올리거나 운반하는 작업을 지양하고 불가능한 경우 최소한으로 작업량을 줄일 수 있습니까?
2.22	▪ 작업 관련 도구, 장비 및 자재를 지상에서 지붕으로 또는 반대로 내리는 작업을 포함하여 들어올리거나 운반 작업이 필요한 경우 기계적 보조장치가 마련되어 있습니까?
2.23	▪ 크레인이 사용되는 경우 크레인 조작 작업자는 적절한 교육을 받았습니까?
2.24	▪ 작업자가 반복적인 동작을 하거나 지속적인 자세로 작업을 해야 하는 경우를 제한하거나 불가능한 경우 작업량을 최소화하기 위한 조치가 있습니까?
2.25	▪ 작업자가 자주 또는 장시간 무릎을 꿇거나 쪼그리고 앉은 자세로 작업해야 하는 경우를 제한하거나 최소화하기 위한 조치가 마련되어 있습니까?

〈표 부록-4〉 계속

항목	확인내용
3	인프라 통합 운영
	전기 관련 위험성(PV)
3.1	▪ 유자격자만 시스템을 주전원에 연결할 수 있습니까?
3.2	▪ 태양광 발전소에서 그리드와 연결 및 분리를 위해 고압 송전선로에 근접하여 작업 시 전력회사와 전원 차단에 대한 협의가 되었습니까?
3.3	▪ 작업가 전기 시스템에서 작업시 2인 1조 작업을 실시하고 있습니까?
3.4	▪ 작업자는 청소작업 중에 손상되는 경우에 대비하여 전기 위험성을 가지는 PV 차폐물을 인지하고 있습니까?
4	폐기/재활용
	위험물질 및 소음 노출
4.1	▪ 작업자가 휘발성 유기화합물, 미생물, 분진 및 에어로졸 같은 공기 중 유해위험물질에 노출되는 것을 방지하고 있습니까? ▪ 불가능한 경우 작업자의 노출을 최소화하기 위한 조치가 마련되어 있습니까? ▪ 상기 조치들은 위험물질에 관한 법률에서는 통제조치의 계층에 따라서 원천적으로 우선시 하고 있습니까?
4.2	▪ 모든 작업자가 사용할 수 있는 적절한 세척시설이 마련되어 있습니까?
4.3	▪ 노출되는 소음이 제거되고 있는가? 불가능한 경우 최소치로 감소되고 있는가? 그리고 주체별로 원천적으로 통제조치를 시행함으로써 85dB의 한계 이내로 유지되고 있습니까?
4.4	▪ 근본적으로 위험감소 조치가 충분하지 않은 경우 적절한 개인용보호구가 제공되어 유지되고 있으며, 작업자가 올바른 사용방법에 대한 교육을 받고 있습니까?
	인력작업 이슈
4.5	▪ 인력작업에서 중량물을 들어 올리거나 운반, 반복적인 취급 작업에서는 가벼운 물건이라도 제한해야 하고 불가능한 경우 최소화하고 있습니까?
4.6	▪ 인력작업의 경우 팔을 어깨 높이 이상으로 올리지 않고 작업을 수행할 수 있습니까?

〈표 부록-4〉 계속

항목	확인내용
4.7	작업자가 안전 관련 작업 기술교육을 받았는가?
5	화재 비상
	전기(PV) 관련 위험성, 열상/화상
5.1	태양광 발전 시스템(STP, PV)의 설치와 유형에 따른 긴급 유지보수가 될 수 있도록 보장하는 조치가 마련되어 있습니까?
5.2	긴급 유지보수 업체는 태양광 발전소 작업시 준수해야 하는 안전거리와 유사하게 전압이 인가된 부품에 대한 안전거리를 인지하고 있습니까?
5.3	긴급 유지보수 업체는 전기아크가 PV시스템의 높은 직류전압에 의해서 발생한다는 것을 인지하고 있습니까?
5.4	STP의 경우 뜨거운 태양열 모듈의 존재를 배제할 수 있습니까?
	붕괴, 떨어짐 및 물체에 맞음
5.5	태양광 발전 시스템의 저항과 화재 특성을 포함한 추가 정보를 응급 구조대에 제공해야 함
5.6	태양광 모듈을 밟지 말고 표면이 미끄럽다고 간주하여야 함

다음 표는 태양광 발전에서의 예방조치 사례를 나타내고 있다.

〈표 부록-5〉 태양광 발전 예방조치

항목	확인내용
1	제조
	유해물질 노출
1.1	■ 위험한 물질을 사용하지 않거나 안전한 물질로 대체할 것 ■ 공정에서 사용되거나 생성되는 유해물질을 제거하거나 생성량을 최소화 되도록 작업공정을 구성할 것 ■ 가스, 먼지 또는 에어로졸이 발생할 가능성이 있는 공정에서는 위험물질 및 가스(예: 실란) 관련 작업 시 밀폐형 제조 시스템을 사용할 것 ■ 공기 중 위험물질, 증기, 휘발성 유기 화합물, 먼지 또는 에어로졸을 제거하기 위해 국소배기장치를 설치할 것 ■ 오염된 공기를 제거하기 위해 제어 가능한 환기시스템을 설치할 것 ■ 작업자가 노출되는 횟수와 노출시간을 줄일 수 있도록 작업주기를 정하여 작업방법을 구성할 것
1.2	■ 배기 환기 시스템을 정기적으로 검사 및 청소하여 최대 효율을 유지할 것
1.3	■ 개인용 보호구는 관련 법 및 표준을 충족하여야 하고, 인증표시가 되어 있는지 확인하고 필요 시 유지 또는 교체할 것
1.4	■ 작업자에게 개인용 보호구의 올바른 사용법을 교육하고 신체 특성을 고려하여 작업자의 얼굴에 호흡용 보호구 장착되도록 할 것 ■ 전체 밀착형 안면 마스크는 착용자의 피부와 마스크의 얼굴 연결부에서 접촉이 양호하여야 함
1.5	■ 인화성 또는 독성 물질(시약, 가스 등)은 적절한 밀폐 용기, 내화성 벽장, 유출 방지 트레이가 있는 캐비닛 또는 통에 보관할 것
1.6	■ 위험가스 실리더는 외부의 격리된 통제구역 또는 퍼지가스 캐비닛에 보관할 것
1.7	■ 위험물질이 사용되는 장소에서 유지보수, 수리 또는 청소작업 전에 위험성평가를 실시할 것
1.8	■ 작업장 공기와 배기 상태를 평가하고 모니터링 할 것
1.9	■ 사용되는 모든 위험물질에 대한 안전 데이터 시트(SDS)를 제공할 것

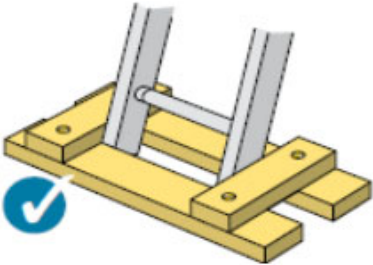
〈표 부록-5〉 계속

항목	확인내용
1.10	작업자에게 안전한 작업절차에 대한 적절한 교육(초기, 현장, 재교육)과 관리감독 실시할 것
1.11	안전보건 전문가와 협력하여 비상계획을 수립하여 작업자에게 통지하고 긴급 유지보수업체와 협업할 것
	인력 취급 이슈
1.12	- 인력 취급작업을 최소화하기 위해 작업 공정과 조직을 재구성 할 것 - 무거운 물건을 들어 올려야 하는 작업을 위해 그림과 같이 기계화/자동화 시스템을 사용할 것   시트/트롤리 테이블 진공 호이스트 - 인체공학 설계 컨베이어 시스템을 사용하여 비틀기, 구부리기 및 옆으로 뺀 기와 같은 불안정한 자세를 제한할 것 - 가급적 작업 방법과 절차를 변경할 것 - 정기적인 휴식시간을 배분할 것
1.13	인양, 밀기 및 당기기에 대한 안전기술을 포함하여 작업자에게 안전한 인력 취급작업 방법에 대한 교육을 제공할 것   자루트럭 하중을 허리에 근접하여 운반

