



10MW급 조류발전 실증단지 개발
기획연구보고서

2018. 5

2018년도 창의사업 기획연구

BSPE9956P-11648-7

10MW급 조류발전 실증단지 개발 기획연구보고서

2018. 5.

10 MW급 조류발전 실증단지 개발 기획연구보고서

2018. 5

KIOST 한국해양과학기술원



10MW급 조류발전 실증단지 개발 기획연구보고서

2018. 5.

제 출 문

한국해양과학기술원장 귀하

이 보고서를 “10MW급 조류발전 실증단지 개발 기획연구”과제의 최종
보고서로 제출합니다.

2018. 05. .

주관연구기관명 : 한국해양과학기술원
주관연구책임자 : 박 진 순

주관연구기관	한국해양과학기술원
참여연구원	김 민 욱
	박 진 순
	이 광 수
	이 진 학
	한 택 희
	박 준 석
	고 동 휘
	정 무 혜
	홍 혜 민

보고서 요약서

과제고유번호		해당단계 연구기간	2018. 1. 1~ 2018. 5. 20	단계구분	기획
사업구분	사업유형	2017년도 창의사업			
	연구단계	기획연구			
	기술성격	산업계 현안 기술			
	사업성격	산업화형			
연구과제명	국문명	10MW급 조류발전 실증단지 개발 기획연구			
	영문명	Planning Research on the Development of Test Bed for 10MW Tidal Current Power Generation			
연구책임자	이광수	총연구기간 참여 연구원수	총 : 9 명 내부 : 5 명 외부 : 4 명	총연구비	30,000 천원
연구기관명 및 소속부서명	한국해양과학기술원 연안개발연구센터		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
협동연구	연구기관명 :		연구책임자 :		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서면수	192
<p>기획연구를 통해 연구비전 및 목표를 설정하고, 핵심추진 연구내용 및 추진전략을 수립함</p> <p>○ 비전 및 목표: 10MW급 조류발전 실증단지 개발을 통한 해양에너지 생산 및 에너지신산업 창출</p> <p>○ 최종연구목표: 10MW급 조류발전 실증단지 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 10MW급 조류발전 실증단지 자원분석 및 적지선정 기술 개발 - 10MW급 조류발전 실증단지 최적설계 및 시공 기술 개발 - 10MW급 조류발전 실증단지 운영·유지관리·인증 기술 개발 - 조류발전 비즈니스 모델 개발 <p>○ 최종연구성과물: 10MW급 조류발전 실증단지 기획연구보고서(RFP 포함)</p> <p>○ 기대효과: 국내 조류발전단지 설계/설치/유지관리 등 사업체계 구성, 해양에너지 보급 확대 및 관련 산업 육성으로 인한 일자리 창출, 조류발전 Track record 확보 및 기술력 제고</p>					
색인어 (각 5개 이상)	한글	10MW 조류발전 실증단지, 해양에너지, 자원분석, 적지선정, 최적설계, 인증, 비즈니스 모델			
	영어	10MW tidal current energy test bed, ocean energy, resource analysis, optimum site selection, optimum design, certification, business model			

목 차

1. 기술의 정의 및 필요성	1
1.1 조류발전 실증단지 기술개발 정의	3
1.1.1 조류발전 기술 정의	3
1.2 기획연구 추진배경 및 필요성	8
1.2.1 기획연구 추진배경	8
1.2.2 기획연구 필요성	9
1.3 기획연구의 목표 및 내용	12
1.3.1 기획연구의 최종목표	12
1.3.2 기획연구의 세부 목표 및 내용	12
1.4 기획연구의 추진전략 및 방법	12
1.4.1 기획연구의 추진전략	12
1.4.2 기획연구 세부 추진방법	13
1.4.3 기획위원 및 자문위원회 구성	15
2. 환경 및 역량분석	19
2.1 기술 및 산업 동향	19
2.1.1 국내 동향	19
2.1.2 국외 동향	34
2.1.3 조류발전 관련 기업동향 분석	59
2.1.4 조류발전 벨류체인 분석	60
2.1.5 조류발전 투자 동향	61

2.1.6 기술 표준화 동향	61
2.2 정책 동향	64
2.2.1 국내 정책 및 법·제도	64
2.2.2 해외 정책 및 법·제도	72
2.3 논문 동향	82
2.3.1 검색개요	82
2.3.2 학술지발행 동향분석	85
2.3.3 기술 경쟁력 분석	87
2.4 특허 동향	88
2.4.1 검색개요	88
2.4.2 조류발전 분야 특허동향 분석	91
2.4.3 조류발전 상용화기술 개발사업의 특허동향분석	93
2.4.4 특허 경쟁력 분석	97
2.4.5 특허 선점 및 확보 전략	99
2.5 기술수준 및 기술개발 역량 분석	104
2.6 환경분석결과에 따른 대응방향	106
2.6.1 SWOT 분석	106
2.6.2 사업추진방향 설정	109

3. 사업 내용 111

3.1 연구개발 비전 및 목표	113
3.1.1 비전 및 목표	113
3.1.2 추진단계 및 단계별 목표 설정	114
3.2 연구개발과제의 구성	115
3.2.1 연구과제 구성 및 목표 설정	115
3.2.2 기술성숙도(TRL) 단계별 목표	116

4. 연구개발사업 추진체계 및 전략 117

4.1 사업 추진 체계 119
4.2 조류발전시스템 120
4.3 기술개발 로드맵 122

5. 사전 타당성 분석 125

5.1 정책적 타당성 127
 5.1.1 정부 정책, 계획과 부합성 127
 5.1.2 정부지원의 필요성 및 시급성 128
5.2 기술적 타당성 131
 5.2.1 기존 연구사업과의 연계성 131
 5.2.2 국내 조류발전 기술개발 연구과제 연관흐름도 134
5.3 경제적 타당성 135
 5.3.1 개요 135
 5.3.2 경제성 검토 및 평가 방법 136
 5.3.3 경제적 타당성 평가 138
 5.3.4 재무적 타당성 평가 149
 5.3.5 균등화 에너지비용(LCOE, Levelized Cost of Energy) 151
 5.3.6 경제적 파급효과 154

6. 과제제안요구서(RFP) 157

6.1 최종목표 159
6.2 세부 연구내용 159
6.3 연차별 투자계획 160
6.4 기대효과 160
6.5 과제 평가 계획 161

6.5.1 평가/관리기준 설정	161
6.5.2 마일스톤 점검 및 연구비 관리체계 평가	162
6.5.3 진도관리 및 연차평가	163
6.5.4 최종평가	165
6.5.5 추적 평가	167
참고 문헌	169
첨부 1. 경제적 파급효과	171

표 목 차

[표 2-1] 국내 조류발전기술 개발 연구 목록(NTIS, 2018)	20
[표 2-2] 국내·외 조류발전 관련 주요 특허 목록	24
[표 2-3] 해양에너지 기술수준 및 기술격차 현황과 변화	33
[표 2-4] 국가별 수력 및 해양에너지 목표 발전량	36
[표 2-5] 국가별 조류발전 개발동향	39
[표 2-6] AR1500과 HS1000 모델 비교	45
[표 2-7] MeyGen 프로젝트 추진 일정	46
[표 2-8] 현 정부의 신재생에너지 공급 목표	65
[표 2-9] 국내 공급인증서 가중치	68
[표 2-10] 총 발전설비용량 500MW이상을 보유한 발전사업자 현황(18개 업체) ...	68
[표 2-11] 공급의무비율(신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 시행령) ...	69
[표 2-12] 2017년도 공급의무자의 의무공급량	69
[표 2-13] 영국의 ROCs 가중치 및 CfD strike price	75
[표 2-14] 영국의 CfD strike price	76
[표 2-15] 국가별 조류에너지 개발 국가 전략	80
[표 2-16] 국가별 해양에너지 정부 지원 정책 현황	81
[표 2-17] 논문 검색 범위	82
[표 2-18] 조류발전 분야 논문분석 대상 주제(TS) 키워드	82
[표 2-19] 조류발전 분야 학술지분석 대상 연구분야(SU) 키워드	83
[표 2-20] 조류발전 분야 학술지분석 대상 제목(TI) 키워드	83
[표 2-21] 조류발전 분야 학술지분석 대상 범주(WC) 키워드	83

[표 2-22] 특허 검색식	84
[표 2-23] 학술지 검색 결과	84
[표 2-24] 조류발전 기술 학술지분석 대상 기술분류 및 유효데이터 건수 현황	85
[표 2-25] 특허 검색 범위	88
[표 2-26] 조류발전 기술 특허분석대상 기술분류(필수기술)	89
[표 2-27] 조류발전 기술 특허분석대상 기술분류(세부기술)	89
[표 2-28] 특허 검색식	90
[표 2-29] 특허 검색 결과 및 노이즈제거 결과	90
[표 2-30] 기술분류별 유효데이터 건수 현황	91
[표 2-31] 연구자-연구결과 포트폴리오 분석(참고)	96
[표 2-32] 특허 경쟁력 지수	98
[표 2-33] 조류발전 주요기술 및 세부기술 특허 선점전략설계	100
[표 2-34] IPC 코드 기준 조류발전분야 특허 리스트	101
[표 2-35] 조류발전분야 세부 기술개발 현황(중복산정)	102
[표 2-36] 최고기술국 대비 주요국 기술수준 및 격차	104
[표 2-37] 최고기술국 대비 주요국 기술수준 변동	105
[표 2-38] 최고기술국 대비 주요국 기술격차 변동	105
[표 2-39] SWOT 요소 도출	106
[표 2-40] 미래시장에 대한 대응 전략	108
[표 4-1] 해외 조류발전터빈 준상용화 모델별 특성	120
[표 4-2] 1MW급 조류발전기 주요 사항	122
[표 4-3] 소요 예산 및 인력	123
[표 5-1] 분석항목 및 내용	135
[표 5-2] 경제성 분석과 재무성 분석 비교	136
[표 5-3] 조류발전 연도별 Techno-economic 자료(JCR, 2016)	139
[표 5-4] 설비이용률에 따른 연간발전량 산출 결과	139
[표 5-5] 경제성 분석 기본 가정 및 적용 변수	139

[표 5-6] 10MW급 조류발전 실증단지 개략공사비 산출내역	140
[표 5-7] 조류발전 실증단지 개발 설치 운영 비용	141
[표 5-8] 전력생산판매 수익 도출을 위한 주요 항목별 적용값과 근거	142
[표 5-9] 전력생산판매 수익을 차감한 전체 소요비용	142
[표 5-10] 편익 산정식	143
[표 5-11] 편익추정	144
[표 5-12] CO ₂ 저감 편익 산정식	144
[표 5-13] 사업 편익도출 주요 항목별 적용값과 근거	144
[표 5-14] 발전용량에 기반한 연간 CO ₂ 감축량	145
[표 5-15] 발전용량에 기반한 연간 CO ₂ 감축비용	146
[표 5-16] 조류 발전을 통한 발전 편익(1안)	146
[표 5-17] 조류 발전을 통한 발전 편익(2안)	147
[표 5-18] 현금흐름표(case 2)	147
[표 5-19] 조류발전을 통한 발전 편익	149
[표 5-20] 재무성 분석 기본 가정 및 적용 변수	150
[표 5-21] 재무성 분석 결과	151
[표 5-22] LCOE 산출을 위한 기본 가정 및 적용 변수	153
[표 5-23] LCOE 산출 결과	154
[표 5-24] 매출 추정(PV)	154
[표 5-25] 동 사업의 생산유발 부가가치유발 고용유발 계수	155
[표 5-26] 동 사업을 통한 생산유발 부가가치유발 고용유발(1안)	156
[표 5-27] 동 사업을 통한 생산유발 부가가치유발 고용유발(2안)	156
[표 6.1] 선정평가 기준	162
[표 6.2] 연차평가 절차	164
[표 6.3] 최종평가 절차	166
[표 6.4] 추적평가 절차	167
[표-A] 동 사업 1안- case 1의 생산유발 부가가치유발 고용유발 계수	171

[표 B] 동 사업 1안- case 2의 생산유발 부가가치유발 고용유발 계수	172
[표 C] 동 사업 1안- case 3의 생산유발 부가가치유발 고용유발 계수	173
[표 D] 동 사업 1안- case 4의 생산유발 부가가치유발 고용유발 계수	174
[표 E] 동 사업 2안- case 1의 생산유발 부가가치유발 고용유발 계수	175
[표 F] 동 사업 2안- case 2의 생산유발 부가가치유발 고용유발 계수	176
[표 G] 동 사업 2안- case 3의 생산유발 부가가치유발 고용유발 계수	177
[표 H] 동 사업 2안- case 4의 생산유발 부가가치유발 고용유발 계수	178

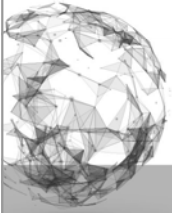
그림 목차

[그림 1-1] 조류발전시스템 구성	3
[그림 1-2] 조류발전시스템의 구성	4
[그림 1-3] 직접구동식 조류발전기 구성	5
[그림 1-4] 조류발전시스템에 대한 주요 기초 방식	6
[그림 1-5] 조류발전 실증단지 개념도	7
[그림 2-1] 20kW급 능동제어형 조류발전시스템	23
[그림 2-2] 200kW급 능동제어형 조류발전시스템	23
[그림 2-3] 25kW급 수평축 조류발전 장치	23
[그림 2-4] 국가별 조류발전 설치용량 및 조류발전 프로젝트 현황	34
[그림 2-5] 국가별 설치 및 계획 된 해양에너지 설치용량	35
[그림 2-6] 유럽의 연간 해양에너지 누적용량	36
[그림 2-7] 영국에서의 조류발전 누적발전량	37
[그림 2-8] 실증단지 개발 및 운용계획(JRC, 2014)	38
[그림 2-9] 해양에너지 설비용량 전망(Pike Research)	39
[그림 2-10] 국제적 재생에너지 투자 추세	40
[그림 2-11] 국외 조류발전터빈 개발 현황 및 발전단지 조성계획	41
[그림 2-12] 1차 시제품 및 2차 시제품 확장 예시(JRC, 2014)	41
[그림 2-13] 해외 주요 조류발전 터빈 개발 현황	42
[그림 2-14] MeyGen Project 전체 계획	43
[그림 2-15] MeyGen Project Phase 1 위치	44
[그림 2-16] MeyGen Project Phase 1 전체 구성도	44

[그림 2-17] MeyGen Phase 1에 사용되는 조류발전터빈	45
[그림 2-18] 영국 해양에너지 로드맵, 2010-2030	46
[그림 2-19] EMEC의 조류발전 TEST 장치	47
[그림 2-20] MCT사의 SeaGen-S 모델	48
[그림 2-21] OpenHydro사의 Open Centre Turbine	48
[그림 2-22] Lunar Energy사의 LTT 조류발전시스템	49
[그림 2-23] 미국 해양에너지 실증시험장 조직도	50
[그림 2-24] TidGen Power System	51
[그림 2-25] Current catcher platform	51
[그림 2-26] KHPS Gen5 모델	52
[그림 2-27] SIT 모델과 Streamcube 모델	53
[그림 2-28] Vortex power drive 모델	54
[그림 2-29] Water Wall Turbine 플랫폼	54
[그림 2-30] 일본 해양에너지 실증시험장 구축 계획	55
[그림 2-31] 나가사키 현의 해양에너지 클러스트 추진계획	55
[그림 2-32] 일본 정부의 해양에너지 개발 계획	56
[그림 2-33] 일본 쿠로시오 해류 내의 해류발전기 설치 계획	57
[그림 2-34] 중국 해양에너지 시험장 설치위치	58
[그림 2-35] 중국 해양에너지 시험장 현황	58
[그림 2-36] 조류발전 세계시장 점유 현황	59
[그림 2-37] 조류발전기업 밸류체인	60
[그림 2-38] 유럽 주요기업의 조류발전 투자 동향	61
[그림 2-39] 2030해양에너지 개발 계획 세부추진전략	65
[그림 2-40] 재생에너지 개발 정책 수립 변화	74
[그림 2-41] 연도별 학술지 발행건수 현황	85
[그림 2-42] 기술분류별 발행현황	86
[그림 2-43] 연도별 기술분류별 학술지 발행건수 현황	86

[그림 2-44] 주요 학술지발행 건수	87
[그림 2-45] 전체·세부기술별 h-index 현황	88
[그림 2-46] 조류발전 분야 연도별 출원 동향	91
[그림 2-47] 조류발전 분야 연도별·국가별 출원 동향	92
[그림 2-48] 조류발전 분야 주요 출원인 현황	93
[그림 2-49] 연도별 출원 동향	93
[그림 2-50] 국가별 특허 출원 현황	94
[그림 2-51] 주요 국가별 출원 현황	94
[그림 2-52] 주요 국가별 기술 분류 출원 현황	95
[그림 2-53] 주요 출원인별 출원건수 현황	96
[그림 2-54] 연구자-연구문헌 포트폴리오	97
[그림 2-55] 시장확보지수(PFS) 분석	99
[그림 2-56] SWOT 요소 도출	107
[그림 2-57] SWOT 대응전략	107
[그림 2-58] 환경분석 결과를 종합한 추진방향 설정	109
[그림 3-1] 비전 및 목표	113
[그림 3-2] 조류발전 기술개발을 위한 단계별 추진목표 및 내용	114
[그림 3-3] 10MW급 조류발전 실증단지 추진 계획	115
[그림 3-4] 연구개발 세부과제 분류	116
[그림 3-5] 기술성숙도(TRL) 단계별 목표	116
[그림 4-1] R&D 사업 추진 체계	119
[그림 4-2] 1MW 급 조류발전기 형상(안)	121
[그림 4-3] 10MW급 조류발전 실증단지 기술개발 기본 로드맵	123
[그림 5-1] 정부의 국정비전 및 목표, 추진전략	127
[그림 5-2] 조류발전 실해역 시험장 개념도	131
[그림 5-3] KS200 제작 도면	132
[그림 5-4] KS200 사양서	132

[그림 5-5] 수직축 조류발전시스템	133
[그림 5-6] 수직축 조류발전시스템 실증실험 결과	133
[그림 5-7] 조류발전 기술개발 연구과제의 연계성	134



제1장

기술의 정의 및 필요성

1 기술의 정의 및 필요성

1.1 조류발전 실증단지 기술개발 정의

1.1.1 조류발전 기술 정의

- 조류발전은 조석 현상에 의해 발생하는 조류의 운동에너지를 이용하여 전기를 생산하는 발전방식을 말하며, 해수의 흐름을 동력원으로 사용한다는 점에서 바람을 동력원으로 사용하는 풍력발전과는 차이가 있으나 발전원리는 풍력발전과 거의 유사함
- 조류발전은 천체의 운동에 기인하여 규칙적으로 발생하기 때문에 장기간에 걸쳐 정확한 발전량 예측이 가능하고, 계통 내에서 조절이 가능하다는 장점이 있음
- 조류발전시스템은 조류발전기, 지지구조물, 계통연계설비, 그리고 통합감시제어시스템으로 구성된 조류발전을 위한 하드웨어 및 소프트웨어 일체를 의미함([그림 1-1] 참조)



<조류발전시스템>



<전력변환장치>

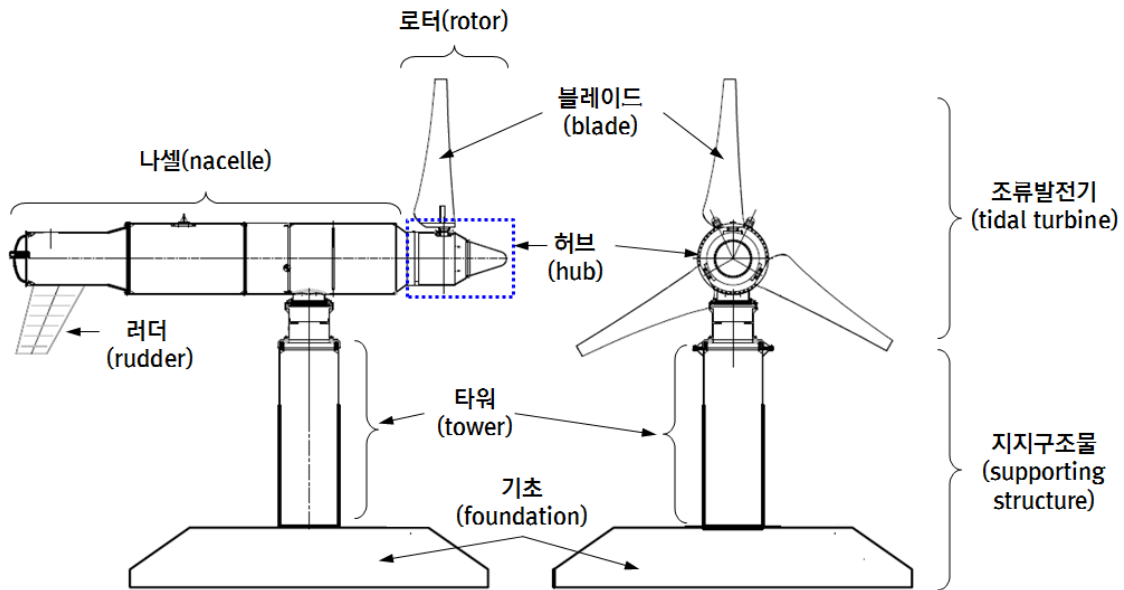


<통합감시제어시스템>

[그림 1-1] 조류발전시스템 구성

- 조류발전시스템(tidal current energy converters)은 조류에너지로부터 전기에너지 변환에 사용되는 조류발전기, 지지구조물, 해저케이블 및 전력변환장치 등의 설비를 총칭함

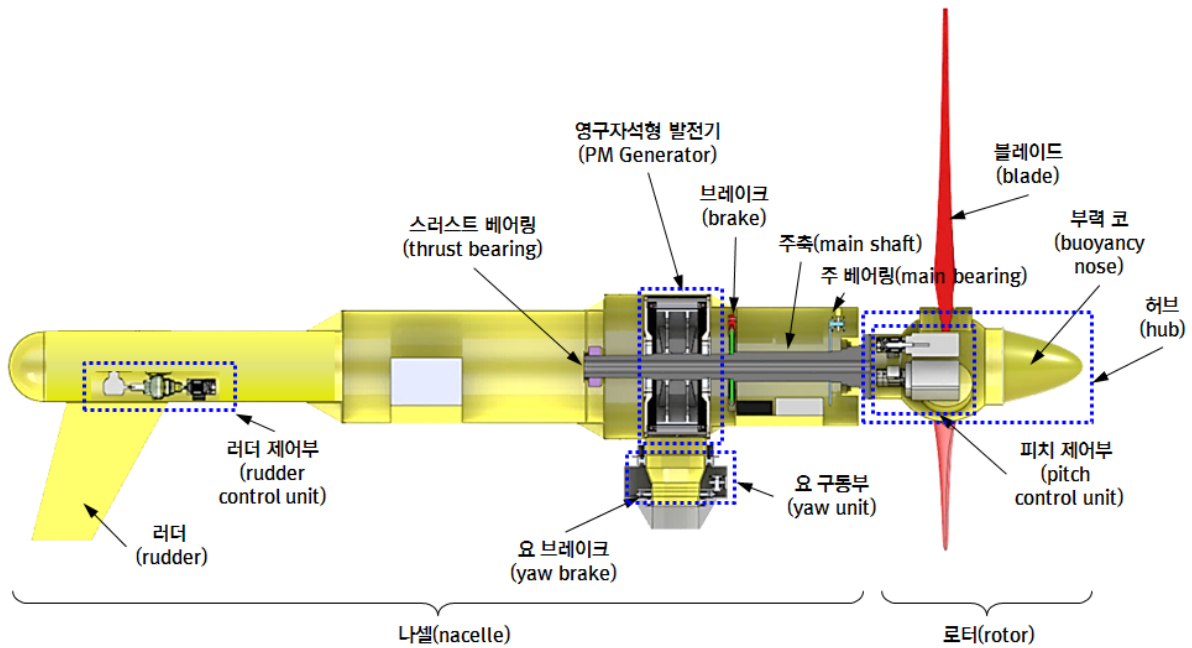
- 다음 [그림 1-2]에서 보는 바와 같이 조류발전시스템은 조류에너지로부터 전력을 생산하는 상부의 조류발전기(tidal current turbine)와 조류발전기에서 발생하는 하중을 지반으로 전달하는 지지구조물(supporting structure)로 구성되며, 이 외에도 해저케이블 및 전력변환장치 등을 포함함



[그림 1-2] 조류발전시스템의 구성

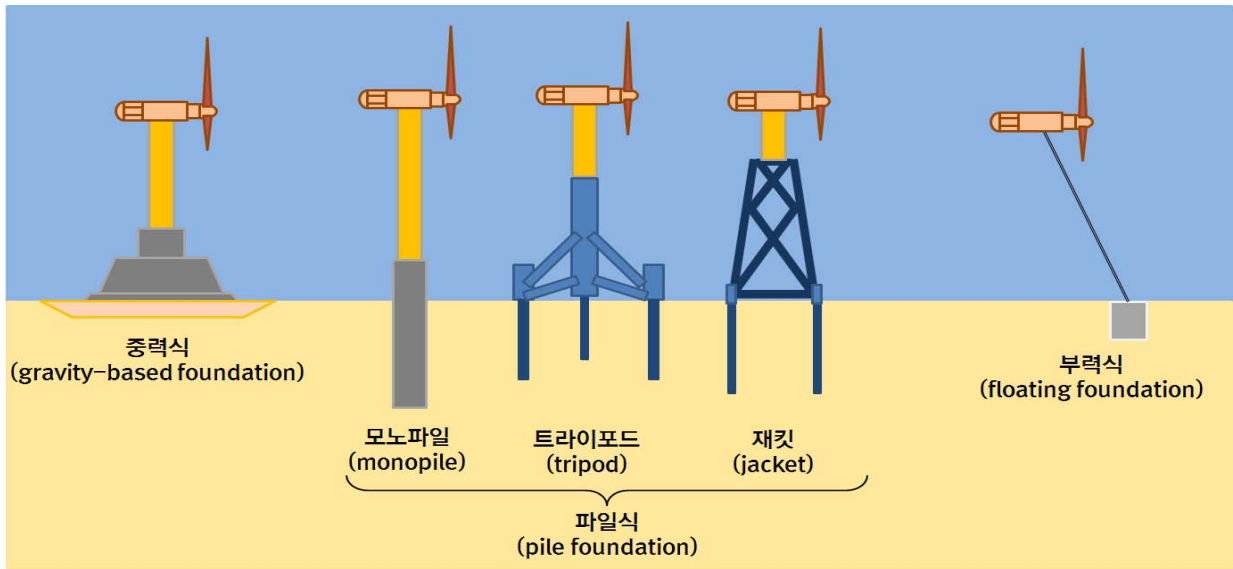
- 조류발전기(tidal current turbine)는 크게 고정부인 나셀(nacelle)과 회전부인 로터(rotor)로 구성되며, 풍력발전의 경우 조류발전기에 해당하는 로터와 나셀을 통합하여 로터-나셀 조립부(RNA, rotor nacelle assembly)로 정리하고 있으나, 이 보고서에서는 로터-나셀 조립부 대신 조류발전기로 표현하고자 함
- 나셀 내부에는 주축(main shaft), 주베어링(main bearing), 발전기(generator), 쓰러스트 베어링(thrust bearing), 러더(rudder), 요 구동부(yaw unit) 등이 포함됨
- 로터에는 크게 블레이드(blade)와 허브(hub)로 구성되며, 조류발전기의 경우 풍력발전기와는 달리 부력코(buoyance nose)를 적용하는 사례가 있음
- 다음 [그림 1-3]은 직접구동식 조류발전기(direct-drive tidal turbine)의 구성을 정리한 것으로 간접구동식(indirect drive)의 경우에는 주축이 저속축(low speed shaft)과 증속기(gearbox), 그리고 고속축(high speed shaft) 등이 적용됨. 반면, 직접구동식의 경우 주로 많은 극수를 가진 영구자석형 발전기(permanent magnetic generator)를 이용하며,

따라서 간접구동식에 비하여 발전기가 무겁고, 직경이 큰 편이지만, 상대적으로 발전효율이 높고, 고장빈도가 작은 장점이 있음



[그림 1-3] 직접구동식 조류발전기 구성

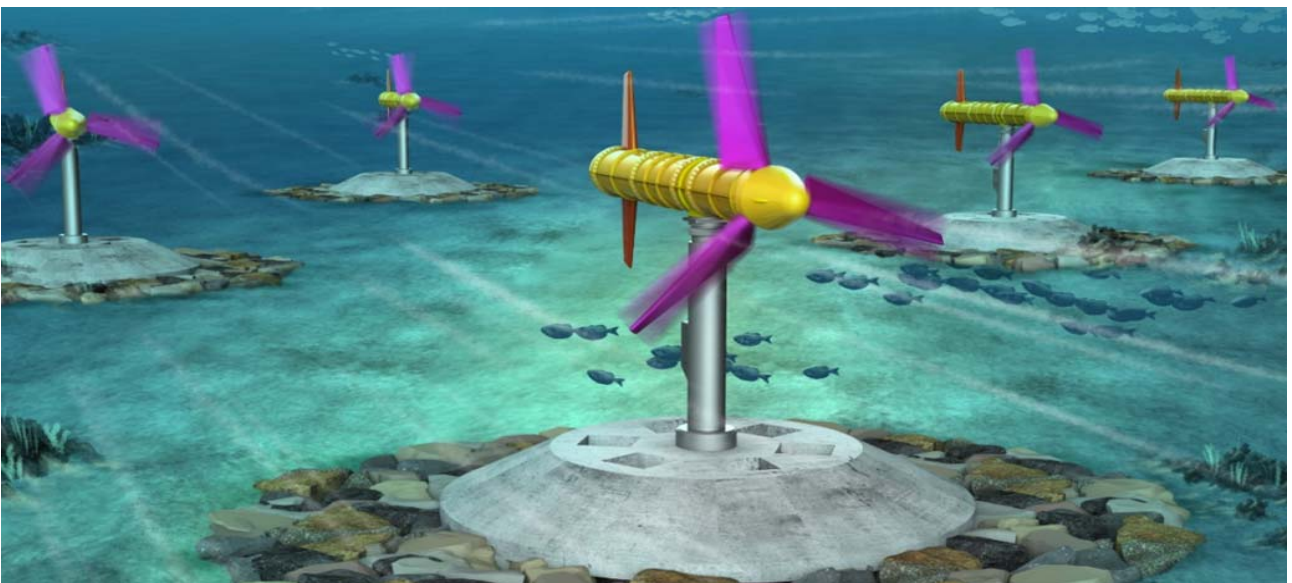
- 지지구조물(supporting structure)의 경우, 조류발전기에서 발생한 하중을 기초(foundation)까지 전달하는 타워(tower)와 타워를 통하여 전달된 하중을 지반으로 하중을 전달하는 기초(foundation)로 구성되며, 풍력발전과 비교하면 타워와 기초 사이의 하부구조(substructure)가 없고, 또한 하부구조와 타워를 연결하는 트랜지션피스(transition piece)가 필요하지 않은 차이가 있음
- 기초 형식은 다음 [그림 1-4]와 같이 중력식, 파일식, 부력식이 있으며, 중력식 기초의 경우 하중을 조류발전시스템의 자중으로 지지하게 되며, 파일식 기초(pile foundation)의 경우에는 기초파일에 의하여 하중을 전달하게 됨. 또한 부력식 기초(floating foundation)의 경우에는 타워 대신 계류선(mooring line)과 앵커(mooring anchor)로 조류발전기에서 발생한 하중을 지반으로 전달하게 됨



[그림 1-4] 조류발전시스템에 대한 주요 기초 방식

- 한편 조류발전시스템의 주요 구성품에 대한 용어를 정리하면 다음과 같음
 - ① 조류발전시스템(tidal current energy converters): 조류로부터 전기에너지 변환에 사용되는 조류발전기, 지지구조물, 해저케이블 및 전력변환장치 등의 설비일체를 총칭함
 - ② 조류발전기(tidal current turbine): 조류가 가진 운동에너지를 로터에서 역학적 에너지로 1차 변환한 후, 발전기에서 전기에너지로 2차 변환하는 장치
 - ③ 로터(rotor): 블레이드와 허브로 구성되는 회전체
 - ④ 블레이드(blade): 조류가 가진 운동에너지를 역학적 에너지로 변환하기 위한 날개로 로터 블레이드 또는 터빈 블레이드라고 불리는 경우가 있음
 - ⑤ 허브(hub): 블레이드를 연결하여 주축으로 전달하기 위한 구조로 피치제어형의 경우 피치제어부가 포함되어 있음. 허브의 앞쪽에는 부력을 발생시키기 위한 부력코가 적용되는 경우가 있음
 - ⑥ 부력코(buoyancy nose): 부력을 발생시켜 전체적인 안정성을 확보하기 위한 장치
 - ⑦ 나셀(nacelle): 타워 상부의 동력전달장치, 발전기, 그 밖의 장치를 내장하는 하우징
 - ⑧ 동력전달장치(drive-train): 주축과 주베어링 등 로터의 회전력을 발전기로 전달하는 장치로, 직접구동형의 경우 주축과 주베어링 등으로 비교적 단순하나, 간접구동형(또는 증속기형)의 경우에는 저속축, 고속축, 증속기, 베어링 등으로 복잡하게 구성됨
 - ⑨ 주축(main shaft): 로터의 회전력을 발전기로 전달하는 장치
 - ⑩ 주베어링(main bearing): 주축의 위치를 고정시키는 동시에 회전이 원활하게 이루어질 수 있도록 하는 베어링

- ⑪ **발전기(generator):** 로터의 회전력 즉 역학적 에너지로부터 전기를 생산하는 2차 에너지 변환장치
 - ⑫ **요 구동부(yaw unit):** 조류 방향에 따라 조류발전기의 방향을 바꿔주는 장치
 - ⑬ **러더(rudder):** 수동 및 능동 요제어를 위하여 사용되는 꼬리날개
 - ⑭ **스리스트 베어링(thrust bearing):** 축방향 부하를 받으면서 주축의 회전이 원활하게 이루어질 수 있도록 하는 베어링
 - ⑮ **브레이크(brake):** 로터가 회전하지 않도록 주축을 고정하는 장치
 - ⑯ **요 브레이크(yaw brake):** 조류발전기의 방향을 고정시키기 위한 장치
 - ⑰ **지지구조물(supporting structure):** 조류발전기에서 발생한 하중을 지반으로 전달하는 구조
 - ⑱ **타워(tower):** 조류발전기가 정상적으로 작동할 수 있도록 고정된 위치를 제공하는 동시에, 조류발전기에서 발생한 하중을 기초로 전달하는 구조로, 콘크리트 타워(concrete tower), 강재 타워(steel tower), 혹은 하이브리드 타워(hybrid tower) 등이 있음
 - ⑲ **기초(foundation):** 타워를 통해서 전달된 하중을 안전하게 지반으로 전달하는 구조로 중력식 기초(gravity-based foundation), 파일식 기초(pile foundation), 부력식 기초(floating foundation), 혹은 하이브리드 기초(hybrid foundation) 등이 있음
- 한편 조류발전 실증단지에는 국내 기술로 개발된 수개의 MW급 조류발전기가 전력 계통에 연계되어 다양한 해상 조건하에 실증을 수행하기 위한 시설로서 [그림 1-5]에서 보는 바와 같이 최적 배치되어 성능을 실증을 주 목적으로 함



[그림 1-5] 조류발전 실증단지 개념도

1.2 기획연구 추진배경 및 필요성

1.2.1 기획연구 추진배경

- 최근 지구온난화로 인한 기후변화 및 에너지 수급 문제에 직면하면서 신·재생에너지 개발의 필요성이 높아짐. 특히 일본 후쿠시마 원전사고('11.03), 경주 지진('16.09), 포항 지진('17.11) 등 지진 빈도가 증가하면서 원전에 대한 의존도를 낮추고 있는 실정이며 에너지원의 다변화 및 국가에너지 안보 강화를 위한 신·재생에너지 확대 정책이 시행되고 있음
- 국내의 경우, 태양광과 풍력 산업은 괄목할 만한 성장을 이루었지만 이를 제외한 신·재생에너지 개발 기술수준은 유럽, 미국, 일본과 같은 선진국에 비해 낮은 수준임. 그러나 삼면이 바다인 국내의 유리한 해양환경조건을 활용한다면 해양에너지 선진국으로 도약이 가능함
- 해양에너지 중 조류발전은 달과 태양의 기조력에 기인한 유체의 운동에너지를 전기 에너지로 변환하는 발전방식으로 계절적 요인이나 날씨에 영향을 받지 않으며, 예측이 가능하여 에너지 출력 측면에서 매우 유리한 에너지원임
- 산업통상자원부(2014)에서는 국내 해양에너지의 기술적 잠재량을 1,681.1TWh로 추정하였고, 이중 조류발전의 기술적 연간잠재량을 364.5TWh로 발표한 바 있음
- 국립해양조사원(2010)에서 발표한 한반도 조류에너지 자원지도 결과에 따르면 전라남도 주변 해역에서의 연간에너지밀도는 3MWh/m^2 이상으로 다른 해역에 비하여 상대적으로 큰 에너지밀도를 보이고 있음. 특히 울돌목의 협수로 부근 해역은 연간에너지밀도가 52MWh/m^2 이고, 장죽수도는 8.8MWh/m^2 로 산정되어 조류발전 최적후보지로 평가받고 있음
 - 주요 개발후보지 : 울돌목, 장죽수도, 맹골수도, 횡간수도, 대방수도, 서수도 등
- 영국과 캐나다 등 해양에너지 선도국은 이미 정부주도로 조류발전 상용화 지원을 위한 인프라를 확대해 나가고 있는 추세이며, 국내도 장기 국가에너지 정책 추진을 위해 해양에너지 개발 계획을 수립하였음

- 2030년 세계 해양에너지 플랜트시장이 약 55조원 규모로 성장 할 것으로 전망되며 국내 해양에너지 전문기업 육성 및 장비·기술 공급체계(Supply Chain)를 구축하기 위한 상용화 기술 확보가 필요함. 이를 통해 해양에너지플랜트 해외시장 진출과 대규모 조류발전 상용단지 건설을 적극 추진할 수 있음

1.2.2 기획연구 필요성

(1) 기술적 측면

- 에너지 수급 불안정, 지구온난화 등에 대비한 각 국의 신재생에너지 개발이 활발해지고 탄소배출에 대한 국제 환경 규제가 심화되고 있는 가운데 세계 신재생에너지 산업은 급성장하고 있음. 따라서 전 세계 에너지 시장 변화에 대응하기 위한 관련 기술력 증진과 기술 자립화가 필요함
- 영국을 비롯하여 미국, 캐나다, 일본, 중국에서는 국가적 차원에서 해양에너지 개발이 시행되고 있음. 또한 선진 기술을 통해 해외 시장 진출을 가속화시키며 기술 우위를 통해 세계 시장을 선점하고 있어 국내 기술의 세계 시장 진출을 위해서는 조류발전 실증단지를 통한 실해역 검증 및 경험이 필요함
 - 세계 각 국마다 대규모 조류발전단지 구축계획을 통해 실질적인 상용화 추진전략을 수립하고 조류발전 시장 선점을 위한 기술 개발에 집중하고 있어 기술 경쟁력 확보가 시급함
- 더욱이 유럽 선진국의 조류발전 시장 독점은 더욱 가속화 될 것으로 예상됨에 따라 유럽계 선진 조류발전 기술로부터 국내 조류발전 시장을 보호할 수 있는 기술적 안전장치를 마련하고 동시에 핵심기술 조기개발을 통해 조류발전 산업 시장을 선점하기 위한 국내 인프라 구축 및 기술 개발이 필요함
- 향후 국내 대규모 조류발전 단지조성 기술 확보 및 MW급 조류발전시스템 개발과 관련한 기술력 확보 측면에서 10MW 조류발전 실증단지 개발이 필요함

- 유럽 선진국에서는 시험용 조류발전단지 건설경험을 바탕으로 조류발전단지 건설을 추진하고 있음. 우리나라도 국내 환경에 적합한 조류발전단지를 건설하기 위해서는 경험과 기초자료 확보 필요

(2) 경제·산업적 측면

- 국내 에너지 수입 의존율은 약 96%로써 에너지 확보를 위해 천문학적 국가예산이 지속적으로 소비되고 있음. 따라서 에너지 자립화 및 외화 손실을 막기 위해서는 신·재생에너지 기술 개발 연구가 필요함
- 조류발전은 해양에너지 중 상용화에 가장 근접한 분야로, 2020년경부터 본격적인 상용화 플랜트 건설이 전망되므로 관련 산업의 육성 기반 마련을 위해 조류발전 실증단지개발이 시급함
 - 최근 MeyGen과 같은 대규모 조류발전단지 건설이 지속적으로 추진되는 만큼 신산업의 육성을 통해 경제적 효과를 보이기 위해서는 조속한 사업 추진이 필요함
- 조류발전 산업은 청정에너지를 개발하는 사업으로 발전단가를 낮추는 것이 궁극적인 목표임. 따라서 세계 각국에서는 발전단가가 낮은 시스템을 확보할 수 있는 기술개발에 초점을 맞추고 있으며, 국내도 최적 조류발전시스템 개발을 통한 산업 경쟁력 확보가 필요함
- 국내 경기의 불황으로 경제적으로 많은 어려움이 발생하는 만큼 조류발전 산업과 같은 신산업 창출로 불황을 해소하고, 더 나아가 해외 시장진출을 유도하기 위해서는 조류발전 상용화 기술개발을 통한 조류발전 산업을 활성화 시킬 필요가 있음
 - 현재 기술성숙도가 낮아 민간기업의 주도 하에 조류발전 산업 형성은 무리가 있으며, 투자 여력이 있는 발전사의 투자를 유치하기 위해서는 조류발전 상용화 기술개발과 같은 실질적인 사업이 진행되어야함. 또한 원활한 사업을 추진하기 위해서는 지자체/정부/발전사/민간기업 간의 협력이 필요하며, 관련법규의 재정비, 투자 유치를 위한 체계적 계획 수립 등이 필요함