〈표 부록-5〉 계속

항목	확인내용
2	설치, 유지보수 및 해체
	작업조직, 심리사회적 위험
2.1	▪ 건물 및 설치 소유자에게 태양광 발전 시스템에서 작업하는 근로자가 안전하게 작업할 수 있도록 필요한 정보 제공을 요청할 것
2.2	▪ 작업자가 적절한 교육 기록을 확인할 것 ▪ 시스템 또는 작업절차에 대한 정보가 부재하거나 불분명한 경우 관리자 또는 사용자에게 알려 작업 시작전에 관계 전문가가 누락 정보를 제공할 수 있도록 할 것
2.3	▪ 건물 소유자, 모든 작업자 및 현장 관리자 상호간 원활한 의사소통과 협력을 보장할 것
2.4	▪ 작업장 위험성평가 뿐만 아니라 예방조치 선택에도 근로자를 참여시켜 의견을 청취할 것
2.5	▪ 작업장 위험성평가의 일환으로 작업조직과 관련된 작업장 위험과 작업 관련 심리사회적 위험성을 평가할 것 ▪ 작업부하, 공기, 상사 및 동료의 지원, 자율성, 단조로움, 일과 생활의 균형 등과 관련된 측면을 포함함
2.6	▪ 근로자의 작업량과 공기의 실현 가능성을 평가하고 초과 근무가 발생하지 않도록 작업수행 가능 여부를 확인할 것 ▪ 작업량이 많아서 공기가 촉박한 경우 작업량과 공기가 조정되도록 작업자와 협의하여 작업계획을 재구성할 것
2.7	▪ 근로자 집단의 특성을 반드시 고려하여야 하는데 성별, 연령, 이주 근로자의 모국어 정보 요구 등 구체적 요구사항을 고려하여 근로조건 재구성할 것
2.8	▪ 필요에 따라 현장 작업자의 다양한 언어로 모든 안전정보를 제공할 것

〈표 부록-5〉 계속

항목	확인내용
	고소작업, 미끄러짐 및 걸려서 넘어짐, 떨어짐
2.9	- 고소작업이 발생하지 않도록 작업을 계획하고 구성하도록 노력할 것 - 고소작업을 불가피한 경우 다음 그림과 같이 떨어짐을 예방할 수 있는 시스템이 구축되어 있는지 확인할 것 
2.10	다음 그림과 같이 적절한 이동식 승강작업 플랫폼을 제공하고 불안정하거나 전도되는 것을 방지할 것 
2.11	- 적절한 사다리를 선택하기 위해서는 지상에서의 작업면 높이, 장비설치 표면 및 근로자가 작업할 지면상태, 장비가 설치된 지면상태, 기상조건 및 작업도구의 운반 방법 등에 대한 평가가 실시되어야 함 - 사다리는 안전하게 고정하여 안정적이고 평편한 표면에 설치할 것 

〈표 부록-5〉 계속

항목	확인내용
2.12	▪ 근로자가 안전하게 접근할 수 있도록 지붕상태, 지붕 재료 유형 및 지붕 구멍 등을 평가할 것 ▪ 비, 눈 및 얼음 등으로 지붕 표면이 젖은 경우 표면이 건조한 상태에서 작업할 수 있도록 작업일정을 조정할 것 ▪ 걸려서 넘어지거나 미끄러지는 위험성을 제거하고, 주변에 있는 이끼, 이물질 및 공구 등에 주의할 것 ▪ 걸려서 넘어지는 위험성을 제거할 수 없는 경우 근로자에게 관련 위험을 경고하기 위해서 표지판과 콘을 사용할 것
2.13	▪ 천장이나 임시 구멍 또는 개구부에 견고한 덮개를 설치하거나 안전난간 또는 가드를 사용하여 보호조치 할 것
	전기 관련 위험성(PV), 열상/화상
2.14	▪ 작업을 수행하는 근로자가 전기 위험 및 태양광 발전 시스템의 특성에 대하여 구체적인 교육을 받도록 할 것
2.15	▪ 고전압 계통의 전기적 위험을 포함하여 작업영역에서 위험성평가를 수행할 것 ▪ 모든 근로자가 고전압으로부터 안전거리 준수 중요성을 인식하고 엄격하게 준수하는 확인할 것
2.16	전원 인버터를 건조한 상태로 관리하고 적절하게 격리할 것
2.17	▪ 근로자가 PV시스템의 전기적 위험을 인지하고 관련 정보를 활용할 수 있는지 확인할 것 ▪ 특히, 근로자가 저전압에 의한 전격으로 떨어짐 위험에 대한 정보를 제공할 것
2.18	▪ 접지 고장 회로 차단기(GFCI)를 사용하여 잠재적인 위험전류를 방지할 것
2.19	▪ 태양열 시스템에 액체가 도포되면 증기로 빠르게 변환하므로 태양열 집열기에 대한 정보를 제공할 것
2.20	▪ 적절한 개인용 보호구를 지급하고 유지관리 될 수 있도록 작업자 대상 교육을 실시할 것

〈표 부록-5〉 계속

항목	확인내용
	근골격계질환 위험
2.21	▪ 근로자가 인력으로 중량물을 올리고 운반할 필요성을 최소화하기 위해 작업 방법 및 절차를 재구성할 것 ▪ 중량물 들어올리기 및 운반이 불가피한 경우 적절한 들어올리기 및 운반(하역)을 위한 안전 절차 및 기술을 개발하여 작업자에게 제공할 것 ▪ 근로자가 적절한 작업자세로 차량에 중량물을 들어올리고 운반(하역)하는 기술을 사용할 수 있도록 교육을 실시할 것
2.22	▪ 들어올리거나 운반할 중량물의 특성을 평가하고 작업조건에 적합한 들어올리기 또는 운반용 보조장치를 제공할 것 ▪ 예를 들어 중량물 상단부에 올리거나 내리기 위한 풀리 또는 유사한 시스템을 그림과 같이 제공하거나 필요한 경우 숙련된 근로자가 지게차 또는 크레인을 사용할 것
2.23	▪ 크레인 조작자의 업무능력을 확인하고 현장에서 운영에 대한 위험성평가를 수행할 것
2.24	▪ 근로자가 장시간 동안 동일한 자세로 동일한 동작/작업을 반복 수행하지 않도록 작업교대를 실시할 것 ▪ 주기적으로 휴식시간 부여(지속반복 작업의 경우 매시간 10분 휴식)
2.25	▪ 무릎을 꿇거나 쪼그려 앉은 자세 작업시간을 제한하거나 감소되도록 작업내용을 재구성 할 것



〈표 부록-5〉 계속

항목	확인내용
3	인프라 통합, 운영
	전기(PV) 관련 위험성
3.1	전기 위험, 태양광 발전 시스템의 특성 및 작업 방법에 대한 교육을 받은 근로자가 실제 작업을 수행하도록 할 것
3.2	- 전원 공급 시스템의 계통 연결에 대한 위험성을 평가하고 작업 종료시까지 전력회사와의 연락체계를 유지할 것 - 필요 시 전력회사와 협의하여 전력을 차단할 것
3.3	- 근로자의 단독작업을 금지하고 최소한 2인 1조로 작업시킬 것 - 해당 작업을 안전하게 수행하기 위한 근로자의 수가 충분한지 확인할 것
3.4	근로자에게 차폐물의 손상을 방지하고 안전하게 폐기할 수 있도록 필요한 조치를 취할 것
4	폐기/재활용
	위험한 물질에 노출
4.1	- 폐기물에 포함된 위험물질 관련 위험성을 제거하는 것은 불가능하지만, 먼지와 휘발성 유기 화합물의 발생을 감소시키는 예방조치는 가능함 - 공기중 위험물질의 존재를 방지하기 위한 관리방안은 다음과 같음 - 폐기물 수동처리 방식을 자동화 공정으로 대체(예: 기계적 사전 처리) - 분류 공정에 삽입된 발생원에 국소배기장치 설치 - 적절한 환기가 가능한 선별 캐빈 설치 - 작업구역 전체에 걸쳐 충분한 양의 기계적 환기 제공 - 공기필터가 장착된 밀폐형 차량 - 위험물질, 분진 및 에어로졸에 노출될 수 있는 장소의 근로자수를 제한하고 해당 장소에서의 작업시간을 줄임 - 보건관리, 정기적인 청소 및 오염 제거 조치는 근로자의 노출을 줄일 수 있음
4.2	모든 근로자에게 화장실, 세척시설 및 작업구역과 격리된 식사장소를 제공할 것