- 조류발전은 해상에 구조물을 설치해야하므로 전용 항만 및 배후부지 조성이 필요하며, 이를 통해 지역 경제 활성화에 기여하고 해양신산업에 의한 일자리 창출과 지속 가능한 발전 산업 기반을 구축할 수 있음. 또한 우리나라에서 가장 많은 조류에너지를 보유한 전남지역의 부존자원을 활용하여 조류발전 시장을 개발하고 관련 산업을 육성하여 기업 유치와 육성의 기틀을 수립할 수 있음

(3) 사회·문화적 측면

- 우리나라는 전 세계적으로 주목받는 조류발전 입지 조건을 갖추고 있어 해외 업체에서는 국내 진출을 위해 입지 선점 및 개발 기술 실증을 시도하는 등 적극적인 노력을 하고 있음. 이처럼 해외 업체에 국내 시장이 선점당할 수 있는 위기에 직면하고 있으며 이에 대처하기 위해서는 조류발전 상용화를 위한 구체적이고 현실적인 사업을 추진하고 이를 기반으로 국내 조류발전 산업의 기반을 구축할 필요가 있음
- 기존의 에너지 정책과 함께 현 정부에서는 2030년까지 전력생산비율 20%를 신·재생에너지로 대체하는 목표를 설정함. 따라서 국가 정책에 부응하고 이를 더욱 촉진시키기 위해서는 조류발전 상용화 기술개발을 시작으로 점진적 기술개발 계획이 필요함
 - 현 정부에서는 탈원전(脫原電) 정책을 시작으로 친환경에너지 정책을 확대하고, 안전하고 효율적인 에너지 개발 및 이용을 추구하고 있어 이에 대한 기술 개발의 정책적 방향을 제시할 필요가 있음
- 해양수산부(2015)는 신재생에너지를 2020년까지 30%이상 의무적으로 공급해야하는 발전회사와 협력하여 해양에너지 공급 확대를 추진하고, 민간기업의 투자를 유도하기 위한 공동 연구개발과 기술지원 프로그램을 추진하는 등 정책적으로 해양에너지 개발 및 보급에 집중하고 있으므로 이에 대응할 수 있는 기술개발이 필요함
- 국내 신재생에너지 산업은 현재 성장기에 있으며 조류발전 시장은 태동 준비기에 있는 것으로 간주할 수 있음. 따라서 조류발전 실증단지 건설을 통해 추후 TRL 9 (상용발전)으로의 진입을 시도하고 기술 성숙도를 점차적으로 제고시킬 수 있음

1.3 기획연구의 목표 및 내용

1.3.1 기획연구의 최종목표

- 10MW급 조류발전 실증단지 개발 기획연구
 - 조류발전 상용화를 위한 10MW급 실증 연구사업 타당성 검토 및 추진계획 수립
 - 조류발전 실증단지 개발을 위한 전략적 방향, 핵심기술 및 단지조성계획 제시

1.3.2 기획연구의 세부 목표 및 내용

- 해양에너지 관련 국내·외 환경 분석
- 연구개발 타당성분석(정책, 경제, 기술적 타당성)
- 연구목표 및 내용 수립
- 연구개발 추진 체계 및 추진전략 수립
- 도출된 세부과제의 연구개발 제안요구서 작성

1.4 기획연구의 추진전략 및 방법

1.4.1 기획연구의 추진전략

- 해양에너지 선진국과 국내의 환경 변화를 분석하여 국내의 정책/경제/기술 동향을 검토함. 또한 이를 분석하여 『10MW 조류발전 실증단지 개발』의 타당성을 검토함
 - 조류발전 실증단지 구축 관련 문헌을 조사 및 분석
 - 서남해 2.5GW 해상풍력 실증단지를 주관하고 있는 한국해상풍력(주)의 담당자와 교류를 통해 실증단지 구축 관련 현황 파악 및 분석

- 조류발전 산·학·연 전문가, 기획 및 경제성 분석전문가를 포함한 기획 및 자문위원회 구성
 - 발전사의 실무진을 위원으로 포함시켜 조류발전 산업화 활성화 방안을 검토하고 발전사의 참여를 독려함. 이와 함께 관련 민간기업의 사업 참여를 유도함
 - 토목, 기계, 전기, 조선 등과 같은 조류발전 실증단지 개발과 관련된 민간기업 및 연구소의 임직원을 위원으로 포함시켜 기술 및 시장 분석
 - 정책적 및 경제적 타당성 분석은 외부 전문 업체(또는 기관)와 함께 수행하여 실효성 있는 결과를 도출
 - 주민수용성 관련 지자체 등과 협의

- 상기의 전문가를 대상으로 실증단지 개발과정에서 발생할 수 있는 여러 장애요인을 사전에 도출하고, 적절한 대응방안을 수립하여 연구개발 제안요구서에 반영

1.4.2 기획연구 세부 추진방법

- 기획연구의 세부 추진방법 및 내용은 다음과 같음

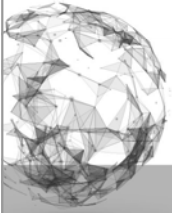
일련 번호	연구내용	세부 추진방법
1	<ul style="list-style-type: none"> ■ 국내·외 환경 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 정책동향 및 법·제도 분석 - 시장동향 및 전망 분석 - 기술 동향 및 전망 분석 - 수요자 니즈 분석 - 종합 시사점 도출 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 국내 산학연 전문가로 구성된 기획 및 자문 위원회 구성원의 의견 수렴과 회의 수행을 통해 분석 연구 수행 ■ 국외 최신 동향 자료 분석 연구 수행 ■ 특허의 경우 특허법인 등의 전문가를 활용하여 국·내외 특허동향 분석 수행 ■ 환경분석 결과를 기반으로 연구목표 추진 계획 수립에 근간이 되는 시사점 도출
2	<ul style="list-style-type: none"> ■ 타당성 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 정책적 타당성 분석 - 경제적 타당성 분석 - 기술적 타당성 분석 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 국내·외 환경 분석 결과를 바탕으로 10MW급 조류발전 실증단지 타당성 검토 ■ 정책적 타당성 분석: 정부 상위계획과의 부합성, 정부지원의 필요성 및 시급성, 관련 기관의 참여 및 사업추진 의지, 유사사례에 대한 국내외 정부지원 사례 등을 분석

일련 번호	연구내용	세부 추진방법
		<ul style="list-style-type: none"> ■ 기술적 타당성 분석: 기존 연구사업과의 중복 및 연계성, 기술개발의 성공가능성, 기술개발의 파급효과, 기술개발의 위협요건, 해외 시장 진출 가능성 등을 분석 ■ 경제적 타당성 분석: 편익/비용 비율, 순현재가치, 내부수익율 등의 기법을 활용한 경제성 분석, 사회·경제적 파급효과 ■ 경제적 타당성 분석은 전문 업체와 함께 수행하여 실효성 있는 결과를 도출
3	<ul style="list-style-type: none"> ■ 연구 목표 및 내용 도출 - 최종 목표 및 성과물 제시 - 연구 내용과 범위 설정 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 타당성 분석 결과를 기반으로 연구개발 기간을 선정하고, 이 기간 내 달성 가능한 정량적·정성적 목표 제시 ■ 연구개발 목표 달성을 위한 연구내용 및 범위 설정 <ul style="list-style-type: none"> - 조류발전 실증단지 입지 분석 - 전력계통연계 확보 방안 - 인허가 획득 방안 및 사회수용성 방안 - 향후, 대규모 발전단지 구축과 연계 활용 방안 - 발전사 및 민간기업 유치 방안 - 상기 사항을 포함하여 기획 및 자문위원회를 통해 도출 및 검토 한 후 확정
4	<ul style="list-style-type: none"> ■ 연구개발 추진체계 및 전략 수립 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 도출된 연구개발 목표 및 내용에 적합한 연구개발 추진 체계 및 전략 수립
5	<ul style="list-style-type: none"> ■ 연구개발 제안요구서 작성 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 도출된 연구개발 목표 및 내용과 수립된 연구개발 추진 체계 및 전략을 기반으로 제안요구서 작성

1.4.3 기획위원 및 자문위원회 구성

○ 기획위원회 및 자문위원회 구성은 다음과 같음

구분	이름	소속	전공
내부기획위원	김민욱	한국해양과학기술원	구조공학
	박진순	한국해양과학기술원	해양에너지
	이광수	한국해양과학기술원	연안공학
	이진학	한국해양과학기술원	기계공학
	한택희	한국해양과학기술원	구조공학
	박준석	한국해양과학기술원	해양학
	고동휘	한국해양과학기술원	해안공학
	정무혜	한국해양과학기술원	정보통신
	홍혜민	한국해양과학기술원	조선공학
	외부기획위원	권혁성	한국과학기술정책플랫폼 협동조합
김준모		한국과학기술정책플랫폼 협동조합	기술경영학
이주영		한국과학기술정책플랫폼 협동조합	시스템경영공학
고광오		현대건설	토목공학
권승욱		리젠코	전자제어
김영익		AMSystem	소재공학
김지원		한국전기연구원과학기술연구원	전기공학
김태욱		한국수력원자력	발전공학
김현태		원파워텍	전기공학
박훈철		건국대학교	항공공학
변태욱		전라남도청	행정학
안익장		헤인E&C	연안공학
양승필		한국서부발전	발전공학
이상진		사이더스코리아	전자공학
이신형		서울대학교	조선공학
조재대		한국동서발전	발전공학
박찬성		도화엔지니어링	토목공학
강규영		도화엔지니어링	토목공학
고범석		도화엔지니어링	토목공학



제2장

환경 및 역량분석

2 환경 및 역량분석

2.1 기술 및 산업 동향

2.1.1 국내 동향

(1) 국내 조류발전 시장 현황 및 예측

- 국내 조류발전 기술은 준상용화 단계(TRL 8)에는 미치지 못하였지만, 소용량 조류발전시스템 개발 연구 등 다양한 시스템 개발 연구가 진행되고 있음. 최근에는 국가적으로 조류발전 실해역 시험장 구축 연구를 시작으로 조류발전 인프라 확대를 추진하고 있음
- 국내 조류발전시스템으로는 울돌목 시험조류발전소의 수직축 시스템이 현재 시험 운전 중에 있으며 그 외에 발전소 방수로에 설치된 25kW급, 30kW급 발전설비 등이 있음
- 국내 조류에너지 부존량은 약 5GW 이상으로 추정되며, RPS 제도 시행과 기후변화 협약 등 재생에너지 개발의 필요성이 증대됨에 따라 발전회사들의 관심과 참여가 증가하고 있어 조속한 시일 내에 산업화가 가능할 것으로 기대됨

(2) 국내 전문가 및 연구기관 현황

- 조류발전 기술은 해양, 기계, 전기 및 토목 분야 등 다양한 분야의 전문가를 필요로 하는 다학제적인 연구 분야임을 감안하면, 관련 분야별 전문가는 국내에 많은 편이며, 다만 동 기술이 시스템 엔지니어링을 요구함에 따라 다분야에 전문적인 지식을 필요로 함
- 한국해양과학기술원에서는 1986년 우수영 조류발전 가능성 조사 연구 이후, 2001년부터 국가연구개발사업으로 수행한 「조류에너지 실용화 기술개발」을 통하여 수차·

발전시스템 설계, 지지구조물 설계·시공, 현장실험·평가 등의 분야에 많은 전문가를 보유하고 있으며, 실제 시험조류발전소 설계·건설·운영을 통해 시스템 엔지니어링 경험과 노하우를 보유하고 있음

- 한국전기연구원과 한국해양과학기술원에서는 「조류에너지 실용화 기술개발」 연구를 통해 전력변환장치 설계 및 제작기술과 지지구조물의 안전성 평가 분야에 대한 전문가, 경험과 및 노하우를 보유하고 있음
- 현대건설(주), 일진전기(주)와 (주)에코션은 울돌목 시험조류발전소 건설공사를 시행하면서 각각 조류발전 지지구조물 시공, 동력전달장치 제작, 수차 제작 분야에 많은 경험과 노하우를 보유하고 있음
- 인하대학교에서는 지식경제부 국가연구개발사업인 조류발전 타당성 조사 및 활용기술 개발 연구를 통하여 조류발전의 기초 연구 경험을 보유하고 있음
- 다음 [표 2-1]은 2000년대 이 후 국내 조류발전기술 개발 관련 연구 수행 목록이며, 산학연에서 다양한 기술개발 연구를 수행하였으며, 대학교에서는 해양에너지 인력양성 연구를 수행하였음

[표 2-1] 국내 조류발전기술 개발 연구 목록(NTIS, 2018)

기관명	과제명	구분	총연구기간	연구인력수(명)
한양대학교	조류발전단지 3차원 유동장 해석과 발전효율 최적화에 관한 연구	대학교	2015-11-01 ~ 2018-10-31	4
(주)해안해양기술	콘크리트 쉬라우드를 이용한 조류발전시스템 연구	산업체	2017-04-01 ~ 2018-12-31	20
한국해양과학기술원	능동제어형 조류발전 기술 개발	연구소	2011-11-11 ~ 2018-10-31	46
(주)에이피이씨	에너지 자립형 교량을 위한 부유식 교량형 조류발전 기술개발	산업체	2015-06-01 ~ 2018-05-31	31
현대중공업	조류발전시스템 성능시험 및 평가 기술 개발	산업체	2010-06-01 ~ 2014-10-31	28
목포해양대학교	조류 발전용 블레이드의 내구성 향상 기술 개발	대학교	2011-04-01 ~ 2014-03-31	18

제2장 환경 및 역량분석

기관명	과제명	구분	총연구기간	연구인력수(명)
인하대학교 산학협력단	수중 무어링 조류발전용 semi-active 유량제어 및 수밀 원천기술 개발	대학교	2013-12-01 ~ 2016-09-30	20
목포해양대학교 산학협력단	최적 조류발전단지 설계를 위한 간섭기술 연구	대학교	2014-12-22 ~ 2017-04-30	7
인하대학교	조류발전타당성조사및활용기술개발	대학교	2006-12-01 ~ 2009-11-01	9
한국해양연구원	조류에너지 실용화 기술 개발	연구소	2001-02-01 ~ 2010-12-31	28
한국해양연구원	조류에너지 실용화 기술개발	연구소	2008-01-01 ~ 2010-12-31	48
한국해양연구원	조류에너지 실용화 기술개발	연구소	2006-02-01 ~ 2011-03-31	51
(주)오션스페이스	고효율부유식조류발전시스템개발	산업체	2006-12-01 ~ 2009-11-30	19
한국해양대학교	조류발전 기술	대학교	2009-06-01 ~ 2012-05-31	54
한국해양과학기술원	조류발전 실험역 시험장 구축	연구소	2017-04-01 ~ 2021-12-31	21
서울대학교	100kW급 수평축 조류발전 터빈운용의 최적화 기법 개발	대학교	2017-12-15 ~ 2020-12-14	1
한국해양연구원	조류에너지 실용화 기술개발	연구소	2008-01-01 ~ 2010-12-31	48
인하대학교 산학협력단	멀티 HAT 조류발전 모듈 시스템 개발	대학교	2009-03-01 ~ 2012-02-29	10
한국해양대학교	조류시스템용 전력 제어 감시 시스템 개발	대학교	2009-06-01 ~ 2010-05-31	6
한국해양과학기술원	조류발전 시스템 성능향상 기술개발	연구소	2013-01-01 ~ 2015-12-31	19
(주)요성	부유식 브릿지형 15kW급 수평축 조류(潮流)발전 시스템 개발 및 사용화를 위한 실증	산업체	2014-12-01 ~ 2017-09-30	20
목포해양대학교 산학협력단	해양에너지 R&D 프로젝트 기반 인력양성	대학교	2014-12-22 ~ 2017-04-30	6
(주)다음기술단	임펠러 방식 능동형 조류발전 시스템 개발	산업체	2013-12-01 ~ 2016-09-30	14
현대건설(주)	능동제어형 조류발전시스템 지지구조물 설계 및 시공기술 개발	산업체	2011-11-11 ~ 2018-02-28	15
대아산업(주)	위치 가변형 조류발전 장치 개발	산업체	2013-05-01 ~ 2014-04-30	6

기관명	과제명	구분	총연구기간	연구인력수(명)
한국해양대학교	플로팅형 조류발전 시스템 협력 연구	대학교	2009-09-01 ~ 2011-08-31	5
한국해양연구원	조력·조류에너지실용화기술개발	연구소	2000-02-01 ~ 2010-12-01	41
한국해양연구원	고효율/친환경 조류발전을 위한 유연플랩형 터빈기술 개발	연구소	2011-12-01 ~ 2014-12-31	28
인하대학교 산학협력단	해상풍력과 조류를 복합한 발전장치의 원천기술개발	대학교	2011-12-01 ~ 2013-12-31	30
서울대학교	선형운동량 엑추에이터 이론을 기반한 조류에너지 부존량 산정기술 개발	대학교	2017-03-01 ~ 2020-02-29	0
주식회사 언딘	연약지반용 해양풍력 및 조류발전 지지구조 개발	산업체	2012-12-01 ~ 2014-07-31	9

(3) 국내 기술 개발 수준

- 한국해양과학기술원에서는 2003년 국내 최초로 미국 Northwestern 대학의 Gorlov 교수와 공동으로 헬리컬 형태의 20kW급 수직축 조류발전장치를 울돌목에 설치하였고, 2005년 해양수산부의 지원을 받아 2009년 국내 최초로 500kW급 수직축 조류발전장치 2기를 설치하였음(한국해양과학기술원, 2011)
- 한국해양과학기술원에서는 2001년부터 해양수산부 국가연구개발사업인 조류에너지 실용화 기술개발의 일환으로 수직축 조류발전시스템을 적용하여 울돌목 시험조류발전소를 설계, 건설, 실험 및 운영함. 한편 조류발전시스템이 상용화 단계에 도달하려면 GWh 규모의 전력을 생산, 수년 간 검증이 필요한바 상용화를 위한 MW급 발전시스템 구축 및 장기간 운영이 요구됨. 또한 현재 세계의 조류발전 상용화기술은 대부분 효율이 좋고 능동제어가 가능한 수평축 조류발전 방식이 표준형으로 개발되고 있는 추세로 세계시장진출 및 경쟁력 확보를 위해서는 수평축 조류발전 시스템 개발이 필요함
- 따라서 한국해양과학기술원에서는 후속사업으로 능동제어형 수평축 조류발전시스템 개발을 수행하고 있으며, 2014년에는 20kW급 축소모형을 제작하고 울돌목 시험조류

발전소에서 실증 실험을 수행하였고, 현재는 200kW급 능동제어형 조류발전시스템 설계 완료 후 실행역 설치에 위한 준비가 진행 중에 있음



[그림 2-1] 20kW급 능동제어형
조류발전시스템



[그림 2-2] 20kW급 능동제어형
조류발전시스템

- 2008년 6월 오션스페이스와 인하대학교가 개발하고 한국남동발전(주)이 참여한 25kW급 조류발전장치가 삼천포화력발전소 방수로에 시험 설치되었음



[그림 2-3] 25kW급 수평축 조류발전 장치

○ 국내·외의 조류발전 관련 특허는 다음 [표 2-2]와 같음

[표 2-2] 국내·외 조류발전 관련 주요 특허 목록

No	특허명	출원번호	출원일	출원인	국가 코드
1	GRAVITATIONAL WINDOW SHUTTER FOR HYDRO-PNEUMATIC CURRENT FLOW HARNESSING SYSTEM	1992913751	1992.02.14	NORTHEASTERN UNIVERSITY	EP
2	Run-of-river submerged water turbine	1998670007	1998.12.04	Dos Santos Costa, Antonio Jose Arsenio	EP
3	STREAM TURBINE	1998939027	1998.07.06	Sinvent AS	EP
4	SYSTEM FOR PRODUCING HYDROGEN MAKING USE OF A STREAM OF WATER	2000980122	2000.11.13	Pas, Peter Alexander Josephus	EP
5	PLANT FOR GENERATING ENERGY FROM WATERCURRENTS	2002747777	2002.07.08	Hydra Tidal Energy Technology AS	EP
6	Water turbine assembly comprising a turbine and sluices for the production of electrical energy from flowing waters or tides.	2003029840	2003.12.24	Zenker, Wolfgang	EP
7	ENERGY GENERATOR POWERED BY TIDAL CURRENTS	2004775028	2004.08.12	Tidetec AS	EP
8	A VERTICAL BLADE WATERWHEEL POWER GENERATOR AND METHOD OF WATERPOWER THEREOF	2005706625	2005.02.08	Lei, Yuening Lei, Shengqing	EP
9	DEVICE FOR UTILIZING THE KINETIC ENERGY OF FLOWING WATER	2005730283	2005.04.13	Janssen, Kai-Ude	EP
10	FLOATING APPARATUS FOR DEPLOYING IN MARINE CURRENT FOR GAINING ENERGY	2005807548	2005.11.17	Overberg Limited	EP
11	TIDAL STREAM ENERGY CONVERSION SYSTEM	2006829462	2006.12.08	Devaney, Theo	EP
12	AN ORIENTATION DEVICE FOR WATER CURRENT POWER GENERATING APPARATUS	2007823891	2007.09.07	Tidal Generation Limited	EP
13	Underwater power generator	2008718731	2008.03.13	Rotech Holdings Limited	EP
14	SUBMURGIBLE SYSTEM FOR EXPLOITING THE ENERGY OF MARINE CURRENTS	2008761455	2008.04.04	Universidad Politecnica de Madrid	EP
15	TURBINE MOTOR WITH AT LEAST TWO ROTORS	2009765704	2009.05.20	Siemens Aktiengesellschaft	EP

No	특허명	출원번호	출원일	출원인	국가 코드
16	TORQUE NEUTRALIZING TURBINE MOORING SYSTEM	2009797315	2009.07.15	New Energy Corporation Inc. Bear, Clayton Wessner, Craig Ginter, Vincent Joseph	EP
17	High efficiency waterwheel apparatus having track-type blades	2011180172	2011.09.06	Pai, Chen-Yi Pai, Chin-Li	EP
18	ARRANGEMENT FOR EXTRACTING ENERGY FROM FLOWING LIQUID	2011731526	2011.07.04	Flumill AS	EP
19	Flow power plant park and method for its production	2012002904	2012.04.26	Voith Patent GmbH	EP
20	NATURAL ENERGY EXTRACTION DEVICE	2012807564	2012.07.02	Albatross Technology LLC	EP
21	WATERMILL DEVICE AND METHOD OF GENERATING ELECTRICAL ENERGY BY MEANS OF SUCH A DEVICE	2013721812	2013.04.11	Oryon Consultancy&Development	EP
22	FLOATING MARINE CURRENT TURBINE	2013779848	2013.10.22	Tidalys	EP
23	UNDERWATER FLOW POWER PLANT	2015167260	2015.05.12	Voith Patent GmbH	EP
24	전력계통의 조류 데이터를 작성하는 방법, 시스템, 프로그램 및 기억 매체 및 전기공급소의 전압분석표를 표시하는 시스템	2003044885	2003.02.21	東京電力株式?社	JP
25	수중항주체의 항로제어방법	2005356306	2005.12.09	三菱重工業株式?社	JP
26	조류출구	2006132292	2006.05.11	株式?社宇根?工所	JP
27	조류·해류발전장치	2007290644	2007.11.08	해상기술안전연구소	JP
28	조류·해류발전장치	2008012838	2008.01.23	해상기술안전연구소	JP
29	자연에너지 취출장치	2012148095	2012.07.02	合同?社アルバトロ ス?テクノロジ?	JP
30	발전 장치	2012510543	2011.03.18	加藤 正治	JP
31	달리 모르타르형 수차 및 조류발전장치	H11071319	1999.03.17	赤? 義夫	JP
32	부류선체의 횡축수차에 의한 조류역발전장치	19970017164	1997.04.28	황용안	KR

No	특허명	출원번호	출원일	출원인	국가 코드
33	조류발전을 위한 부류형 돛가변의 축차 {FLOATING-TYPE SAIL VARIABLE BLADE TURBINE FOR TIDE DEVELOPMENT}	20000001820	2000.01.11		KR
34	조류발전용 터빈의 가변블레이드 {Transformable blade of turbine for tidal current power plant}	20070123133	2007.11.28	황철현	KR
35	배전 전선케이블용 경완금 연결장치 {Connection apparatus of light weight buffer metal for high-tension wire}	20080043239	2008.05.09	(주)한화종합기술단	KR
36	공기 부양식 터빈 지지체를 가지는 조류발전장치{TIDAL CURRENT POWER PLANT HAVING AN AIR FLOATING TYPE SUPPORT FOR SUPPORTING A TURBINE}	20080102483	2008.10.20	주식회사 포스코건설	KR
37	능동 유향조절 다배열 수평축 조류발전장치{Active flow varying multi-arrayed horizontal axis turbine tidal current power device}	20080126078	2008.12.11	인하대학교 산학협력단	KR
38	조류발전장치의 지지구조 {SUPPORTING STRUCTURE OF TIDAL CURRENT POWER PLANT}	20090054791	2009.06.19	(주)레네테크	KR
39	부상식 조류발전장치{The tidal current generation apparatus of the floating type}	20090088809	2009.09.21	홍문표	KR
40	수류 동력 발생 장치용 배향 장치 {AN ORIENTATION DEVICE FOR WATER CURRENT POWER GENERATING APPARATUS}	20097007553	2007.09.07	타이들 제너레이션 리미티드	KR
41	조류발전 터어빈용 로터 블레이드 및 그의 제조방법 {Rotor blade for tidal current power turbine and manufacturing method of the same}	20100020051	2010.03.05	주식회사 포스코건설	KR
42	조류제거장치 {Removing apparatus for algae}	20100025332	2010.03.22	한국화학연구원	KR
43	조류발전기의 연직설치를 위한 삼각 지지다리 구조의 기초구조물 시공방법 {Constructing Method of Base Structure for Electric Generator from Tidal Current}	20100047657	2010.05.20	석영환주식회사 강동	KR

No	특허명	출원번호	출원일	출원인	국가 코드
44	지면설치부에서의 각도조절을 통한 조류발전기의 연직설치가 가능한 삼각 지지다리 구조의 기초구조물 및 그 시공방법{Base Structure for Electric Generator from Tidal Current and Constructing Method of Base Structure}	20100047686	2010.05.20	석영환 주식회사 강동	KR
45	조류발전기용 터빈 설치장치 {turbine establishment system for tidal current power plant}	20110067520	2011.07.07	손종남	KR
46	양방향터빈을 구비한 조력발전장치 및 조력발전부력선 {The tidal current generation apparatus and ship of the floating type}	20110088279	2011.09.01	박인홍	KR
47	수평축 조류 발전 터빈, 이의 제조 방법 및 이를 이용한 조류 발전 방법{horizontal axis tidal current power turbine, manufacturing method of same and tidal current power method in using same}	20120055952	2012.05.25	서울대학교 산학협력단	KR
48	방열핀 겸용 강성보강재가 장착된 조류발전기 나셀{Tidal Current Power Nacelle with Heat Radiating Stiffener}	20120112388	2012.10.10	한국해양과학기술원	KR
49	조류 발전 장치 {TIDAL CURRENT POWER PLANT}	20120112625	2012.10.10	한국해양과학기술원	KR
50	회전축 변환 조류발전 시스템 {ROTATING AXIS CONVERTING-TYPE TIDAL CURRENT POWER GENERATING SYSTEM}	20120121995	2012.10.31	현대건설주식회사	KR
51	케이슨 조류 발전 마운팅 장치 {Apparatus for mounting the tidal current generator on caisson}	20130052563	2013.05.09	인하대학교 산학협력단	KR
52	조류발전용 디퓨저 제어장치 {APPARATUS FOR CONTROLLING MULTI-HYDROFOIL DIFFUSER OF TIDAL STREAM POWER GENERATION}	20130056760	2013.05.20	한국해양과학기술원	KR
53	다중 반복승강식 발전장치 {MULTIPLE OSCILLATING TIDAL STREAM GENERATORS}	20130116657	2013.09.30	한국해양과학기술원	KR
54	조류발전용 요제어 시험장치 {TEST APPARATUS FOR YAW CONTROLLING OF A TIDAL STREAM POWER GENERATION}	20130137941	2013.11.13	한국해양과학기술원	KR

No	특허명	출원번호	출원일	출원인	국가 코드
55	조류발전용 자동확산장치 {AUTO DIFFUSION APPARATUS FOR TIDAL STREAM POWER GENERATION}	20130144861	2013.11.26	한국해양과학기술원	KR
56	조류 발전소 및 이의 구동 방법 {A FLOW POWER PLANT AND A METHOD FOR ITS OPERATION}	20137029837	2012.03.30	보이트 파텐트 게엠베하	KR
57	반복승강식 조류발전기의 자동 굴곡형 왕복장치{AUTOMATIC FLEXURAL RECIPROCATING DEVICE OF OSCILLATING TIDAL STREAM GENERATORS}	20140014712	2014.02.10	한국해양과학기술원	KR
58	방향타를 이용한 요제어방식 조류발전장치 및 이의 제어방법 {YAW CONTROL TYPE TIDAL STREAM GENERATOR BY RUDDER AND YAW CONTROL METHOD OF THE SAME}	20140041840	2014.04.08	한국해양과학기술원	KR
59	조류발전 터빈 이물질 제거장치 {Apparatus for Removing Foreign Substance of The Tidal Current Power Turbine}	20140094715	2014.07.25	인하대학교 산학협력단	KR
60	부유식 조류발전 장치 {TIDAL CURRENT GENERATION APPARATUS OF FLOATING TYPE}	20140107038	2014.08.18	현대건설주식회사조 창휘	KR
61	조류발전장치 {The tidal current power generation system}	20140122147	2014.09.12	김철수문재중	KR
62	조류를 이용한 발전용 수차구조물 {Water Turbine Structure for Generation Using Tide Current}	20150080398	2015.06.08	(주)다음기술단	KR
63	계류식 조류발전기{Power Generators using currents in the Pending state}	20150144073	2015.10.15	임형우	KR
64	U-형 조류에너지 발전장치 캐리어 및 베이스 타입 조류에너지 발전장치 {U-SHAPED TIDAL CURRENT ENERGY POWER GENERATION DEVICE CARRIER AND BASE TYPE TIDAL CURRENT ENERGY POWER GENERATION DEVICE}	20177004926	2014.12.01	하얼빈 엔지니어링 유니버시티	KR

No	특허명	출원번호	출원일	출원인	국가 코드
65	Ocean tide and wave energy converter	05/541051	1975.04.28		US
66	Tidewater power system	05/562840	1975.03.28		US
67	Apparatus for extracting energy from movement of water	05/779705	1977.03.21	Wavepower Limited	US
68	Vertical-axis composite swinging-blade water wheel	05/786961	1977.04.12	Aquatech Co., Ltd.	US
69	Floating electric generator using the driving energy of water	05/891227	1978.03.29		US
70	Flowing saline water magnetohydrodynamic electric generator	05/919470	1978.06.27		US
71	Open cycle ocean thermal energy conversion system	05/934572	1978.08.17	The United States of America as represented by the United States Department of Energy	US
72	Submerged hydroelectric power generation	05/959217	1978.11.09		US
73	Modular current power apparatus	06/183968	1980.09.03		US
74	Power steering system	06/752362	1985.07.03	Outboard Marine Corporation	US
75	Shutter for hydro-pneumatic current flow harnessing system	07/808684	1991.12.17	Northeastern University	US
76	Ocean current power generation system	07/952272	1992.09.28		US
77	Sea state measuring system	08/236857	1994.05.02	The United States of America as represented by the Secretary of the Navy	US
78	Facility for refueling of clean air vehicles/marine craft and power generation	08/325830	1994.10.19		US
79	Hydroreactor to take advantage of the kinetic energy from the water in places where the streams are meaningful for the production electric power	09/205322	1998.12.04	A.G. da Cunha Ferreira, Lda.	US
80	Submersible electrical power generating plant	09/791278	2001.02.22		US
81	Eolic marine electrical generator geem	09/903379	2001.07.11		US

No	특허명	출원번호	출원일	출원인	국가 코드
82	System for producing hydrogen making use of a stream of water	10/129600	2000.11.13		US
83	Plant, generator and propeller element for generating energy from watercurrents	10/482311	2002.07.08	Hydra Tidal Energy Technology AS	US
84	Plant, generator and propeller element for generating energy from water currents	10/482513	2003.12.30	HYDRA TIDAL ENERGY TECHNOLOGY AS	US
85	Method and apparatus for fluid flow testing	10/572050	2004.05.27	ExxonMobil Upstream Research Company	US
86	Device for converting flow energy into electrical energy	10/931799	2004.09.01		US
87	Current power generator	11/132489	2005.05.19		US
88	Submersible electrical power generating plant	11/416604	2006.05.03		US
89	Ocean power harvester	11/451717	2006.06.13		US
90	River and tidal power harvester	11/585722	2006.10.24		US
91	Locating oil or gas passively by observing a porous oil and gas saturated system giving off its characteristic resonance response to ambient background noise, including optional differentiation of oil, locating gas and water	11/608155	2006.12.07	Zuecher; Hannes Georges	US
92	Submersible tethered platform for undersea electrical power generation	11/647874	2006.12.29		US
93	Floating apparatus for deploying in marine current for gaining energy	11/667902	2005.11.17	Ocean Flow Energy Limited	US
94	Floating power plant for extracting energy from flowing water	11/805790	2007.05.24		US
95	Submersible turbine-generator unit for ocean and tidal currents	11/975581	2007.10.19	Ocean Renewable Power Company, LLC	US
96	Tidal stream energy conversion system	12/096413	2006.12.08		US
97	Electric power generation system for harvesting underwater currents	12/207174	2008.09.09		US
98	Buoyant blade free stream tidal power device	12/392369	2009.02.25		US

No	특허명	출원번호	출원일	출원인	국가 코드
99	Orientation device for water current power generating apparatus	12/440897	2007.09.07	Tidal Generation Limited	US
100	Torque neutralizing turbine mooring system	12/503144	2009.07.15		US
101	HYDROKINETIC ELECTRICAL POWER GENERATION SYSTEM	12/508990	2009.07.24		US
102	Underwater power station and method for operating an underwater power station	12/560610	2009.09.16	Voith Patent GmbH	US
103	Underwater pumped-hydro energy storage	12/577852	2009.10.13	The Boeing Company	US
104	Underwater power plant with passive control	12/586905	2009.09.28	Voith Patent GmbH	US
105	Systems for improved fluid flows through a turbine	12/618408	2009.11.13	Hydro Green Energy, LLC	US
106	Installation for harvesting ocean currents (IHOC) and methods and means for its delivery, installation and servicing	12/655198	2009.12.24		US
107	Mechanical rotor	12/661096	2010.03.11		US
108	Systems and methods for converting marine currents into electrical energy	12/695711	2010.01.28		US
109	Methods and apparatus for generating electrical energy with a submerged tank	12/802260	2010.06.03		US
110	Hydrokinetic turbine for low velocity currents	12/804239	2010.07.19		US
111	Electrical power generation system for harvesting underwater currents	13/051724	2011.03.18		US
112	Floating barriers	13/118394	2011.05.28		US
113	Horizontal-axis hydrokinetic water turbine system	13/191537	2011.07.27	DLZ Corporation	US
114	High efficiency waterwheel apparatus having track-type blades and a track-type blade set thereof	13/223619	2011.09.01	Pai; Chen-Yi Pai; Chin-Li	US
115	DEEP OCEAN CURRENT POWER PLANT AND CONSTRUCTING PROCEDURE THEREOF	13/274021	2011.10.14	NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY	US
116	Flow driven engine	13/341980	2011.12.31		US

No	특허명	출원번호	출원일	출원인	국가 코드
117	Microprocessor system for controlling rotor pitch	13/374727	2012.01.11		US
118	POWER GENERATOR	13/394673	2010.09.08	ATLANTIS RESOURCES CORPORATION PTE LIMITED	US
119	Maritime current power plant park and a method for its production	13/461208	2012.05.01	Voith Patent GmbH	US
120	Water wheel for generating power	13/512939	2011.01.05		US
121	Horizontal-axis hydrokinetic water turbine system	13/558891	2012.07.26	DLZ Corporation	US
122	MODULE FOR RECOVERING ENERGY FROM MARINE AND FLUVIAL CURRENTS	13/577239	2011.02.08		US
123	ULTRA HIGH EFFICIENCY POWER GENERATION SYSTEM AND WATER TURBINE	13/835834	2013.03.15		US
124	Horizontal-axis hydrokinetic water turbine system with water pump	13/953375	2013.07.29	DLZ Corporation	US
125	Method and Apparatus for Energy Generation	13/976454	2011.12.28	Cameron International Corporation	US
126	Floating-type ocean current combination power generation device	14/114530	2012.04.27		US
127	Natural energy extraction apparatus	14/118850	2012.07.02	ALBATROSS TECHNOLOGY LLC	US
128	Floating tower frame for ocean current turbine system	14/217060	2014.03.17	Aquantis, Inc.	US
129	INEXPENSIVE FLOATING HORIZONTAL AND VERTICAL AXIS WATER TURBINES MOUNTED ON BRIDGE AND OTHER STRUCTURES TO CONVERT HYDROKINETIC ENERGY TO ELECTRIC ENERGY	14/224673	2014.03.25		US
130	Device for Recovering Energy from a Moving Fluid	14/357594	2012.11.09	GEPS INNOV	US
131	FLOATING MARINE CURRENT TURBINE	14/437586	2013.10.22	TIDALYS	US

No	특허명	출원번호	출원일	출원인	국가 코드
132	WATER LEVEL FLOW SPEED-INCREASING GENERATING STATION, POWER STATION, WATER SUPPLY STATION, AND OFFSHORE FLOATING CITY	14/476244	2014.09.03		US
133	Floating, yawing spar current/tidal turbine	14/682700	2015.04.09	Aquantis, Inc.	US
134	WATER TURBINE DRIVE SYSTEM	14/916419	2014.09.04	REAL NEWENERGY, LLC	US
135	Tidal flow power generation System and Method	14/998046	2015.12.24		US
136	POWER GENERATION APPARATUS UTILIZING WATER CURRENT ENERGY	15/030688	2013.10.22		US
137	HYDROKINETIC SYSTEM	15/109270	2014.12.19	Pliosaur Energy Ltd.	US
138	Hydrokinetic energy conversion system and use thereof	15/127795	2015.03.18	Flumill AS	US

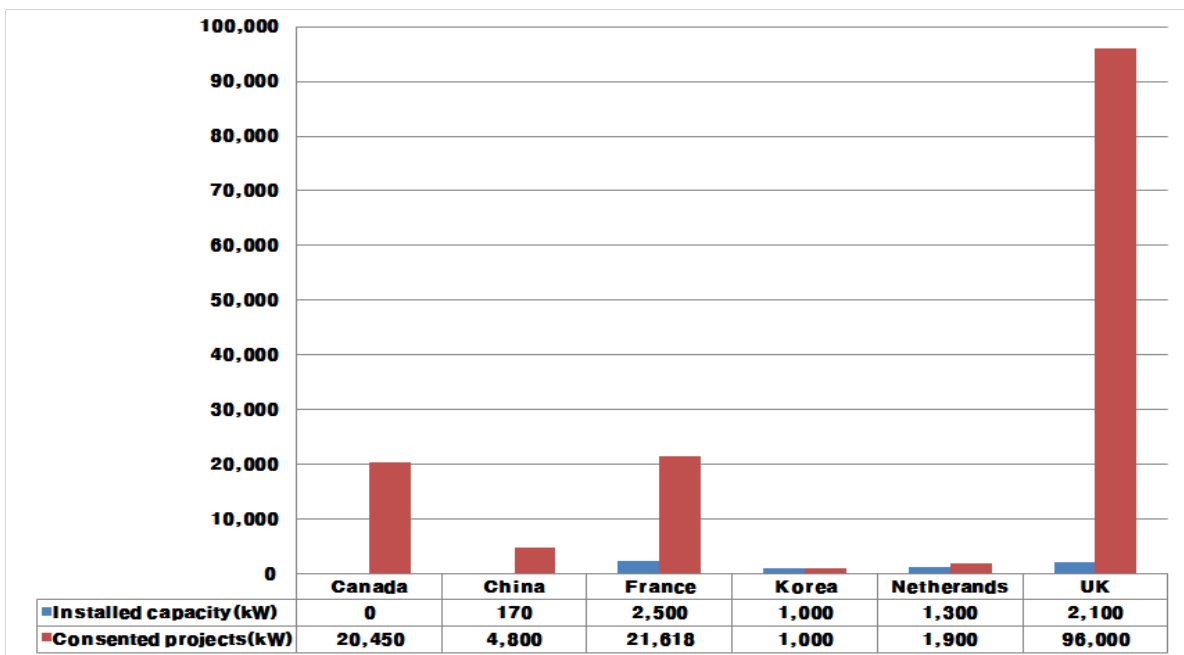
- [표 2-3]은 해양에너지 기술수준 및 기술격차 현황과 변화를 정리한 표이며, 국내 해양에너지의 개발 기술수준은 2010년 최고기술국(EU) 대비 72.3%이었으나, 2016년에는 최고기술국 대비 80.3% 수준으로 8% 향상 됨(한국해양정책학회, 2017)
- 기술격차는 2010년 최고기술국 대비 4.8년이었으나 2016년 4.2년으로 감소
 - 미래(2020년) 기술수준은 최고기술국인 EU 대비 85.4% 수준으로 향상될 것이며, 기술격차는 최고기술국 대비 3.6년으로 좁혀질 것으로 예상되고 있음