〈표 부록-5〉 계속

항목	확인내용
4.3	- 소음발생 장비는 소음저감 설비로 교체할 것 - 캡슐화 등을 통한 소음차단을 위한 기술적 조치를 하거나 소음저감을 위한 소음 감쇄 재료를 사용할 것 - 소음에 노출될 수 있는 작업장소의 근로자수를 줄이고 해당 장소에서의 작업시간을 줄일 것
4.4	분출 화학물질, 에어로졸 및 분진(호흡기 보호), 비산물(안전모) 및 소음(청력 보호)으로부터 근로자를 보호하기 위한 개인용 보호구를 제공할 것
	인력 취급 이슈
4.5	- 중량물을 들어올리고 운반하는 작업이나 가벼운 물건을 반복적으로 취급하는 작업의 경우 인력 작업이 최소화 되도록 작업을 구성할 것 - 중량물을 들어 올리는 작업이 필요한 경우 진공 리프팅 장치를 사용하고 운반작업에는 동력 대차, 컨베이어 및 롤러 볼 등을 사용할 것   컨베이어 및 진공 호이스트 중력 롤러 - 리프팅 및 인력조작 보조기구를 제공하거나 설비 자동화를 통해 고빈도 인력 리프팅 및 운반작업이 발생하지 않도록 할 것 - 작업시간을 정하고 근로자가 정기적으로 휴식을 취하도록 할 것
4.6	- 컨베이어 벨트 및 보조장치를 제공하여 어깨와 허리 높이 사이에서 작업을 수행할 수 있도록 할 것 - 근로자가 편하게 작업을 수행할 수 있도록 도구, 기구 및 기계를 설계, 배치 및 취급하도록 할 것
4.7	근로자를 대상으로 인력작업으로 발생할 수 있는 위험예방 방법과 설비 관련 보조기구 사용방법에 대한 교육을 실시할 것

〈표 부록-5〉 계속

항목	확인내용
5	화재 비상
	전기(PV) 관련 위험성, 열상/화상
5.1	화재진압을 위한 실행계획이 준비되도록 태양광 발전 시스템의 유형(PV 또는 STP)과 설치위치를 포함 관련 정보를 언제든지 이용할 수 있도록 할 것
5.2	- 비상대응팀은 태양광 발전 시스템의 전압 정보가 없는 경우 안전거리를 확보하고 특성을 파악하고 있을 것 - 대응팀에는 전기관련 숙련자가 포함되어 있을 것
5.3	비상대응팀은 플래쉬 오버 위험 관련 안전거리 정보를 파악하고 있을 것
5.4	고온 태양열 모듈의 경우 압력을 줄이고 과열 증기 방출을 위한 안전 릴리프 밸브를 사용할 것
	붕괴 및 떨어짐, 물체에 맞음
5.5	태양광 발전 시스템에 대한 저항 및 화재 특성을 포함한 정보를 사전에 비상대응팀에 제공할 것
5.6	태양광 모듈을 밟지 말고, 표면이 미끄러움을 인지하고 작업할 것

부록 3. 풍력발전 산업안전보건 체크리스트

풍력발전에서 관계 노동자가 잠재적 위험을 확인할 수 있도록 체크리스트를 제안한다.

〈표 부록-6〉 풍력발전 사고 및 질병 예방을 위한 체크리스트

항목	확인내용
1	설치현장 관리
1.1	현장에서의 안전관리
1.1.1	▪ 안전조치를 조정 및 감독하고, 공유된 안전 정보를 최신화할 수 있는 유능한 안전 조정자가 임명되었습니까?
1.1.2	▪ 안전 조정자는 자신의 임무 수행을 위해 적절한 교육을 받고 있습니까?
1.1.3	▪ 감독자는 풍력발전단지에서 산업안전보건 업무를 적절히 수행하고 있습니까? (예를 들어 검사를 실시하고 위험을 신속하게 제거하고 있습니까?)
1.1.4	▪ 현장 접근이 적절하게 통제되고 감독되어 지고 있습니까?
1.2	비상 절차
1.2.1	▪ 풍력 터빈 내의 중대 사고 관련 비상조치의 일환으로 근로자 구조를 위한 협력 방안에 대한 절차 및 계획이 마련되어 있습니까?
1.2.2	▪ 다음과 같이 작업 수행 시 육상 풍력단지와 멀리 떨어져 있거나 해상 풍력시설을 절차서에 포함되어 있습니까? - 풍력 터빈 출입을 위한 선박 탑승 - 용기 충돌 - 헬리콥터 분쇄 - 터빈 또는 내부 모듈의 화재, 폭발 및 충돌 - 기상악화로 인한 터빈 고립 - 잠수 긴급상황
1.2.3	▪ 모든 근로자, 계약자 및 방문자는 비상조치 절차에 대한 교육 및 정보를 제공 받습니까?

〈표 부록-6〉 계속

항목	확인내용
1.2.4	대피를 통제하고 현장에 개입하여 응급조치와 소통할 수 있는 소방관이 배치되었습니까?
1.2.5	- 모든 근로자에게 긴급상황을 알릴 수 있는 효과적이고 신뢰할 수 있는 방안이 마련되어 있습니까? - 풍력 터빈에는 비상 연락처가 기재되어 있습니까?
1.2.6	풍력 발전단지 비상훈련은 연2회 이상 실시하고 있습니까?
1.3	응급 조치
1.3.1	다음 사항을 고려하여 적정한 수의 구급대원을 지정되어 있습니까? - 풍력 발전단지 규모(예 : 동시 작업인원) - 풍력 발전단지 위치 - 풍력 발전단지에 접근하는 응급조치 대응 시간 - 풍력 발전단지에서의 작업 유형 - 취약계층 근로자 작업여부(젊은 근로자, 임산부, 방문자 등) - 풍력 발전단지 원거리 위치 - 단독 작업 - 진행 요구사항 - 풍력 발전단지의 작업자 및 하도급 업체 - 사고사례 기록 - 구급대원의 상시 대기 및 적절한 대응
1.3.2	풍력터빈에 구급대원의 정보가 표시되어 있습니까?
1.3.3	사용 가능한 구급약품이 충분합니까?
1.3.4	구급상자의 약품은 유통기한이 표시되어 있고, 채워져 있습니까?
1.3.5	모든 근로자가 사고발생 보고 시스템을 인지하고 있습니까?
1.4	위험 관리

〈표 부록-6〉 계속

항목	확인내용
1.4.1	- 다음 사항을 포함하는 안전보건 관리를 위한 시스템, 절차 및 문서가 규정되어 있습니까? - 안전보건을 위한 목적과 목표는 계획적으로 설정 - 모든 책임자와 구성원의 안전보건 역할과 책임을 명확하게 규정할 수 있는 조직구조 - 안전보건을 관리하기 위한 제도, 절차 및 문서에 대한 서술 - 풍력 터빈의 전체 수명주기(건설, 운영, 유지보수, 철거 등) 동안의 모든 활동에 대한 방법 설명, 위험성평가 및 안전 작업시스템 마련 - 안전보건 관련 정보, 교육 및 훈련 제공을 위해 모든 자원이 적절히 배분되어야 함
1.4.2	- 위험성평가를 수행하기 위한 명확한 방법과 절차가 마련되어 있습니까? - 풍력터빈에서 일하는 모든 근로자가 위험을 식별하고, 평가 및 통제하는 적절한 시스템이 구축되어 있습니까?
1.4.3	- 다음 사항을 포함하는 작업 조직과 작업과 관련된 작업장 내 위험이 작업장 위험성평가 시 포함되어 수행되고 있습니까? - 작업부하 - 납기 - 감독자 및 동료로부터 지원 - 자율 및 단순 - 원격 작업 - 교대 근무 및 작업 - 나셀 내부에서의 하네스 착용상태에서 고소작업 - 일과 생활의 균형
1.4.4	많은 업무량과 촉박한 공기를 해결하기 위한 방안이 마련되어 있습니까?
1.4.5	다양한 근로자 그룹(이주 근로자, 청년 및 고령 근로자 및 여성 근로자)의 특정 요구사항과 위험성이 해결되었습니까?
1.4.6	직원이 풍력터빈의 위험요소를 감지하여 즉시 보고할 수 있는 절차가 마련되어 있습니까?
1.4.7	- 모든 근로자가 위험관리를 위한 체계외 절차에 대하여 잘 알고 있습니까? - 작업자가 현장별 안전작업 매뉴얼 및 작업별 위험성평가에 쉽게 접근할 수 있습니까?

〈표 부록-6〉 계속

항목	확인내용
1.4.8	- 하청업체를 적절히 관리하고 있습니까? - 작업 시작 전에 다음과 같은 정보가 계약자 및 방문자에게 작업장 위험에 대한 정보를 제공하고 있습니까? - 풍력 발전단지 배치 - 풍력 발전단지 내에서 직면할 수 있는 위험 - 사고발생 보고과정을 포함한 현장 정보 및 안전조치 절차 - 현장에서 사용되는 특수장비 - 긴급상황 발생시 조치사항 - 책임과 제한 사항의 명확한 이해 - 하청업체가 현장에 상주하는 동안 관리 및 감독을 보장할 수 있는 절차가 마련되어 있습니까?
1.4.9	- 단독작업을 지양하고 있는가? 아니면 단독작업에 대한 보호절차가 마련되어 있습니까? - 근로자들은 개인 구급함, 개인 통신설비 및 휴대전화 등을 자체적으로 또는 원격으로 지급받고 있습니까?
1.4.10	- 적절한 개인보호장구를 올바르게 사용하고 유지관리 할 수 있습니까? - 고소작업시 안전대 및 눈, 머리, 귀, 손 보호를 위한 보호구 등이 사용되고 있습니까?
1.5	교육훈련
1.5.1	직원 모든 수준에 대한 교육 요구사항이 확인되었습니까?
1.5.2	모든 직원인 안전보건관련 교육을 받을 수 있습니까?
1.5.3	모든 직원이 풍력터빈 작업에 필요한 기술교육을 충분히 받고 있습니까?
1.5.4	교육 기록이 유지되고 있습니까?
1.6	통신 및 근로자 참석
1.6.1	안전보건정보는 다음과 같이 풍력협회 또는 풍력연맹의 정보를 포함한 안전 규 및 규정이 임시 근로자, 하청업체 및 방문자 등을 포함한 모든 직원에게 적절히 전달되고 있습니까?

〈표 부록-6〉 계속

항목	확인내용
1.6.1	- 현장 직원 및 관리부서 - 제3자 - 대중 - 혼재 작업장 - 응급 조치
1.6.2	▪ 안전에 필수적인 터빈 결함이 제조업체에 전달되고 제조 및 관련 업체가 고장사례를 공유하여 잠재적인 문제를 해결하기 위해 정기적으로 컨설팅이 이루어지고 있습니까?
1.6.3	▪ 안전보건위원회가 설치 및 운영되고 있습니까?
1.6.4	▪ 다음과 같은 개발과정에서 근로자의 안전보건에 영향을 미칠 수 있는 모든 작업장의 변경사항에 대하여 근로자와 협의하고 있습니까? - 안전 규정 및 절차 - 결과 및 방법 설명을 포함하는 위험성평가 - 새로운 장비 또는 작업, 시스템의 도입에 따라 근로자에게 실질적으로 영향을 미칠 수 있는 작업장 내의 안전보건 조치 - 업무로 인한 위험성과 위험, 이러한 위험을 줄이거나 제거하기 위한 조치, 직원이 위험에 노출된 경우 해야 할 일에 대하여 직원에게 제공해야하는 정보 - 안전보건교육의 기획 및 조직 - 작업장내에서의 도전
1.7	복지
1.7.1	▪ 풍력 발전단지 내에 도로와 보도를 포함하는 적절한 경로가 있습니까? ▪ 풍력 터빈에 안전하게 접근하여 확인할 수 있는 시스템이 구축되어 있습니까?
1.7.2	▪ 모든 직원에게 적절한 복지 시설 및 편의 시설이 제공되고 있습니까?
1.7.3	▪ 해상 풍력 발전단지 내에 적절한 숙박 플랫폼 및 선박이 제공되고 있습니까?
1.7.4	▪ 다음 사항을 충족하는 풍력 터빈의 조명 수준이 적절합니까?

〈표 부록-6〉 계속

항목	확인내용
1.7.5	- 근로자가 위험을 인지하고 위험성평가 실시하도록 할 것 - 환경이나 작업유형에 적합할 것(예를 들어 인화성 분위기 또는 물질에는 설치하지 않음) - 작업에 필요한 충분한 조명을 제공 - 근로자가 제대로 볼 수 있도록 색상을 구분하여 안전성이 향상될 수 있도록 해야 함 - 인접하고 있는 영역 사이에서는 조도차이가 발생하지 않도록 할 것 - 안전보건 관련 위험을 유발하지 않을 것 - 조명은 유지관리 및 교체가 용이한 위치에 배치하고 안전을 위해서는 폐기할 것 - 필요한 경우 적합하고 안전한 비상조명을 비치할 것
1.7.6	■ 극한 날씨 또는 온도로부터 근로자가 보호받고 있습니까?
1.7.7	■ 풍력 터빈 관련 안전표지가 부착되어 있습니까?
2	제조
2.1	유해물질
2.1.1	■ 풍력 터빈 부품 제조에 사용되는 유해물질을 식별할 수 있는 시스템이 구축되어 있습니까? ■ 유해물질에 대한 위험성평가를 수행하고 있습니까?
2.1.2	■ 화학물질 및 분진에 대한 노출을 예방하거나 가능하지 않은 경우 최소화할 수 있습니까? ■ 유해물질에 관한 법률에 따른 관리조치 주체별로 단계별 조치를 우선시 하고 있습니까? ■ 유해물질 관련 국가에서 규정하는 법률 조항을 확인하였습니까?
2.1.3	■ 제조과정에서 취급, 사용되는 모든 물질에 대한 물질안전보건자료를 확보하여 근로자가 사용할 수 있도록 하고 있습니까?
2.1.4	■ 생산공정 전체 기계적 환기가 충분한 속도로 제공되고 있습니까?
2.1.5	■ 발생원에서 위험감소 조치가 충분하지 않은 경우 필요시 개인보호장구를 제공, 사용 및 유지관리하고 있습니까?
2.1.6	■ 근로자는 제공되는 개인보호장구 착용에 대한 교육을 받고 있습니까?

〈표 부록-6〉 계속

항목	확인내용
2.1.7	▪ 미사용 인화성 또는 유독성 화학물질을 환기가 충분한 장소에서 적절한 용기에 보관하고 있습니까?
2.1.8	▪ 화학물질과 분진에 노출될 수 있는 제조시설의 안전한 유지관리 및 청소를 위한 절차가 마련되어 있습니까?
2.1.9	▪ 작업장에서 유해물질에 대한 노출관리 상황을 모니터링하고 있습니까? ▪ 흡기 및 배기되는 공기질이 모니터링 되고 있습니까?
2.1.10	▪ 작업장내에서 근로자 건강 감시가 수행되고 있습니까?
2.1.11	▪ 근로자가 안전작업 절차에 대한 정보에 접근할 수 있습니까?
2.2	▪ 인력취급
2.2.1	▪ 들어 올리거나 운반하는 것과 같은 인력취급 작업 또는 가벼운 품목의 반복적인 인력취급이 불가피한 경우 최소화할 수 있는 방안이 마련되어 있습니까?
2.2.2	▪ 작업자는 안전한 인력취급 작업에 대한 교육을 받고 있습니까?
3	▪ 운반
3.1	▪ 육상 일반
3.1.1	▪ 다음 사항을 강조하는 운송경로 및 환승지점을 설명하는 경로에 대한 조사가 수행되고 있습니까? - 목적에 부합되는 차량 동선이 충분히 넓은 경우 - 접근이 제한된 경로, 가파른 경사, 제한된 도로 회랑, 도로 견인 또는 제한된 회전 지점이 있는 경우 - 차량이 작동하는 지상조건이 목적에 부합되는 경우, 적절히 구성 및 관리되고 있는가? - 차량 운행경로에 장애물 및 기타 위험요소가 없는 경우 - 운행경로 상에 시야가 좋지 않거나 시야에 문제가 있는 경우 - 가장 적합한 통신형태
3.1.2	▪ 차량이 운행하는 주변에 눈에 잘 띄는 방향, 속도제한, 양보 및 일반인 출입금지 등의 경고 표지판이 설치되어 있습니까?