[표 2-3] 해양에너지 기술수준 및 기술격차 현황과 변화

국가	2010년			2016년			2020년		
	기술 수준 (%)	기술 수준 그룹	기술 격차 (년)	기술 수준 (%)	기술 수준 그룹	기술 격차 (년)	기술 수준 (%)	기술 수준 그룹	기술 격차 (년)
한국	72.3	선도	4.8	80.3	최고	4.2	85.4	최고	3.6
미국	89.7	최고	1.9	94.8	최고	1.2	96.5	최고	1.1
일본	87.3	최고	2.2	90.7	최고	2.3	93.0	최고	2.5
중국	65.4	선도	7.1	77.7	선도	5.0	84.9	최고	4.1
EU	100.0	최고	-	100.0	최고	-	100.0	최고	-

2.1.2 국외 동향

- 세계적으로 해양에너지 개발에 많은 투자가 이뤄지고 있으며, EU가 해양에너지 기술개발을 선도하고 있으며, 영국, 캐나다를 중심으로 조류발전 상용화가 진행 중에 있음
- 2016년 기준, 영국은 2,100kW 설치용량을 확보하였으며 96,000kW의 조류발전 프로젝트가 진행 중에 있음. 캐나다도 20,450kW 규모의 조류발전 프로젝트가 진행 중에 있음
- 아시아 국가에서는 국내 울돌목 시험조류발전소가 1,000kW의 설치용량을 확보하고 있으며, 최근 중국이 4,800kW 규모의 조류발전 프로젝트를 진행 중임(OES, 2015)



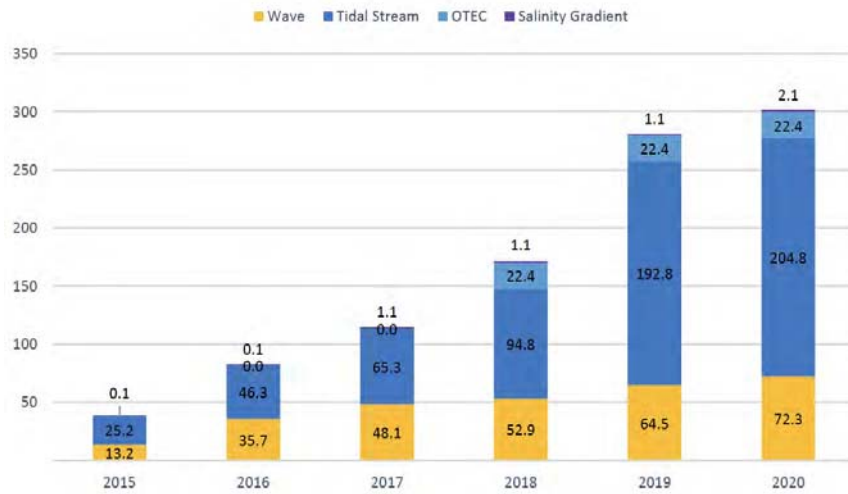
[그림 2-4] 국가별 조류발전 설치용량 및 조류발전 프로젝트 현황

- 2015년 기준, 전 세계 조류발전 설치용량은 8MW로 실증단지 운용을 통한 상용화 단계(TRL 9)에는 이르지 못하고, 세계적으로 기술수준은 단일기 설치 및 운용의 준 상용화 단계(TRL 8)에 해당됨
- 다음 [그림 2-5]는 국가별 설치 및 계획 된 해양에너지 설치용량임(Seenergy and EY, 2016)



[그림 2-5] 국가별 설치 및 계획 된 해양에너지 설치용량

- Ocean Energy Europe(2015) 개발 로드맵에 따르면 유럽의 2020년 해양에너지 누적 용량은 302 MW로 추정하고 있으며 조력발전까지 포함하면 약 853 MW의 누적발전량을 보일 것으로 추정함([그림 2-6] 참조)



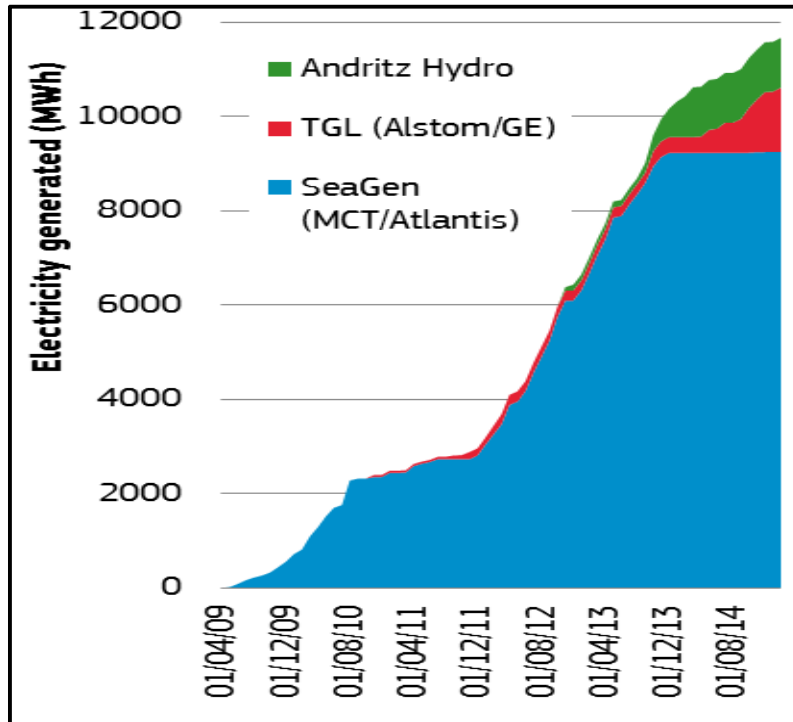
[그림 2-6] 유럽의 연간 해양에너지 누적용량

- 국가별 수력과 해양에너지 목표 설비용량을 살펴보면 다음 [표 2-4]와 같으며, 국가별로 자원특성에 따라 발전기술 목표를 각기 다르게 잡음. 그러나 전체적으로 재생에너지 개발에 집중하고 있음을 확인하였음

[표 2-4] 국가별 수력 및 해양에너지 목표 발전량

Country	Technology	Target
Indonesia	Hydropower	2GW by 2025, including 0.43 GW micro-hydropower
Italy	Hydropower	42,000GWh/year generation from 17.8 GW capacity by 2020
Japan	Ocean power(Wave and tidal)	1.5 GW by 2030
Rep. of Korea	Ocean power	6,159 GWh/year by 2030
	Hydropower(large-scale)	3,860 GWh/year by 2030
	Hydropower(small-scale)	1,926 GWh/year by 2030
Macedonia	Hydropower(small-scale)	216 GWh by 2020
Morocco	Hydropower	2 GW by 2020
Myanmar	Hydropower	9.4 GW by 2030
Philippines	Hydropower	5,398 MW added 2010-2030
	Ocean power	75 MW added 2010-2030
Portugal	Hydropower(small-scale)	400 MW by 2020
	Ocean power(wave)	6 MW by 2020
Spain	Hydropower	13.9 GW by 2020
	Ocean power	100 MW by 2020
Switzerland	Hydropower	43 TWh/year by 2035
Thailand	Hydropower	6.1 GW by 2021
	Ocean power(wave and tidal)	2 MW by 2021
Turkey	Hydropower	34 GW by 2023

- 유럽의 경우 최근 8~10년간 700mil Euro(9,100억원)의 민간투자가 이루어졌으며(SI Ocean, 2016), 그 결과 최근 5년간 약 10GWh의 전력생산량을 얻을 수 있었음



[그림 2-7] 영국에서의 조류발전 누적발전량

- EU는 조류발전 실증단지 프로젝트를 통해 상용화를 추진하고 있으며, 상용화에 근접한 조류발전 터빈으로는 Atlantis(1MW), Andritz(1MW), Siemens(1.2MW), OpenHydro 등이 있으며, 현재 1MW급이 표준화되고 있는 추세임. 이러한 조류발전 터빈은 영국의 EMEC을 비롯하여 프랑스에서 실험역 시험을 수행하였음
- 또한, 영국을 중심으로 미국, 캐나다, 노르웨이, 네덜란드, 호주 등에서 조류발전 상용화를 위한 연구가 활발하게 수행되고 있음. 더불어 조류발전기 제작 외에도 자체 기준 수립, 실험역 시험장 구축, 발전단지 조성 등 조류발전 상용화에 필요한 다양한 프로젝트가 수행되고 있음
- 앞에서 살펴본 바와 같이, 전 세계적으로 조류발전 실증단지 개발이 가속화되고 있으며, 실증단지 개발 계획을 [그림 2-8]에 나타냈었음

- MeyGen 프로젝트의 1단계 사업으로 영국 스코틀랜드의 MeyGen 지역에 1.5MW급 HS1000 MK1(Andritz Hydro Hammerfest) 발전기 3기와 1.5MW급 AR1500(Atlantis Resources) 1기가 설치됨.
- 6MW급 실증단지가 2015년에 시작되어 2017년부터 운영 중에 있으며, 스코틀랜드 Sound of Islay(10MW), 스코틀랜드 Kyle Rhea(10MW), 프랑스 자르 블라카드(5.6MW) 등의 실증단지 건설이 예정되어 있음

Project Name	Location	Capacity	Funding Awarded	Funding Body	Expected Operation Date	Status and Updates
Sound of Islay	Islay, Scotland, UK	10 MW	20.65 m EUR	NER 300/EU	31/10/2016	Project put forward by ScottishPower Renewables and to employ Andritz Hydro and Alstom turbines.
Kyle Rhea	Isle of Skye, Scotland, UK	8 MW	16.77 m EUR	NER 300/EU	31/12/2016	The EU has approved up-front funding for this project of 10 m EUR.
MeyGen	Pentland Firth Inner Sound, Scotland	6 MW	10 m GBP	MEAD/UK	Jan–Jun 2016	The project has reached financial close for the development of phase 1A (6 of 86MW). Construction was expected to begin in the fourth quarter of 2014. DECC and The Crown Estate are among the financing sources.
Skerries Array	Anglesey, Wales, UK	10 MW	10 m GBP	MEAD/UK	Jan–Jun 2016	Project halted following delays to expected operation date.
Nephtyd	France	5.6 MW	Undisclosed	ALSTOM / GDF SUEZ / ADEME	31/12/2017	ADEME has awarded Alstom/GDF Suez and OpenHydro/DCNS/EDF funds for the creation of pilot tidal projects in France. The total sum provided by ADEME is 103 m EUR, and the total costs over 20 years are expected to be 210 m EUR.
Normandie Hydro	France	14 MW	Undisclosed	OpenHydro / DCNS/ EDF/ ADEME	31/12/2018	ADEME has awarded Alstom/GDF Suez and OpenHydro/DCNS/EDF funds for the creation of pilot tidal projects in France. The total sum provided by ADEME is 103 m EUR, and the total costs over 20 years are expected to be 210 m EUR.

Sources: Commission Decision C(2014) 383 2014; France Energies Marines 2014; ADEME 2014; Tethys 2014b; Tethys 2014c

- * NER 300/EU : Funding Programme, financed from the New Entrants' Reserve of Eu emissions trading scheme
- * MEAD/UK : Marine Energy Array Demonstrator/UK

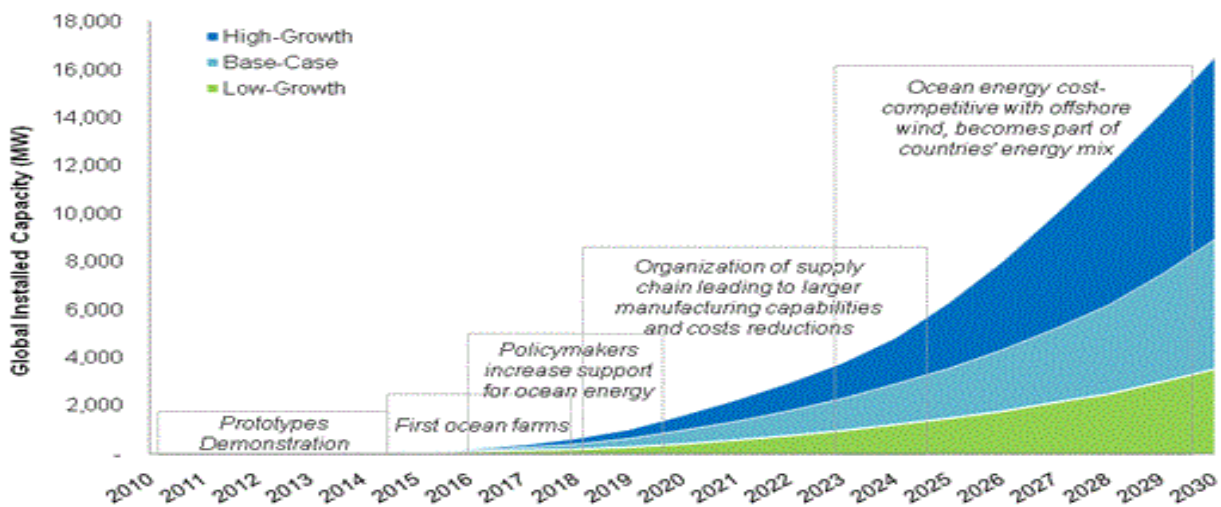
[그림 2-8] 실증단지 개발 및 운용계획(JRC, 2014)

○ [표 2-5]는 국가별 조류발전 개발 동향을 정리한 표로, 캐나다와 영국 등 조류발전 선진국에서 조류발전단지 건설에 적극적인 것으로 나타났음

[표 2-5] 국가별 조류발전 개발동향

프로젝트 시행사	기간	사업 위치		용량 (MW)	비고
Cape Sharp Tidal Venture	'16 ~	캐나다	FORCE Nova Scotia	2	Operational and grid connected
Black Tidal Power	'17 ~	캐나다	FORCE Nova Scotia	-	Planned deployment in 2017 - 5MW total
Minas Tidal Limited Partnership	'17 ~	캐나다	FORCE Nova Scotia	-	Planned deployment in late 2017 -4 MW total
Atlantis Operations Canada	'18 ~	캐나다	FORCE Nova Scotia	-	Planned deployment in 2018 - 4,5 MW total
DP Marine Energy	'18 ~	캐나다	FORCE Nova Scotia	-	Planned deployment in 2018 - 4,5 MW total
Pampol-Bréchat		프랑스	Paimpol Bréchat	2	16m OpenHydro technology, 2 turbines, installed
Andritz Hydro Hammerfest		영국	MeyGen, Scotland	4X1.5	Fixed horizontal axis turbine
큐슈전력 컨소시엄	'16 ~	일본	나가사키현	2	
LHD Tidal Current Energy Demonstration Project	'16 ~ '20	중국			3.4MW (7 turbines)

○ IHS EER(2010)의 시나리오에 의하면, 전 세계 해양에너지는 2020년까지 1GW를 넘을 것으로 예상하며 2030년 까지 약 10GW에 도달할 것으로 예상함([그림 2-9] 참조)



[그림 2-9] 해양에너지 설비용량 전망(Pike Research)

- 현재 초기투자비(CAPEX; Capital Expenditure) reference는 kW당 10,668Euro(약 14백만원, 1MW당 약 140억원)정도이며, 균등화 발전단가(LCOE; Levelised Cost of Electricity)는 평균 정도의 입지조건에서 0.54~0.71Euro/kWh이며, LCOE reference는 0.62Euro/kWh (1kWh 당 약 800원) 정도임. 즉, 경제성이 낮은 단계로 다양한 Incentive 정책적 지원이 있음
 - 최근 10년간 유럽의 해양에너지 산업체는 개념 정립부터 설치까지 약 1bn Euro(1조 3,000억원)을 투자하였음(Ocean Energy Forum, 2015)
 - 설치용량이 100MW가 되는 시점에 LCOE reference는 현재의 1/2 수준으로 낮아질 것으로 예측하고 있음(Atlantis Resource, 2014)


- 지난 20년간 국내 투자액은 2천억원이며(조류는 약 500억원), 유럽의 최근 10년간 민간 투자액의 1/5 수준임. 상기 계획된 설치용량(139MW)을 감안하면 앞으로도 주요국가에서 1조원 이상의 투자계획이 있는 것으로 판단됨

- 2005~2015년간 전 세계 재생에너지 투자 추세를 살펴보면 대체로 정부와 기업 연구 개발은 증가하는 추세이며 관련 시장도 성장하는 것을 확인할 수 있음. 또한 전체 투자량과 거래량도 매년 꾸준히 증가하는 것으로 나타남(REN21, 2016)([그림 2-10] 참조)

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Billion USD											
NEW INVESTMENT BY STAGE											
Technology Research											
Government R&D	1.9	2.0	2.2	2.7	2.8	5.3	4.7	4.6	4.5	4.9	5.1
Corporate R&D	3.2	2.9	3.1	3.5	4.0	4.1	4.2	5.1	5.0	6.6	6.6
Development / Commercialisation											
Venture capital	0.6	1.2	2.1	3.2	1.6	2.5	2.5	2.4	0.8	1.0	1.3
Manufacturing											
Private equity expansion capital	1.0	3.1	3.6	6.7	2.9	5.4	2.4	1.6	1.4	1.6	2.1
Public markets	3.6	9.3	21.4	10.9	12.9	11.2	10.0	3.8	10.1	16.2	12.8
Projects											
Asset finance	52.6	84.5	109.8	135.8	120.2	152.9	181.4	163.3	158.0	188.4	199.0
(re-invested equity)	0.1	0.7	3.2	3.6	1.9	4.4	3.4	2.8	1.9	3.7	5.8
Small distributed capacity	10.2	9.4	14.1	22.3	33.5	62.6	75.7	79.3	53.9	60.4	67.4
Total New Investment	72.8	112.0	154.0	182.2	178.7	239.2	278.5	257.3	234.0	273.0	285.9
Merger & Acquisition Transactions											
	26.2	35.9	58.7	59.4	64.2	58.5	73.5	67.6	67.1	87.3	93.9
Total Transactions	99.1	147.9	212.7	241.6	242.9	297.6	352.0	324.9	301.1	360.4	379.8

[그림 2-10] 국제적 재생에너지 투자 추세

- 2016년에서 2020년에 예정된 영국, 프랑스, 캐나다에서의 실증단지는 기술수준을 상용화 단계인 TRL 9로 끌어올릴 것으로 예상되며 이 기간 중 조류발전의 시장이 본격적으로 열릴 것으로 예상됨(Seenergy & EY, 2016)
 - 국내 기술 수준이 세계보다 낮은 점을 감안하면 좀 더 과감하고 집중적인 투자가 필요한 시점이며, 또한 민간 투자를 활성화하는 정책적 지원이 필요함
- 조류발전터빈 개발현황 및 발전단지 조성계획은 아래 [그림 2-11]과 같음



	Atlantis	Andritz	OpenHydro	Siemens	Alstom	Voith
Nameplate capacity of current device (MW)	1MW	1MW	Unknown	1.2MW	1MW	1MW
Latest deployment	EMEC, 2012	EMEC, 2011 - present	France, Paimpol Brehat	Strangford Lough, 2008 - present	EMEC, 2013	EMEC, 2013
Performance history	Grid connected 1MW turbine (2011)	550MWh generation from 1MW turbine	4,000 hours from 250kW turbine	8,700MWh from twin rotor 1.2MW turbine	130MWh from 1MW turbine and 250MWh from 500kW prototype	Not reported
Capacity of future device	1.5MW	1.5MW	Not reported	2MW	Not reported	Not reported
Projects planned	MeyGen, Gujarat (India), Zhejiang (China)	MeyGen, Sound of Islay (Scottish Power), Ness of Duncansby (Scottish Power)	Torr Head (Bord Gais), Admiralty Inlet (SnoPUD), Paimpol Brehat (EDF), Brims (SSE)	Kyle Rhea, Anglesey Skerries, Brough Ness	Sound of Islay (Scottish Power)	Raz Blanchard (GDF Suez)

[그림 2-11] 국외 조류발전터빈 개발 현황 및 발전단지 조성계획

- 또한, 조류발전터빈 1차 시제품 및 2차 시제품 확장 현황은 다음 [그림 2-12]와 같음

Developer	1st Prototype	Year	2nd Prototype	Year
MCT/Siemens	300 kW	2003	2x 600 kW ^a	2008
Alstom/TGL	500 kW	2011	1200 kW	2013
Hammerfest/Andritz Hydro	300 kW	2009	1100 kW	2013
Open Hydro/DCNS	200 kW	2008	2200 kW	2012
Voith Hydro	110 kW	2012	1000 kW	2013

^a The MCT Seagen device was first deployed with only 1 rotor and then with 2 rotors.

[그림 2-12] 1차 시제품 및 2차 시제품 확장 예시(JRC, 2014)

- 유럽의 경우 조류발전 상용시스템 개발은 대형 발전사 혹은 중공업사가 주도
 - 오스트리아 AndritzHydro사는 노르웨이 Hammerfest Strom사를 합병하며, 조류발전 사업에 진출
 - 독일 Siemens사는 2012년 영국의 Marine Current Turbine(MCT)사를 합병하며, 조류발전 사업에 진출. 이후 Atlantis Resource사는 Siemens사로부터 MCT Ltd.을 인수함
 - 프랑스 Alstom사는 영국의 Tidal Generation 사를 합병하며, 조류발전사업에 진출; 이후 미국 GE사가 Alstom사를 합병함
 - 상기 3개사의 시스템은 모두 실해역 운용으로 1GWh 이상의 누적발전량을 생산하여 준상용화 단계(TRL 8)를 달성하였음

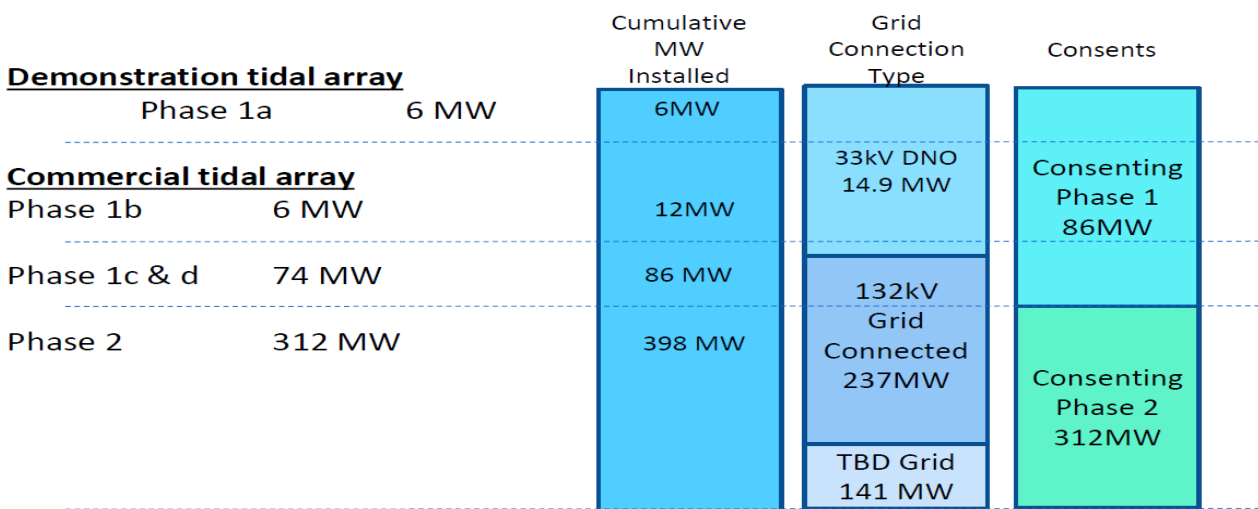


[그림 2-13] 해외 주요 조류발전 터빈 개발 현황

- 상기 대표적인 발전사들이 1차 시제품(1st prototype) 개발 및 실증 후, 2차 시제품(2nd prototype)으로 확장 설계 제작하고 수년간 운용하여 준상용화 시스템을 확보하였으며, 대부분 능동제어 기술을 활용하고 있음

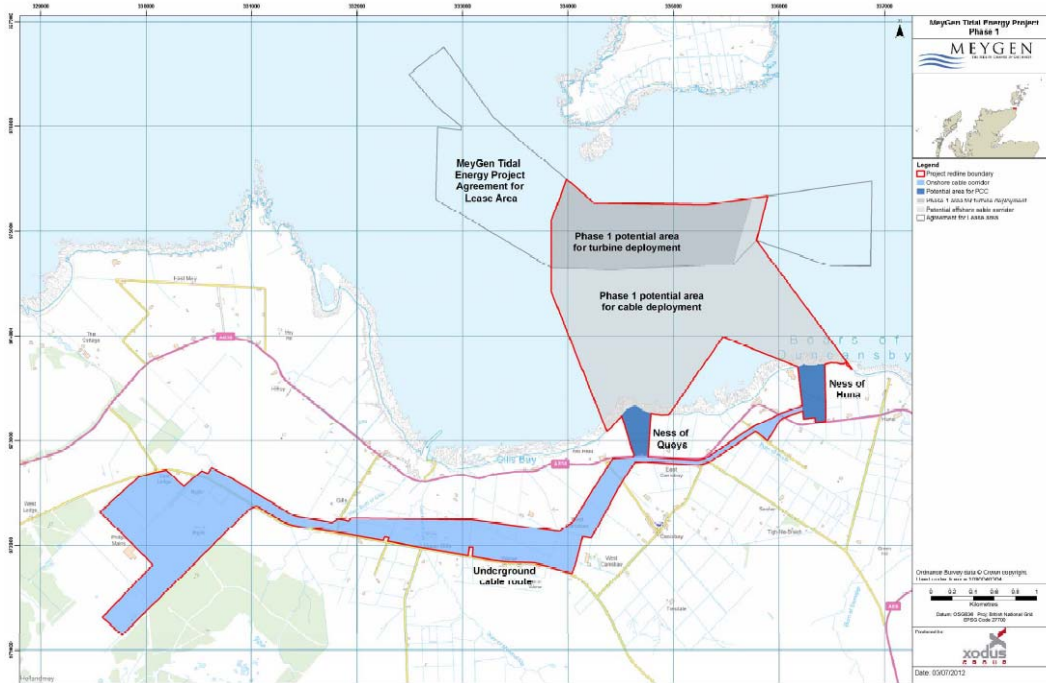
(1) 영국

- 영국은 약 17,818km의 긴 해안선과 큰 조차의 해양환경 특성을 보이고 있으며 총 전력수요량의 20%를 충당할 수 있는 풍부한 해양에너지 자원을 보유하고 있음. 특히 해상풍력, 파력 및 조류발전 산업이 크게 형성되어 있으며, MEYGEN과 SEAGEN과 같은 실증단지 성격의 대형프로젝트가 진행 중에 있음
 - MeyGen(398MW) 1A단계(6MW급) 프로젝트를 준공하였으며, Nova Innovation Shetland에 100kW급 터빈 2기를 설치하였음
 - Fairhead Tidal(10MW), Scotrenewables Lashy Sound(10MW) 프로젝트 등이 계획 중에 있음
- 영국의 조류발전 실해역 시험장으로는 세계 최고 시설과 경험을 갖춘 EMEC가 있으며 설비 시험장으로는 ORE Catapult(구 NaREC)가 구축되어 있음. 이처럼 영국은 해양에너지 개발에 필요한 인증 및 인프라를 구축하여 전 세계 해양에너지산업의 성장에 중추적인 역할을 수행하고 있음
- 2010년 영국 정부는 스코틀랜드 북쪽해안과 Stroma 섬 사이에 위치한 Pentland Firth (펜틀랜드 해협)에 총 398MW급의 조류발전단지를 조성하는 MeyGen 프로젝트를 추진함
 - MeyGen 프로젝트는 세계 최대 규모의 조류발전 프로젝트로서, 총 2단계인 Phase 1(86MW급)과 Phase 2(321MW)로 계획되었으며, 현재 Phase 1a가 진행 중에 있음 ([그림 2-14] 참조)



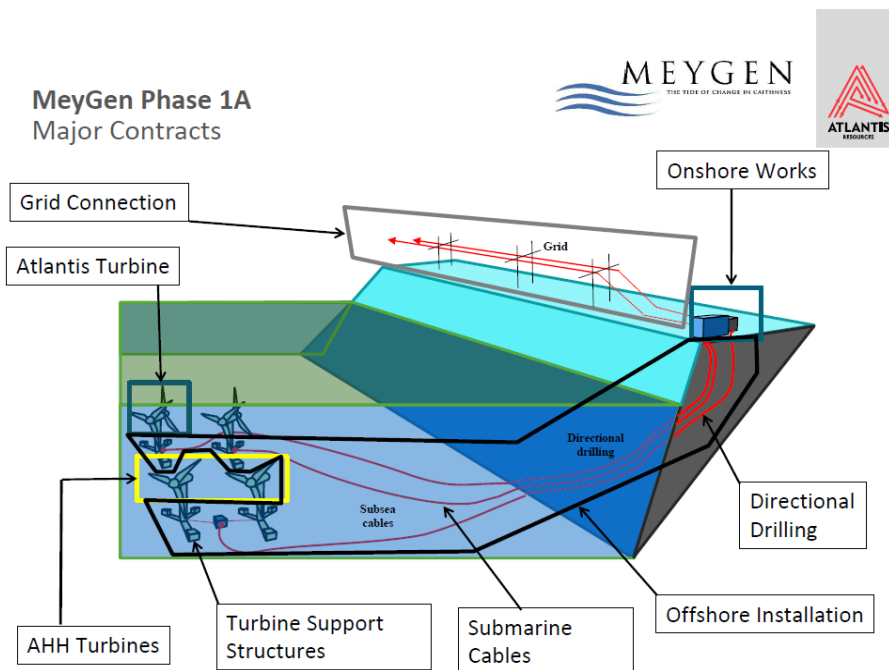
[그림 2-14] MeyGen Project 전체 계획

○ 다음 [그림 2-15]는 MeyGen Project Phase 1 위치도임



[그림 2-15] MeyGen Project Phase 1 위치

○ MeyGen Phase 1의 시스템 구성은 다음 [그림 2-16]과 같음



[그림 2-16] MeyGen Project Phase 1 전체 구성도

- MeyGen 프로젝트에 사용되는 조류발전 터빈으로는 Atlantis AR 1500 1.5MW 터빈 1기와 Andritz Hydro Hammerfest 1.5MW HS1000 Mk1 터빈 3기이며 다음 [그림 2-17]과 같으며, [표 2-6]은 두 터빈을 비교한 것임



[그림 2-17] MeyGen Phase 1에 사용되는 조류발전터빈

[표 2-6] AR1500과 HS1000 모델 비교

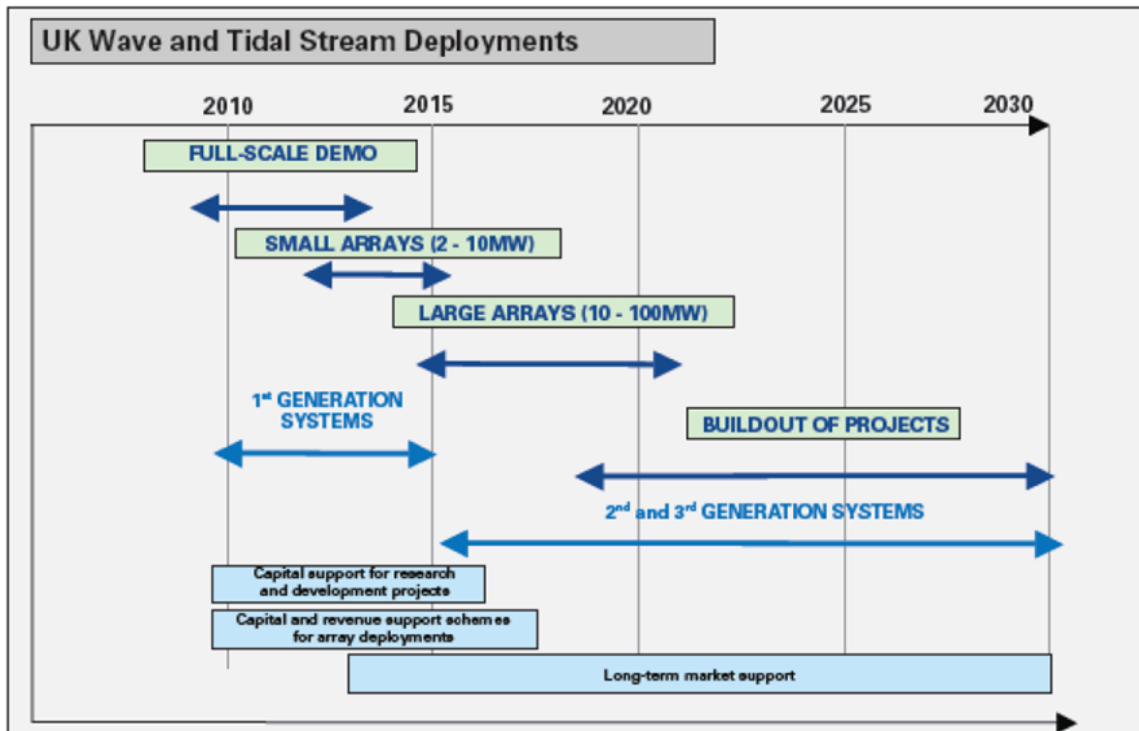
Area	Atlantis-AR1500	Andritz-HS1000 MK1
Rotor Diameter	18m	18m
Rated Power	1.5MW	1.5MW
Inspection period (MTBO)	6.25 years	5 years
Blade Material	Carbon Fibre	Carbon Steel
Cut Out Velocity	5m/s	4.5m/s
Pitch System	Collective Hydraulic	Independent, Electrical
Gearbox	2 Stage	3 Stage
Generator	Permanent Magnet	Induction Machine
Yaw Mechanism	Electrical	Electrical
Connection Offered	Wetmate	Drymate
Turbine Controller (and Converter)	Onshore	Onshore

○ MeyGen 프로젝트의 현재까지 추진 일정은 다음 [표 2-7]과 같음

[표 2-7] MeyGen 프로젝트 추진 일정

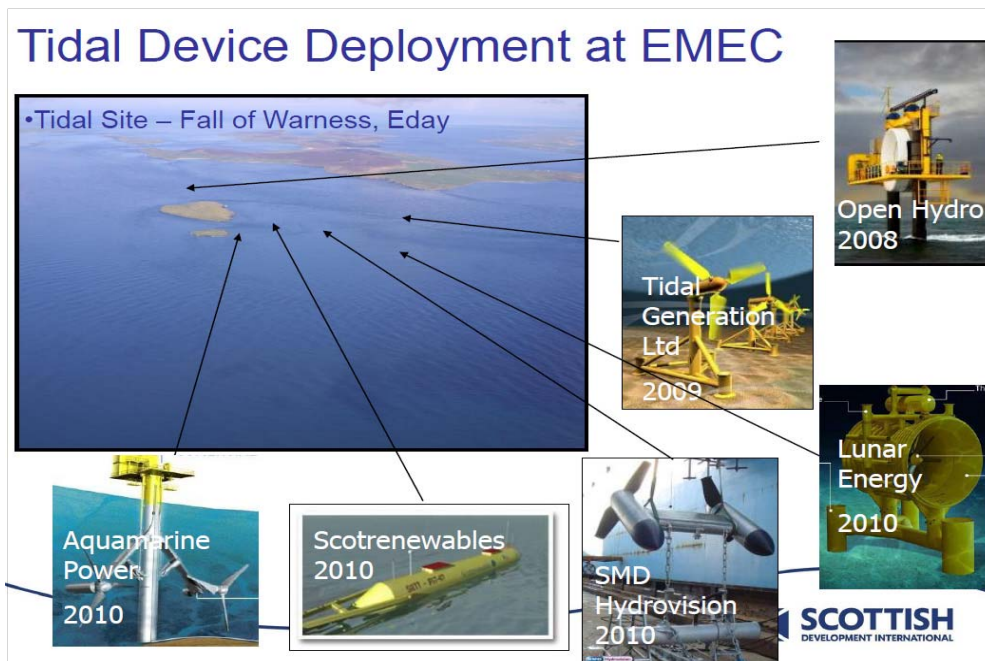
날짜	주요내용	비고
2010. 10	MeyGen Ltd.는 영국 정부로부터 2020년까지 총 398MW의 조류발전 단지 조성을 승인 받음	
2014. 9	6MW MeyGen Phase1A에 대한 투자금 51.3 million pound(한화 약 744억원) 조성 완료	환율 1£ =1,450원
2015. 6	2km의 4개 HDD(Horizontally Directionally Drilled) Drilling 작업 완료	
2015. 9	11.5km 해저케이블 설치 완료	
2015. 10	환경 모니터링 장비 설치 완료	
2016. 4	SSE(Scottish and Southern Energy) 계통연계 작업 착수	
2017. 8	3개의 Andritz-HS1000설치 완료하였으며, 2017년 8월 2대의 터빈에서 700MW이상의 전력을 생산한 것으로 알려짐. 한편, Atlantis turbine은 문제가 있어 9월 이후 설치 예정	
2017. 12	조류발전기 4기가 운영 중에 있음	

○ 한편, [그림 2-18]은 영국의 해양에너지 개발 로드맵임



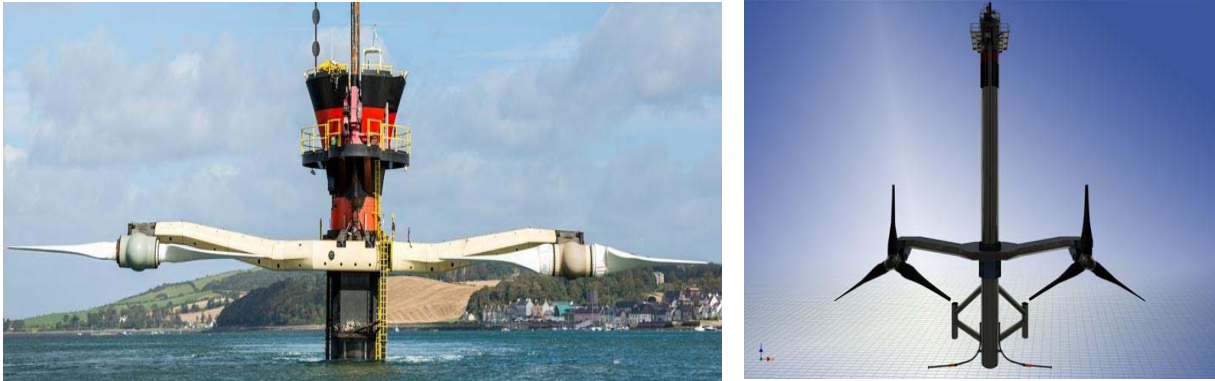
[그림 2-18] 영국 해양에너지 로드맵, 2010-2030

- 스코틀랜드의 Orkney Island에 위치한 EMEC는 2003년에 설립되어 해양에너지 실증 및 컨설팅, 시험평가 업무를 수행하고 있음. EMEC는 사업화 계획 및 비용 분석, 실증센터 개발 및 설계 지원(케이블, 계통연계시스템, berth, 자원평가), QHSE 관리지침에 의한 시험장 운영 및 유지보수, 자료 수집 및 환경모니터링 등을 지원하고 있음
- 또한, 스코틀랜드 Orkney Eday 섬의 Fall of Warness 조류발전 실증시험장(8개 berth로 구성)과 Scapa flow에 모형실험장을 보유하고 있으며([그림 2-19] 참조) 최근에는 Stronsay Firth에 추가 조류발전 시험장을 구축 중에 있음(EMEC, 2017)



[그림 2-19] EMEC의 조류발전 TEST 장치

- 영국의 대표적인 상업용 조류발전기 개발사로는 MCT가 있으며 2003년 세계 최초로 300kW급 Seaflow를 개발하였고, 최근에는 2MW급 SeaGen-S system을 개발하였음. SeaGen-S는 모노파일에 직경 16~20m에 해당하는 두 개의 승강식 터빈이 장착되어 최대 38m의 수심에서 운영이 가능하도록 설계됨. 또한 1.2MW급 SeaGen이 2008년 북아일랜드 Strangford Lough에 설치되어 약 3년간 실험 시험을 수행하여 성능검사를 완료함. 현재는 독일의 대표 발전사인 Siemens사에서 이를 인수하여 상용화기술 개발 중에 있음([그림 2-20] 참조)



[그림 2-20] MCT사의 SeaGen-S 모델

- OpenHydro사는 2MW급의 Open Centre Turbine을 개발하여 현재 캐나다 FORCE에 설치되어있으며, 영국 및 일본에서 실증단지 성격의 대형 프로젝트를 수행 중에 있음 ([그림 2-21] 참조)