〈표 부록-6〉 계속

항목	확인내용
3.1.3	- 필수적인 에스코트 같은 추가 안전조치가 제공되고 있습니까? - 경로의 특정구간을 따라 사용자에게 대한 통제요소를 제공하고 적용하기 위해 도로와 같이 하중이 중앙에 집중하거나 로터리의 반대쪽을 따라 이동하도록 하고 있는가? - 호송차량 근접 시 다른 도로 사용자에게 경고 및 정보 제공 - 간극, 낮게 매달린 가지, 접합부 등과 같은 잠재적인 위험성을 평가하고 경고
3.2	육상- 적합한 차량 선택
3.2.1	- 다음 사항을 고려하는 풍력 터빈 구성요소의 운반에 적합한 차량과 결속장치 선택 및 확인을 위한 평가가 수행되었습니까? - 운송할 터빈 구성요서의 높이, 무게 및 폭 - 차량 중량과 크기 - 사용차량의 최대 작업하중 - 풍력터빈 구성요소 보호방법 - 차량 정비 기록 - 차량의 장거리 이동 계획 - 차량 사용 조건 - 차량 운행경로 조건(접근 경로, 경사도, 도로제한 등) - 동적 균형을 유지할 수 있는 유압 서스펜션 시스템을 보유한 트레일러 장치 필요
3.2.2	후진이 필요하고 중대한 위험이 잔존하는 경우 차량에 가시성이 좋거나 시야 개선이 가능한 장치가 설치되어 있습니까?
3.2.3	차량이 운행 및 주차에 효과적인 브레이크 성능을 가지고 있습니까?
3.2.4	차량에 필요한 좌석과 안전벨트가 구비되어 있습니까?
3.2.5	동력인출장치, 체인 드라이브 및 노출 배기관 등 차량의 위험부분에 대한 접근방지를 위한 방호가드가 설치되어 있습니까?
3.2.6	운전자가 추위, 먼지, 분진, 매연, 과도한 소음과 진동 등 악천후 또는 유해한 작업 환경으로부터 보호받을 수 있습니까?
3.2.7	접근해야 할 운전실 및 기타 설비에 안전하고 출입할 수 있는 수단이 마련되어 있습니까?
3.2.8	차량 상부 표면은 운전자가 이동시 미끄럽지 않습니까?

〈표 부록-6〉 계속

항목	확인내용
3.2.9	차량이 전복되거나 물체에 부딪힘 재해를 예방하기 위한 조치가 마련되어 있습니까?
3.2.10	- 다음 항목으로 구성되는 사전 사용주기 또는 주행거리에 따른 차량 검사를 위한 차량 예방정비 프로그램이 마련되어 있습니까? - 수행되어지는 유지보수 작업 체크리스트 - 작업을 수행하기 위한 유지보수 작업 주기 또는 빈도 - 검사결과 및 요구사항 문서화 - 숙련된 자동차 전문 기술자를 보유한 자동차 시설 - 수동 또는 전자식 일정 및 기록 관리
3.2.11	차량 결함 신고제도가 시행되고 있습니까?
3.3	육상-운전자 역량 및 훈련
3.3.1	운전자가 해당 업무를 안전하게 수행할 수 있도록 적절한 교육, 지침 및 감독을 받고 있습니까?
3.3.2	운전자가 회사의 안전작업 시스템과 안전한 작업장 관리에 대한 책임을 명확히 인식하고 있습니까?
3.3.3	운전자의 기준을 정기적으로 모니터링하고 기록하고 있습니까?
3.4	인근 해상- 적합한 선박 선택
3.4.1	- 의도하는 작업에 적합한 선박을 선택하기 위한 적합성 평가를 수행하였습니까? - 목적에 부합됨을 적합성 평가를 통해 검증하였습니까? - 목적에 부합되는 선박을 선택하기 위해 다음을 포함하는 다양한 운영항목을 고려하였습니까? - 수행되어야 할 활동: 유형, 빈도, 규모 및 복잡성 - 작업 현장 및 현장으로 이동시 발생할 가능성이 있는 조건 - 작업 지속시간 - 계류장 유지 요건 - 운행 구역 - 승무원 수 - 선박 내구성/운행시간 - 피로, 진동 및 산업보건 측면에서의 승무원 편의 요소 - 운송시간 - 바다, 조수 및 바람 관련 운항 한계

〈표 부록-6〉 계속

항목	확인내용
3.4.2	- 선박이 운영 수명주기 동안 목적에 적합함을 확인하는 검사제도가 다음 사항을 포함하여 마련되어 있습니까? - 사전작업 : 선박장비의 설치 또는 수리를 포함한 선박의 선정, 선박 장비 및 인력 동원 - 작업중 : 작업수행 측량, 기상 모니터링 장비 및 마스트 설치, 전환 및 비상지원 - 작업후 : 선박 임차전 원상회복을 포함하여 장비 및 인력 동원 해제
3.4.3	풍력 발전단지 개발지역의 밀집도 및 해상 교통유형을 결정하기 위해 통행 계획 및 항해 위험성을 평가하였습니까?
3.5	인근행상-작업선박 탑승자
3.5.1	- 다음 사항을 고려하여 해양 작업에 대한 적절한 위험성평가가 고려되고 있습니까? - 인력과 장비를 선박과 풍력터빈/기타 해양 구조물로 이동하기 위한 적절한 준비가 되어 있는 경우 - 전신 진동의 영향 - 조수 범위 및 조류 방향을 고려하여 정박단계에서 계류하거나 인력 이동 시스템을 통해 선박에서 풍력 터빈으로 접근 - 선박에서 보트 계류 사다리 또는 반대로 이동 - 좌초 시 응급처치 장비, 식량 및 장비 제공을 포함한 비상대응 준비 - 적절한 탐색지원 제공 - 헬리콥터 접근의 용이성 - 헬리콥터 접근이 가능하도록 적절한 위치에서 터빈 블레이드의 원격 정지 필요성
3.5.2	- 선박 탑승자 모두는 접근 요구사항에 부합되는 적합한 인증서를 소지하고 있습니까? - 선박 탑승자 모두는 다음과 같은 접근 요구사항에 적합한 유효한 인증서를 가지고 있습니까? - 응급처치 - 바다 생존 - 헬리콥터 수중탈출 훈련 - 고소작업
3.5.3	풍력 터빈 내에서 작업을 수행할 권한이 있는 모든 유지보수 선박 탑승자의 이름이 데이터베이스에 기록되고 있습니까?