[그림 2-21] OpenHydro사의 Open Centre Turbine

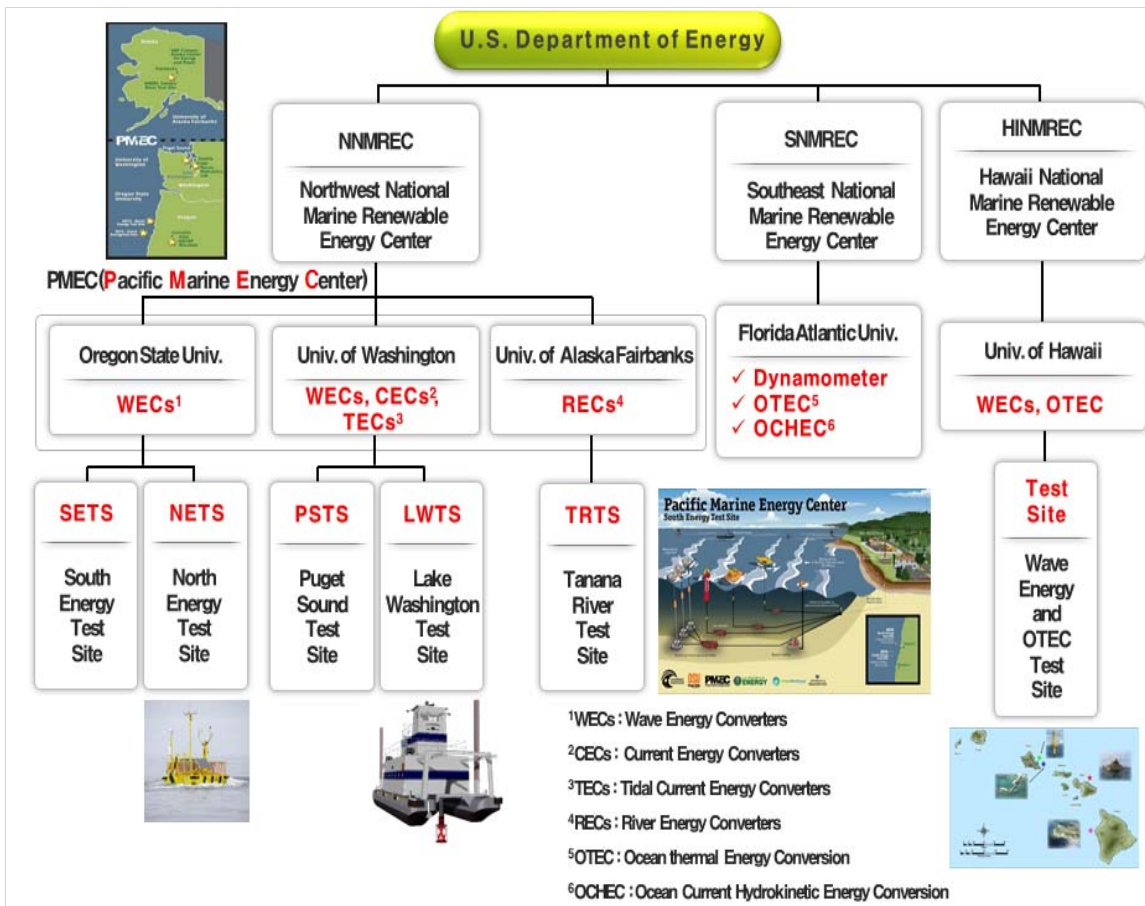
- Lunar Energy사는 1 MW급 양방향 수평축 조류발전 시스템으로 대칭의 벤츄리덕트 (venturi duct)를 사용하고 있는 LTT(Lunar Tidal Turbine)을 개발하였으며, 최근에는 2.4MW급 LTT를 개발하고 있음([그림 2-22] 참조)



[그림 2-22] Lunar Energy사의 LTT 조류발전시스템

(2) 미국

- 미국은 해양에너지 개발을 목표로 다양한 연구가 진행 중에 있으며, 국가적 사업인 WWP(Water Power Program)를 통해 해양에너지 자원조사, 효율성 제고, 성능 실험, 환경영향평가 등을 수행하고 있음
 - 2016 회계연도에 해양 수력(Marine and Hydrokinetic)에너지 RD&D에 US\$44.3 mil. (약 487억원)을 지원
- 또한, 인프라 테스트와 장비 개발을 Water Power Program의 주요 사업 중 하나로 인식하고 해양에너지 개발에 적극적인 지원을 하고 있으며, NNMREC(Northwest National Marine Renewable Energy Center), SNMREC(Southeast National Marine Renewable Energy Center)와 HINMREC(Hawii National Marine Renewable Energy Center)을 구축하여 해양에너지 시험장을 운영 중에 있음([그림 2-23] 참조)



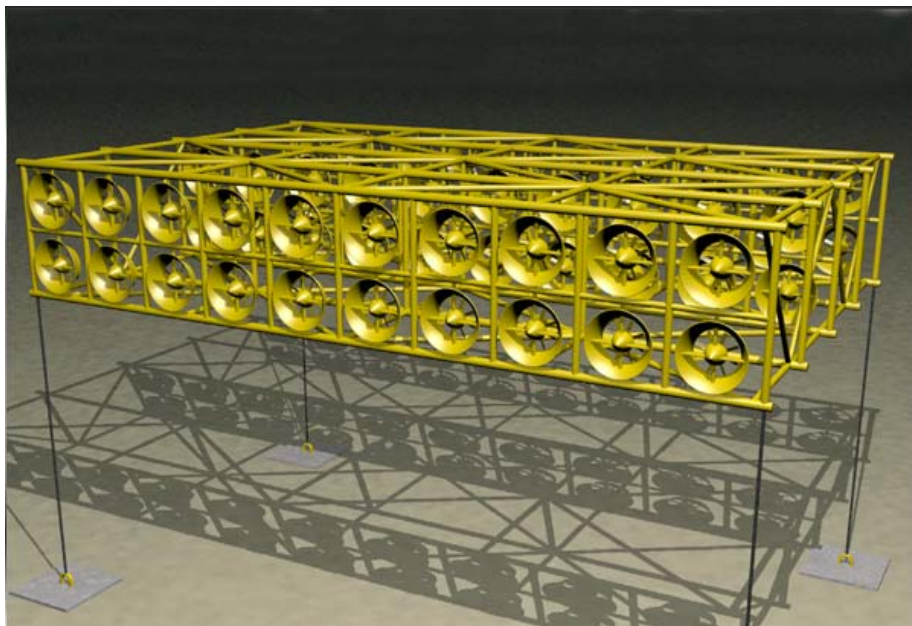
[그림 2-23] 미국 해양에너지 실증시험장 조직도

- Oregon 주립대학교에 위치한 NNMREC는 총 5곳(south energy test site, north energy test site, puget sound test site, lake washington test site, tanana river test site)의 PMEC(Pacific Marine Energy Center) 시험장을 운영하고 있음. 이중 조류발전 시스템 시험장으로는 Puget sound와 Lake Washington 시험장이 있으며, 두 곳 모두 해상에서 선박 견인을 통해 조류발전 터빈의 성능 검사를 수행 중에 있음(NNMREC, 2017)
- 한편, 미국에서는 다양한 형상의 조류발전 터빈이 제작되고 있음. ORPC(Ocean Renewable Power Company)는 60kW급의 TidGen Power System을 2012년 개발하였으며 Cobscook 만에서 성능시험을 수행하였음([그림 2-24] 참조)



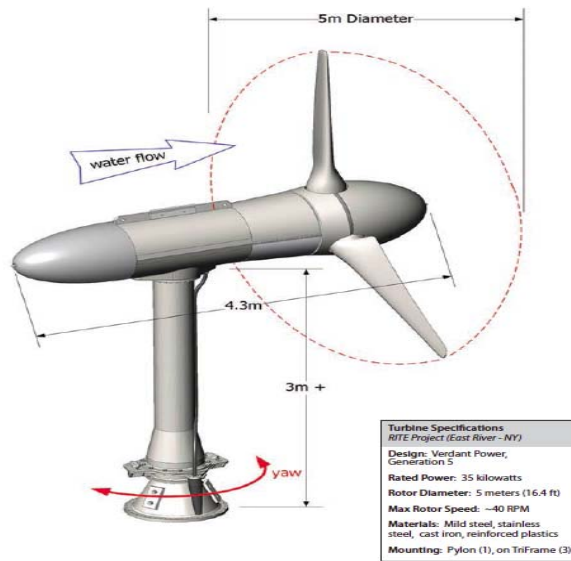
[그림 2-24] TidGen Power System

- Offshore Island사는 600kW급 터빈을 다중 배열로 결합하여 대규모 발전이 가능한 current catcher 플랫폼을 개발하여 현재 상용화를 준비 중에 있음([그림 2-25] 참조)



[그림 2-25] Current catcher platform

- 또한, Verdant Power사에서는 KHPS 4세대 수평축 터빈모델을 RITE(Roosevelt Island Tidal Energy) project에서 2006~2009년까지 실증시험을 수행하였으며, 최근에는 35kW급 5세대 모델을 개발하고 있음. 이 모델은 요잉(yawing) 시스템을 결합하여 흐름방향 변화에 대처할 수 있는 특징을 가지고 있음([그림 2-26] 참조)



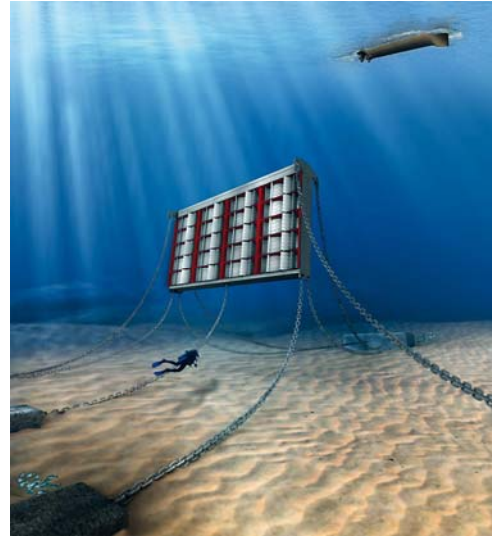
[그림 2-26] KHPS Gen5 모델

(3) 독일

- 독일 정부에서는 국가적 에너지 소비비용을 감소시키기 위해 재생에너지 자원 활용 계획을 2011년 수립하고, 화석연료의 보호, 기후변화 대응 및 재생에너지 기술력 증진을 촉구하고 있음. 총 160만 유로의 국가 지원을 받아 국가에너지연구프로젝트를 구성하였으며, 전체 에너지원 중 재생에너지 비중을 2020년에 35%, 2030년에 50%, 2040년에 65% 그리고 2050년까지 80%까지 늘릴 계획을 수립하였음(OES, 2013)
- Voith Siemens Hydro power generation사는 1MW급의 HyTide를 개발하여 2013년 성능 시험을 마쳤으며 SCHOTTEL group사는 70kW급의 소용량 SIT 터빈을 제작함. 또한 REAC Energy GmbH사는 6kW급 소형터빈을 20개의 다중배열 형태로 120kW급 Streamcube를 개발하였음([그림 2-27] 참조)



< SIT Model >

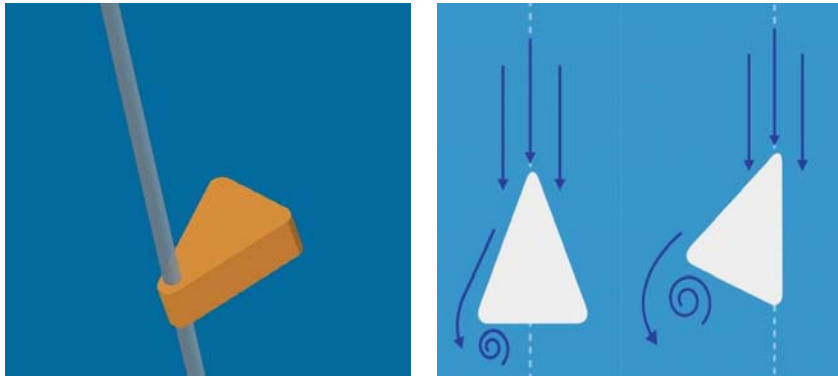


< Streamcube >

[그림 2-27] SIT 모델과 Streamcube 모델

(4) 캐나다

- 캐나다는 해양에너지 기술로드맵을 수립하여 조류 및 파력발전 설치용량을 2020년까지 250MW, 2030년까지 2GW로 점진적으로 늘리는 계획을 수립함
- 또한, Nova Scotia의 Fundy 만에 위치한 조류발전 실증시험 연구센터인 FORCE를 2009년에 설립하여 관측 장비, 해저케이블, 계통연계 및 환경 모니터링 시스템을 구축하고 있으며, 세계 조류발전 컨설팅을 수행하며 EMEC과 함께 세계 조류발전 시장의 중추적인 역할을 담당하고 있음
- 한편, 캐나다 조류발전터빈 제작사인 Incurrent Turbines사는 기존 조류발전 터빈형식과 달리, 조류흐름과정에서 생성되는 난류를 이용한 Vortex power drive 모델을 개발하였음. 발전용량은 3kW에 불과하지만 점유공간이 작아 다수의 발전기가 설치된다면 대용량의 발전이 가능한 장점이 있음([그림 2-28] 참조)



[그림 2-28] Vortex power drive 모델

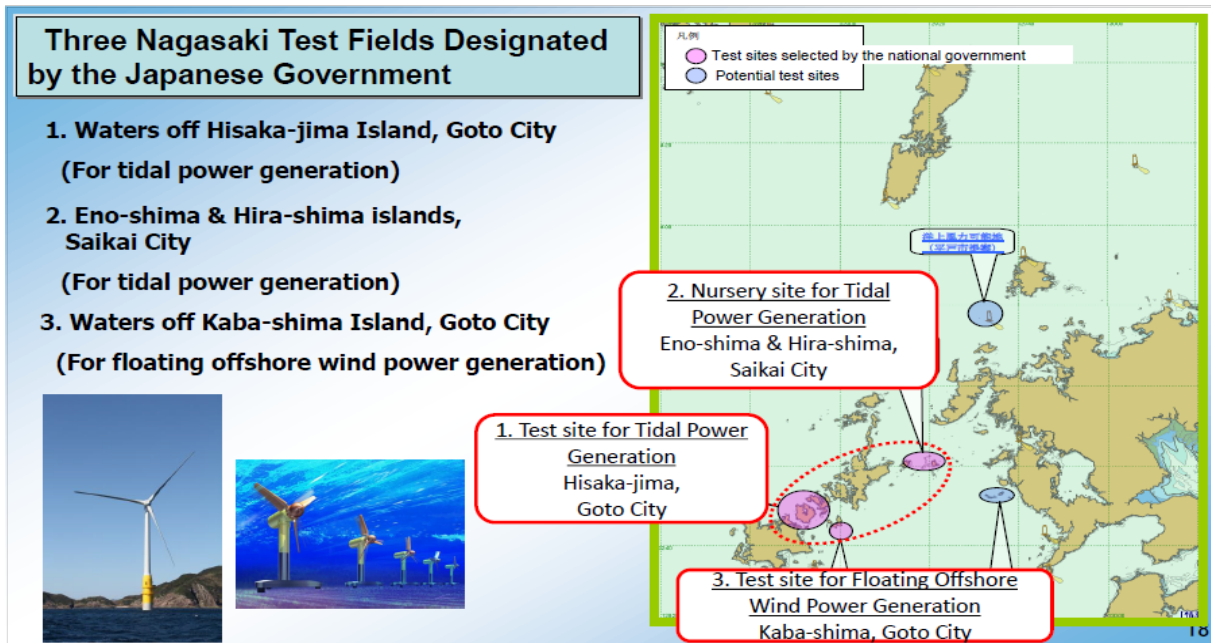
- 또한, Water Wall Turbine사는 선박에 고정되어 운영되는 시스템으로 총 2MW급 WWT 터빈을 개발하였음([그림 2-29] 참조)



[그림 2-29] Water Wall Turbine 플랫폼

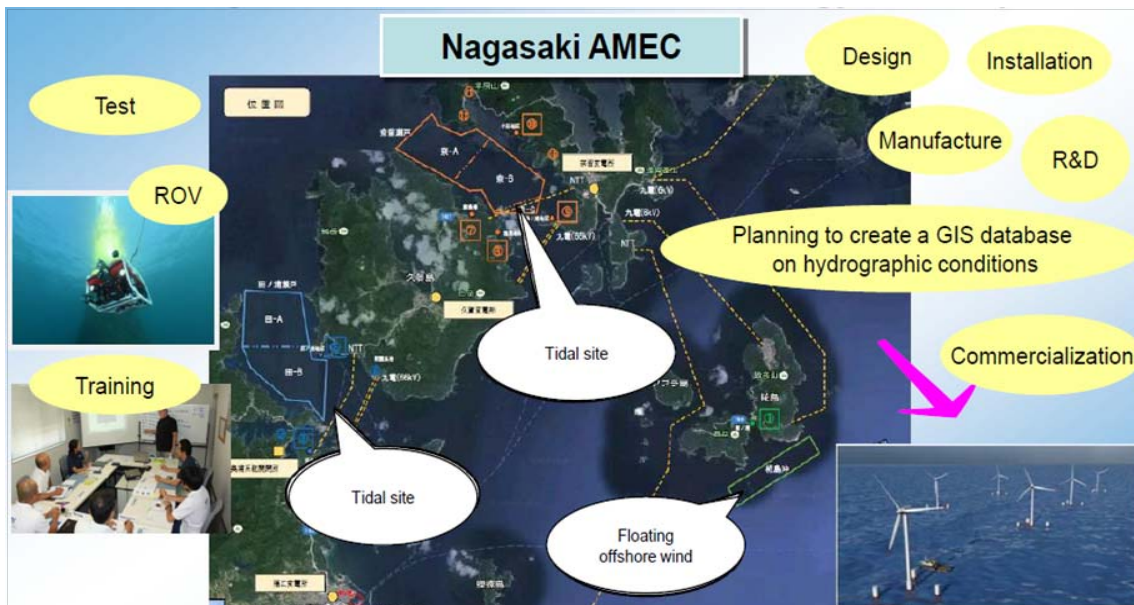
(5) 일본

- 일본은 2011년 후쿠시마 원전사고 후 FY2030 에너지 정책(에너지안보, 전력생산비용 감축, 이산화탄소 배출저감)을 수립하며 에너지 자립도를 2013년 6.1%에서 2030년 약 24.3%까지 높이고자 노력하고 있음(METI, 2015)
- 2012년부터 실험역 실증시험장 조성 계획을 수립하고 효율성 및 적지 선정 등 관련 연구를 수행 중에 있으며 Nagasaki 현은 EMEC의 선진기술 컨설팅과 MOU 체결 등 기술력 확보에 노력하며 아시아 최초로 해양에너지 및 해상풍력 실증시험단지 조성 계획을 수립함(Ko, 2016)



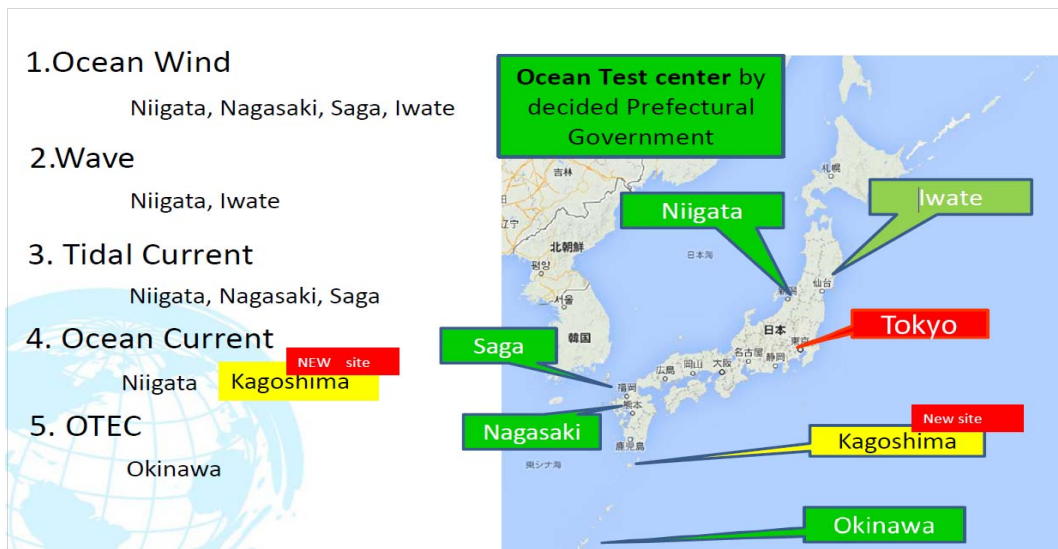
[그림 2-30] 일본 해양에너지 실증시험장 구축 계획

- 나가사키 해양산업 클러스터 추진협의회(NaMICPA, Nagasaki Marine Industry Cluster Promotion Association)와 나가사키 지방정부에서는 현재 Nagasaki AMEC(Asia Marine Energy Center)을 설립할 계획을 수립([그림 2-31]참조)



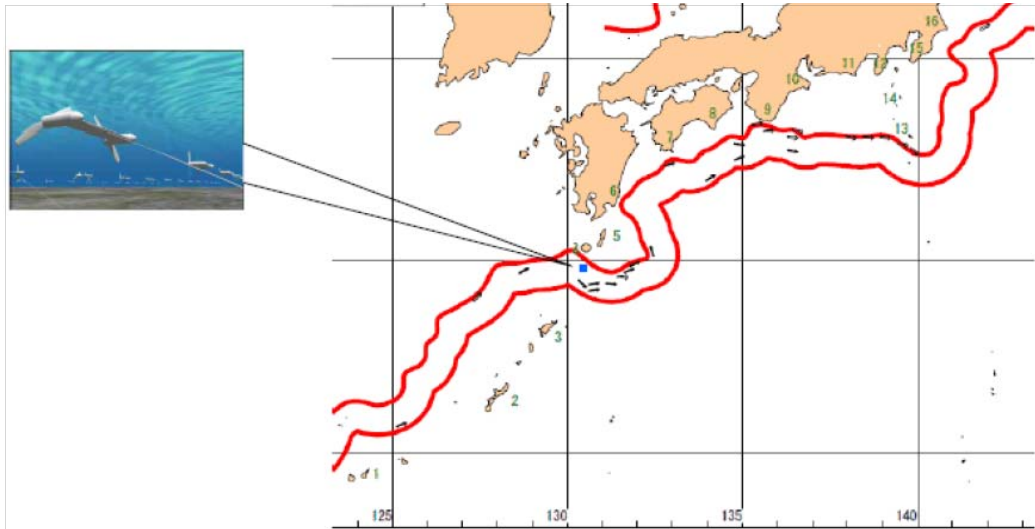
[그림 2-31] 나가사키 현의 해양에너지 클러스터 추진계획

- 또한, [그림 2-32]에서 보는 바와 같이 2014년 7월에는 11개 해양에너지 실증시험장 후보지에서 6개의 실증후보지를 선정함(Ikegami, 2017)
 - Awashima uramura area(Niigata 현)
 - Kabeshima area(saga 현)
 - Kumejima area(Okinawa 현)
 - Kabashima area, Hisakajima area, Ejima-Hirashima area(Nagasaki현)



[그림 2-32] 일본 정부의 해양에너지 개발 계획

- 2015년 4월에는 파력과 해상풍력발전 실증시험장으로 Iwate 현의 Kamaishi 지역이 새롭게 선정되었으며, 2017년 7월에는 Kagoshima 현이 해류발전 실증시험장으로 선정되었음
 - 2017년 8월에는 일본의 중공업사인 IHI와 신에너지·산업 기술 종합 개발 기구(NEDO)에 의해 100kW급 해류발전 실증시험이 착수 되었음
- 한편, 일본의 해류발전 부존량은 약 205GW로 평가받고 있으며, 유속 1~2m/s의 쿠로시오 해류는 일방향성과 지속성의 장점이 있어 설비이용률이 높고, 이에 따라 높은 에너지 취득이 가능한 장점이 있음. 현재 일본에서는 [그림 2-33]과 같이 쿠로시오 해류에 100개의 부유식 발전기로 구성 된 해류발전단지 건설을 추진 중에 있음
 - 일본의 해류발전 발전단가 목표는 대규모 단지 시, kWh당 20엔, 소규모 단지 시 kWh당 40엔임



[그림 2-33] 일본 쿠로시오 해류 내의 해류발전기 설치 계획

- 일본은 다수의 해상풍력 실증단지를 운영 중에 있지만 해양에너지 개발은 초창기 수준에 불과함. 그러나 일본의 해양에너지 부존량이 6TWh/y로 추정되고 있는 만큼 정책적 지원 하에 해양에너지 개발은 급속도로 성장할 것으로 예상됨(NEDO, 2010)

(6) 중국

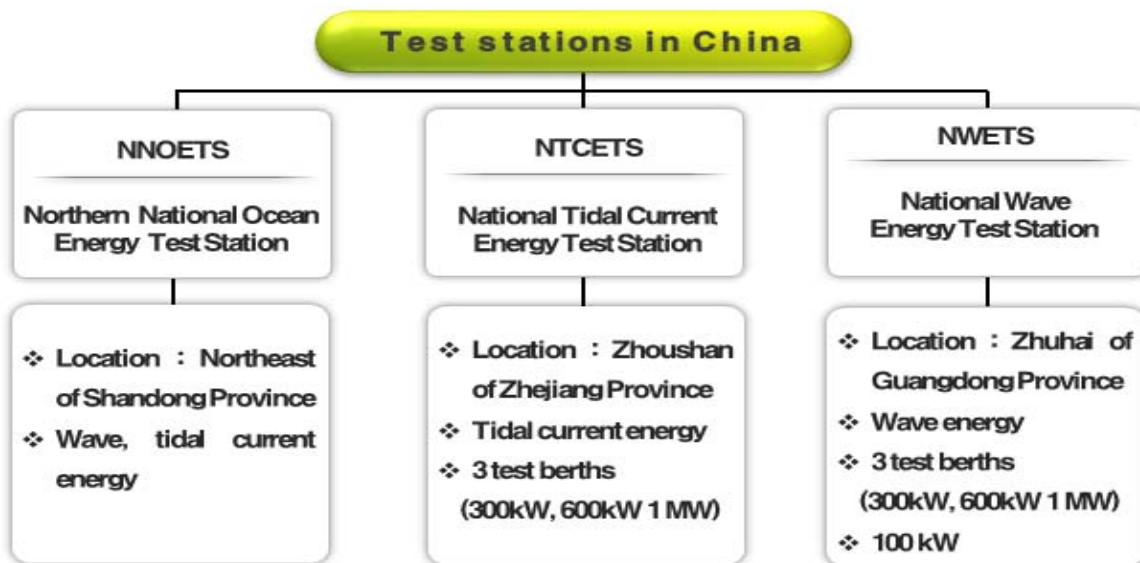
- 중국은 동중국해를 끼고 긴 해안선을 이루고 있어 해양에너지 개발에 유리한 지리적 요건을 갖고 있음. 이론적 해양에너지 부존량은 1,669.39GW에 달하며 이 중 조류발전은 8.32GW로 추정됨
- 최근에는 경제성장과 함께 신·재생에너지 개발에도 집중 투자하고 있으며, 해상풍력 분야는 세계 수준에 도달함. 한편, 2017년 1월 해양에너지 개발 5년 계획을 발표하며 2020년까지 3조 630억원의 투자 계획을 세움
- 중국의 해양에너지 시험장은 현재 Northern National Ocean Energy Test Station(NNOETS), National Tidal Current Energy Test Station(NTCETS)과 National Wave Energy Test Station(NWETS)이 있음

- 중국에서 운영 중인 프로젝트는 LHD Tidal Current Energy Demonstration Project(3,400kW, 7 turbines), Zhairuoshan Tidal Energy Power Demonstration Station(470kW, 3 turbines)가 있음
- 이 외에도 NNU turbine(15kW)이 Zhaitang 섬에서 실험을 수행하고 있음



[그림 2-34] 중국 해양에너지 시험장 설치위치

- Shandong의 북쪽에 위치한 NNOETS는 파력발전과 조류발전시스템의 실험을 위한 시험장으로 최대 유속은 1.2m/s로 나타남([그림 2-35] 참조). 이 시험장은 최대 시설용량이 1MW로 조류발전장치의 성능시험, 효율 평가, 환경영향평가, 동력 전달 등을 시험 및 평가하도록 설계되었음(Zhang, et. al., 2014)



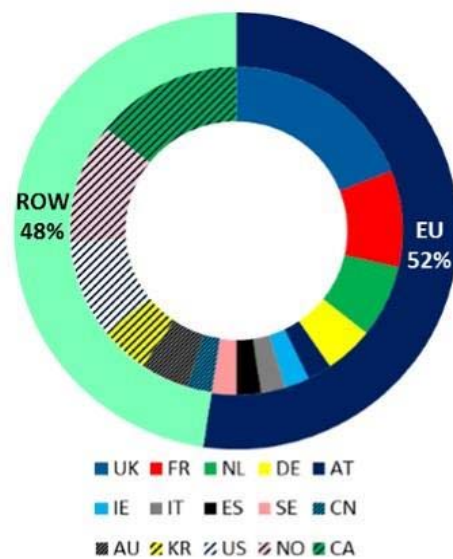
[그림 2-35] 중국 해양에너지 시험장 현황

2.1.3 조류발전 관련 기업동향 분석

- 전 세계적으로 많은 회사들이 고효율의 조류발전시스템을 개발 중에 있으며 이 중 약 52%가 EU 회원국가임
 - 유럽 내에서는 영국이 가장 많은 개발사를 보유하고 있으며 그 뒤로 네덜란드와 프랑스가 뒤를 잇고 있음
 - 그 외 조류발전시스템 개발 국가는 미국과 캐나다로서, 이 분야에 많은 투자와 기업참여가 이뤄지고 있음

- 조류 자원은 주로 영국과 프랑스, 아일랜드에 풍부하게 분포되어 있으며, 조류에너지 개발 붐은 유럽 전역에서 일어나고 있음
 - 능동제어형 조류발전기 개발 업체는 독일 및 스웨덴을 포함한 유럽 전체 국가에 포진하고 있으며 유럽 주요 국가들의 기업 인수합병을 통한 사업 내 입지 확장이 증가하는 추세임

- 주요 기업은 조류발전 원천기술, 상용화 기술 개발 뿐만 아니라 관련 공급망, 제조역량에 투자하고 있음([그림 2-36] 참조)
 - Atlantis社は 스코틀랜드에 세계 최초로 대규모 조류발전단지인 MeyGen 프로젝트를 진행하고 있으며 약 40개의 현지 회사가 참여 중에 있음

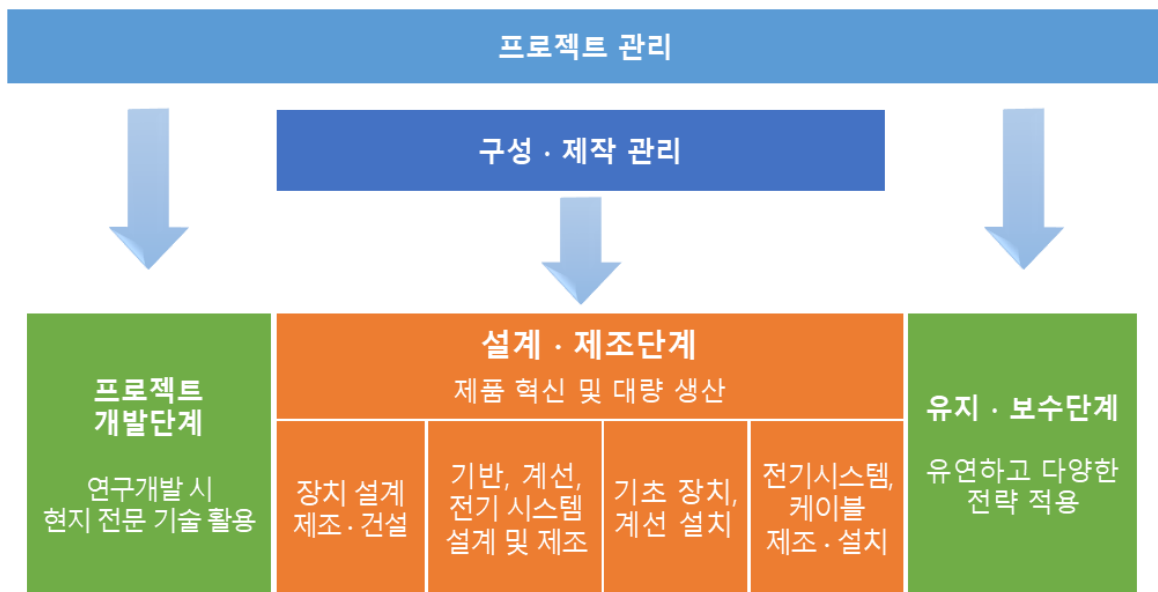


*출처: World energy resources marine energy(WEC, 2016)

[그림 2-36] 조류발전 세계시장 점유 현황

2.1.4 조류발전 밸류체인 분석

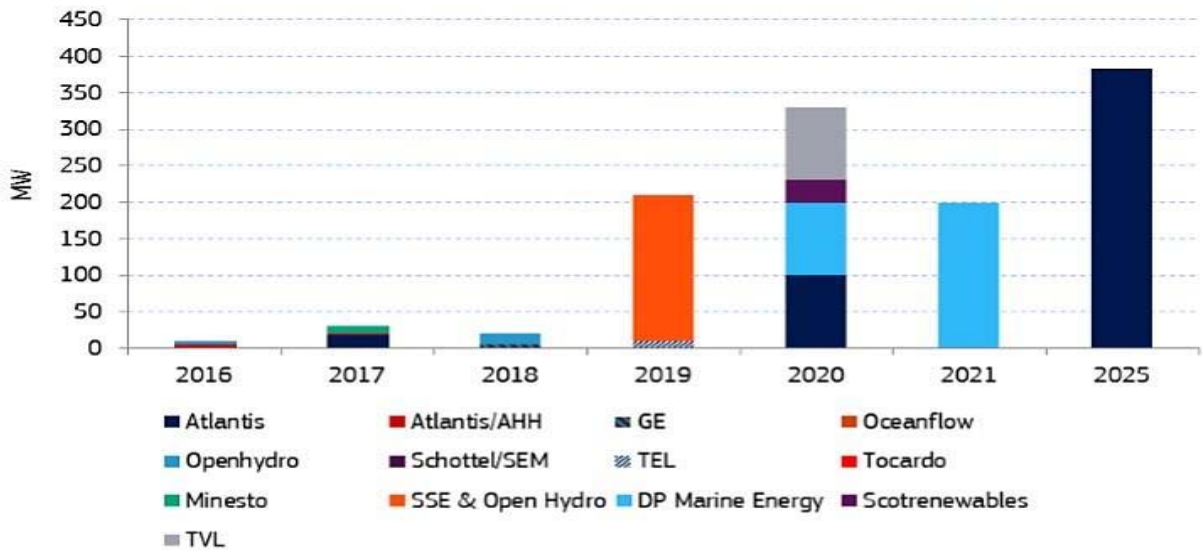
- 조류발전 단지의 효율을 높이기 위해서는 다양한 서비스를 제공하는 지원 회사와 공급망 전문 인프라 구축이 필요함
- 프랑스의 해양에너지 전문 기업 BVGA는 해양에너지 공급망에 중요한 하위 구성 요소를 다음과 같이 구분함([그림 2-37] 참조)
 - ① 해양에너지 발전장치 및 하위 시스템 개발자
 - ② 파력/조력 설계, 개발, 소유권 및 자산 관리
 - ③ 기초 및 계류 시스템
 - ④ 발전시스템 최적배치 및 해저케이블
 - ⑤ 변전소 전기 시스템
 - ⑥ 배후항만시설
 - ⑦ 발전시스템 기초 및 설치
 - ⑧ 해저 케이블 설치
 - ⑨ 설치, 회수 등을 지원하는 전문 선박
 - ⑩ 시험 시설 개발을 지원하기 위한 전문 컨설팅 및 R&D 서비스



[그림 2-37] 조류발전기업 밸류체인

2.1.5 조류발전 투자 동향

- 조류발전은 기술성숙도 및 경제성 등에 대한 불확실성으로 인해 기업 투자가 더디며, 이로 인해 시장형성에도 많은 어려움이 있음
- 유럽의 조류발전은 전체 용량 1.1GW의 23개 프로젝트로 구성되어 있으며, 대다수가 계획 단계(16개 프로젝트)에 있음([그림 2-38] 참조)



*출처: JRC Ocean Energy Status Report(JRC, 2016)

[그림 2-38] 유럽 주요기업의 조류발전 투자 동향

2.1.6 기술 표준화 동향

- 현재 해양에너지 관련 국제기준을 개발하고 있는 IEC TC114에서 발간한 기준서는 다음과 같음
 - 상기 기술 매뉴얼 중 조류발전과 관련된 부분은 Part 1, 2, 10, 200, 201이며 현재 국내 KS 제정을 위해 관련 연구가 진행 중에 있음
 - IEC TS 62600Marine energy - Wave, tidal and other water current converters
 - Part 1: Terminology(2011)
 - Part 2: Design requirements for marine energy systems(2016)

- Part 10: Assessment of mooring system for marine energy converters(MECs) (2015)
 - Part 100: Electricity producing wave energy converters - Power performance assessment(2012)
 - Part 101: Wave energy resource assessment and characterization(2015)
 - Part 102: Wave energy converter power performance assessment at a second location using measured assessment data(2016)
 - Part 200: Electricity producing tidal energy converters - Power performance assessment(2013)
 - Part 201: Tidal energy resource assessment and characterization(2015)
- IEC TC114에서 발간 작업 중인 기준서는 다음과 같으며, 이중 조류발전과 관련된 부분은 Part 3, 30, 202이며, IEC TC114 활동을 통하여 국내에서 논의되고 있는 내용을 반영할 수 있도록 할 계획임
- Part 3: Measurement of mechanical loads(2020-01)
 - Part 20: General guidance for design and analysis of an Ocean Thermal Energy Conversion(OTEC) plant(2017-06)
 - Part 30: Electrical power quality requirements for wave, tidal and other water current energy converters(2017-06)
 - Part 40: Acoustic characterization of marine energy converters(2017-12)
 - Part 103: Guidelines for the early stage development of wave energy converters: Best practices and recommended procedures for the testing of pre-prototype scale devices (2018-07)
 - Part 202: Scale testing of tidal stream energy systems(2017-12)
 - Part 300: Electricity producing river energy converters - Power performance assessment (2017-07)
 - Part 301: River energy resource assessment(2017-07)
- 국제 전기 표준 62600-Part1의 기술항목은 대양과 해양 재생에너지에 관련 있는 용어를 정의함. 이러한 기술항목의 여러 가지 목적을 위해, 파도, 조류와 다른 조류에너지 변환을 포함시킴. 전통 댐과 조류 댐, 바다풍력, 해양 생물자원, 해양온천, 염분을 에너지로 변환하는 것과 관련한 용어는 이 기술항목의 범위에 포함시키지 않음. 이 기술항목은 해양재생에너지산업에서 조직과 개인 사이의 원활한 교류와 의사소통을 위해 일관된 전문용어를 제공함

- 국제 전기 표준 62600-Part2의 기술항목은 지정된 설계 수명 동안 해양 에너지 변환기(MECs)로 불리는 파도, 조류 및 기타 조류 에너지 변환기의 엔지니어링 무결성을 보장하기 위한 필수 설계 요구 사항을 제공함. 이 기술항목의 목적은 구조적 요소, 기초, 계류, 앵커, 말뚝 및 전체적 하중을 견디는 부력 장치로 구성된 전체 시스템으로 정의 되는 기본 구조의 고장으로 이어질 수 있는 모든 위험으로부터의 손상에 대해 적절한 수준의 보호를 제공하는 것임
- 국제 전기 표준 62600-Part10의 기술 항목은 부유식 해양 에너지 변환기에 대한 기술 요구 사항과 관련하여 계류 시스템의 설계, 설치 및 유지보수에 대한 규칙 및 경가 절차를 정의하며, 목적은 위험도 평가를 위한 통일된 방법을 제공하는데 있음. 또한, 안전 및 해양 환경 요구 사항 이외에도 본 기술 사양은 MEC에 대한 계류 시스템의 강도 요구사항에 중점을 둠
- 국제 전기 표준 62600-200의 기술 항목은 발전소 규모로 현지화 된 전력망을 위해 전력을 생산하는 조류 에너지 변환기(tidal current energy converter, TEC)의 전력 성능을 평가하기 위한 체계적 방법론, TEC 정격 전력과 정격 유속의 정의, 고려 대상 TEC에 대한 전력 곡선 작성을 위한 방법론, 결과 보고를 위한 기본 frame work를 제공함. 부록에서는 측정에서 불확도의 결정에 대한 요건 및 TEC 연간 에너지 생산 계산에 대해 설명되어있음
- 국제 전기 표준 62600-201의 기술 항목은 조류 에너지 변환 장치(TEC) 설치에 적합한 장소에서 조류 자원의 판단, 측정, 분석에서 일관성과 정확성을 보장할 통일된 방법을 제공하며, 동시에 이 자원이 기술되고 보고 될 수 있는 표준화된 방법을 정의하는 것임. 본 기술 규격서는 대규모 지역에 걸친 정찰 조사로부터 특정 장소에 초점을 맞춘 상세 설계에 이르기까지 자원 평가 순환의 여러 단계에서 적용하기 위한 것이며, 조류 자원 평가 시 수행될 방법의 양상은 분석 범위와 분석 목적에 좌우함