〈표 부록-6〉 계속

항목	확인내용
3.5.4	필수 인증서를 보유하지 않은 방문자에 대한 처리절차가 마련되어 있습니까?
3.5.5	- 모든 선박 탑승자에게 개인용보호구가 지급되고 있습니까? - 안전화, 안전모, 하네스, 안전대와 로프, 추락방지 시스템, 구명조끼, 개인위치 비콘, 생존 의복
3.5.6	특정 선박에 대한 도선이 이루어지고 있습니까?
3.5.7	구조 및 비상 절차가 마련되어 있습니까?
3.5.8	- 다음 사항을 고려하여 기상조건과 조수를 모니터링 하고 적절한 조치를 취하고 있습니까? - 작업 장소 및 기간을 고려한 활동의 날씨 제한 - 선정한 선박은 환경조건의 변화를 허용할 수 있도록 안전여유를 부여하고 예상 일반조건에서 운항이 가능하여야 함 - 사이트 왕복시간 및 안전한 피난장소로부터 거리 - 작업 계획시 참고하기 위해 사이트별 최신 기상정보 검토 - 작업 수행시 사이트 날씨, 풍속, 조수 및 바다 상황 등을 고려 - 운영기간은 현지 사이트 조건에 따라서 결정
4	건설 및 해체
4.1	소통 및 협력
4.1.1	풍력 발전 프로젝트 관련 이해 관계자 상호 의사소통 빈도 및 방법이 고려 또는 반영되었습니까?
4.1.2	비상대응조치가 포함 및 준비되어 있습니까?
4.1.3	프로젝트 관련 근로자가 사용되는 장비에 대한 알고 있고 안전보건 정보를 전달받고 있습니까?
4.1.4	해상작업과 선박이동을 관리하기 위한 구체적인 조치가 실행되고 있습니까?
4.1.5	핸드폰 또는 라디오를 통해 주요 직원과 연락을 유지할 수 있습니까?
4.1.6	타워 또는 원격장소에서 단독 작업자에 대한 관리절차가 마련되어 있습니까?

〈표 부록-6〉 계속

항목	확인내용
4.1.7	모국어와 상관없이 근로자가 지침과 정보를 이용하고 이해할 수 있습니까?
4.1.8	여러 대의 선박이 동시에 인근에서 계류하는 경우 선박 이동 관리를 위한 절차가 마련되어 있습니까?
4.2	기상조건
4.2.1	악천후 관련 정책이 시행되고 있습니까?
4.2.2	정책에 강풍, 악천후로 인한 근로자 영향, 강설 또는 고립, 가시성 부족, 낙뢰 위험, 무더운 날씨, 추운 날씨 및 개인용 보호구 관련 내용을 포함하고 있습니까?
4.2.3	모든 근로자는 강풍, 악천후 또는 심각한 해상 상태로 인해 작업 중단 시기를 인지하고 있습니까?
4.2.4	안전한 선박 및 장비가 사용되고 있으며 악천후 조건에서도 안전한 수역으로 이동이 가능합니까?
4.2.5	해상에서 사용되는 크레인도 미작동시에도 비정상적인 풍하중에 견딜 수 있습니까?
4.3	임시 시설
4.3.1	가설구조물 위치 평가 시 지반상태나 강풍에 대한 필요성을 고려하였습니까?
4.3.2	안전한 적재 및 하역 구역이 확인되었습니까?
4.3.3	전기 또는 액화석유가스 공급설비가 적절하고 안전하게 설치되었습니까?
4.4	고소작업
4.4.1	고소작업에 대한 위험성평가 적정하게 시행되었습니까?
4.4.2	고소작업 활동을 대체할 수 있습니까??
4.4.3	사다리 사용, 타워 및 허브 접근, 나셀 작업, 로프 접근 등 모든 활동이 고려되었습니까?

〈표 부록-6〉 계속

항목	확인내용
4.4.4	- 다양한 작업장소와 고소작업 시 접근수단을 다음과 같이 평가하여 고려하였습니까? - 접근수단이 안정적이고 충분한 가질 것 - 사람의 안전한 통행과 식물 또는 재료의 안전한 사용을 허용할 수 있도록 충분한 규격을 가질 것 - 근로자 또는 물체의 떨어짐을 예방하기 위해 적절하고 충분한 수단을 가질 것
4.4.5	안전난간 같은 추락방지장치가 적절하고 충분하며 정기적으로 검사되고 있습니까?
4.4.6	- 추락방지장치가 적절하고 충분히 확보되었습니까? - 추락방지 시스템을 사용하는 동안 작업을 안전하게 수행할 수 있음이 위험성평가를 통해 확인되었습니까?
4.4.7	활동범위가 작고 단시간 사용하거나 변경이 불가능한 사이트 상태로 인해 사다리보다 적합한 장비가 없음을 위험성평가의 결과로 확인하였습니까?
4.4.8	공중에서 매달리거나 갇힌 작업자를 구조하기 위한 구조절차가 마련되어 있습니까?
4.4.9	근로자가 적절하게 교육을 받고 있습니까?
4.4.10	도구 또는 물체가 떨어지지 않도록 안전끈으로 고정했습니까?
4.4.11	작업공간에서 미끄러지거나 걸려서 넘어질 위험이 있습니까?
4.4.12	고소작업 시 아래 접근영역에 대한 통제를 실시합니까?
4.5	리프팅 작업
4.5.1	모든 리프팅 작업에 대한 위험성평가를 실시합니까?
4.5.2	위험성평가 시 활동, 작업량 및 환경 등을 고려합니까?
4.5.3	리프팅 계획이 실행되고 있습니까?
4.5.4	리프팅 작업에 대한 감독관을 임명하였습니까?

〈표 부록-6〉 계속

항목	확인내용
4.5.5	- 이동식 크레인을 사용하는 육상 양중작업의 경우 다음 사항을 고려하였습니까? - 크레인의 축 하중에 충분히 견딜 수 있는 진입로의 상태 - 지하 또는 공중작업의 존재 - 아웃트리거가 이동 또는 고정 상태를 고려한 지면상태 - 풍속
4.5.6	- 다음 사항을 고려하여 해상 양중작업을 실시하고 있습니까? - 선박 설계시 사용할 건설용 선박의 유형 - 롤링 또는 피칭과 같은 다양한 동작으로 인해 선박이 영향받는 충격 - 선박 안정도 - 풍속 상태 - 조수 상태 - 대형 구조물 양중 - 크레인 작업위치 - 해상조건에 부합되는 정격용량 표시 - 선박 갑판의 가시성 - 선박 갑판에서의 양중작업 수행 - 적재/하역작업 구역 근처에서의 근로자
4.5.7	하중의 항력계수 계산을 위한 관련 표준(EN13000, 이동식 크레인의 제한 및 표시 장치에 대한 요구사항)이 적용되었습니까?
4.5.8	양중작업 근로자는 적절한 교육을 받고 있습니까?
4.5.9	특정작업에 적합하도록 양중기를 정기적으로 검사하고 있습니까?
4.5.10	크레인 운전자 및 감독자와 고소작업자 사이에 효과적인 통신수단(신호 또는 무선)이 있습니까?
4.5.11	강풍 또는 낙뢰가 예상되는 경우 기상상황을 모니터링하고 적절한 조치를 취하고 있습니까?
4.6	다이빙 작업
4.6.1	- 다음과 같이 작업현장의 특별 정보를 사용하고 다이빙 활동과 위치를 고려하는 모든 다이빙 활동에 대한 위험성평가를 실시하였습니까? - 터빈/결선도, 운영부문의 세부사항 - 조수제한 - 다이빙 계약자가 사용할 수 있는 시설 - 선박에 대한 접근 및 탈출, 세부 연락처

〈표 부록-6〉 계속

항목	확인내용
4.6.2	- 잠수작업 대체를 위한 사항이 고려되었습니까? - 원격으로 작동할 수 있는 이동수단 등 대안을 제시할 수 있습니까?
4.6.3	- 다음과 같이 다이빙 작업을 안전하게 수행하는데 필요한 전제조건들이 다이빙 작업 계획에 수립되었습니까? - 크레인 조작 작업, 바지선 작업 및 전환작업의 소통 - 작업도구 요구사항 및 품질보증 요구사항 - 잠수장소의 예상 경계 - 기술 및 안전에 대한 정보이력 - 환경조건
4.6.4	다이빙 작업자의 역량과 능력이 평가되었습니까?
4.6.5	다이빙 팀의 규모가 해당 프로젝트에 부합됩니까?
4.6.6	다이빙 작업에 대한 감독자가 지정되었습니까?
4.6.7	다이빙 작업을 수행하기 위한 기반이 적합하고 충분합니까?
4.6.8	다이빙 작업 프로젝트 관련 응급조치 및 비상조치를 위한 추가 시설이 갖추어져 있습니까?
4.6.9	다이빙 작업을 수행하기 위해 기상조건과 조수의 강도 및 깊이가 적절한지 확인하기 위한 점검이 수행되었습니까?
4.6.10	시험운전 중임을 나타내기 위한 깃발이 배치되거나 해상조명이 사용되었습니까?
4.6.11	비상상황을 포함하여 다이버를 수중에 안전하게 배치하고 복귀시킬 수 있습니까?
4.7	소음 및 진동
4.7.1	작업자가 일일 노출한계를 초과하는 작업에 대한 소음 및 진동 위험성평가를 수행하였습니까?
4.7.2	노출 유형과 지속시간이 고려되었습니까?
4.7.3	노출시간을 제한하기 위해 작업활동을 적절한 작업일정과 휴식시간으로 설계하고 있습니까?
4.7.4	모든 근로자에게 적절한 청력 보호장치가 제공되고 있습니까?

〈표 부록-6〉 계속

항목	확인내용
4.7.5	▪ 근로자가 작업장비를 안전하고 정확하게 사용할 수 있도록 충분한 정보와 교육이 제공되고 있습니까?
5	▪ 운영 및 유지보수
5.1	▪ 일반사항
5.1.1	▪ 모든 운영 및 유지보수 활동에 대한 위험성평가를 실시하고 있습니까?
5.1.2	▪ 모든 운영 모니터링 활동이 명확하게 정의되고 있습니까?
5.1.3	▪ 모든 근로자가 안전하게 효율적으로 작업할 수 있도록 적절한 교육과 장비를 제공받고 있습니까?
5.1.4	▪ 치명적인 실패를 예방하고 사후 유지관리 필요성을 최소화하기 위한 적절한 예방 유지관리 일정이 마련되어 있습니까?
5.1.5	▪ 유지보수 활동이 적절하게 조정 및 감독되고 책임이 명확하게 규정되어 있습니까?
5.1.6	▪ 유지보수 작업자가 수행하는 작업과 관련하여 적절한 관리감독 및 교육이 이루어지고 있습니까?
5.2	▪ 전기관련 위험성
5.2.1	▪ 활선상태의 전기 시스템 또는 근처에서 이루어지는 작업활동 관리를 위한 안전작업 시스템이 마련되어 있습니까?
5.2.2	▪ 전기작업을 위한 작업절차에 대한 허가제도가 있습니까?
5.2.3	▪ 자격을 보유한 유능한 전기 기술자가 전기작업을 수행하고 있습니까?
5.2.4	▪ 전기절연 및 접지를 위한 효과적인 안전 조치 및 절차가 마련되어 있습니까? ▪ LV절연은 퓨즈링크 또는 기타 절연을 위해 지양해야 합니다. ▪ 타이머 스위치, 플로트 스위치, 온도조절장치, 시퀀스 전환장치 또는 이와 유사한 자동 전환장치는 격리장치가 아닙니다. ▪ 승인된 절연도구를 사용하고 있습니까?
5.2.5	▪ 배전반의 사용 및 유지관리를 위한 적절한 관리시스템이 마련되어 있습니까?

〈표 부록-6〉 계속

항목	확인내용
5.2.6	▪ 발전기, 변압기 및 케이블 배치의 오류 수준이 적절히 계산되고 적절한 회로 차단기가 설치되어 있습니까?
5.2.7	▪ 주파수 및 전압 제어방식이 적합하고 충분합니까?
5.2.8	▪ 풍력 터빈 및 관련 하드웨어가 관련 배전망 운영자의 배포 코드와 기술 권장사항 및 안전규칙과 호환됩니까?
5.2.9	▪ 공통된 경고표시 및 전기정보에 대한 라벨 및 주석이 모든 장비에 명확하고 정확하게 부착되어 있습니까?
5.2.10	▪ 전동 공구 및 장비는 습윤한 장소에서 사용할 수 있도록 승인 받았습니까?
5.2.11	▪ 근원적인 위험감소 조치가 충분하지 않은 경우 고무장갑/절연장갑과 같은 개인용보호구가 제공됩니까?
5.3	▪ 화재예방
5.3.1	▪ 터빈에는 개별 유형에 적합하고 위험성평가 기반 또는 국제표준 (IEC 62305 LPL1)에 따라 다음과 같은 포괄적인 낙뢰 및 서지 보호장치가 설치되어 있습니까? - 소형회로 차단기 - 반도체 보호 퓨즈 - 차동전류 모니터링 장치 - 잔류 전류장치
5.3.2	▪ 결함이 있는 구성요소를 선택적으로 분리하기 위한 적절한 결함 보호기능이 있습니까?
5.3.3	▪ 가연성물질을 최소한으로 유지하고 유압 및 윤활유가 불연성이거나 운전온도가 인화점보다 높습니까?
5.3.4	▪ 화기작업이 불가피한 경우 작업 전, 중 및 후에 화재예방 조치를 취하고 있습니까? ▪ 화기작업 허가서 발급을 하고 있습니까?
5.3.5	▪ 연기감지기와 화재경보기가 설치되어 있고, 정기적으로 테스트를 하고 있습니까?
5.3.6	▪ 화재 또는 강풍의 경우 설비폐쇄 및 기술적 통제가 적합하고 충분히 이루어질 수 있는가?
5.3.7	▪ 성능이 보장된 소화기를 정기적으로 점검하고 배치했으며, 작업자가 소화기를 사용할 수 있도록 교육을 실시하고 있습니까?
5.4	▪ 얼음 떨어짐/블레이드 파손/타워 붕괴

〈표 부록-6〉 계속

항목	확인내용
5.4.1	▪ 로터 블레이드의 상태를 확인하고 얼음 생성을 감지하기 위한 진동 센서와 같은 시스템이 마련되어 있습니까?
5.4.2	▪ 나셀에서 얼음 떨어짐 및 얼음/블레이드 비래에 대하여 작업자에게 경고할 수 있는 시스템이 마련되어 있습니까?
5.4.3	▪ 결빙/블레이드 비래 위험이 감지되는 경우 효과적인 출입제한 구역 (풍력터빈에서 모든 방향으로 150m)이 설정되어 있습니까?
5.4.4	▪ 풍력터빈은 예측 가능한 기상조건에 대응할 수 있도록 설계되어 있습니까?
5.4.5	▪ 블레이드에 낙뢰보호 시스템이 설치되어 있습니까?
5.4.6	▪ 유지보수 작업 후 블레이드가 위험위치 잠금상태에서 재기동하는 것을 방지하기 위한 시스템이 마련되어 있습니까?
5.4.7	▪ 과속조건에서 풍력터빈 작동을 방지하기 위한 이중 고장안전 제어 시스템이 설치되어 있습니까?
5.4.8	▪ 타워 고정 시스템의 무결성 또는 블레이드 상태 확인 등 검사 및 사전 예방적 유지보수 체계가 적절하고 충분하게 마련되어 있는가?
5.5	▪ 유해물질
5.5.1	▪ 유해물질의 근로자 노출을 최소화하기 위해 화학작용제 관련 위험으로부터 안전보건을 확보하기 위해 노출한계 관련 국가표준이 있습니까?
5.5.2	▪ 물질안전보건자료를 제공하고 유해물질에 대한 위험성평가를 실시하고 있습니까?
5.5.3	▪ 가스 실린더와 인화성 또는 독성물질을 위한 적절한 보관장소가 마련되어 있습니까?
5.5.4	▪ 유해 화학물질의 유출 또는 넘침을 중화 또는 처리하기 위한 규정과 절차가 마련되어 있습니까?
5.5.5	▪ 적절한 세척시설이 제공되고 눈 세척시설과 긴급 샤워시설의 필요성이 고려되고 있습니까?
5.5.6	▪ 기계적 환기 필요성을 고려하고 환기효과를 정기적으로 확인하고 있습니까?
5.5.7	▪ 모든 작업자가 유해물질에 노출 위험을 인식하고 있습니까? ▪ 모든 작업자가 예방조치에 대하여 알고 있습니까?
5.5.8	▪ 사용중인 호흡용 보호구를 정기적으로 검사, 세척 및 살균 등 유지관리 합니까?
5.5.9	▪ 밀폐공간에서 공기질을 모니터링 하고 적합한 가스검지기를 설치 사용합니까?