2.2 정책 동향

2.2.1 국내 정책 및 법·제도

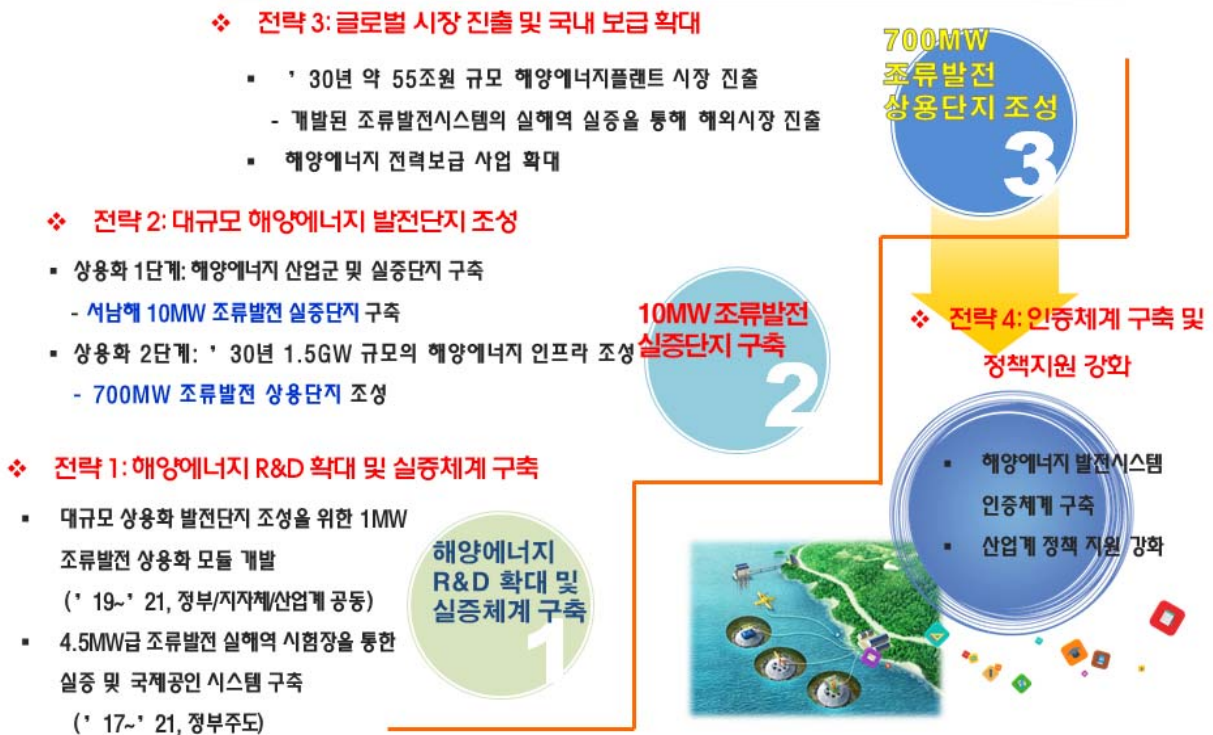
- 조류발전은 많은 기술적 및 환경적 위험을 안고 있어 민간기업의 주도적 산업 형성에 많은 어려움이 따름. 따라서 정부주도하에 정책마련이 시급하며, 인허가 등 복잡한 행정절차의 간소화 등 조류발전 활성화를 위한 관련 법규의 재정비 및 산업시장 형성을 위한 실질적인 정책지원이 시급함
- 최근 전력수급에 대한 국가적 에너지 정책 환경이 안전하고, 깨끗하며, 다양한 에너지원 확보로 변화하고 있음
 - 후쿠시마 원전사고('11.3월), 경주 지진('16.9월), 포항지진('17.11월) 등으로 국내원전 안전에 대한 국민 우려가 증가하고 있어, 안전·환경을 고려한 전력공급에 대한 국민적 관심이 증대되고 있음
 - 또한, 2017년 10월에 발표한, 에너지전환(탈원전) 로드맵에서는 정부 에너지정책 기본방향으로 원전의 단계적 감축, 재생에너지를 2030년 발전량의 20%로 확대할 계획을 수립함
 - 원전의 단계적 감축
 - 재생에너지 확대: 현재 7%인 재생에너지 발전량 비중을 '30년 20%로 확대
 - 지역·산업 보완대책
- 산업통상자원부(2017)에서는 2030년까지 전력생산비율 20%를 재생에너지로 대체하는 『3020 신재생에너지 개발계획』을 발표함([표 2-8] 참조)
 - 탈원전 정책을 시작으로 친환경에너지 정책을 확대하고, 안전하고 효율적인 에너지 개발 및 이용에 정책적 방향을 제시하고 있음
 - 2017년 현재 20GW 규모의 신재생에너지 시설을 2030년까지 인프라는 약 76GW 규모로 확대 조성 목표
 - 향후 약 56GW 규모의 신재생에너지 인프라 추가 조성 필요

[표 2-8] 현 정부의 신재생에너지 공급 목표

구분	년도	2018	2020	2022	2026	2030
	총발전량(GWh)		555,280	588,352	609,822	637,953
신재생에너지 발전량(GWh)		34,866	45,991	58,759	89,738	132,955
신재생에너지 시설규모(GW)		20	26	34	51	76
비중(%)		6.3%	7.8%	9.6%	14.1%	20.0%

- 해양수산부(2015)는 “2025년 해양에너지 강국 도약”을 목표로 해양에너지 중장기 개발계획(‘15~’25)을 수립하고, 세부 추진과제인 해양에너지 상용화를 위한 비즈니스 R&D 및 실증체계 구축/해양에너지 인증체계 구축 등 국가 에너지 확보 목표를 제시함
- 해양에너지 보급 확산 및 글로벌 경쟁력 확보란 비전을 제시
- 2025년까지 신재생에너지 중 1.6%를 해양에너지로 공급할 목표를 수립하며, 세계수준 대비 95%의 기술력 확보 및 글로벌 강소기업 육성을 목표로 함

2030 해양에너지 개발계획 세부추진전략(해양수산부, ‘17.12)



[그림 2-39] 2030해양에너지 개발 계획 세부추진전략

- 해양수산부(2017)에서는 『2030 해양에너지개발계획』에 대한 세부추진전략을 수립하였음([그림 2-39] 참조)
 - 전략 1: 해양에너지 R&D 확대 및 실증체계 구축
 - 해양에너지 조기 상용화와 해외시장 진출 중심의 핵심기술 개발 R&D를 적극 추진하고, 산업화 촉진을 위한 실증체계 구축
 - 전략 2: 대규모 해양에너지 발전단지 조성
 - 2030년까지 ‘해양에너지 발전 인프라’를 1.5GW 규모로 확대하고, 15조원 규모의 국내외 시장 창출 도모, 50만 가구에 대한 전력 공급
 - 전략 3: 글로벌 시장 진출 및 국내 보급 확대
 - 약 15조원 규모의 해양에너지 플랜트 글로벌 시장을 창출하고, 50만가구에 대한 해양에너지 전력 상시 공급 체계 구축
 - 전략 4: 해양에너지 인증체계 구축 및 정책지원강화
 - 해양에너지 인증체계를 구축하고, 효율적인 지원 확대를 위해 다양한 제도 개선 및 “해양에너지 상용화 지원 추진단” 구성·운영

- 국내에서는 재생에너지 보급 확대를 위해 규제 완화, 투자유도, 의무할당제 등 다양한 법률 및 정책이 1988년부터 시행되어 왔으며 2000년대에 들어 더욱 현실화되어 발전함
 - 해양수산발전 기본법(2017): 해양 및 해양자원의 합리적인 관리·보전 및 개발·이용과 해양산업의 육성을 위한 정부의 기본정책 및 방향을 정함으로써 국가경제의 발전과 국민복지의 향상에 이바지함을 목적으로 함
 - 신에너지 및 재생에너지 개발·이용 보급촉진법(2017): 재생에너지의 기술개발 및 이용·보급 촉진과 신에너지 및 재생에너지 산업의 활성화를 통하여 에너지를 다양화하고, 에너지의 안정적인 공급, 에너지 구조의 환경친화적 전환 및 온실가스 배출의 감소를 추진함으로써 환경의 보전, 국가경제의 건전하고 지속적인 발전 및 국민복지의 증진에 이바지함을 목적
 - 공공기관, 기업체 등의 자발적인 신·재생에너지 기술개발 및 이용·보급을 장려하고 보호·육성
 - 산업통상자원부장관은 신·재생에너지의 이용·보급을 촉진하고 신·재생에너지산업의 활성화를 위하여 필요하다고 인정하면 발전량의 일정량 이상을 의무적으로 신·재생에너지를 이용하여 공급하게 할 수 있음

- 신·재생에너지 이용 건축물에 대한 인증에 대한 항목을 마련
 - 본 법 시행령에 의거 신·재생에너지원별 가중치를 부여함(조류발전의 경우, 2.0)
 - **에너지법(2016):** 본 법률의 목적은 안정적이고 효율적이며 환경친화적인 에너지 수급(需給) 구조를 실현하기 위한 에너지정책 및 에너지 관련 계획의 수립·시행에 관한 기본적인 사항을 정함으로써 국민경제의 지속가능한 발전과 국민의 복리(福利)향상에 이바지하는 것임
 - **저탄소 녹색성장 기본법(2017):** 경제와 환경의 조화로운 발전을 위하여 저탄소(低炭素) 녹색성장에 필요한 기반을 조성하고 녹색기술과 녹색산업을 새로운 성장동력으로 활용함으로써 국민경제의 발전을 도모하며 저탄소 사회 구현을 통하여 국민의 삶의 질을 높이고 국제사회에서 책임을 다하는 성숙한 선진 일류국가로 도약하는데 이바지함을 목적으로 함
 - 에너지정책 등의 기본 원칙(제39조)의 3항에서 친환경에너지인 신·재생에너지의 개발·생산·이용 및 보급을 확대하고 에너지 공급원을 다변화 원칙 명시
 - **발전소주변지역 지원에 관한 법률(2015):** 발전소의 주변지역에 대한 지원사업을 효율적으로 추진하고 전력사업에 대한 국민의 이해를 증진하여 전원(電源) 개발을 촉진하고 발전소의 원활한 운영을 도모하며 지역발전에 기여함을 목적
 - **에너지이용 합리화법(2017년 12월 시행 예정):** 에너지의 수급(需給)을 안정시키고 에너지의 합리적이고 효율적인 이용을 증진하며 에너지소비로 인한 환경피해를 줄임으로써 국민경제의 건전한 발전 및 국민복지의 증진과 지구온난화의 최소화에 이바지함을 목적으로 함
- 재생에너지 개발 관련 국내에서 시행되고 있는 제도는 아래와 같음
- **신재생에너지 공급의무화 제도(2012):** RPS(Renewable energy portfolio standard) 제도는 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법에 근거하여 500MW 이상의 시설을 보유한 발전 사업자에게 총 발전량에서 일정비율을 신재생에너지로 공급하도록 의무화하는 제도로서 재생에너지 보급의 확대를 기대할 수 있음
 - 신재생에너지 시장 촉진을 위해 2012년부터 기존의 발전차액지원제도를 공급의무화 제도로 전환하였으며, 신재생에너지 공급인증서제도를 시행하고 있음([표 2-9 참조])

[표 2-9] 국내 공급인증서 가중치

구분	공급인증서 가중치	대상에너지 및 기준	
		설치유형	세부기준
태양광에너지	1.2	일반부지에 설치하는 경우	100kw미만
	1.0		100kW부터
	0.7		3,000kW초과부터
	1.5	건축물 등 기존 시설물을 이용하는 경우	3,000kW이하
	1.0		3,000kW초과부터
	1.5	유지 등의 수면에 부유하여 설치하는 경우	
	1.0	자가용 발전설비를 통해 전력을 거래하는 경우	
	5.0	ESS설비(태양광설비 연계)	‘16년, ‘17년
기타 신·재생에너지	0.25	IGCC, 부생가스	
	0.5	폐기물, 매립지가스	
	1.0	수력, 육상풍력, 바이오에너지, RDF 전소발전, 폐기물 가스화 발전, 조력(방조제 有), 자가용 발전설비를 통해 전력을 거래하는 경우	
	1.5	목질계 바이오매스 전소발전, 해상풍력(연계거리 5km이하), 수열	
	2.0	연료전지, 조류	
	2.0	해상풍력(연계거리 5km초과), 지열, 조력(방조제 無)	고정형
	1.0~2.5		변동형
	5.5	ESS설비(풍력설비 연계)	‘15년
	5.0		‘16년
	4.5		‘17년

- 2010 ‘신재생에너지 공급의무화제도 관리 및 운영 지침’을 통해 결정하였으며, RPS 대상 발전사업자는 다음 [표 2-10]과 같으며 공급의무비율은 [표 2-11]과 같음

[표 2-10] 총 발전설비용량 500MW이상을 보유한 발전사업자 현황(18개 업체)

구분	공급의무자명
한전발전자회사(6개사)	한국수력원자력, 남동발전, 중부발전, 서부발전, 남부발전, 동서발전
공공기관(2개사)	지역난방공사, 수자원공사
민간 발전사업자(10개사)	포스코에너지, SK E&S, GS EPS, GS파워, CGN울촌전력 평택에너지서비스, 대륜발전, 에스파워, 포천파워, 동두천드림파워

[표 2-11] 공급의무비율(신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 시행령)

연도	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023 이후
비율 (%)	2.0	2.5	3.0	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0

※ 연도별 총 의무공급량 = 총발전량(전년도 / 신재생 제외) × 의무비율(%)

- 한편, 2017년도 공급의무자의 의무공급량은 다음 [표 2-12]와 같음

[표 2-12] 2017년도 공급의무자의 의무공급량

(단위:MWh)

연도	공급의무자	의무공급량
2017	한국수력원자력	2,915,892
2017	한국남동발전	3,137,560
2017	한국중부발전	1,985,550
2017	한국서부발전	2,241,674
2017	한국남부발전	2,203,025
2017	한국동서발전	2,277,079
2017	한국지역난방공사	258,901
2017	한국수자원공사	28,435
2017	SK E&S	188,601
2017	GS EPS	170,292
2017	GS 파워	87,388
2017	포스코에너지	392,972
2017	CGN울촌전력	256,502
2017	평택에너지서비스	72,166
2017	대륜발전	94,429
2017	에스파워	173,370
2017	포천파워	192,303
2017	동두천드림파워	367,725
합계		17,043,864

- **탄소배출권 거래제(2015):** 세계기후변화에 대응하기 위해 온실가스 배출 권리를 사고 팔 수 있도록 한 탄소배출 거래제가 시행되고 있음. 우리나라의 경우, 2020년 국가 배출전망치 대비 30% 감축을 목표로 2015년 1월부터 탄소배출권거래제를 시행하고 있음

- 문재인 정부의 국정과제 및 국정운영 계획에 해양에너지 개발에 대한 구체적인 방향이 제시되었음
 - 문재인 정부 100대 국정 과제 및 운영 계획
 - **국정목표 2: 더불어 잘사는 경제/전략 4: 과학기술 발전이 선도하는 4차 산업혁명을 통해 친환경 미래 에너지 발굴·육성 계획을 수립함.** 궁극적으로는 재생에너지 발전 비중을 '30년 20%로 대폭 확대하며 에너지 신산업 선도국가 도약 및 저탄소·고효율구조로 전환을 목표로 함. 또한 RPS 의무비율을 '30년 28% 수준(현재 '23년 이후 10%)으로 상향 조정함
 - **국정목표 3: 내 삶을 책임지는 국가/전략 3: 국민 안전과 생명을 지키는 안심사회를 통해 탈원전 정책으로 안전하고 깨끗한 에너지로 전환할 계획을 수립.** 안전하고 깨끗한 에너지로의 에너지패러다임을 전환함
 - 지역공약 이행방안/**전남: 서남해안 해양에너지 복합발전플랜트산업 추진**

- 해양에너지 생산시설의 입지선정과 발전소 건설에 필요한 관계 법령
 - 해양에너지 생산시설은 「연안관리법」에 의한 연안관리지역계획에 반영되어야 함
 - 발전플랜트와 같은 시설물 설치를 위해서는 「공유수면관리법」에 따라 해양수산부 장관의 허가가 필요함

- 조류발전 포함, 해양에너지 개발과 이용을 위한 시책마련과 시행은 해양수산부장관 소관
 - 정부조직법 제43조에서 “해양수산부장관은 해양정책, 수산, 어촌개발 및 수산물 유통, 해운·항만, 해양환경, 해양조사, 해양자원개발, 해양과학기술연구·개발 및 해양안전심판에 관한 사무를 관장한다.”는 원칙을 밝힘
 - 해양수산발전기본법 제16조에서 “해양자원의 관리·보전과 개발·이용을 위하여 필요한 시책을 마련하고, 이를 시행하여야 한다”고 하였으며, 여기서 “해양자원”이란 함은 개발·이용이 가능한 해양생물자원·해양광물자원·해양에너지·해양관광자원 및 해양공간자원 등 국가경제 및 국민생활에 유용한 자원을 말한다고 동법 제3조에 명시
 - 해양수산발전기본법 제28조 2(해양수산분야 신산업 개발의 지원)에서는 “정부는 해양수산분야의 신성장동력 창출 및 관련 산업의 육성을 위하여 필요한 시책을 마련하고 이를 육성하여야 한다.”라고 명시하고 있음

- 해양에너지 생산시설의 입지선정과 발전소 건설에 필요한 관계 법령
 - 해양에너지 생산시설은 「연안관리법」에 의한 연안관리지역계획에 반영되어야 함
 - 발전플랜트와 같은 시설물 설치를 위해서는 「공유수면관리법」에 따라 해양수산부장관의 허가가 필요함

- 2008년 12월 발표된 지식경제부(현 산업통상자원부)의 제3차 신재생에너지기술개발 및 이용·보급기본계획(2009~2030)에서도 국가에너지기본계획과 동일하게 보급목표를 설정함
 - 신·재생에너지는 발전부문을 중심으로 확대되어 2030년 39,517GWh를 발전하여 총 발전량 대비 7.7%를 차지할 것으로 전망함

- 전력거래소에서 발표한 2015년 제7차 전력수급기본계획에서는 소규모 신재생사업자에 대한 계통연계 지원 등을 통해 2029년까지 총 발전량 중 신재생에너지 발전량을 11.7%로 확대할 방침을 발표함

- 또한, 제8차 전력수급기본계획에서는 수급안정을 위해 적정 설비예비율을 확보하는 기본계획을 수립하였음. 특히 설비예비율에 신재생에너지 확대 등 발전원 구성의 변화 양상을 반영할 계획으로 경제성을 확보하면서 안전하고 깨끗한 발전원을 구성할 계획을 세움
 - 친환경 발전원 구성을 뒷받침하는 전력계통 인프라 구축
 - 재생에너지용 송전전압 도입, 소규모 변전소 건설, 재생에너지 계획입지에 대한 변전소 구축 등도 병행

- 한편, 제8차 수급기본계획에 따르면 원자력발전이 '17년 기준 22.5GW에서 '30년까지 20.4GW로 설비용량을 점차적으로 감소할 계획이며, 이에 반해 신재생에너지는 '17년 기준 11.3GW에서 '22년에 23.3GW, '30년에 58.5GW로 늘릴 계획을 세움. 그러나 이 수치는 재생에너지 3020 계획에 따라 태양광 및 풍력이 전체의 88% 수준을 차지하며 신규 혹은 계획된 해양에너지 설비용량은 반영되지 않았음

2.2.2 해외 정책 및 법·제도

- 세계 각국은 각기 다른 에너지자원을 보유하고 있어, 해양에너지 개발 및 정부의 정책, 법·제도가 다양하게 마련되어 있음
- 2015년 195개국이 참여한 파리기후협정은 재생에너지 개발의 당위성을 포함한 저탄소 에너지 정책 변화를 요구함. EU는 파리기후협정의 주도적 역할을 수행하며, EU 각 국가별 에너지 패러다임을 제시

(1) EU

- 1997년 EU의 재생에너지 정책 기조에 관한 공동전략 및 사업계획백서를 작성
 - 2010년까지 EU의 최종에너지소비 중 재생에너지 비율을 12%까지 늘림
- 오랜 시간 동안, EU는 저탄소경제 구현을 목적으로 2050년까지 80~90% 온실가스 배출 저감을 목표로 설정함(Scarlat et al., 2015)
 - EU 멤버 국가들은 2020년 재생에너지 목표와 에너지 인프라 구축을 목표로 하는 NREAPs(National Renewable Energy Action Plans)에 적용되어, 각 회원국들이 각국 실정에 적합하게 법적 구속력을 받음
- EU는 2008년 ‘2020 기후·에너지 패키지(2020 Climate and Energy Package)’를 채택함으로써, 2020년까지 온실가스 배출량 감축, 재생에너지 비중 확대, 에너지효율 개선 등 3개 주축의 ‘20-20-20 목표’를 설정함
 - EU는 역내 에너지동맹(Energy Union) 구축을 위해 기후·에너지정책의 장기적 목표와 방향을 제시해왔으며, 재생에너지 역할 확대는 목표 실현에 있어 핵심 정책분야 중 하나로 고려되어 왔음
- 또한, EU는 ‘2030 기후·에너지정책 프레임워크(2030 Climate and Energy Policy Framework)’를 채택(2014.10월)하여, 향후 2030년 정책 방향을 제시함
 - 동 프레임워크는 2020 기후·에너지 패키지의 연장선상에서 재생에너지부문에 대한

2030년 목표치를 설정하였으나, 2020년의 목표와는 달리 각 회원국에게 법적 구속력 없이 유연하게 적용되고 있음

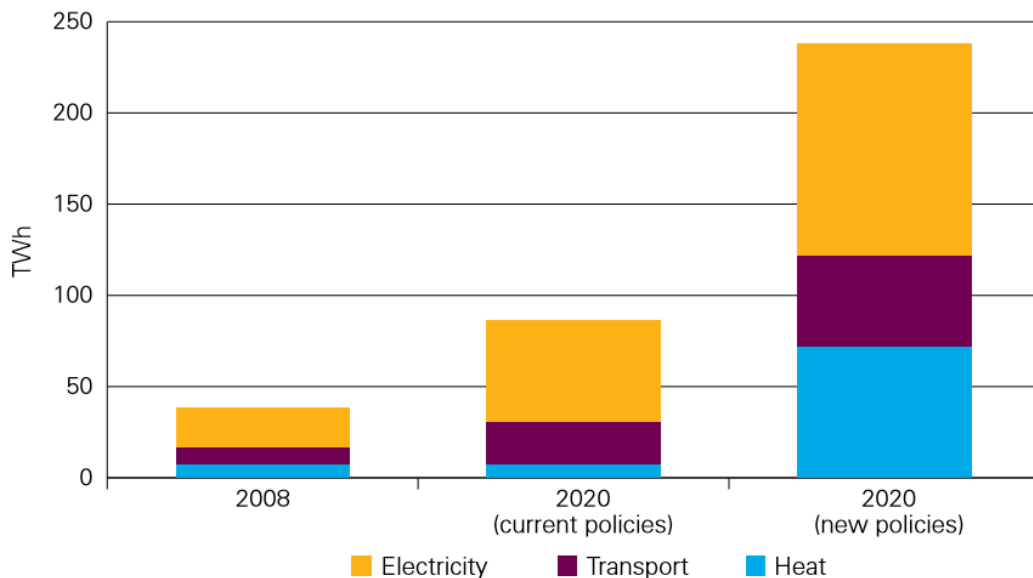
- EU 집행위원회는 2008년부터 각 회원국의 정부지원 계획에 ‘환경부문 정부지원 가이드라인(Environmental Aid Guidelines, EAG)’³⁾을 적용하였음
 - EU 회원국이 자국의 재생에너지 목표 이행을 위해 정부지원책을 적극적으로 시행한 결과, 재생에너지 개발 사업은 최근 몇 년 사이 크게 확대됨
 - 재생에너지 정부지원액의 약 80%가 발전차액지원제도(FIT), 녹색인증제도(green certificate, GC) 등 운영보조금(operating aid)의 형태로 지급되었음
 - 그러나, 과도한 정부지원에 따른 문제점에 봉착하면서, 각 회원국에게 전력시장 현실을 반영한 시장기반의 효율적인 지원제도 시행을 권고
- EU의 해양에너지 R&D 투자 현황은 다음과 같음
 - NER300 programme: 조류에너지 37.42 mil. Euro(약 486.5억원) 지원(기간 명시 없음. 프로젝트 단위로 지원)
 - EU Horizon 2020 programme : 2014년부터 2016년 현재까지 해양에너지 R&D에 66 mil. Euro(약 858억원) 이상을 지원. 2016년도 예산은 18.5 mil. Euro(약 240억원)이었음

(2) 영국

- 영국 정부는 2013년 Electricity Market Reform(EMR) 제도를 시행하며 CfD(Contract for Difference) 프로그램, Capacity auctions, Emission Performance Standard(EMS), Carbon Price Floor(CPF)에 대한 구체적인 전략을 수립
 - CfD는 저탄소 전원의 비중을 늘리고 민간기업의 재생에너지 투자를 유도하기 위한 프로그램으로 발전사와 정부소유의 회사(Low Carbon Contracts Company) 간에 체결하는 계약을 통해 발전차액을 상호간 계약에 따라 발전사의 손해를 최소화하는 방식으로 15년간 계약을 유지할 수 있음
- 영국 에너지&기후변화부(Department of Energy & Climate Change)에서 시행한 Renewable Energy Strategy 2009는 2020년까지 재생에너지 비중을 15%까지 높이는 국가 전략임 ([그림 2-40] 참조)

- 영국은 2008년 기후변화행동(Climate Change Act)을 통해 2050년까지 온실가스 배출을 1990년 수준인 80%까지 감소하는 구속력 있는 목표를 세움
- 영국의 국가적 목표
 - 2030년까지 750 백만톤의 탄소 절감, 2020년까지 화석연료 사용량의 10% 절감 및 20~30% 가스 수입 절감, 100억 £ 투자로 재생에너지 분야에 약 50만개의 일자리 신규 창출
- 2020년 15% 재생에너지 개발 목표를 달성하기 위한 영국의 시나리오(UK Gov., 2009)
 - 전력수요량의 약 30%를 재생에너지로부터 확보(117 TWh)
 - 12% 열 수요(72 TWh)
 - 10% 이송 수요(49 TWh)

The size of the challenge – a potential scenario to reach 15% renewable energy by 2020



Source: Energy Trends June 2009 and DECC internal analysis

[그림 2-40] 재생에너지 개발 정책 수립 변화

- 영국은 아래와 같은 기초에 근거하여 정책을 수립함
 - 재생에너지 개발에 필요한 재정적 지원
 - 행정, 정책 불확실성과 같은 개발 장벽 해소
 - 통합기술 개발 및 지원

- 영국의 지원정책으로는 FIT(feed-in tariffs) 제도를 시행한 바 있으며, 재생에너지 개발 촉진을 위해 ROCs(Renewable Obligation Certificates)를 발급함
 - 발전사는 전력과 ROCs 판매를 통해 수익을 올리는 구조
 - Renewables obligation(RO) 제도는 2017년 종료되며 CfD 정책으로 변경
 - ROC는 MWh당 발급되며, 발전원, 기술비용, 시장현황에 따라 그 값이 결정됨. 게다가 2010년부터는 소규모 발전 증가를 목표로 FITs 정책이 5MW 또는 그 이하의 발전에 적용되며 발전사들은 FITs 또는 ROs 제도 중 하나를 선택할 수 있음
 - 2017년 기준, 조력(1.8 ROC/MWh), 조류(5 ROC/MWh), 파력(5ROC/MWh)임
 - [표 2-13]은 영국의 ROCs 가중치 및 CfD strike price를 정리한 표로서 조류의 경우, 30MW용량에 대해 5 ROC를 적용하며, 추가용량에 대해서는 2 ROCs를 추가 적용함(UK Gov., 2017)

[표 2-13] 영국의 ROCs 가중치 및 CfD strike price

국가	영국		
	ROCs(ROC/MWh)		CfD(원/MWh)
구분	가중치	판매가	발전차액금
해상풍력	1.8	£45.58 (17년기준)	152,250
파력	5		449,500
조력	1.8		-
조류	5		435,000

- 2021/22년 개발프로젝트에 대해서 CfD의 발전차액지원금의 경우, [표 2-14]에서 보는 바와 같이, 조류는 300£/MWh(한화 435,000원), 해상풍력은 105£/MWh(한화 152,250원), 파력은 310£/MWh(한화 449,500원)임. 여기서, 1 £ 는 1,450원 적용함

[표 2-14] 영국의 CfD Strike prices (£/MWh)

TECHNOLOGY	2021/22	2022/23
Offshore wind	105	100
Advanced conversion technologies (with or without CHP)	125	115
Advanced conversion technologies (with or without CHP)	140	135
Dedicated biomass with CHP	115	115
Wave	310	300
Tidal stream	300	295

- 이 외에도 기후변화이행, 재생에너지 개발, 재생에너지 구역을 설정하기 위해 마련된 Energy Act 2004 제도가 시행되고 있음

(3) 캐나다

- 캐나다는 연방 정부, 10개주 그리고 세 개의 준주로 구성된 연방 국가이며, 에너지 정책은 연방정부와 지방정부로 구분되어 시행됨
 - 캐나다는 ‘지속가능한 에너지 공급, 사용 그리고 혁신의 글로벌 리더’라는 비전을 제시
- 2011년 국가 해양에너지 개발 로드맵을 수립하고 2020년까지 250MW, 2030년까지 2GW 해양에너지(조류, 파력, 수력 등) 개발 프로젝트를 수립
 - 국가적 차원에서 해양에너지 개발을 입법화하고 지역별 해양에너지 자원 개발을 적극 지원함
- 2015년 Nova Scotia 주에서는 해양에너지 개발 계획 및 규정을 수립
 - 이 규정은 2017년 시행될 예정으로 해양에너지 개발 해역과 이에 대한 허가 또는 자격을 발급하기 위한 시스템을 명확히 규정하고 있음

- FORCE는 캐나다의 대표적인 조류발전 실증시험장으로 이곳에 5개의 터빈 제작사 (총 22MW)가 2016년부터 15년간 조류발전을 할 수 있도록 승인함(OES, 2017)
 - 아래의 개발사에서는 15년간 Developmental FIT 제도를 통해 37.5~57.5 cents/kWh)의 인센티브를 받음
 - Minas Tidal Limited Partnership(4MW)
 - Black Rock Tidal Power(5MW)
 - Atlantis Operations Canada(4.5MW)
 - Cape Sharp Tidal Venture(4MW, 2MW×2turbines)
 - DP Energy(4.5MW)
- 캐나다의 연구, 개발 실증 자금은 연방정부의 조달 프로그램에 의해 조달되며, 국가적으로 해양에너지 R&D에 2010년부터 약 Canada \$ 50 mil.(약 450억원)을 투자하였으며, 지방정부는 별도로 자금 조달 프로젝트를 운영하고 있음

(4) 프랑스

- 프랑스에서는 2015년에 2030년까지 전력 중 40%를 재생에너지로 대체하는 Energy Act를 수립
 - 2016년 200~2000MW규모의 해양에너지 복합 개발을 위한 실증단지 계획을 수립. 또한, 해양에너지 공간 계획(Marine Spatial Planning)을 추진 중
 - 인허가 등 행정절차를 간소화하여 프로젝트 개발을 가속화 함
- The Normandie Hydro tidal turbine pilot farm project(14MW, 7 OpenHydro 조류발전 터빈)가 20년 운영을 계획하며 현재 건설 단계에 있음
- 2016년부터 FIT 제도가 시행되며 € 173/MWh를 보장함
- 해양에너지 개발 기금마련을 위한 국가 공공 기금의 일반적인 프레임은 Investment for Future Programme를 통해 이루어지며 ADEME(Environment and Energy Agency)과 ANR(National Research Agency)은 이 펀드를 관리함

(5) 독일

- 탈원전과 신재생에너지 확대를 목표로 국가 전체의 에너지 공급 구조를 근본적으로 전환하는 'Energiewende' 정책을 2010년부터 추진하고 있음
 - 독일 정부는 2022년까지 원전가동의 전면 중지를 목표로 원전 가동을 단계적으로 중지(총 17개 중, 2011년에 8기, 2015년에 1기의 원전 가동 중지)
 - 또한, 원전을 대체할 전원으로 신재생 전원 비중 목표를 2025년까지 40~45%로 상향 조정했으며, 송배전망 확충 계획 및 FIT 제도와 다양한 보조금 제도도 지속적으로 운영하고 있음(김신아, 2017)

(6) 중국

- 중국은 2016년에 2030년까지 해양에너지 실증 프로젝트 개발과 supply chain 구성을 목표로 하는 2016-2030년간 에너지개발을 위한 신정책을 수립하였음
 - 13차 해양에너지 개발 5년 계획(2016~2020)을 수립하며 2020년까지 50MW급 해양에너지 실증 프로젝트를 목표로 함
 - 중국 State Oceanic Administration(SOA)에서는 해양에너지 개발을 위한 13차 5년 계획을 통해 3개의 해양에너지 산업공원을 건설할 계획을 수립 중
- 2016년 해양에너지를 위한 특별 펀딩프로그램(SFPMRE)을 개정 조치가 SOA에 의해 발표됨
 - 본 개정에서는 주요 기술의 실증, 산업화, 대규모 개발, 공공 플랫폼 건설, 해양에너지 통합에 관한 내용을 포함함
- 2016년, SFPMRE(Special Funding Plan for Marine Renewable Energy)에 의해 6개 프로젝트(조류발전 실증, 부유식 파력, 조류발전 전력시스템개발 등)에 RMB 100 million 예산이 지원되었음. 또한 2010년부터 해양에너지 RD&D에 약 RMB 1 bn(1,700억원)을 지원함
- 그러나, 최근 중국은 과도한 재생에너지 보조금 지급과 무리한 발전설비 확충으로 송전망 접속능력 부족, 전력공급의 불안정성 등으로 기 구축된 풍력 및 태양광 발

전설비가 가동되지 못하거나 생산된 전력이 유휴 되는 부작용이 발생하고 있음(양 의석, 2016)

(7) 일본

- 해양에 관한 종합적이고 체계화 된 실행을 촉진하기 위해 일본 정부에서는 2007년 해양기본법을 제정하였음
- 일본 정부는 온실가스 배출량을 2030년까지 2013년 대비 26% 감축할 것이라는 목표를 제시
- 해양기본법을 기초로 정부에서는 추후 ‘해양정책 기본계획’을 2008년 발표하였으며, 2013년 2차 해양정책 기본계획을 수립하였음. 또한 2016년에 바다이용 촉진을 위해 제3차 해양정책 기본계획을 계획을 시작함(OES, 2017)
 - 제2차 해양정책 기본계획의 일본 입장
 - 국제사회를 위한 국제적 협동과 기여
 - 해양 개발과 이용을 통한 부의 창출과 번영
 - 바다로부터 보호받는 국가에서 바다를 보호하는 국가로의 변화
 - 탐험하지 못한 지역으로의 진출
- 2011년 후쿠시마 원전사고 이후 원전을 대체할 신재생 전원 비중을 확대하기 위해 FIT제도 등 재정적 지원 정책을 중점적으로 시행
 - 일본은 재생에너지 도입 확대를 위해 2003년부터 RPS제도를 실시하였는데, 2012년 7월에 고정가격 매입제도(FIT)로 변경하였음. FIT제 도입으로 재생에너지에 대한 투자회수 전망이 개선되어 2015년 3월까지의 재생에너지 도입량은 제도 도입 전과 비교하여 약 90% 증가하였음(임지영, 2015)
- NEDO(신에너지 산업기술 종합개발기구)는 2014년부터 4년간 해양에너지 발전의 실용화를 위한 실증연구를 실시 중
 - 해양에너지 발전기술 공통 기반 기술 연구: 유럽을 중심으로 하는 해양에너지 선진 지역의 산업정책, 기술개발 및 시장동향 등 고급정보를 수집 분석, 해양에너지 발전

기술에 관한 성능시험, 평가 방법 및 절차에 대한 국내시장의 잠재력과 도입에 필요한 조건 등 해양에너지 발전기술 개발을 추진하는 정보 기반을 정리 구축

- 일본 환경성은 2016년도 조류발전 기술 실용화 추진 사업을 9억엔(약 90억원)을 예산 상한으로 추진
- 일본 큐슈전력 컨소시엄은 2019년 실증운전을 목표로 2016년 유럽의 OpenHydro사의 2MW급 터빈을 도입, 나가사키현 서쪽 고토 열도에 설치하는 프로젝트 실시 중. 총 사업비는 4년간 30억엔(약 300억원) 이상이 소요될 것으로 전망
- 국가별 조류에너지 개발 관련 국가 전략은 다음 [표 2-15]와 같음

[표 2-15] 국가별 조류에너지 개발 국가 전략

국가	목표 발전량	국가 전략 또는 실행 계획
Canada	250MW(2020년)/ 2GW(2030년)	• 해양에너지 기술 로드맵
China	50MW(2020)	• 에너지 기술개발을 위한 실시계획(2016-2030) • 해양에너지 개발을 위한 13차 5개년계획(2016-20)
France	200~2,000MW	• 전기 생산을 위한 다양한 에너지 부분의 설치용량의 구체적인 목표 수립
Ireland	-	• 해양재생에너지 개발계획(OREDP)
Japan	-	• 해양에너지에 관한 2차 기본계획
Portugal	-	• 해양에너지 산업전략 로드맵
Spain	100MW(2020)	• 스페인 재생에너지 개발 계획 2011-2020
Korea	-	• 해양에너지 중장기 개발계획 2015-2025
Sweden	-	• 2015 국가해양에너지 전략
UK	-	• 재생에너지 전략(Renewable Energy Strategy) 2009
USA	-	• 해양 및 수력을 이용한 국가전략(안)(2016)

○ 국가별 해양에너지 정부 지원정책 현황은 다음 [표 2-16]과 같음

[표 2-16] 국가별 해양에너지 정부 지원 정책 현황

국가	보상정책	설명
Belgium	Tradable Green Certificates(TGC)	각각의 재생에너지에 대하여 분석을 통해 지원수준을 €/MWh로 지원하는 제도
Canada	Feed-in Tariffs (at provincial level)	Nova Scotia에서 500kW 이상의 프로젝트에 적용함. 이 비율은 계획 프로젝트 타입과 연간에너지 생산수준에 따라 \$385/MWh ~\$575/MWh를 적용함
France	Feed-in Tariffs + grants and loans	2016년 5월까지 해양에너지에 대해서 Feed-In Tariff을 173 €/MWh로 함. 또한, 보조금과 상환 대출이 프로토타입과 준상용화 파일럿 사업에 지원됨.
Ireland	Feed-in Tariffs (under development)	30MW이하의 해양에너지(파력, 조류) 준상용화 시험 및 실증에 대하여 €260/MWh 보조금이 지원됨
Japan	Feed-in Tariffs	모든 재생에너지에 대해서 Feed-in tariffs가 적용됨
Korea	RPS and REC	REC 가중치가 지원되고 있으며, 조류에너지에 대해서는 2.0 REC가 적용됨
UK	Feed-in Tariffs with Contracts for Difference(CfDs)	CfDs의 Strike prices는 2021/22에 설치되는 조류에너지에 대해서 £300/MWh임
USA	Tax Credit	A production tax credit(PTC)는 재생에너지 시설의 생산량에 근거하여 세금 환급을 제공함

2.3 논문 동향

2.3.1 검색개요

- 논문동향 분석은 1990년 이후 발행된 학술지를 기준으로 검색 및 분석하였으며, 조류발전 분야의 기술 분류 및 핵심키워드를 바탕으로 대상 학술지를 검색함

[표 2-17] 논문 검색 범위

검색DB	분석구간	검색범위
Web of Science	1990년 ~ 현재 (2017.08 기준)	주제, 제목, 연구범위

- 조류발전 분야의 학술지검색을 위한 영문 키워드를 도출함([표 2-18] 참조)
 - 신뢰도 높은 검색결과 확보를 위해 주제(TS), 연구분야(SU), 제목(TI), 범주(WC)별 키워드를 부여함
 - 조류발전과 수평축을 필수 기술로 선정하고, 지지구조물, 통합감시제어장치, 상태감시장치, 피치 제어(요 제어 포함), 계통 연계, 전력변환장치, 나셀, 수밀, 댐퍼, 블레이드, 동력전달을 세부기술로 선별하여 각 기술별 핵심 키워드를 도출함

[표 2-18] 조류발전 분야 논문분석 대상 주제(TS) 키워드

중분류	핵심 키워드
수평축	horizontal axis, transvers axis
조류발전	tidal current power generation, tidal power, tidal energy, marine hydro kinetic energy, MHK, tidal stream
지지구조물	supporting structure, foundation, supportor, tidal tower, sub-structure, tripod, monopod, monopile, gravity base, gravity structure, jacket
통합감시제어장치	supervisory control and data acquisition, SCADA
상태감시장치	condition monitoring system, CMS
피치 제어 (요 제어)	pitch control(or yaw control), pitch(or yaw), regulation, power regulation, regulated power
계통 연계	grid-connected / grid / grid connection, national grid
전력변환장치	power converter
나셀	nacelle
수밀	watertight
댐퍼	damper
블레이드	blade
동력전달	power train, power transmission

- 조류발전 분야의 학술지 분석 대상인 연구분야는 에너지 및 연료(Energy & Fuels), 공학(Engineering)임([표 2-19] 참조)

[표 2-19] 조류발전 분야 학술지분석 대상 연구분야(SU) 키워드

기술명	핵심 키워드
에너지 및 연료	Energy & Fuels
공학	Engineering

- 도출된 논문의 과도한 노이즈를 미연에 방지하기 위해 제목 키워드에 조류발전을 추가하여 논문 검색을 실시함

[표 2-20] 조류발전 분야 학술지분석 대상 제목(TI) 키워드

기술명	핵심 키워드
조류발전	tidal current power generation, tidal power, tidal energy, marine hydro kinetic energy, MHK, tidal stream

- 조류발전 분야 학술지 범주는 에너지 및 연료와 조류발전과 관련있는 분야의 공학 범주로 한정함

[표 2-21] 조류발전 분야 학술지분석 대상 범주(WC) 키워드

기술명	핵심 키워드
에너지 및 연료	Energy & Fuels
공학, 항공우주	Engineering, Aerospace
공학, 화학	Engineering, Chemical
공학, 토목	Engineering, Civil
공학, 전기 전자	Engineering, Electrical & Electronic
공학, 산업	Engineering, Industrial
공학, 제조	Engineering, Manufacturing
공학, 선박	Engineering, Marine
공학, 해양	Engineering, Ocean

- 필수기술과 세부기술의 핵심키워드를 반영하여 학술지 검색식을 작성함

[표 2-22] 특허 검색식

학술지 검색식
<p>(TS=((horizont* and axis*) or (transvers* and axis*)) and (tidal* and (current* or stream* or power* or energ*)) or (marin* and hydr* and kinetic*) or MHK* or "flow power" or (power generat*) or hydropower and (((support* or sub* or gravit*) and structur*) or foundat* or support* or ((mono* or tri*) and pod*) or tripod* or monopod* or monoil* or (gravit* and base*) or jacket*) or ((supervisor* and control* and acquisit*) or "SCADA") or ((condi* and monitor* and system*) or "CMS") or ((pitch* or yaw*) and (control* or regula*)) or grid* or convert* or nacell* or (watertight* or "water tight") or damper* or blad* or ((power* or driv*) and (train* or transmi*)) not ((tidal* and (barrag* or rang* or lagoon* or lak*) or vehicl* or wind or solar* or "wave power" or grid* or nuclear* or organic* or atmosphere or "wave energy" or "core power" or battery or oil or "waste heat" or "human energy" or brayton or geothermal or cell or cultur* or "thermal power" or hydrogen or gas*)) and SU=("Energy & Fuels" or Engineering) and TI=((tidal* and (current* or stream* or power* or energ*)) or (marin* and hydr* and kinetic*) or MHK* or "flow power" or (power and generat*)) not (tidal* and (barrag* or rang* or lagoon* or lak*))) and WC=("Energy & Fuels" or "Engineering, Aerospace" or "Engineering, Chemical" or "Engineering, Civil" or "Engineering, Electrical and Electronic" or "Engineering, Industrial" or "Engineering, Manufacturing" or "Engineering, Marine" or "Engineering, Ocean" or "Computer Science, Artificial Intelligence" or "Construction & Building Technology" or "Engineering, Multidisciplinary")</p>

- 검색 결과 총 3,229건이 도출었으며 핵심키워드를 대상으로 필터링한 결과 유효데이터는 총 143건임

[표 2-23] 학술지 검색 결과

검색 건수	유효데이터 건수
3,229건	143건

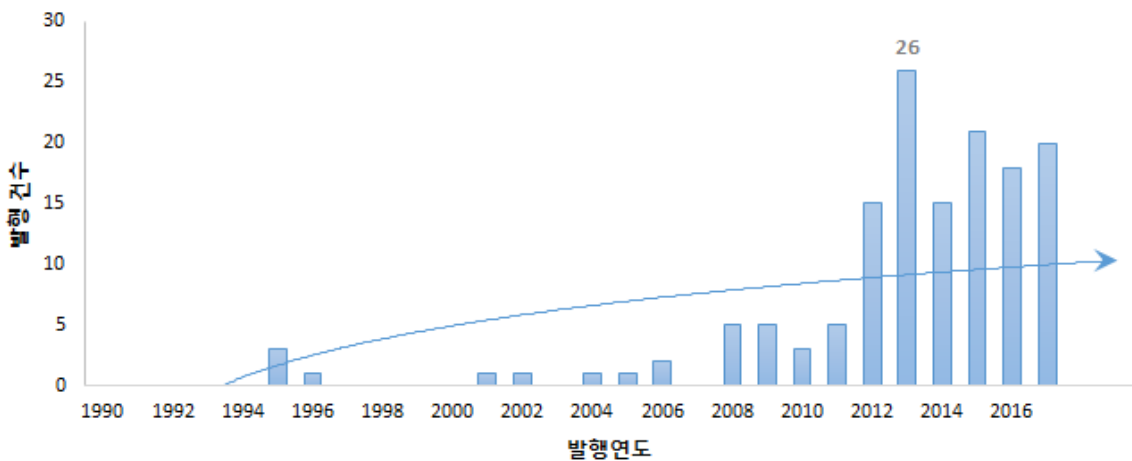
- 세부기술별 기술분류를 실시한 결과 동력전달 분야의 논문이 55편으로 가장 많았고, 전력변환장치가 49편으로 다음을 차지함

[표 2-24] 조류발전 기술 학술지분석 대상 기술분류 및 유효데이터 건수 현황

중분류	유효데이터 건수
지지구조물	14
통합감시제어장치	1
상태감시장치	3
피치 제어(요 제어 포함)	3
계통 연계	5
전력변환장치	49
나셀	1
수밀	0
댐퍼	1
블레이드	11
동력전달	55
계	143

2.3.2 학술지발행 동향분석

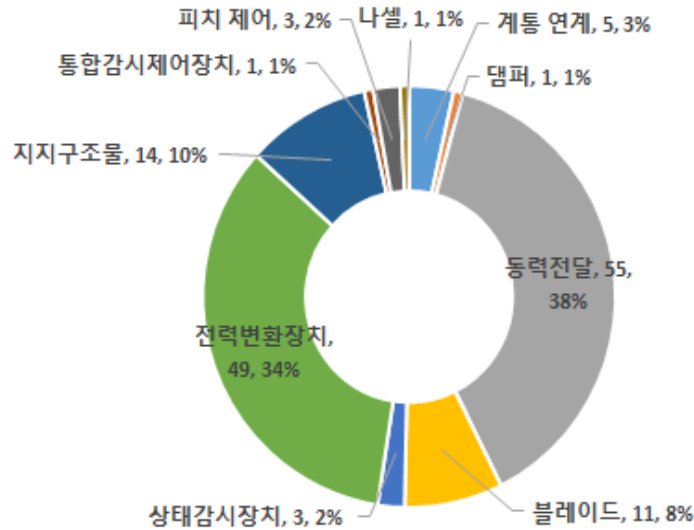
- (연도별 동향) 조류발전 분야의 기초·원천 연구는 성장단계에 해당하여 국내 조류발전 분야의 상용화 연구개발 투자가 필요함
 - 2008년 이후 조류발전 분야의 연구가 지속적으로 진행되고 있음
 - 2000년대 신·재생에너지 산업 활성화에 따라 기초·원천 연구가 활발히 진행되고 있음



[그림 2-41] 연도별 학술지 발행건수 현황

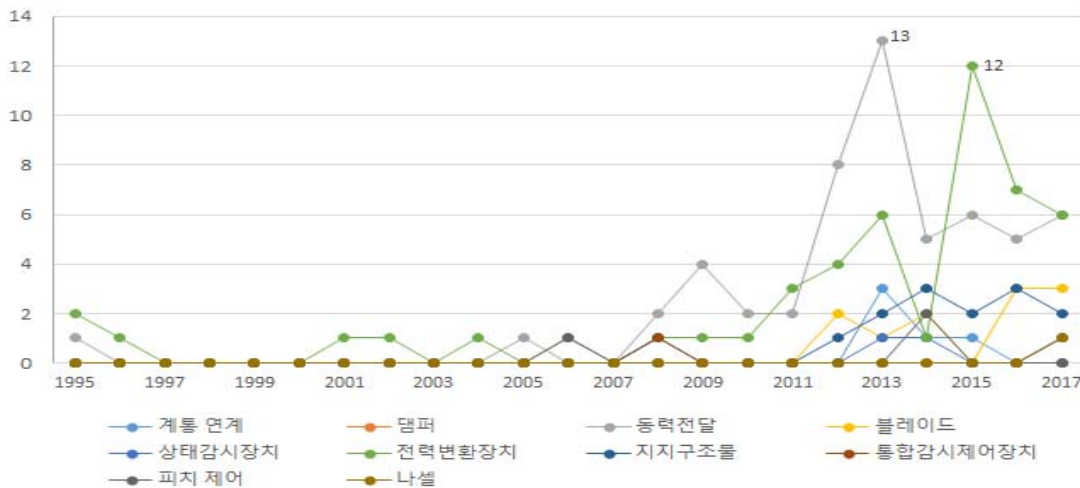
- (기술분류별 현황) 동력전달, 전력변환장치, 지지구조물 등 조류에너지 확보 후 에너지 활용 기술 관련 연구개발이 가장 활발히 진행됨

- 1990년 이 후 조류발전관련 발행된 학술지의 기술분류를 살펴보면, 동력전달관련 기술이 전체의 38%로 가장 높은 비율로 연구가 이루어진 것을 알 수 있음
- 전력변환장치 34%, 지지구조물 10%, 블레이드 8% 등 순으로 연구개발 수행 중



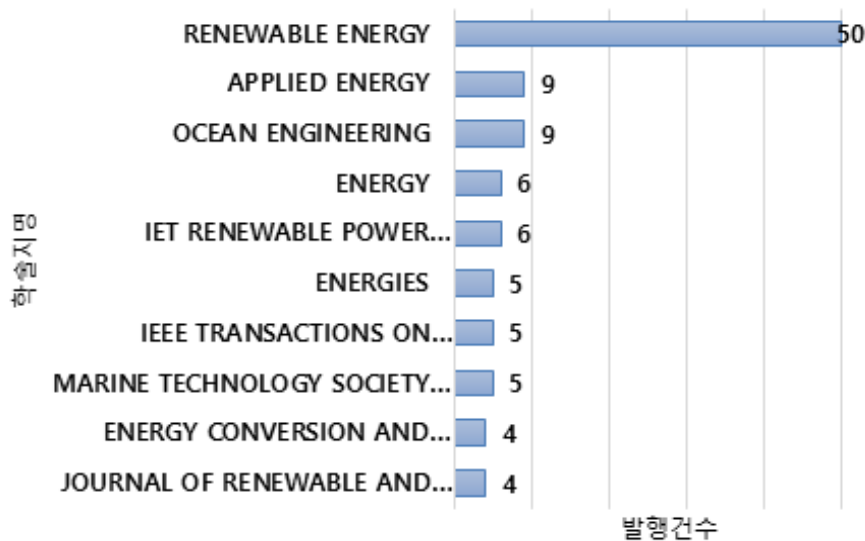
[그림 2-42] 기술분류별 발행현황

- (기술분류별 동향) 2010년 이후 동력전달, 전력변환장치의 학술지 발행이 가장 활발함
- 2013년 동력전달관련 학술지 발행 건수가 정점을 기록하였으며, 이 후 2015년 전력 변환장치관련 학술지 발행 건수가 정점을 기록함
- 동력전달, 전력변환장치는 조류에너지 활용을 위한 기술이므로 최근들어 조류발전의 상용화 기술개발이 활발히 진행되는 추세임



[그림 2-43] 연도별 기술분류별 학술지 발행건수 현황

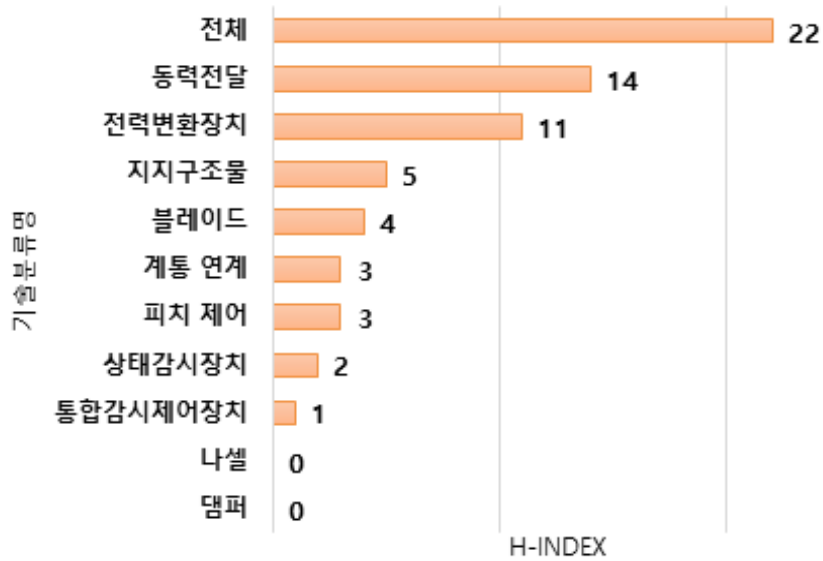
- (학술지별 발행 현황) 조류발전 분야는 국제학술지인 Renewable Energy가 기초연구를 견인하고 있음
 - 조류발전 기술관련 연구개발 결과가 발행된 주요 학술지는 RENEWABLE ENERGY가 50건으로 압도적으로 높았으며, 그 다음으로 APPLIED ENERGY, OCEAN ENGINEERING이 각 9건으로 나타남
 - 또한 학술지 상위 10개 중 6개 에너지 분야 해당함(RENEWABLE ENERGY, APPLIED ENERGY, ENERGY, ENERGIED, IEEE TRANSACTIONS ON SUSTAINABLE ENERGY, JOURNAL OF RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY)



[그림 2-44] 주요 학술지발행 건수

2.3.3 기술 경쟁력 분석

- (기술분류별 기술력 지수) 조류발전 분야의 전체 기술력 지수는 22로 나타났음
 - h-index는 특정 연구주체의 전체 발간 논문수와 피인용 수를 바탕으로 연구자의 연구 성과, 공헌도를 하나의 수치로 나타내는 지표임
 - 분석 주체는 개인 연구자 이외에도 연구자 집단, 대학과 같이 집단의 개념으로도 적용이 가능함
 - 세부기술별 조류발전 분야는 동력전달 분야의 h-index가 14로 동 기술이 조류발전 분야의 타 세부기술보다 생산성과 영향력이 가장 높음



[그림 2-45] 전체·세부기술별 h-index 현황

2.4 특허 동향

2.4.1 검색개요

- 조류발전 상용화기술 관련 특허동향 분석은 '17년 8월 기준 최근 20년간 출원된 한국, 미국, 일본, 유럽의 공개 및 등록 특허 대상으로 실시함

[표 2-25] 특허 검색 범위

자료 구분	국가	검색DB	분석구간	검색범위
공개 및 등록특허	한국, 미국, 일본, 유럽	WISDOMAIN	~ 현재 (2017.08)	발명의 명칭, 요약, 대표청구항

- (키워드 도출) 조류발전 분야의 특허 검색을 위한 국영문 키워드를 도출함
 - 조류발전과 수평축을 필수 기술로 선정하고, 지지구조물, 통합감시제어장치, 상태감시장치, 피치 제어(요 제어 포함), 계통 연계, 전력변환장치, 나셀, 수밀, 댐퍼, 블레이드, 동력전달을 세부기술로 선별하여 기술별 핵심 키워드를 도출함

[표 2-26] 조류발전 기술 특허분석대상 기술분류(필수기술)

기술명	핵심 키워드
조류발전	조류발전, tidal current power generation, tidal power, tidal energy, marine hydro kinetic energy, MHK, tidal stream
수평축	수평축, 횡방향축, horizontal axis, transvers axis

[표 2-27] 조류발전 기술 특허분석대상 기술분류(세부기술)

대분류	중분류	핵심 키워드
조류발전	지지구조물	지지구조물, 지지대, 받침대, 고정대, 버팀목, 구조물, supporting structure, foundation, supportor, tidal tower, sub-structure, tripod, monopod, monopile, gravity base, gravity structure, jacket
	통합감시제어장치	통합감시제어장치, 통합경비, 통제, supervisory control and data acquisition, SCADA
	상태감시장치	상태감시장치, condition monitoring system, CMS
	피치 제어	피치, 요, 피치제어, 요제어, pitch control(or yaw control), pitch(or yaw), regulation, power regulation, regulated power
	계통 연계	계통연계, 국가계통전력, 국가전력계통, 계통망, grid-connected / grid / grid connection, national grid
	전력변환장치	전력변환장치, 전력변환, power converter
	나셀	나셀, nacelle
	수밀	수밀, 방수, watertight
	댐퍼	댐퍼, 제진기, 흡진기, damper
	블레이드	블레이드, blade
	동력전달	동력전달, 동력 전달, power train, power transmission

○ 필수기술과 세부기술의 핵심키워드를 반영하여 특허 검색식을 작성함

[표 2-28] 특허 검색식

특허 검색식
((수평축* or (수평* NEAR/2 축*) or 횡축* or 횡방향축*) or ((horizont* and axis*) or (transvers* and axis*))) and ((조류* or (조류* NEAR/2 발전*) or (tidal* and (current* or stream* or power* or energy*))) or (marin* and hydro* and kinetic*) or MHK* or "flow power" or (power* and generat*) not (tidal* and (barrag* or rang* or lagoon* or lak*))) and (((지지* or 구조물* or 지지대* or 받침대* or 고정대* or 버팀목* or 지지구조물*) or ((support* or sub* or gravit*) and structur*) or foundat* or support* or ((mono* or tri*) and pod*) or tripod* or monopod* or monoil* or (gravit* NEAR/2 base*) or jacket*) or (CONTAINS/5(통합*, 감시*, 제어*, 장치*) or ((감시* or 경비*) and (제어* or 통제*)) or CONTAINS/5(supervisor*, control*, data*, acquisit*) or "SCADA") or (CONTAINS/5(상태*, 감시*, 장치*) or CONTAINS/5(condit*, monitor*, system*) or "CMS") or (((피치* or 요*) and 제어*) or 피치* or 요* or (regulat* NEAR/2 power*) or (pitch* or yaw*) or ((pitch* or yaw*) and control)) or (((계통* or 연계*) or CONTAINS/4(국가*, 전력*, 계통*) or 계통망) or ((grid* and connect*) or (nation* and grid*) or grid)) or (CONTAINS/5(전력*, 변환*, 장치*) or (전력* NEAR/4 변환*) or (power* NEAR/4 convert*)) or (나셀 or nacell*) or (수밀* or 방수* or watertight* or "water tight") or (댐퍼* or 제진기* or 흡진기* or damper*) or (블레이드* or blad*) or ((동력* and 전달*) or "동력 전달" or ((power* or driv*) and (train* or transmi*))))))

- 특허 검색결과 도출된 특허는 총 19,537건이었으며 핵심키워드를 대상으로 노이즈를 제어하여 총 138건의 유효데이터를 확보함. 여기서, 노이즈는 주로 수력·조력·풍력 등의 유사 신재생에너지 관련 특허로서, 대부분의 특허가 노이즈에 해당됨

[표 2-29] 특허 검색 결과 및 노이즈제거 결과

검색 건수	유효데이터 건수
19,537건	138건

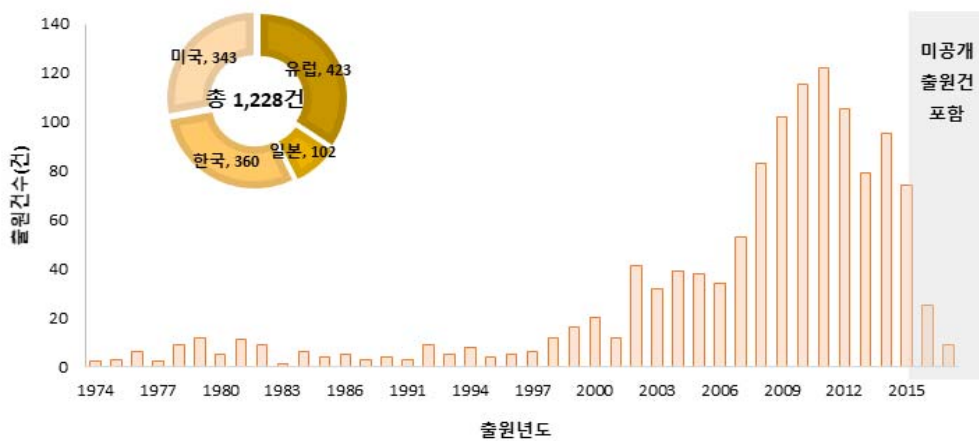
- 세부기술별 노이즈제거 결과 동력전달 분야 특허가 41건, 전력변환장치 특허가 41건, 지지구조물 특허가 36건으로 나타남
- (추가 노이즈제거) 동 사업의 세부기술에 해당하는 특허만 선별함

[표 2-30] 기술분류별 유효데이터 건수 현황

대분류	중분류	유효데이터 건수				
		한국	일본	미국	유럽	계
조류발전	지지구조물	7	1	23	5	36
	통합감시제어장치			1		1
	상태감시장치	0	0	0	0	0
	피치 제어 (요 제어 포함)	2		3	1	6
	계통 연계			1		1
	전력변환장치	15	5	17	3	40
	나셀	2			1	3
	수밀				1	1
	댐퍼			1		1
	블레이드	2		4	2	8
	동력전달	5	2	24	10	41
	계	33	8	74	23	138

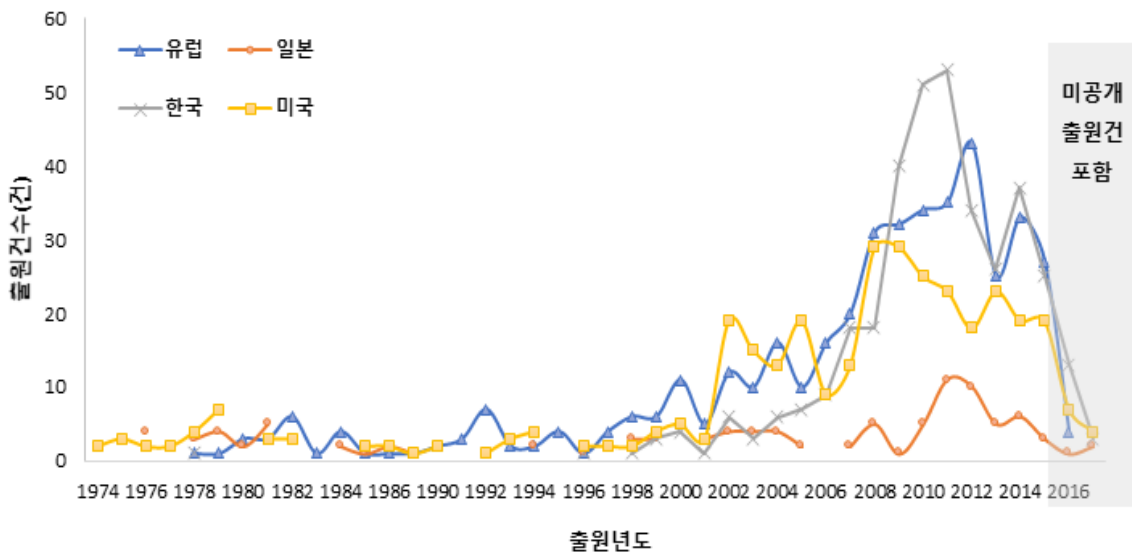
2.4.2 조류발전 분야 특허동향 분석

- (연도별 출원 동향) 조류발전 분야 특허는 1974년에 처음 출원이 시작된 이후 2000년대에 들어 활발히 연구개발 중으로 국가 차원의 조류발전 분야 연구개발이 필요한 시점임([그림 2-46] 참조)
 - 2011년에 총 122개로 가장 많은 특허를 출원함
 - 국가별로는 유럽이 423건, 미국이 343건, 한국이 360건, 일본이 102건을 출원함



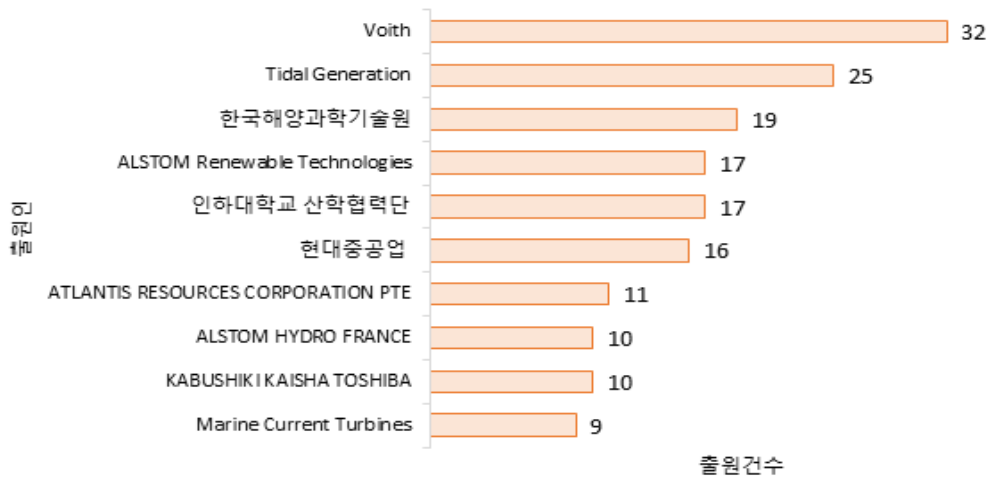
[그림 2-46] 조류발전 분야 연도별 출원 동향

- (국가별 출원 동향) 국가별로는 2000년대 이후 한국과 유럽이 연구개발을 가장 활발히 수행함([그림 2-47] 참조)
 - 특히 한국은 2009~2011년 3년간 특허 출원 수가 가장 많음
 - 조류발전 분야 특허 출원이 가장 먼저 시작된 국가는 미국이나, 2000년 이후 유럽, 2008년 이후 한국의 특허출원이 가장 활발함



[그림 2-47] 조류발전 분야 연도별·국가별 출원 동향

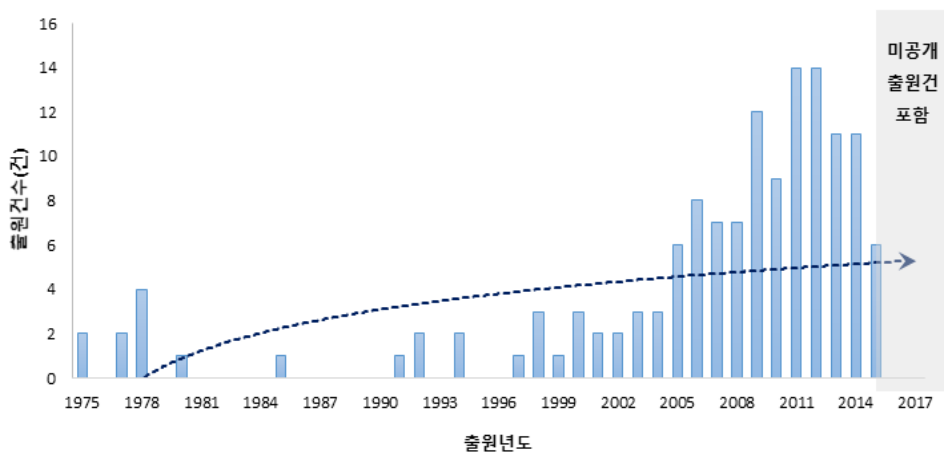
- (주요 출원인 현황) 조류발전 분야의 특허 출원인 Top10 중 한국 기관·기업이 총 3개 (한국해양과학기술원, 인하대학교, 현대중공업)임([그림 2-48] 참조)
 - 조류발전 분야의 국내 연구는 산업계는 현대중공업, 학계는 인하대학교, 연구계는 한국해양과학기술원이 주도 중
 - 조류발전 분야의 특허는 독일의 Voith 社가 32개로 가장 많이 출원하였고, 영국의 Tidal Generation 社가 25개, 한국의 한국해양과학기술원이 19개의 특허를 출원함
 - 프랑스의 ALSTOM은 계열사인 ALSTOM Renewable Technologies가 17개, ALSTOM HYBRID FRANCE가 10개로 총 27개의 특허를 출원함



[그림 2-48] 조류발전 분야 주요 출원인 현황

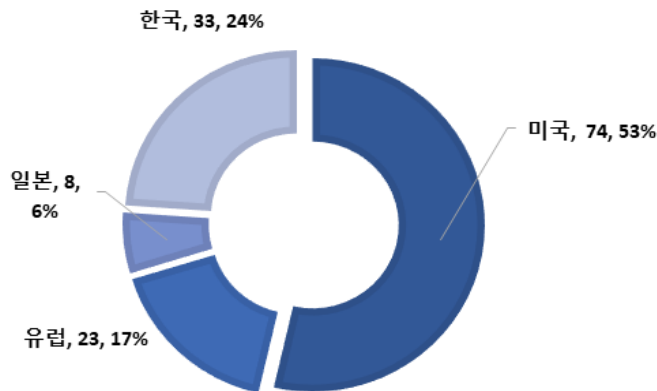
2.4.3 조류발전 상용화기술 개발사업의 특허동향분석

- (연도별 출원 동향) 동 사업과 관련있는 조류발전 분야의 특허는 1990년대 후반부터 최근(2016년, 공개특허 기준)까지 지속적으로 연구개발 중으로 국내 조류발전 분야의 연구개발 투자 필요시점 도래
 - 조류발전 분야의 특허는 2010년 최대치를 달성하고, 이후 감소 추세를 나타내고 있으나 미공개 출원 건 포함 시 일부 증가할 것으로 판단됨
 - 조류발전 분야의 지속적 특허 출원 동향으로 보아, 현재 성장단계인 것으로 판단되어 정부 주도의 투자를 통해 기술개발의 활성화가 필요함



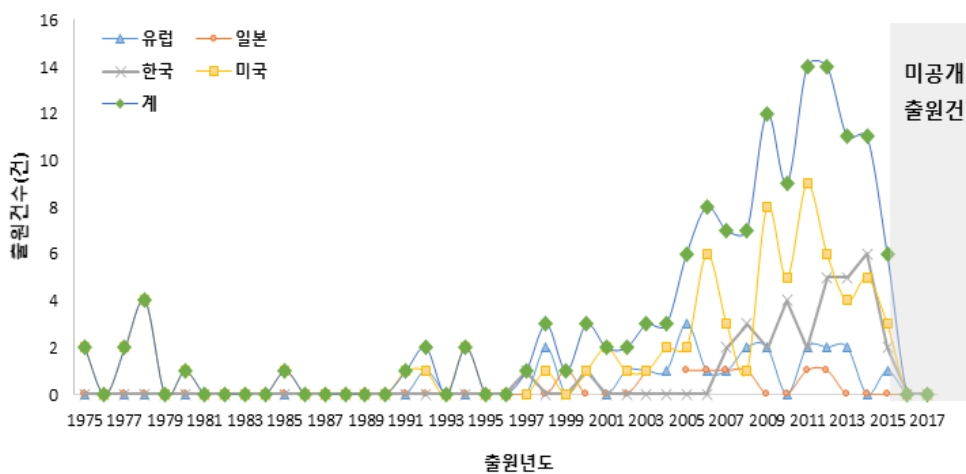
[그림 2-49] 연도별 출원 동향

- (국가별 출원 현황) 미국의 특허 출원 건수가 74건으로 과반수이상(53%)을 차지하여 미국이 가장 활발히 조류발전 분야 연구개발을 실시하고 있는 것으로 나타남
 - 이후 한국이 33건(24%), 유럽이 23건(17%), 일본이 8건(6%)의 특허를 출원함



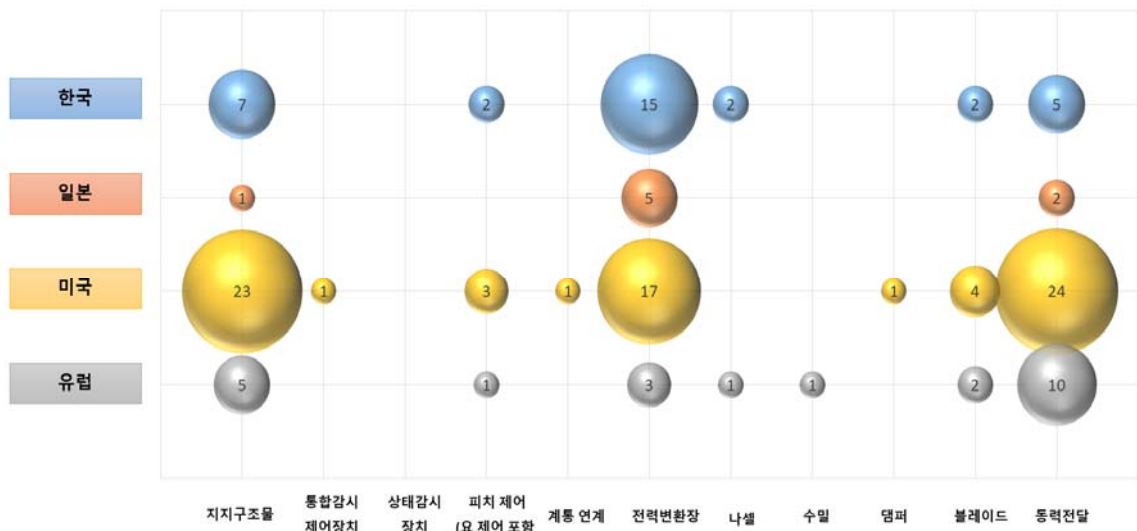
[그림 2-50] 국가별 특허 출원 현황

- (연도별·국가별 출원 동향) 2007년 이후 한국의 조류발전 분야 특허 출원이 지속적으로 확대하고 있음([그림 2-51] 참조)
 - 조류발전 분야의 특허 출원은 매년 미국 주도의 특허 출원이 진행되었으나, 2008년, 2013~2014년 등 몇 해에 걸쳐 한국의 특허 출원이 미국을 추월함
 - 국가주도하의 조류발전 분야 연구개발의 활성화 필요



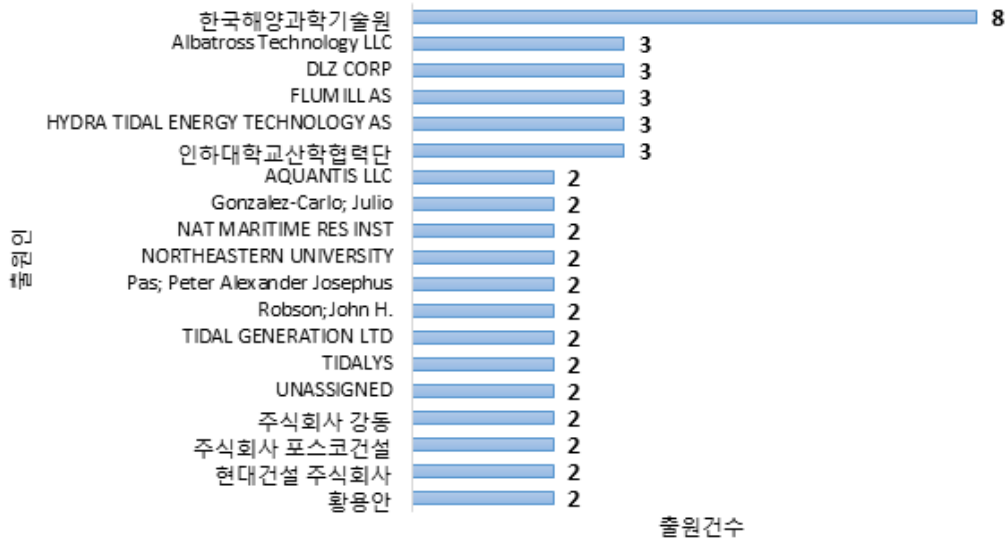
[그림 2-51] 주요 국가별 출원 현황

- (주요국가별 기술분류별 특허출원 현황) 지지구조물, 전력변환장치, 동력전달 분야의 특허 출원이 활발함
 - 지지구조물, 전력변환장치, 동력전달 기술 모두 미국의 연구개발이 가장 활발한 것으로 나타남
 - 미국은 동력전달(24건), 지지구조물(23건), 전력변환장치(17건) 순, 한국은 전력변환장치(15건), 지지구조물(7건), 동력전달(5건) 순
 - 유럽은 동력전달(10건), 지지구조물(5건), 전력변환장치(3건) 순
 - 일본은 전력변환장치(5건) 분야의 특허 출원이 가장 많은 것으로 나타남
 - 전력변환장치, 동력전달 기술은 조류발전 상용화 관련 기술에 해당하므로 조류발전 분야는 상용화 중심의 연구개발 실시 중



[그림 2-52] 주요 국가별 기술 분류 출원 현황

- (주요 출원인 현황) 조류발전 분야는 국내외 모두 산업계·학계·연구계별 고르게 연구개발 실시 중
 - (산업계) Albatross Technology(일), FLUMIL, HYDRA TIDAL ENERGY TECHNOLOGY(노)
 - (학계) 인하대학교(한), NORTHEASTERN UNIVERSITY(노)
 - (연구계) 한국해양과학기술원(한), NAT MARITIME RES(일)
 - 조류발전 분야 특허의 최다 출원인은 한국해양과학기술원(8건)이고, 이후 Albatross Technology(일), DLZ(미), FLUMILL(노), HYDRA TIDAL ENERGY TECHNOLOGY(노), 인하대학교 산학협력단(한) 순임



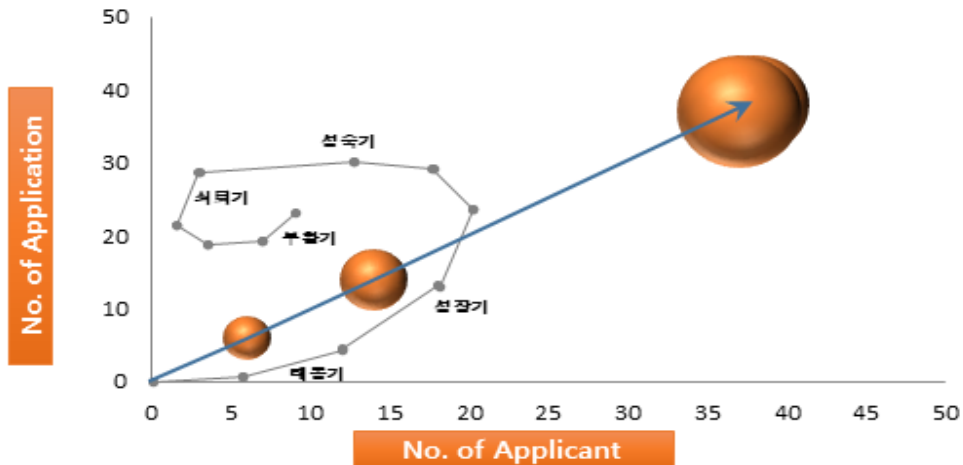
[그림 2-53] 주요 출원인별 출원건수 현황

- (연구자-연구문헌 포트폴리오 분석) 기술성장단계를 1구간(1996~2000년), 2구간(2001~2005년), 3구간(2006~2010년), 4구간(2011~2015년)으로 구분하여 출원 건수와 출원인 수의 시계열적 관계를 활용하여 분석함
 - 2016~2017년은 특허 미공개 구간이 포함되어 분석 결과의 신뢰성 확보를 위해 제외함
 - 연구자-연구문헌 포트폴리오 분석은 연구자가 연구개발에 대한 생산자이자 새로운 연구개발결과물에 대한 수용자이고, 연구결과는 산출물인 동시에 새로운 기술의 수용을 나타내는 지표임을 가정함

[표 2-31] 연구자-연구결과 포트폴리오 분석(참고)

	I	- 태동기: 신기술의 출현 - 연구문헌 수와 연구자 수는 천천히 증가
	II	- 성장기: 연구개발 활발 경쟁의 격화 - 연구문헌 수와 연구자 수는 빠르게 증가
	III	- 성숙기: 지속적인 연구개발, 일부 도태 - 연구문헌 수 정체, 연구자 수 정체/감소
	IV	- 쇠퇴기: 대체기술의 출현, 기술발전 불연속 - 연구문헌 수 정체/감소, 연구자 수 정체/감소
	V	- 회복(부활)기: 대체기술 쇠퇴/유용성 재발견 - 연구문헌 수와 연구자 수가 증가추세로 전환

- 조류발전 분야는 연구개발이 활발하고, 경쟁이 격화되는 성장기에 해당하여 정부의 투자가 시급한 상황임
- 3구간과 4구간의 특허 출원 건수와 출원인 수의 차이가 적게 나타나므로 성장기에 머물러 있음



[그림 2-54] 연구자-연구문헌 포트폴리오

2.4.4 특허 경쟁력 분석

- 특허 경쟁력 분석을 위한 주요 지표인 특허인용지수(CPP), 특허영향지수(PII), 기술력지수(TS)를 도출함
 - 한국은 특허 경쟁력 분석의 대상 특허인 미국 등록특허 부재로 분석에서 제외함
 - 정부주도의 기술개발로 해외 출원·등록 증가하여 조류발전 분야 글로벌 기술수준 진입이 필요함
 - 특허 경쟁력 지수 항목별 평균은 CPP가 11.65, PII가 0.82, TS가 4.31임
 - (CPP¹⁾) 노르웨이의 기술수준이 24.00으로 가장 높고, 이후 네덜란드가 26.00, 영국이 24.00, 미국이 15.47임
 - (PII²⁾) 노르웨이가 2.83으로 가장 높고, 영국이 1.70, 미국이 1.10 순임

1) 특허인용지수(CPP ; Cites Per Patent)란 특정 특허권자의 특허가 후출원되어 등록된 다른 특허에 의해 인용되는 회수의 평균값으로, 이 값이 클수록 주요특허 또는 원천특허를 많이 가지고 있다는 것을 의미하며, 많이 인용되는 특허를 가진 특허권자는 경쟁에서 유리한 위치를 점할 수 있음(인용도지수(CPP) = 피 인용수 / 특허권수)
 - 특허인용지수는 미국등록특허를 대상으로 분석가능함