〈표 부록-6〉 계속

항목	확인내용
5.6	▪ 근골격계질환-인력작업/불안전한자세/정적자세/반복작업
5.6.1	▪ 인력작업, 반복작업 및 불안정한 자세 등이 위험성평가에서 고려되고 있습니까?
5.6.2	▪ 중량물 작업이 최소화되도록 작업 조정이 가능합니까?
5.6.3	▪ 작업자가 안전한 작업방법에 대한 교육을 받았으며, 불안정한 자세의 위험성을 인지하고 있습니까?
5.6.4	▪ 중량물을 쉽게 들어올리수 있거나 기계적 보조장치를 사용할 수 있습니까?
5.6.5	▪ 팔을 어깨 높이까지 올리지 않고 작업할 수 있습니까?
5.6.6	▪ 근로자가 정적인 자세(장시간 서서하는 작업 등)를 거부할 수 있는 규정이 있습니까?
5.6.7	▪ 작업도구가 인체공학적으로 설계되어 사용하기 편리합니까?
5.6.8	▪ 풍력터빈 사다리 승강시 사용할 수 있는 공구벨트가 있습니까?
5.7	▪ 밀폐공간
5.7.1	▪ 풍력터빈의 나셀 또는 내부 블레이드 등 밀폐공간이 확인되었습니까?
5.7.2	▪ 확인된 밀폐공간에 대한 기록이 있습니까?
5.7.3	▪ 모든 작업자에게 밀폐공간의 존재를 알리고 관련 위험에 대한 경고를 하였습니까?
5.7.4	▪ 밀폐공간에 출입 또는 작업 시 발생할 수 있는 위험에 대한 식별, 평가 및 통제하기 위한 위험성평가 실시되었습니까?
5.7.5	▪ 풍력터빈의 일상 및 비일상의 밀폐공간 작업에 대한 안전작업 절차가 마련되어 있습니까?
5.7.6	▪ 다음 주요 영역을 고려한 밀폐공간의 안전작업 절차가 마련되어 있습니까? - 식별된 제한공간의 작업에 대한 필요성 평가 - 밀폐공간 출입허가 - 요구되는기압시험의 유형 및 시험결과의 해석 - 밀폐공간 출입시와 비상상황에서의 안전보건조치 사항

〈표 부록-6〉 계속

항목	확인내용
5.7.6	- 안전장치 및 개인보호장구의 제공 및 안전한 사용 - 밀폐공간 임의 출입 방지를 위한 경고표시 등 수단
5.7.7	▪ 밀폐공간 출입 허가서에 다음과 같은 정보가 제공됩니까? - 밀폐공간 위치와 특성 - 밀폐공간 출입 목적 - 밀폐공간 공기질의 시험결과 - 밀폐공간 출입허가의 유효성
5.7.8	▪ 작업자가 밀폐공간 내외부에서 안전한 접근 및 탈출 수단이 제공되고 있습니까?
5.7.9	▪ 물체가 떨어지는 것을 방지하기 위해 밀폐공간 개구부는 효과적으로 덮여져 있습니까?
5.7.10	▪ 밀폐공간 내부에서 작업할 수 있도록 충분하고 적합한 조명이 설치되어 있습니까?
5.7.11	▪ 밀폐공간 내부의 가동부 및 장비에 대한 LOTO를 실시하고 있습니까?
5.7.12	▪ 풍력터빈 내 밀폐공간에서 작업활동 시 구조계획이 문서화되어 있습니까?
5.7.13	▪ 구조장비가 충분히 공급되며 쉽게 이용할 수 있습니까? ▪ 구조장비는 적절하게 유지 관리되고 있습니까?
5.7.14	▪ 정기훈련을 실시하고 있습니까?
5.7.15	▪ 밀폐공간 작업자가 밀폐공간 출입 및 작업 관련 위험에 대한 적절한 안전보건교육을 받고 있습니까?
5.7.16	▪ 임명 구조요원이 응급조치, 개인보호장구 및 기타 구조장비의 적절한 사용을 포함하여 구조작업에 대한 적절한 교육을 받고 있습니까?
5.8	▪ 고소작업
5.8.1	▪ 4.4에서 제기된 모든 사항이 운영 및 유지관리 단계에서 고려되었으며, 이러한 활동에 대한 위험성평가가 실시되었습니까?
5.9	▪ 양중작업
5.9.1	▪ 4.5에서 제기된 모든 사항이 운영 및 유지관리 단계에서 고려되었으며, 이러한 활동에 대한 위험성평가가 실시되었습니까?
5.10	▪ 소음노출

〈표 부록-6〉 계속

항목	확인내용
5.10.1	4.7에서 제기된 모든 사항이 운영 및 유지관리 단계에서 고려되었으며, 이러한 활동에 대한 위험성평가가 실시되었습니까?
5.11	미끄러짐, 걸려서 넘어짐 및 떨어짐
5.11.1	위험성 평가시 미끄러짐, 걸려서 넘어짐 및 떨어짐을 충분히 고려하였습니까?
5.11.2	보도가 청결하고 깨끗하며, 잡동사니와 움푹 파인 곳이 없습니까?
5.11.3	바닥 표면에는 오염물질, 젖은 표면, 작업유형 및 경사도를 고려하여 적절한 미끄럼방지처리가 되어 있습니까?
5.11.4	바닥 표면의 오염물질을 최소화 및 청소하기 위한 적절한 설비, 청소장비 및 청소방식이 마련되어 있습니까?
5.11.5	경사면(걸려서 넘어질 수 있는 제거할 수 없는 경사면과 바닥)에는 대비 색상으로 명확하게 표시하였습니까?
5.11.6	조명수준이 충분합니까?
5.11.7	계단에는 안전난간이 설치되어 있고, 계단 치수가 합리적이고 규칙적으로 설치되었습니까?
5.11.8	계단의 단부를 표시하기 위한 표지가 설치되어 있지 않습니까?
5.11.9	제공하는 적절한 미끄럼 방지용 신발의 상태를 정기적으로 점검합니까?
5.11.10	신발과 바닥의 상태를 정기적으로 점검합니까?
5.11.11	근로자가 미끄러짐 또는 넘어짐 위험을 인지하고 책임감을 가지고 작업을 수행합니까?
7	폐기 및 재활용
7.1.1	공기 중 유해물질에 대한 근로자 노출, 마이크로 유기체 또는 먼지 및 에어로졸 생성을 방지하였습니까?
7.1.2	이러한 노출은 유해물질에 관한 법률에서 규정하는 통제조치 주체별로 발생원에 대한 통제조치에 대한 우선 순위를 부여함으로써 최소수준으로 감소시키고 있습니까?
7.1.3	모든 근로자가 사용할 수 있는 적절한 세척시설이 있습니까?

〈표 부록-6〉 계속

항목	확인내용
7.1.4	소음노출이 제거되었거나 불가능한 경우 발생원에서 통제조치를 실행하여 최소수준으로 감소시켜 85dB(A) 이내로 유지하고 있습니까?
7.1.5	적절한 개인용보호구가 제공 및 적절하게 유지관리 되고 있으며, 근로자가 올바른 사용방법에 대하여 교육 받고 있습니까?

연구진

연구기관 : 산업안전보건연구원

연구책임자 : 변정환 (연구위원, 산업안전연구실)

연구기간

2022. 1. 7. ~ 2022. 11. 30.

본 연구보고서의 내용은 연구책임자의 개인적 견해이며,
우리 연구원의 공식견해와 다를 수도 있음을 알려드립니다.

산업안전보건연구원장

**신재생에너지 관련 위험요인 예측 및 안전기준 개선
(2022-산업안전보건연구원-874)**

발 행 일 : 2022년 11월 30일

발 행 인 : 산업안전보건연구원 원장 김은아

연구책임자 : 산업안전연구실 연구위원 변정환

발 행 처 : 안전보건공단 산업안전보건연구원

주 소 : (44429) 울산광역시 중구 종가로 400

전 화 : 052-703-0843

팩 스 : 052-703-0334

Homepage : <http://oshri.kosha.or.kr>

I S B N : 979-11-92782-68-3

공공안심글꼴 : 무료글꼴, 한국출판인회의, Kopub바탕체/돋움체