- (TS³) 미국이 39.43으로 가장 높고, 이후 영구 5.10, 노르웨이 2.83, 일본 2.76 순으로 조류발전 분야의 질적·양적 기술력이 높음
- 조류발전 분야의 연구개발은 미국, 영국, 노르웨이를 중심으로 실시 중

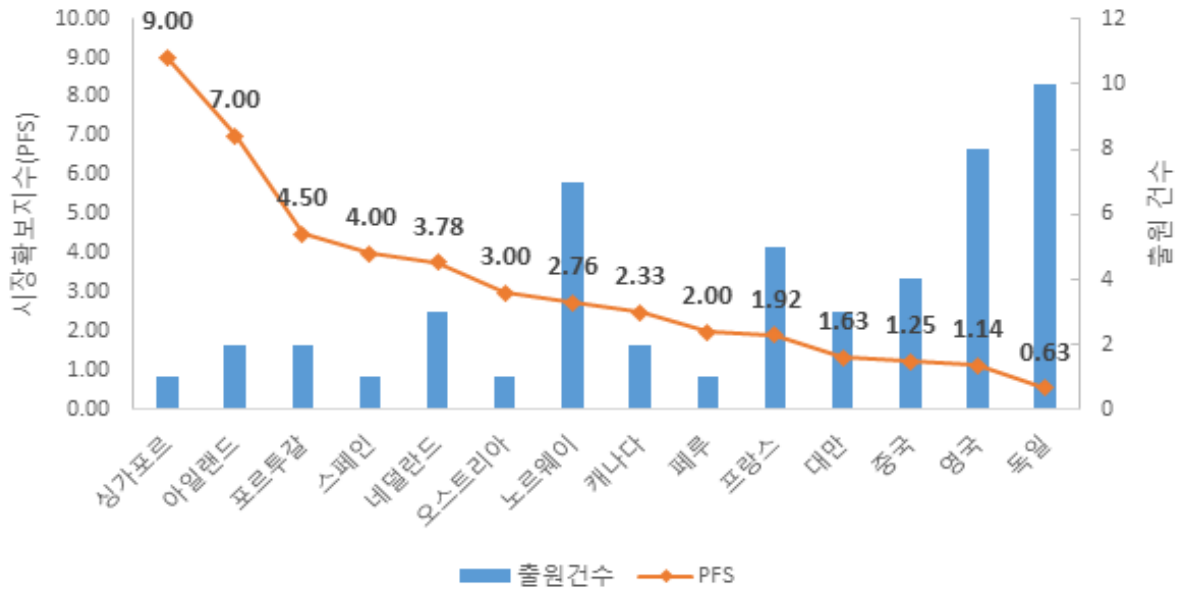
[표 2-32] 특허 경쟁력 지수

국가명	CPP	PII	TS
미국	15.47	1.10	39.43
영국	24.00	1.70	5.10
노르웨이	40.00	2.83	2.83
일본	13.00	0.92	2.76
독일	6.00	0.42	2.12
네덜란드	26.00	1.84	1.84
프랑스	13.00	0.92	0.92
포르투갈	8.00	0.57	0.57
캐나다	3.00	0.21	0.21
아일랜드	3.00	0.21	0.21
평균	11.65	0.82	4.31

※한국은 미국등록특허를 보유하고 있지 않으므로 분석대상에서 제외됨

- (PFS⁴) 싱가포르, 아일랜드는 시장확보지수는 높으나 이에 비해 출원건수가 적고, 독일, 영국, 노르웨이는 출원 건수 대비 시장확보지수가 높음
- 시장확보지수가 출원건수보다 높은 국가는 독일, 영국, 노르웨이, 프랑스, 중국, 대만임

- 2) 특허영향지수(PII ; Patent Impact Index)란 특정특허권자의 특허가 이후 등록된 특허들에 의해 인용되는 회수의 평균값인 인용도지수(CPP)를 전체 피인용비로 나눈 상대적인 CPP를 나타내므로, 이 값이 클수록 상대적으로 그 이후에 인용이 많이 되었고 이후 특허에 영향을 많이 주었다는 의미, 즉 질적수준이 높다는 것을 의미함($PII = \text{해당국가의 CPP} / \text{전체 CPP}$)
- 3) 기술력지수(TS ; Technology Strength)란 영향력지수에 특허건수를 곱한 값으로 질적수준과 양적수준을 동시에 의미함($TS = PII \times \text{특허건수}$)
 - 기술력지수가 클수록 해당 출원국가의 특허가 질적·양적으로 기술력이 높음을 의미함
- 4) 시장확보지수(PFS ; Patent Family Size)란 한 발명에 대해 각 국가마다 출원된 특허를 Family patent라 지칭하며, 해당 국가에서 상업적인 이익 또는 기술경쟁 관계에 있을 때만 해외의 특허를 출원하므로 Family Patent 수가 많을 때에는 특허를 통한 시장성이 크다고 판단되어 이를 시장확보력의 지표로 사용함 ($PFS = \text{해당출원인(소유권자) 평균 Patent Family 수} / \text{전체 평균 Patent Family 수}$)



[그림 2-55] 시장확보지수(PFS) 분석

2.4.5 특허 선점 및 확보 전략

- (주요기술 특허 확보 범위) 조류발전 산업은 대기업 중심의 기술개발 진행으로 2020년에 TRL9단계에 진입할 것으로 예상되는 산업이나 조류발전 주요 기술(액체용 기계 또는 기관 분야 외)의 경쟁 및 유사특허 수가 부족하여 회피 가능성이 높아 특허 선점 전략 추진 가능
- (세부기술 특허 확보 전략) 액체용 기계 또는 기관 분야 외 전 기술 분야가 공백 분야로 지지구조물, 블레이드, 통합감시제어장치, 계통 연계 등 구조물 및 운용기술 관련 회피범위가 넓어 빠른 기술 선점을 통한 조류발전을 구성하는 세부기술 확보가 시급함
- (정부 연구소 및 기업 협업의 특허 확보 추진) 스위스 AndritzHydro, 독일 Siemens, 프랑스 Alstom 주도의 연구개발 진행 중이나 동 분석구간 내 특허 출원 수는 총 1개 수준으로 공백기술 선점을 위한 국내 조류발전 대·중소기업 참여의 특허 확보 포트폴리오가 시급함
 - * 전 세부기술 분야에서 특허 공백기술이 확인되고 있으므로 정부연구소·대중소기업 참여의 공백기술별 전담형 기술개발 및 특허 확보 전략으로 기술 선점 필요
 - ** 공백기술 별 정부R&D 투자전략 및 특허 선점 로드맵 반영의 기술개발 추진 시 조류발전 국내 권리 선점 및 글로벌 경쟁력 선도 가능성이 매우 높은 상황임

[표 2-33] 조류발전 주요기술 및 세부기술 특허 선점전략설계

조류발전 주요 기술별	조류발전 세부 기술별	조류발전 연구개발 기업별
IPC코드 기준 조류발전 관련 특허 비교분석	IPC코드 기준 조류발전분야 세부 기술 관련 특허 비교분석	기술 주도기업 보유특허 비교분석
액체용 기계 또는 기관 분야의 특허가 224개로 가장 많고, 풍력원동기 특허가 15개	지지구조물, 피치제어, 나셀, 블레이드, 동력전달 분야는 액체용 기계 또는 기관 분야(F03B)	Siemens의 TURBINE MOTOR WITH AT LEAST TWO ROTORS (출원번호 09765704.3, 출원일 2009.05.20.) 1개 동일 분야
↓	↓	↓
유사성 없음	소 분야에서 공백기술 보유	유사성 없음
회피설계 대상 특허 부족	회피설계 대상 특허 부족	회피설계 대상 특허 부족

- (기술분야별 특허출원 현황) 조류발전분야는 액체용 기계 또는 기관 분야의 특허가 224개로 가장 많고, 풍력원동기 특허가 15개를 차지함
- IPC기준으로 주요 기술분야는 기계공학, 전기, 고정구조물 분야임
- 통합감시제어장치, 계통연계, 수밀, 댐퍼 관련분야의 연구개발 지원 필요

[표 2-34] IPC 코드 기준 조류발전분야 특허 리스트

IPC 코드명	정의	합계 (중복산정)
F03B	액체용 기계 또는 기관	224개
F03D	풍력원동기	15개
H02P	전동기, 전기 발전기 또는 다이내모일렉트릭(역학적 에너지와 전기적 에너지를 서로 변환하는, Dynamo-electric) 변환기 ; 변압기를 제어하는 것, 원자로 또는 초크 코일(choke coil)의 제어 또는 규제	12개
E02B	수공(水工)(선박의 리프트, 준설)	11개
B63B	선박 또는 그 밖의 물에 뜨는 구조물; 선적을 위한 장치	5개
B63H	선박의 추진 또는 조타	5개
F01D	비용적형의 기계 또는 기관, 예. 증기터빈	5개
G01V	지구물리; 중력측정; 질량 또는 대상물의 검출; 태그스	3개
H02K	회전-전기 기계	3개
B63C	선박의 진수, 견인에 의한 운반, 드라이 독크(dry-docking)에의 입출, 수난구조; 수중에서의 생존 또는 탐색용의 장치; 수중물의 인상 또는 탐색용의 장치	2개
B63G	선박용의 공격 또는 방어용 설비; 기뢰 부설; 소해; 잠수함; 항공모함	2개
C02F	물, 폐수, 하수 또는 오니(슬러지)의 처리	2개
F16D	회전운동의 전달을 위한 커플링(coupling), 클러치(clutch), 브레이크(brake)	2개
H02G	전기케이블 또는 전선, 또는 광 및 전기케이블 또는 전선의 결합체의 설치	2개

- (세부 기술개발 특허출원 현황) 지지구조물, 피치제어, 나셀, 블레이드, 동력전달 분야는 액체용 기계 또는 기관 분야(F03B) 이외의 쏘 분야에서 공백기술 보유로 국가 정부의 연구개발 실시 필요
- IPC코드를 기준으로 F03D(풍력원동기), H02K(회전-전기 기계), F16D(회전운동의 전달을 위한 커플링(coupling), 클러치(clutch), 브레이크(brake)만 조류발전기 관련 기술임

[표 2-35] 조류발전분야 세부 기술개발 현황(중복산정)

IPC 코드	지지 구조물	통합 감시 제어 장치	피치 제어 (요제어 포함)	계통 연계	전력 변환 장치	나셀	수밀	댐퍼	블레이드	동력 전달	총합계
F03B	53		13	1	63	8	2		16	68	224
F03D	1				6				1	7	15
H02P	2			1	2				1	6	12
E02B	3				2			1		5	11
B63B	2				2				1		5
B63H	1								4		5
F01D					2				1	2	5
G01V	3										3
H02K	3										3
B63C										2	2
B63G		1								1	2
C02F										2	2
F16D	1									1	2
H02G					2						2

	주요 기술개발 실시 영역		기술개발 미실시 영역
--	---------------	--	-------------

<참고> 지지구조물, 동력전달 기술의 주요 연구개발 분야

○ 지지구조물 분야는 조수(tide)의 에너지를 사용하는 기술, 발전기 또는 원동기와 결합한 잠수장치를 중심으로 연구개발 실시 중

IPC 코드	정의	개수 (중복 산정)
F03B-013/26	조수(tide)의 에너지를 사용하는 것	12
F03B-013/10	발전기 또는 원동기와 결합한 잠수장치	10
F03B-017/06	액체 흐름을 사용하는 것, 예. 날개요동식의 것	8
F03B-013/12	파나 조수의 에너지를 사용하는 것을 특징으로 하는 것	7
F03B-013/00	특수용도를 위한 기계 또는 기관의 적용; 구동하거나 또는 구동되는 장치와 기계 또는 기관의 조합	6
F03B-003/14	조절가능한 블레이드를 가진 회전체	2
F03B-007/00	수차	2
F03B-003/04	회전체의 어느 곳에서나 실질적으로 축방향으로 흐르는 것, 예. 프로펠러수차	1
F03B-003/12	블레이드; 블레이드가 있는 회전체	1
F03B-011/06	베어링장	1
F03B-013/18	다른 쪽의 부재가 적어도 한 지점에서 해저 또는 해안에 대하여 고정되어 있는 것	1
F03B-013/22	파동에 기인하는 물의 흐름을 사용하는 것, 예. 액압모터 또는 액압터빈을 구동하는 것	1
F03B-017/00	타의 기계 또는 기관	1

○ 동력전달 분야는 발전기 또는 원동기와 결합한 잠수장치, 조수(tide)의 에너지를 사용하는 기술, 액체 흐름을 사용하는 기술을 중심으로 연구개발 실시 중

IPC 코드	정의	개수 (중복 산정)
F03B-013/10	발전기 또는 원동기와 결합한 잠수장치	16
F03B-013/26	조수(tide) 의 에너지를 사용하는 것	14
F03B-017/06	액체 흐름을 사용하는 것, 예. 날개요동식의 것	11
F03B-013/12	파나 조수의 에너지를 사용하는 것을 특징으로 하는 것	8
F03B-013/00	특수용도를 위한 기계 또는 기관의 적용; 구동하거나 또는 구동되는 장치와 기계 또는 기관의 조합	7
F03B-013/22	파동에 기인하는 물의 흐름을 사용하는 것, 예. 액압모터 또는 액압터빈을 구동하는 것	3
F03B-007/00	수차	2
F03B-003/12	파나 조수의 에너지를 사용하는 것을 특징으로 하는 것	1
F03B-011/00	그룹 F03B 1/00에서 F03B 9/00으로 분류되지 않는 부품 또는 세부(제어)	1
F03B-013/08	댐 또는 그것과 같은 것과 일체로 결합한 기계 또는 기관, 그것의 도관	1
F03B-013/18	다른 쪽의 부재가 적어도 한 지점에서 해저 또는 해안에 대하여 고정되어 있는 것	1
F03B-015/02	액체의 흐름을 바꾸는 것에 의한 것	1
F03B-015/04	터빈의 제어(조정가능한 날개를 갖는 회전체 F03B 3/06, F03B 3/14; 조정가능한 안내베인(vane) F03B 3/18; 특히 고속액체의 분사가 회전체의 날개 또는 그것과 유사한 것에 충돌하도록 한 터빈에 취부한 것	1
F03B-015/14	수면에 의한 또는 수면의 조정	1

○ (대기업 중심 연구개발) 동 특허분석의 유효특허 중 조류발전 기술 주도기업의 특허인 Siemens의 TURBINE MOTOR WITH AT LEAST TWO ROTORS(출원번호 09765704.3, 출원일 2009.05.20.)는 엔진 관련 특허로 동 사업의 요소기술과 유사성이 없음

2.5 기술수준 및 기술개발 역량 분석

- 한국과학기술기획평가원에서 발간한 「2016년 기술수준평가 보고서」⁵⁾에서 분석한 120개 국가전략기술 중 동 사업이 해당하는 ‘67. 해양에너지 기술’분야를 분석함
 - 동 사업과 관련된 해양에너지 기술은 최고기술국 대비 기술격차는 4.6년, 기술수준은 79.7%로 추격그룹에 속하는 것으로 나타남
 - 한국의 해양에너지 기술 분야는 기초연구보다 응용·개발연구가 기술수준이 2.3% 더 높고, 기술격차가 0.4년 더 짧은 것으로 나타남

[표 2-36] 최고기술국 대비 주요국 기술수준 및 격차

국가	기초연구 수준격차			응용·개발연구 수준격차			기술수준격차		
	그룹	수준(%)	격차(년)	그룹	수준(%)	격차(년)	그룹	수준(%)	격차(년)
한국	추격	78.5	4.8	선도	80.8	4.4	추격	79.7	4.6
중국	추격	67.7	6.5	추격	68.0	6.3	추격	67.9	6.4
일본	선도	88.8	2.2	선도	90.5	2.0	선도	89.7	2.1
EU	최고	100.0	0.0	최고	100.0	0.0	최고	100.0	0.0
미국	선도	90.7	1.3	선도	96.0	0.7	선도	93.4	1.0

- 한국은 2014년보다 2016년에 5개국 중 기술수준이 4.7%p로 가장 높게 향상됨
- 기초연구 수준은 4.2%p, 응용·개발연구 수준은 5.1%p 향상됨
- 미국의 경우 2016년 해양에너지 기술의 기초연구 수준은 4.1%p 감소하였고, 응용·개발연구 수준은 0.2%p 향상됨

5) 기술수준평가는 과학기술기본법 제14조 및 동법 시행령 제24조에 따라 국가 핵심기술에 대한 기술수준을 매 2년 주기로 평가하는 제도로 미래부에서 주관하고 KISTEP에서 평가를 수행함

- 평가대상: 「제3차 과학기술기본계획(2013~2017)」상 120개 국가전략기술
- 평가내용: 주요 5개국(한국, 중국, 일본, EU, 미국) 간의 기술수준 및 기술격차 비교
- 평가방법: 논문·특허 및 기술동향 분석, 전문가 델파이 조사를 기반으로 10대 분야별 종합 분석을 통해 국가전략기술에 대한 주요 국가별 기술수준을 평가

[표 2-37] 최고기술국 대비 주요국 기술수준 변동

국가	기초연구 수준(%)			응용·개발연구 수준(%)			기술수준(%)		
	2014년	2016년	증감(%p)	2014년	2016년	증감(%p)	2014년	2016년	증감(%p)
한국	74.5	78.5	4.2	75.7	80.8	5.1	75.0	79.7	4.7
중국	65.2	67.7	2.5	65.2	68.0	2.8	65.2	67.	2.7
일본	87.8	88.8	1.0	90.3	90.5	0.2	89.1	89.7	0.6
EU	100.0	100.0	0.0	100.0	100.0	0.0	100.0	100.0	0.0
미국	94.8	90.7	-4.1	95.8	96.0	0.2	95.3	93.4	-1.9

- 한국의 기술격차는 2014년 대비 2016년에 1년 감소함
- 타 국가 대비 한국의 기술격차 감소 폭이 가장 큰 것으로 나타남
- 응용·개발연구의 경우 2014년 대비 2016년에 중국의 기술격차가 0.1년 증가하여 한국과의 격차가 늘어남

[표 2-38] 최고기술국 대비 주요국 기술격차 변동

국가	기초연구 격차(년)			응용·개발연구 격차(년)			기술격차(년)		
	2014년	2016년	증감(년)	2014년	2016년	증감(년)	2014년	2016년	증감(년)
한국	5.7	4.8	-0.9	5.5	4.4	-1.1	5.6	4.6	-1.0
중국	7.0	6.5	-0.5	6.2	6.3	0.1	6.6	6.4	-0.2
일본	2.3	2.2	-0.1	3.0	2.0	-1.0	2.7	2.1	-0.6
EU	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
미국	1.5	1.3	-0.2	1.6	0.7	-0.9	1.6	1.0	-0.6

2.6 환경분석결과에 따른 대응방향

2.6.1 SWOT 분석

(1) 내부 역량 및 외부 환경

- 국내외 시장 산업, 정책, 기술동향을 분석한 결과 내부적인 강점과 약점, 그리고 외부 환경의 기회 및 위협 요인들을 도출하였으며 이를 정리하면 다음과 같음([표 2-28], [그림 2-46] 참조)

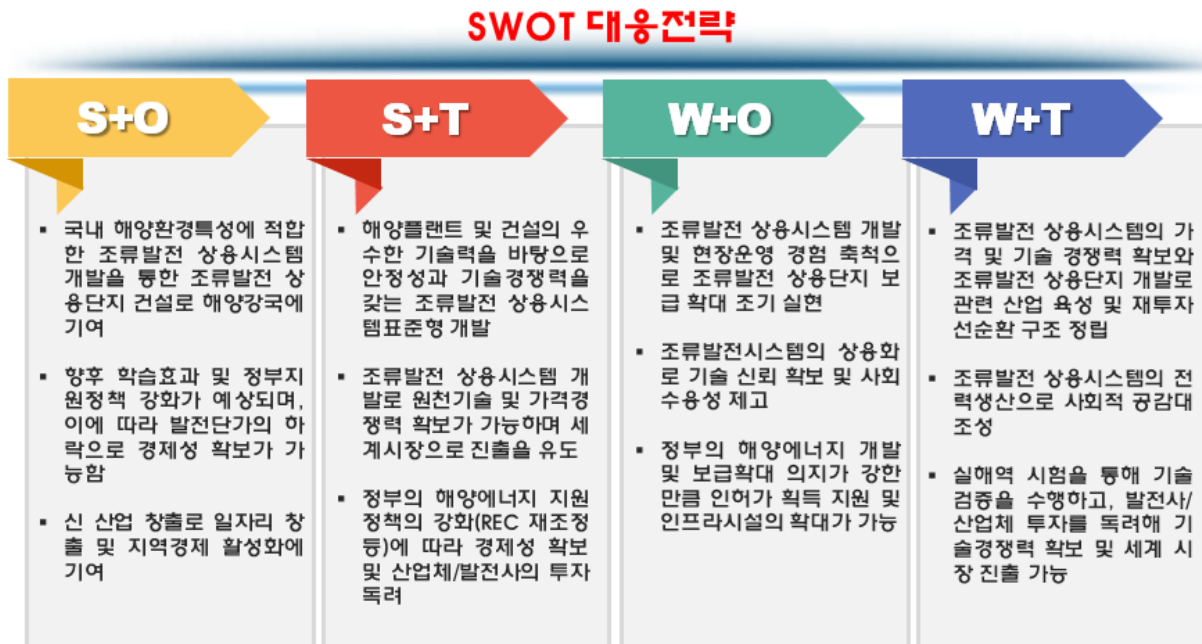
[표 2-39] SWOT 요소 도출

외부환경요소			
O1	조류발전 개발여건 우수		
O2	해양플랜트 및 건설 산업 기술력 우수		
O3	신정부의 에너지정책과의 부합성		
O4	친환경에너지 개발의 사회적 필요성		
O5	세계 조류발전 시장의 급성장		
T1	조류발전의 경제성 확보 어려움		
T2	조류발전단지 건설 및 운영경험 부족		
T3	경기침체로 산업체 기술개발투자 축소		
T4	조류발전에 대한 사회적 공감대 부족		
T5	인허가 획득의 어려움		
T6	기술검증을 위한 인프라 시설의 부족		
내부환경요소(강점)		내부환경요소(약점)	
S1	풍부한 조류발전 입지 및 개발가능량	W1	경제성확보문제 (높은 발전단가 등)
S2	해양에너지 개발의 필요성 증대	W2	해외 선진기술과의 기술 격차
S3	정부의 해양에너지 개발 및 보급확대 의지	W3	인프라 부족으로 기술 및 가격경쟁력 약화 (유럽 등 글로벌 선도기업과의 경쟁)
S4	신규사업 발굴 기회	W4	환경문제 등 개발정책 추진의 어려움
S5	정부지원의 활용 기회(REC 등)	W5	경기침체로 산업체 선행투자 어려움



[그림 2-56] SWOT 요소 도출

(2) SWOT 대응전략



[그림 2-57] SWOT 대응전략

(3) 미래시장 대응전략

- SWOT 분석을 통하여 도출된 대응방안을 바탕으로 아래 [표 2-40]과 같이 미래 시장에 대한 대응 전략을 수립함

[표 2-40] 미래시장에 대한 대응 전략

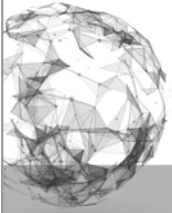
대응전략	구체적인 방안
<p>시장 선점을 위한 상용화기술 확보</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 조류발전 상용시스템 확보를 위한 연구개발 계획 수립 <ul style="list-style-type: none"> - 해외 경쟁력 강화를 위한 연구개발의 선택과 집중 - 최종수요자인 발전사와 공동개발 및 기술 공유 ○ 조류발전 조기 상용화를 위한 성능 향상 추진 <ul style="list-style-type: none"> - 연구소, 산업계, 학계 등 클러스터형 연구개발 체계 구축 - 현장실증을 통한 운영 및 유지관리 기술 확보
<p>조류발전 상용화 기술 경쟁력 강화</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 첨단기술 활용 기술 융복합 조류발전 상용시스템 개발 및 실증 <ul style="list-style-type: none"> - 기능 확대 및 기능 추가를 위한 NT, IT 등의 첨단기술 활용 - 현장실증을 통한 일관공정 표준절차서 정립 ○ 조류발전 상용시스템 해외 진출방안 수립 <ul style="list-style-type: none"> - 상용시스템 표준모델 개발을 통한 국제인증 추진 - 성능의 고도화, 기술 경쟁력 강화를 통한 해외 수출

2.6.2 사업추진방향 설정

○ 기술 및 산업동향, 정책 및 법·제도, 연구개발 동향, 국내 기술수준 및 기술개발 역량 분석, 국내 조류발전 수요자 Needs를 분석한 결과, 다음 [그림 2-48]과 같이 종합 시사점을 도출하였으며, 이를 통해 조류발전 상용시스템 추진방향을 설정하였음



[그림 2-58] 환경분석 결과를 종합한 추진방향 설정



제3장

사업 내용

3 사업 내용

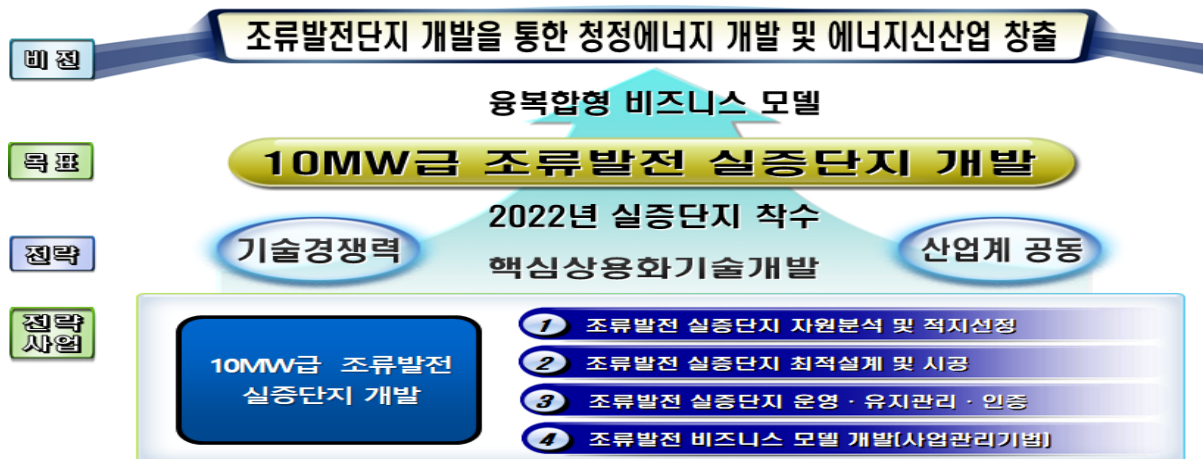
3.1 연구개발 비전 및 목표

3.1.1 비전 및 목표

- 환경 및 역량분석, 타당성 분석을 통해 다음과 같은 비전을 설정하였음

10MW급 조류발전 실증단지 개발을 통한
청정에너지 생산 및 에너지신산업 창출

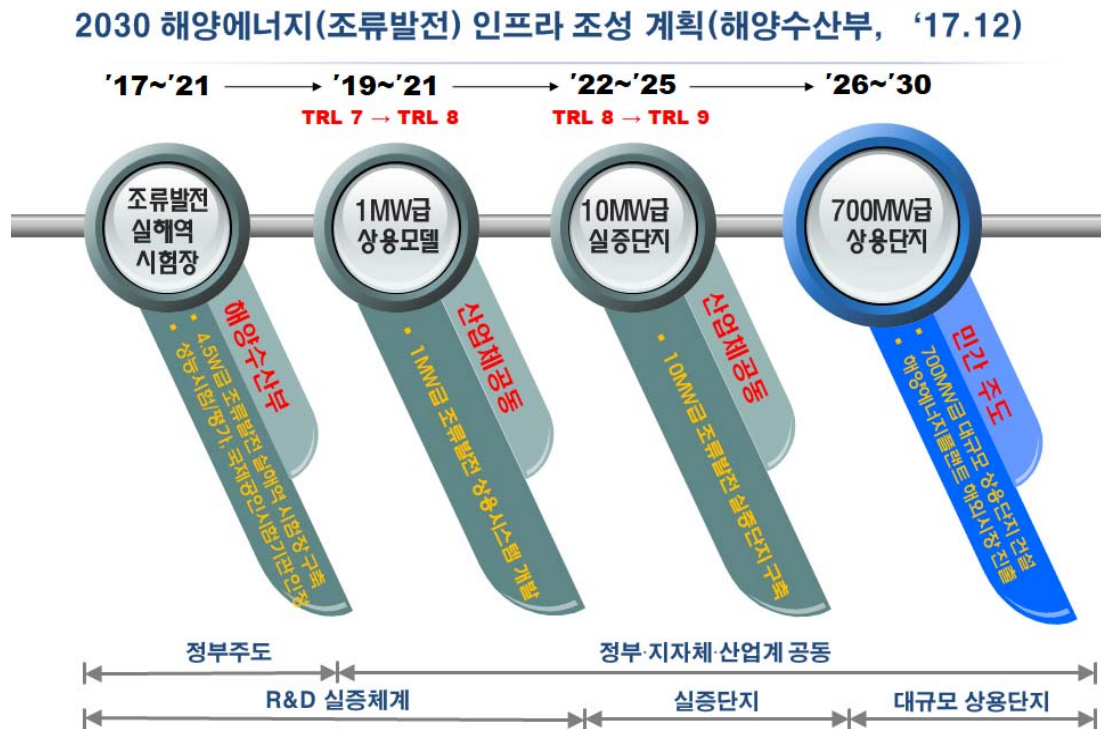
- 본 기획연구에서는 비전 실현을 위한 연구개발의 목표를 **10MW급 조류발전 실증단지 개발**로 설정하고, 융복합형 비즈니스 모델을 적용함으로써 향후 **대규모 조류발전 단지 개발을 통한 에너지 신산업 창출**에 기여하는 것을 목표로 추진
 - 조류발전 인프라 구축 및 기술 선진화 추진
 - 조류에너지 전문기업 육성 및 supply chain 구축
 - 조류에너지 해외시장 진출 유도
- 본 연구의 비전 및 목표를 달성하기 위해 발전사, 제작사, 건설사 등 관련 산업체와 협력체계를 구축 공동으로 개발하고, **2022년 10MW급 실증단지 구축사업을 추진하는 것으로 설정함**



[그림 3-1] 비전 및 목표

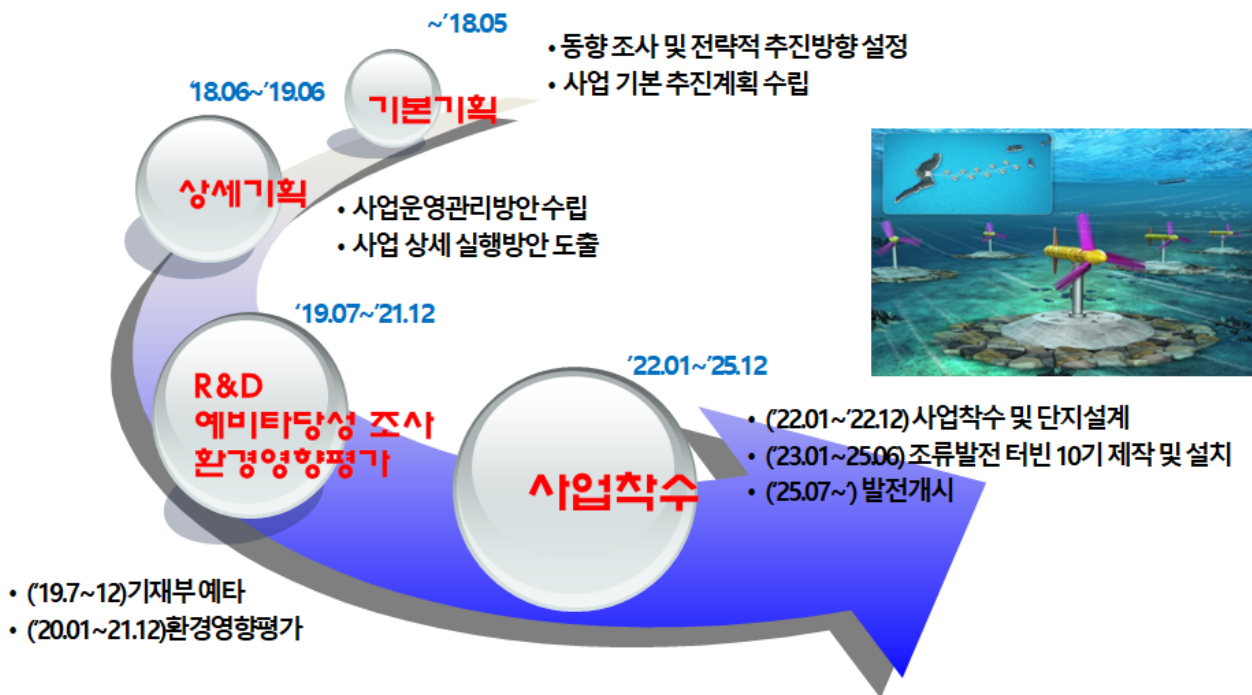
3.1.2 추진단계 및 단계별 목표 설정

- 본 기획에서는 조류발전 동향 조사 및 전략적 추진방향 설정, 사업 기본 추진계획 수립을 수행하며, 향후 상세기획을 통해 사업운영관리방안 수립, 사업 상세 실행방안 등을 도출할 계획으로 10MW급 실증사업 추진을 위한 기본계획 수립 및 예비타당성평가를 목표로 설정함
- 시범사업단계에서는 R&D 성과를 적용하며 10MW급 조류발전 실증단지를 정부·지자체·산업계 공동으로 추진하고, 향후 700MW급 본격 상용단지 추진을 위한 사업추진 타당성평가를 병행하는 것으로 설정
- 시범사업단계의 구체적인 추진방향과 예산 등은 국가 R&D 단계에서 상세한 조사 및 연구를 통해 도출되어야 하므로 본 기획에서는 기본 기획을 실시하는 것으로 함. 다음 [그림 3-2]는 조류발전 상용화 및 상용단지 건설을 위한 추진 단계 및 단계별 목표를 나타낸 것임



[그림 3-2] 조류발전 기술개발을 위한 단계별 추진목표 및 내용

- 연차별 조류발전 실증단지 추진 계획으로는 총 연구기간을 4년으로 구성하여 초기 1.5년간은 적지선정 및 설계(인허가 취득 포함), 다음 2년간은 시공, 마지막 0.5년은 사후 모니터링을 수행하는 것으로 계획함

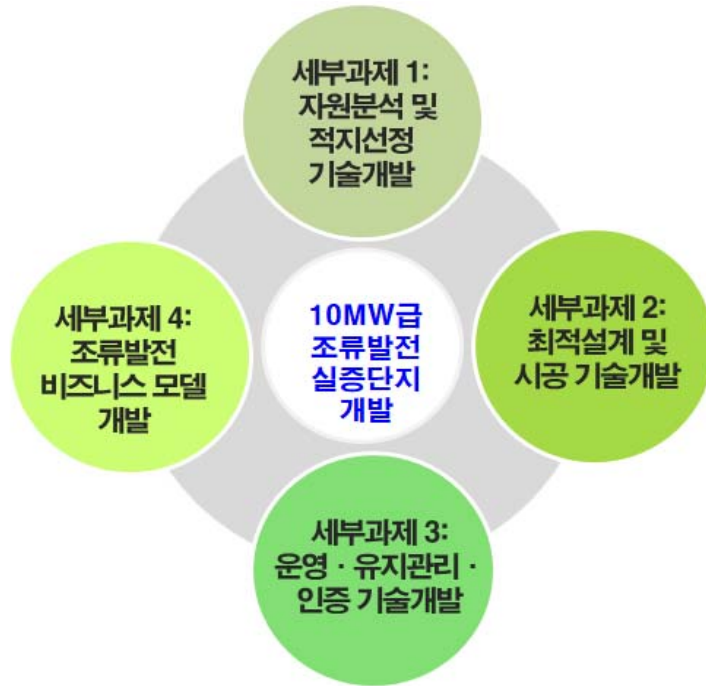


[그림 3-3] 10MW급 조류발전 실증단지 추진 계획

3.2 연구개발과제의 구성

3.2.1 연구과제 구성 및 목표 설정

- 연구개발 목표 달성을 위하여 다음 4개의 세부과제(단계)로 구성하여 추진
 - 세부과제 1: 10MW급 조류발전 실증단지 자원분석 및 적지선정 기술 개발
 - 세부과제 2: 10MW급 조류발전 실증단지 최적설계 및 시공 기술 개발
 - 세부과제 3: 10MW급 조류발전 실증단지 운영·유지관리·인증 기술 개발
 - 세부과제 4: 조류발전 비즈니스 모델 개발(사업관리기법)



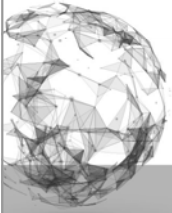
[그림 3-4] 연구개발 세부과제 분류

3.2.2 기술성숙도(TRL) 단계별 목표

- 조류발전 기술은 현재 기술성숙도 7단계(TRL 7, 현장실증단계)에 있는 것으로 평가되며, 국가 R&D로 추진 예정인 「조류발전 상용화기술 개발 연구」를 통해 준상용화 단계인 기술성숙도 8단계(TRL 8)로 상승할 것으로 기대됨. 또한 「10MW급 실증단지 구축」사업을 통해 상용화 단계인 기술성숙도 9단계(TRL 9)에 도달할 것으로 예상됨 ([그림 3-5] 참조)



[그림 3-5] 기술성숙도(TRL) 단계별 목표

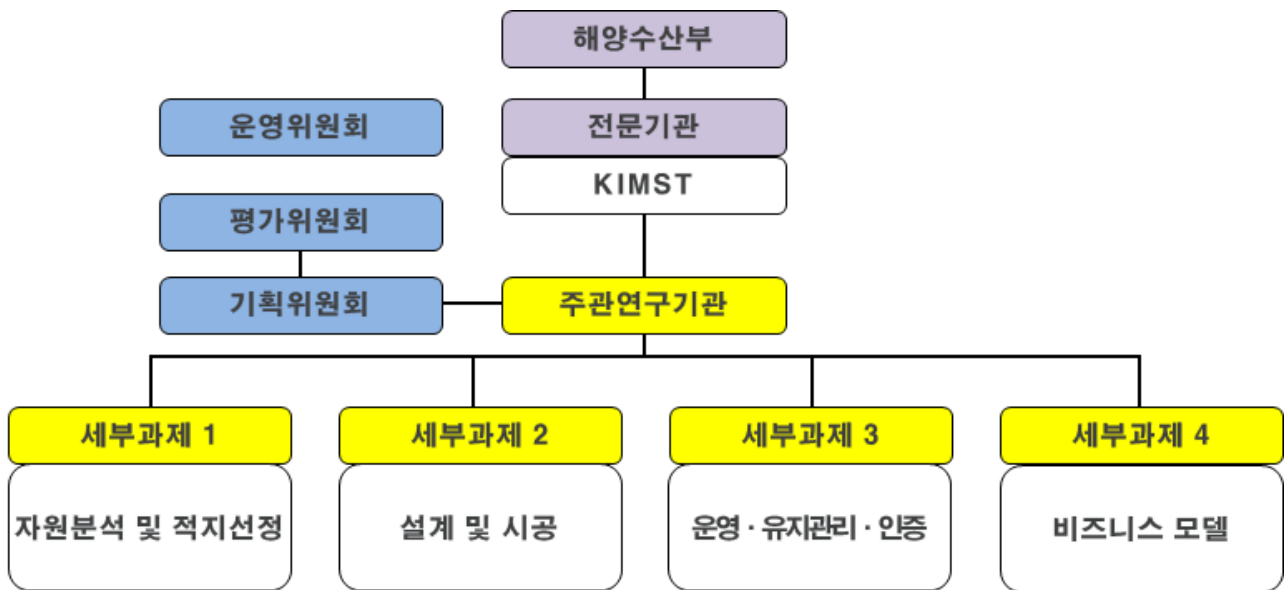


제4장

연구개발사업 추진체계 및 전략

4 연구개발사업 추진체계 및 전략

4.1 사업 추진 체계



[그림 4-1] R&D 사업 추진 체계

- 정부부처 해양수산부 주관 사업으로 산학연으로 구성된 연구단을 조직하여 사업을 추진
- 해양수산부는 본 사업의 정책적 판단, 의사 결정, 계획 수립 등 총괄의 과제 진행을 담당하며, 전문기관(해양수산과학기술진흥원)에서는 평가 및 기획위원회 운영, 사업비 관리, 과제 관리 등 본 사업의 성공적인 수행을 위한 관리기관으로서의 역할을 담당함
- 주관연구기관은 각 세부과제별 담당자를 지정하고, 세부과제별 위탁/참여/협동의 형태로 하부조직을 구성하여 본 연구의 기술 전문성을 확보함. 또한, 주관연구기관에서는 본 과제의 결과를 통합적으로 관리·운영하며 연구를 지원함

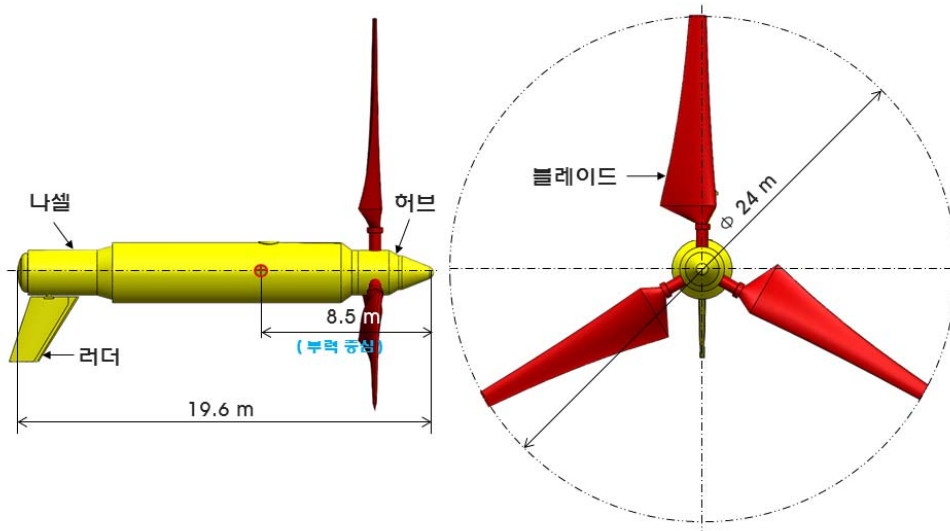
4.2 조류발전시스템

- 해외 주요 조류발전터빈 제작사의 개발 현황을 살펴보면, 250~300kW의 prototype 터빈을 개발 후, 1MW 준상용화 터빈을 개발하는 것으로 나타났다. [표 4-1]은 해외에서 준상용화 된 조류발전터빈의 특성을 나타낸 것으로, 10MW 실증단지에는 2019년부터 개발 될 계획인 국내용 1MW급 조류발전시스템을 채택할 예정임

[표 4-1] 해외 조류발전터빈 준상용화 모델별 특성

모델명	HS1000	HS 1000 MK1	AR1000	AR 1500	SeaGen-S	KS200	KS1000
제작사	ANDRITZ HYDRO Hammerfest	ANDRITZ HYDRO Hammerfest	Atlantis Resources	Atlantis Resources	Atlantis Resources	KIOST	
형식	수평축	수평축	수평축	수평축	수평축	수평축	수평축
수차직경 (m)	21	18	18	18	20	12	24
정격유속 (m)	2.8	3.15	2.65	3.0	2.5	2.3	2.3
정격용량 (kW)	1,085	1,500	1,000	1,500	2,000 (2×1,000)	225	1,000
개발연도	2011.12-현재	2016.05	2011-현재	2016	2008	2018	2021
비고	<ul style="list-style-type: none"> EMEC에서 실증 시험 중 	<ul style="list-style-type: none"> HS1000 기반확대 모델 실증시험 없음 MeyGen Proj.에 적용 	<ul style="list-style-type: none"> EMEC에서 실증 시험 중 	<ul style="list-style-type: none"> AR1000 기반 확대 모델 실증시험 없음 MeyGen Proj.에 적용 	<ul style="list-style-type: none"> SeaGen 모델 (1.2MW급) 북아일랜드에서 실증시험 (2008-) 모델을 기반으로 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 2018년 현재 시제품 제작 완료 최종 육상 시험 중 2018년 실증 시험 실시 예정 	<ul style="list-style-type: none"> 2019-2021 개발

- 2019년부터 기술 개발 예정인 한국형 KS1000모델은 KS200(200kW)의 기술을 활용하여 1MW로 확대·적용할 계획으로 상기모델의 형상은 [그림 4-2]에 나타내었음



[그림 4-2] 1MW 급 조류발전기 형상(안)

- 상어의 강함, 날렵함 등의 이미지를 모티브로 메타포 디자인을 진행하였으며, 현재 개발 수행 중인 200kW급 능동제어형 조류발전기(KS200)의 치수를 참고하여 설계하였음
- 특히 국내 시설 기반을 고려하여 제작이 가능한 범위(형상, 무게, 재료등)에서 허브와 러더가 유체 저항을 최소화 하는 형상을 갖도록 설계 반영함
- 조류발전기 로터의 직경은 정격유속 2.3m/s 기준에서 24m로 선정되었으며, 이는 KS200(로터 직경 12m) 조류발전기에 비해 직경이 2배임
- 블레이드 재질은 탄성과 강도를 유지할 수 있도록 유리섬유(복합재)를 사용하며, 그 밖의 모든 구성품은 해수의 방부식에 강한 스테인레스스틸(SS400)재질로 선정하였음 ([표 5-2] 참조)
- 또한, 영구자석형 동기발전기(PMSG)를 이용하여 전력변환장치로 토크를 제어하고 발전기 주파수는 계통의 주파수와 일치할 계획임

[표 4-2] 1MW급 조류발전기 주요 사항

기본 사양		중량 정보	
정격 출력	1MW	육상 중량	100,000kg
정격 유속	2.3m/s	부력	74,100kg
cut-in	1.0m/s	수중 중량	25,900kg
cut-out	4.4m/s		

4.3 기술개발 로드맵

- 2.5GW급 서남해 해상풍력 실증단지, 30MW급 탐라해상풍력 발전단지 등 해상풍력 기술을 이용한 발전단지가 주를 이룸. 그러나 아직까지 국내에는 조류발전 단지는 전무하나 울돌목 시험조류발전소와 조류발전 실향역 시험장이 구축 중에 있어 이를 확장한 개념의 실증단지 구축이 가능함
- 또한, 발전사의 요구에 대응하여 지지구조물을 포함하는 조류발전시스템 표준 모델의 실증과 함께 적지선정, 최적 배치, 설계 기술 개발, 환경영향평가, 통합감시제어 등을 포함하는 조류발전 단지개발기술을 추진하며, 국내 기술의 해외 유출을 방지하고 인증을 통한 기술 보호 등 조류발전단지 개발에 대한 독자적인 기술력을 확보함
- 현재 수행 중인 “조류발전 실향역 시험장 구축” 연구진의 참여로 성능평가 기술 및 시설을 공유하며 관련 기술력 제고가 가능함
- 조류발전 실증단지의 최종운영자인 발전회사와 공동 연구(참여기업)를 수행함
 - 예산은 정부 50%, 참여기업(발전회사) 50%의 공동투자로 수행
 - 발전사와 공동연구로 수요자의 요구에 부응하는 User-Friendly 시스템 개발 추구 및 전체공정에 대한 기준, 기술 제고(인증, 운영, 유지관리, 사업관리기법 포함) 등 개발
 - 국내 조류발전 상용시스템을 채택하여 실증함으로써 국내 기술력의 신뢰성 향상
 - 향후 700MW급 상용발전단지 구축의 기술기반 확보
- 10MW급 조류발전 실증단지 기술개발 로드맵은 다음 [그림 4-3]과 같이 제시함



[그림 4-3] 10MW급 조류발전 실증단지 기술개발 기본 로드맵

4.4 소요 예산 추정

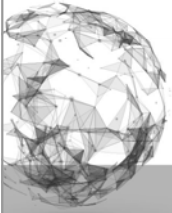
- 10MW 조류발전 실증단지 기술개발 연구 예산은 상기 기술 로드맵의 추진 업무에 따라 다음 [표 4-3]와 같이 개략 추정을 하였으며, 향후 상세계획을 통해 더욱 구체화된 예산 및 인력 추정이 가능함

[표 4-3] 소요 예산 및 인력

(단위: 백만원, 명)

구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합계
정부	1,000	22,500	25,000	3,500	52,000
민간	1,000	22,500	25,000	3,500	52,000
합계	2,000	45,000	50,000	7,000	104,000

- 상기 소요예산 추정을 위해 조류발전기 단위 제작비 60억원, 지지구조물 단위제작비 20억원, 단위설치비 10억원 O&M 비용을 기기당 2억원/년으로 추정하였으며 기타경비(관리비 등)는 개략 총 예산의 12%로 추정하였음. 또한 총 투자비의 정부출연금은 50%를 차지하며 이외는 민간부담으로 구성하였음
- 국내 주요 발전사(한국수력원자력, 한국서부발전, 한국남동발전, 한국동서발전, 한국중부발전)를 비롯하여 국내 대·중·소기업 및 지자체에서는 조류발전 사업에 적극적인 참여 의사를 피력한 바 있음
- 또한, 향후 관계 기관간 MOU 체결 등 업무 협약을 진행할 계획임



제5장

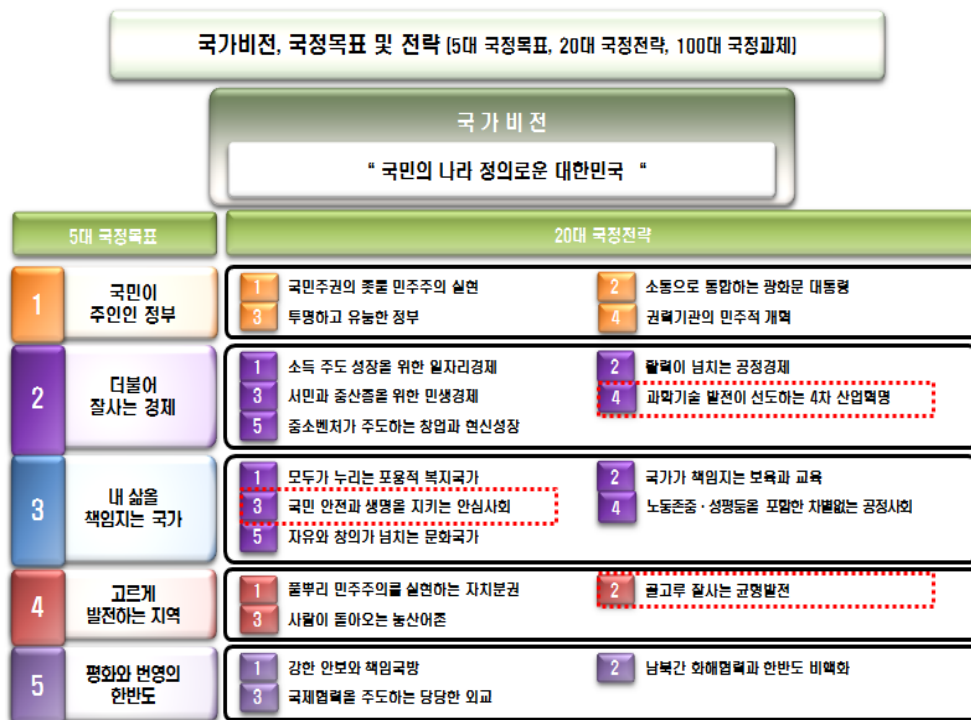
사전 타당성 분석

5 사전 타당성 분석

5.1 정책적 타당성

5.1.1 정부 정책, 계획과 부합성

- 정부의 5대 국정목표의 21개 추진전략에서 창조경제 생태계 조성, 일자리 창출을 위한 성장동력 강화, 창의와 혁신을 통한 과학기술 발전, 재난·재해 예방 및 체계적 관리, 쾌적하고 지속가능한 환경 조성, 통합과 화합의 공동체 구현 등과 관련 있음
- 문재인 정부의 국정과제 및 국정운영 계획에 해양에너지 개발에 대한 구체적인 방향이 제시되어 있으며, 서남해안에 해양에너지 복합발전 플랜트산업 추진이라는 계획이 포함되어 있음



[그림 5-1] 정부의 국정비전 및 목표, 추진전략

- 해양수산부(2017)에서는 『2030 해양에너지개발계획』에 대한 세부추진전략을 수립하였음
 - 전략 1: 해양에너지 R&D 확대 및 실증체계 구축
 - 전략 2: 대규모 해양에너지 발전단지 조성
 - 전략 3: 글로벌 시장 진출 및 국내 보급 확대
 - 전략 4: 해양에너지 인증체계 구축 및 정책지원강화

- 해양수산부(2017)에서는 해양에너지 등 신재생에너지 개발 및 지원 방안을 수립하였음. 본 방안에는 2030년까지 1.5GW 규모의 해양에너지 인프라를 구축하는 목표를 수립하였으며, 특히 조류발전은 700MW의 시설용량을 구축하는 방안이 수립되어 있음
 - 2017~2021년: 4.5MW급 조류발전 실해역 시험장 구축
 - 2019~2021년: 1MW 조류발전시스템 개발
 - 2022~2025년: 10MW 조류발전 실증단지 구축
 - 2026~2030년: 300MW와 400MW 발전단지 구축

5.1.2 정부지원의 필요성 및 시급성

- 영국을 비롯하여 미국, 캐나다, 일본, 중국에서는 국가적 차원에서 해양에너지 개발이 시행되고 있음. 또한 선진 기술을 통해 해외 시장 진출을 가속화시키며 기술 우위를 통해 세계 시장을 선점하고 있어 국내 기술의 세계 시장 진출을 위해서는 조류발전 상용화 기반 구축이 시급함
 - 해양에너지 선진국은 국가적 차원의 개발 지원을 통해 시장 부흥을 이룸

- 조류발전기술은 해양에너지 중 선진기술에 4.2년 격차로 가장 근접한 분야로 집중투자를 통해 상용화기술을 조기에 확보한다면 2020년부터 본격적으로 열릴 것으로 예상되는 글로벌 조류발전시장 진입에 기술경쟁력 확보라는 교두보를 갖게 될 것으로 기대됨.

- 만약, 이 시기를 놓친다면 이미 시장에 진입한 선진기술과의 기술격차해소에 상당한 노력과 시간이 소요될 것으로 예측되므로 시장 활성화 초기단계에 글로벌시장에 진입한다면 시장 진입의 어려움과 기술격차는 빠르게 해소될 것으로 전망되며 관련 산업 활성화를 이룰 수 있음

- 한편, 국내의 경우 조류발전 산업 인프라 시설 및 시장이 구축되어 있지 않은 상황으로 민간 기업 주도는 현실적으로 불가능함. 특히 조류발전 상용화를 위해서는 상당한 기술력과 제원, 행정/법률적 절차 해결 등이 필요하기 때문에 정부 지원이 필요함
- 또한, 해양에너지는 현재 기술성숙도가 낮아 민간 기업에서의 투자 유치에 많은 어려움이 있음. 또한 해양에너지 개발을 위한 인프라가 부족한 상황으로 국책 연구기관 중심의 R&D에 많이 치중되어 있음. 따라서 R&D를 통한 기술 개발과 실증이 필요하며, 기술 보급을 통해 시장 창출 등 전략적인 지원이 필요함. 더욱이 민간기업의 투자를 유도하기 위해서는 REC 가중치 확보 등 해양에너지 개발을 위한 제도적 장치 마련이 필요함
 - 현재 조류발전 시장이 형성되어 있지 않으며 민간기업의 기술성숙도가 낮은 상황임. 게다가 조선 등 관련 산업의 경기하락으로 기술개발투자의 여력 부족과 투자위험도 우려 등으로 투자를 꺼리고 있는 실정임
- 2020년부터 100MW 규모 이상의 대단위 조류발전단지 조성 등 본격적으로 열릴 것으로 예상되는 글로벌 조류발전시장에 능동적으로 대처하고 국내 관련산업의 활성화, 국내시장의 보호 등을 위해서는 상용화 기술개발이 시급하기 때문에 상용화 단계까지는 정부가 주도적으로 리드할 필요가 있음
 - 기술선진국인 EU도 상용화단계(실증단지 건설)까지는 정부에서 지속적인 투자로 관련 산업과 시장 활성화를 추구하고 있음
- 국내 시장 활성화와 국외 기술수출을 위하여 기술의 최종수요자인 발전회사와 협력하여 수행하는 것으로 추진하고 있으며, 현재 4개의 발전회사가 참여의향을 밝힌 바 있음
- 또한, 최근에는 동남아시아, 적도국가, 남미 등에서 해양에너지 개발기술과 플랜트 산업을 적극 추진하고 있어 기술 수출을 위해 관련 사업의 조속한 추진이 시급함
 - 아시아 특히 인도네시아, 필리핀, 말레이시아 등 국가에서 조류발전 공동개발 등의 제의가 있으나, 국내 기업의 준비가 부족한 상황임. 따라서 국내 조류발전 관련기업을 적극적으로 육성할 필요가 있으며, 유럽의 기업 활성화 모델을 따라 정부의 직
 - 간접적이며 적극적인 지원책이 시급한 시점임

- 「국가에너지 기본계획」의 해양에너지 보급목표(‘20년까지 2.4%) 달성 및 신기후체제(유엔기후변화협약)에 따른 국가 온실가스 감축을 위해 조류, 파력 등 해양에너지 상용화 기술 개발을 위한 지속적인 투자가 필요함
 - 국내 신재생에너지 보급률 중, 해양에너지 부분의 기여도는 조력을 제외하고 전무한 상태로 해양에너지 보급목표 달성을 위해 조류, 파력 등 신규 에너지원 발굴 필요
 - 국내 부존하는 신재생에너지원 중, 해양에너지원의 부존량은 전체 신재생에너지 부존량의 42.5%로 가장 높은 비중을 차지하며, 이를 개발·이용하기 위한 기술개발 및 인프라 구축 필요

- 한편 본 사업의 선행연구사업인 「해양청정에너지기술개발」 사업이 '19년 일몰됨에 따라, 해양에너지 상용화를 위한 후속사업 기획 필요

- 해양수산부의 추진의 타당성으로는 다음 법령과 같음
 - 「정부조직법 제43조(해양수산부)」에 따라, 해양수산부는 해양자원개발에 관한 사무를 관장하며, 조류, 파력 등 해양에너지 개발에 관한 업무를 수행
 - 「해양수산 R&D 중장기 계획」의 (전략 2) 창조형 해양수산 산업 육성/2-1. 해양자원 및 해양에너지 개발 활성화에 부합
 - 「해양수산 R&D 산업화 촉진전략」의 (전략2) 7대 핵심산업 분야 R&D 강화/2-1. 해양청정에너지 조기 상용화에 부합
 - 해양수산부(2017)의 『2030 해양에너지 개발 계획』에서는 1.5GW 규모의 해양에너지 발전인프라 구축 및 에너지 신산업 창출 계획에 대한 목표 달성 필요
 - 조류발전의 경우, 정부·지자체·산업계 주도로 10MW급 실증단지를 ‘22~’25년까지 구축하며, 이후 민간기업 주도로 700MW 규모로 확대

- 해양에너지는 기존 해양산업과의 융합으로 새로운 해양비즈니스 모델로의 발전 가능성이 크기 때문에 해양신산업 창출로 창조경제 및 일자리 증대 효과로 국정과제의 성공적 추진에 기여할 수 있을 것으로 기대됨
 - 2025년 이후 연간 약 1조원에 이를 것으로 예상되는 국내 조류발전 건설시장의 국내기술 점유율 향상을 통해 국내 기업 활성화, 일자리 창출 및 수출 기반 확보 필요

5.2 기술적 타당성

5.2.1 기존 연구사업과의 연계성

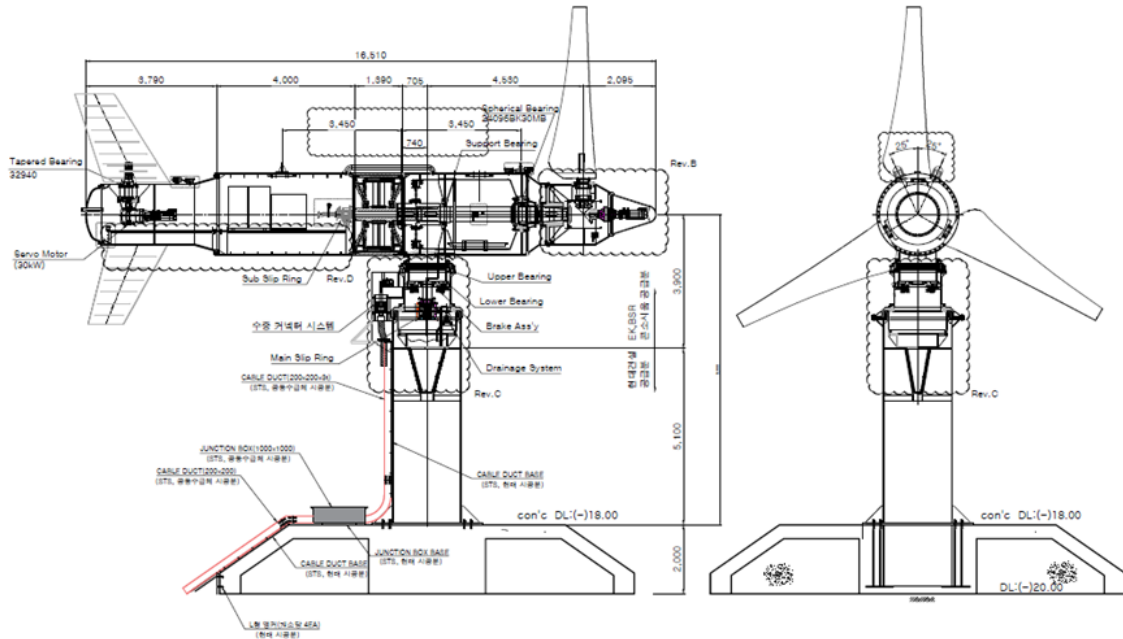
- 한국해양과학기술원에서는 2017년부터 국내외에서 기 개발된 조류발전시스템과 부품의 성능시험 및 평가가 가능한 4.5MW급 조류발전 실험역 시험장 구축연구를 수행 중에 있음. 따라서, 실험역 시험장 구축을 통해 구축된 기술을 활용하여 10MW급 조류발전 실증단지 구축에 적용이 가능하며 관련 기술 신뢰도를 확보할 수 있음
- 조류발전 실험역 시험장은 공인시험기관 인정을 획득할 계획이며 조류발전시스템의 출력, 하중, 블레이드 강도, 드라이브 트레인 및 비파괴 시험 분야에 시험 성적서를 발행할 계획임



[그림 5-2] 조류발전 실험역 시험장 개념도

- 또한, 한국해양과학기술원에서는 2011년 11월부터 능동제어형 조류발전 기술 개발 연구를 수행 중에 있음. 본 연구에서는 유향·유속에 따라 능동제어가 가능한 200kW급 조류발전시스템 개발이 주된 목표이며, 2018년 상반기에 실험역 실증을 계획 중에 있음. 따라서, 본 연구의 주요 결과는 다음과 같으며, 이를 바탕으로 1MW급 상용모델 개발을 추진 중에 있음
- 200kW급 조류발전기 제작 및 표준화

- 조류발전 지지구조물 제작 및 현장 설치, 전력계통연계시설 구축
- 유속·유향에 따라 능동 제어가 가능한 고효율 시스템 개발



[그림 5-3] KS200 제작 도면

○ KS200의 주요 성능은 다음 [그림 5-4]와 같음

<p>Rotor Diameter: 24 m, Swept area: 452 m² Rotor speed: 16 rpm Power regulation: Active blade pitch regulation</p>
<p>Yawing system Type: Rudder pitch control Control type: Passive/Active both</p>
<p>Transmission system Type: Direct drive</p>
<p>Mechanical brake Type: Hydraulically released</p>
<p>Generator Type: Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) Rated power: 1 MW, Voltage: TBD Cooling system: Direct to passing sea water</p>
<p>Monitoring system SCADA system: Server-client Remote control: Full turbine control</p>
<p>Tower & Substructure Type of tower: Cylindrical tubular steel Type of substructure: Gravity type circular caisson or Tripod</p>
<p>Operational data Operated current speed: cut-in 1 m/s, cut-out 4.4 m/s Rated current speed 2.3 m/s</p>

[그림 5-4] KS200 사양서

- 한국해양과학기술원에서는 조류에너지 실용화 기술개발의 일환으로 2001년부터 2011년까지 1MW급 수직축 조류발전시스템을 구축하여 실증실험을 성공적으로 수행한바 있으며 검증된 시스템을 이용하여 에너지 자립섬 구축에 활용 가능함
- 울돌목 시험조류발전소 건설 및 1MW급 수직축 조류발전시스템(500kW 2기) 구축 완료(2005. 4. ~ 2009. 3.)
- 1MW급 수직축 조류발전시스템 실증실험 수행(2009. 8. ~ 2011. 3.)
- 실증실험결과 최대 발전량 183kW, 수차효율 38%, 시스템효율 26% 달성

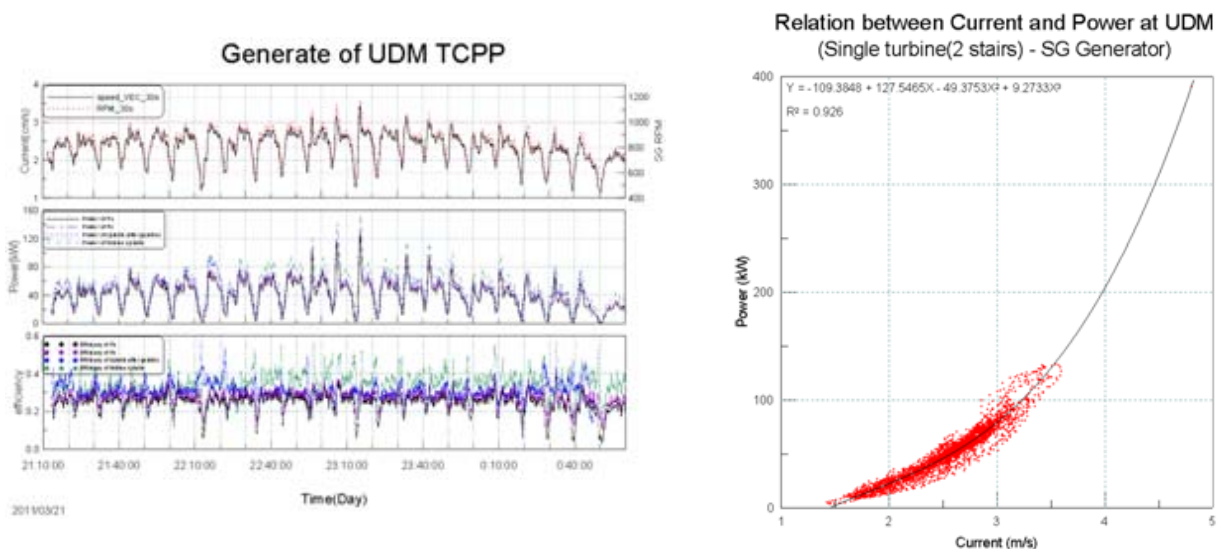


<1MW급 수직축 울돌목 시험조류발전소>



<수직축 조류발전시스템>

[그림 5-5] 수직축 조류발전시스템



<조류발전 실증실험 시계열 결과
(상: 유속, 중: 발전량, 하: 발전효율)>

<조류발전 실증실험 유속-발전량 분포도
(점: 실제발전량, 실선: 예측 발전량)>

[그림 5-6] 수직축 조류발전시스템 실증실험 결과(2008. 9. ~ 2011. 3.)

5.2.2 국내 조류발전 기술개발 연구과제 연관흐름도

- 국내 조류발전 기술개발은 2001년부터 꾸준히 진행되어 왔음. 다음 [그림 6-5]는 한국해양과학기술원에서 수행한 조류발전 기술개발 연구과제의 연관 흐름도임
- [그림 6-7]에서 보는 바와 같이, 200kW급 능동제어형 수평축 조류발전기를 확대적용하여 1MW급 조류발전 상용모델 개발이 가능함. 또한 개발된 상용모델은 조류발전 실험역 시험장에서 성능시험/평가가 가능하며, 조류발전 성능평가 기술을 정립할 수 있음
- 10MW급 조류발전 실증단지 구축 사업에서는 국가연구개발사업을 통해 개발된 연구성과를 적용하여 개발기술의 검증을 실시하고, 후속 연구를 지속하여 관련 기술의 성숙도를 높임. 또한, 향후 700MW급 대규모 조류발전 상용단지 사업 추진을 위한 타당성평가를 추진함으로써 본 사업추진이 원활히 추진될 수 있는 기반을 마련함



[그림 5-7] 조류발전 기술개발 연구과제의 연계성

5.3 경제적 타당성

5.3.1 개요

(1) 연구의 목적

○ 본 연구는 10MW급 조류발전 실증단지 구축에 대한 경제성 분석을 통하여 사회적 비용과 편익에 대한 제반 평가요소를 검토하고, 재무성 분석을 통하여 투자사업을 추진하는 개별 사업주체의 입장에서 비용과 현금수입을 비교 및 검토하여 사업추진에 대한 경제적인 관점에서의 타당성을 판단하고자 함

(2) 연구의 주요 내용

○ 10MW급 조류발전 실증단지 구축을 대상으로 경제성 및 재무성 분석을 수행함

[표 5-1] 분석항목 및 내용

분석 항목		분석 내용	분석 순서
비용 추정	R&D비용	사업 운영기간 동안 인건비, 연구비, 운영비, 시설장비비 등	세부사업비용 ↓ 비용에 맞는 세계시장규모 산출
	구축비용 (CAPEX)	플랫폼, 해양에너지(조류) 발전 등	
	운영비용 (OPEX)	통합운영관리 및 감시	
	사업운영·관리비	프로젝트 관리 등 R&D 지원 비	
수요 추정 및 편익 산정	수요 추정	본 사업으로 혜택 받는 수요 추정 (사업별 목표 세계시장 자료), 국내시장	↓ 사업별 세계시장규모/ 국내기업점유율
	편익 산정	사업별 국내기업의 세계시장 점유율 추이 (기존 자료 또는 전문가 AHP) 편익 기간(기술수명주기), 부가가치율, R&D기여도, 사업화 성공률, 사업점유효과	
경제성 검토 (B/C)	비용 및 편익의 현재가치화	할인율 4.5% 적용(‘총 비용·편익’ 현재가치화) 세부사업별, 시나리오별 BC 검토	↓ 사업별 경제성검토
	민감도 분석	투입요소 변동에 따른 순현재가치의 변화정도를 분석	

5.3.2 경제성 검토 및 평가 방법

(1) 검토 방법

- 본 분석에서는 [표 5-2]에서 제시한 바와 같이 국민경제적 관점에서의 경제성 평가와 개별 사업주체의 재무적 타당성 평가를 편익/비용을 분석함
 - 편익/비용 분석은 다음의 4개의 순서로 진행됨
 - 1) 대상 사업의 시행에 따라 발생하는 편익과 비용 식별
 - 2) 사업기간동안 발생하는 편익과 비용을 특정시점의 불변가격 기준 화폐 가치로 환산
 - 3) 장기간에 걸쳐 발생하는 편익과 비용에 대해 할인율을 적용하여 현재가치로 전환
 - 4) 순현재가치, 편익비용비율 및 내부수익율 등의 지표를 선정하여 사업의 타당성 평가 등의 순서로 진행

[표 5-2] 경제성 분석과 재무성 분석 비교

구분	경제성 분석	재무성 분석
평가의 관점	국민경제적 평가	개별 사업주체의 수익성
측정가격	잠재가격	시장가격
외부(환경재화) 편익/비용※	포함	제외
세금, 보조금 등 이전비용	제외	포함
적용될 할인율	사회적 할인율	시장이자율, 사업위험 등(재무적 할인율)

(2) 평가 방법

- 평가방법으로는 비용-편익 흐름의 수치들을 정리하고 해석하는 방법에 따라 순현재가치(NPV), 편익/비용 비율(B/C Ratio) 및 내부 수익률(IRR) 등이 있음
 - 편익/비용 비율은 사업의 타당성을 결정하는 가장 중요한 지표로 활용되고 있으므로 본 연구에서는 편익/비용 비율을 주된 평가지표로 평가하였고 순현재가치와 내부수익율을 참고자료로 활용하였음

- 순현재가치(Net Present Value, NPV)는 평가 대상기간의 모든 비용과 편익을 현재 가치로 환산하고, 총 편익에서 총 비용을 뺀 값을 바탕으로 사업의 경제성을 평가하는 지표임

$$\text{순현재가치} = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+\gamma)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+\gamma)^t}$$

- 여기서, B_t : t년도의 편익, C_t : t년도의 비용, γ : 할인율, n : 내용년수임
- 순현재가치가 양(+)의 값이면 편익이 비용을 초과하는 것으로 그 사업은 경제적 타당성이 있는 것으로 평가됨. 그러나 순현재가치는 절대치로 표시되므로 투자규모가 클수록 유리한 투자로 평가되기 쉬운 단점이 있음
- 편익/비용 비율(B/C ratio)은 평가기간동안에 발생하는 총 편익을 총 비용으로 나눈 비율임
- 편익/비용 비율이 1을 넘어서면 사업으로 인해 얻는 편익이 투입된 비용보다 많게 되므로 그 사업은 경제적 타당성이 있는 것으로 평가됨
- 여기서 매년 발생하는 비용과 편익은 할인율을 적용하여 현재 가치로 환산하여 사용함

$$B/C = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+\gamma)^t} / \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+\gamma)^t} = \frac{\text{총편익의현재가치}}{\text{총비용의현재가치}}$$

- 편익/비용 비율은 비용과 편익이 발생하는 시간을 고려할 수 있고, 다른 평가 기준보다 이해가 쉬워 경제성 평가에서 가장 많이 사용하는 지표임
- 미래의 편익과 비용을 현재 가치로 환산하기 위해 할인율을 사용하므로 적정 할인율의 적용이 올바른 평가의 관건이 됨
- 내부 수익률(Internal Rate of Return, IRR)은 투자 사업이 원활히 진행될 경우에 기대되는 예상 수익률
- 평가 기간에 걸쳐 발생하는 총 편익의 현재가치와 총 비용의 현재가치가 같아지는 할인율을 말함
- 이는 건설비와 운영비를 포함한 총 비용을 사업 평가기간 동안 모두 회수함과 동시에 수익을 창출할 수 있는 비용의 가득력을 의미함

- 그러므로 그 사업에 투자된 비용의 수익성(내부 수익률)이 다른 사업에 투자함으로써 얻을 수 있는 최대수익인 자본의 기회비용(사회적 할인율)보다 클 경우, 그 사업은 경제적 수익성이 있다고 봄

$$\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+\gamma)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+\gamma)^t}$$

- 이 지표는 순현재가나 편익/비용 비를 구하는데 어떤 할인율을 적용해야 할지 불분명하거나 어려운 점이 많을 때 주로 적용함
- 내부 수익률은 결과치가 평균치인 비율로 표시되므로 투자규모의 차이가 기업의 자산가치에 미치는 영향을 적절히 반영시키지 못하고 있음
- 또한 현금흐름이 불규칙할 경우 복잡한 다항식을 풀어야 하므로 해를 구하지 못할 경우도 있음

5.3.3 경제적 타당성 평가

(1) 기본 가정 및 적용 변수

- 본 연구는 10MW급 조류발전 실증단지 구축 개발에 따른 경제성 분석을 위하여 편익의 변화에 따른 각 case 별 사업시행으로 얻을 수 있는 발전편익을 산정하여 경제적 타당성을 분석하였음
- 경제성 평가는 OES-IEA(Ocean energy systems-International energy agency, 2015) 및 JRC(Joint Research Centre, 2016)의 기준을 적용하여 조류발전 시스템의 내용년수를 20년으로 하였음
- 또한, 발전편익은 전력거래소 (1안) 기준치 REC 가격, (2안) 적용변수(SMP 및 REC 가중치)를 적용하여 산출하였으며, 다음과 같이 도출한 연간발전량을 적용한 6개안으로 발전편익 변화에 따른 경제성 분석을 수행하였음([표 5-5] 참조)
 - 연간발전량은 JRC(Joint Research Centre, 2016)에서 제시한 2010~2030년 사이의 조류발전 평균 설비이용률 전망치인 30~40%를 참고하여 3가지 시나리오를 도출하였으며([표 5-3] 참조), 연간발전량은 설비이용률에 다음과 같이 산출하였음([표 5-4] 참조)

[표 5-3] 조류발전 연도별 Techno-economic 자료(JCR, 2016)

Parameter	Unit	2010	2020	2030	2040	2050
Net electrical power	MWe	10	10-20	20-30	30-40	50-400
Max. capacity factor	%	36.3	45.2	47.1	47.1	50.0
Avg. capacity factor	%	29.0	33.0	40.0	42.0	45.0
Technical lifetime	Years	20	20	20	20	20
CAPEX reference	EUR/kWe	10668	5010	3100	2585	1897
CAPEX low	EUR/kWe	9304	3678	3024	2030	1701
CAPEX high	EUR/kWe	12281	6834	3400	3262	2454
CAPEX learning rate	%	12	12	12	12	12
FOM	% of CAPEX	6.2	6.5	5.6	6.3	4.9
FOM learning rate	%	3	3	3	3	3

[표 5-4] 설비이용률에 따른 연간발전량 산출 결과

구분	설비이용률	연간발전량(MWh)
1안	30%	262,800
2안	33%	289,080
3안	40%	350,400

[표 5-5] 경제성 분석 기본 가정 및 적용 변수

구분	주요 내용
분석 기간	<ul style="list-style-type: none"> ○ 경제성 분석기간: 2020~2045년 - 2020~2025년(6년간): 설계 및 제작·설치(건설) 기간 - 2026~2045년: 운영기간(20년)
발전 편익 + CO ₂ 감축 편익	<ul style="list-style-type: none"> ○ REC 단가 134,211원/REC(전력거래소, 2016년 평균 기준) - Case 1: 26,280 MWh(평균이용률 30.0%, 11,871 tCO₂/년) - Case 2: 28,908 MWh(평균이용률 33.0%, 13,058 tCO₂/년) - Case 3: 35,040 MWh(평균이용률 40.0%, 15,828 tCO₂/년) ○ SMP 및 REC 가중치에 따른 값 적용(조기선, 2018) - Case 1: 26,280 MWh(평균이용률 30.0 %, 11,871 tCO₂/년) - Case 2: 28,908 MWh(평균이용률 33.0 %, 13,058 tCO₂/년) - Case 3: 35,040 MWh(평균이용률 40.0 %, 15,828 tCO₂/년)
CAPEX	○ 92,800백만원
OPEX	<ul style="list-style-type: none"> ○ 3,155백만원(투자비의 3.4%) - 출처: ETRI 2014, European Commission, pp. 34~36
할인율	<ul style="list-style-type: none"> ○ 현재가치 환산을 위한 할인율 - 4.5% 적용(기획재정부, 예비타당성조사 수행 총괄지침 제50조)
기준 환율	○ 달러(USD): 1,145₩/\$ (2017. 7. 12. 기준)

(2) 사업비 추정

가. 발전시스템 설치/운영 소요비용

- 실증단지 개발의 총 비용은 2020년부터 2025년까지 6년간 실증단지 설계 및 건설에 1,018억원이 소요될 것으로 전망
- 실증단지 건설에 소요되는 비용(CAPEX)은 928억원으로 산출되었음([표 5-6 참고])

[표 5-6] 10MW급 조류발전 실증단지 개략공사비 산출내역

구분	규격	수량	공사비(단위: 억원)
주기기 제작비	1MW 조류발전기	10기	444
하부구조물 제작 및 운반	Tripod Jacket	10기	47
조류발전 구조물 설치	조류발전기 + 하부구조물	10기	147
기타 해상공사	장비 동원 철수비 및 항사용료 등	1식	10
계통연계 공사비	22.9kV 해저케이블	8.5km	166
부대공사 및 기타 비용		1식	114
총 공사비			928
건설단가			92.8억원/MW

- 플랜트 수명주기를 고려하여 추가 20년간(2026~2045) 상용운전을 가정할 경우 총 소요되는 운영비용(OPEX)은 631억원으로 예상됨
- 실증프로젝트의 추진 및 이후 플랜트 상용운전을 고려한 총 시스템 설치 운영비용은 1,649억원으로 예상되며 이를 현재가치로 환산할 경우 1,107억원에 해당

[표 5-7] 조류발전 실증단지 개발 설치 운영 비용

구분 (단위: 억원)	사업기간 내		사업기간 이후	소계
	(1단계) 설계	(2단계) 제작 및 설치	상용운전	
CAPEX	-	928	-	928
OPEX	-	-	631	631
R&D	90		-	90
합계				1,649

나. 전력생산판매

- (1안) SMP 단가 75.73원/kWh, REC 단가 134,211원/REC(전력거래소, 2016년 평균 기준)
 - (case 1) 전력판매로 인한 수익은 실증운영을 시작하는 2026년부터 2045년까지 1,808 억원 발생할 것으로 예상되며, 이를 현재가치로 환산하면 865억원에 해당
 - (case 2) 전력판매로 인한 수익은 실증운영을 시작하는 2026년부터 2045년까지 1,990 억원 발생할 것으로 예상되며, 이를 현재가치로 환산하면 951억원에 해당
 - (case 3) 전력판매로 인한 수익은 실증운영을 시작하는 2026년부터 2045년까지 2,412 억원 발생할 것으로 예상되며, 이를 현재가치로 환산하면 1,153억원에 해당

- (2안) SMP 및 REC 가중치
 - (case 1) 전력판매로 인한 수익은 실증운영을 시작하는 2026년부터 2045년까지 1,017억원 발생할 것으로 예상되며, 이를 현재가치로 환산하면 496억원에 해당
 - (case 2) 전력판매로 인한 수익은 실증운영을 시작하는 2026년부터 2045년까지 1,118억원 발생할 것으로 예상되며, 이를 현재가치로 환산하면 545억원에 해당
 - (case 3) 전력판매로 인한 수익은 실증운영을 시작하는 2026년부터 2045년까지 1,355억원 발생할 것으로 예상되며, 이를 현재가치로 환산하면 661억원에 해당

[표 5-8] 전력생산판매 수익 도출을 위한 주요 항목별 적용값과 근거

항목		기준값	근거
기준년도		2018	
할인율		4.5%	기획재정부, 예비타당성조사 수행 총괄지침 제50조
(1안) 기본 가정값	시간대별 SMP	75.73원/kWh	전력거래소 기준, 2016년 평균 기준
	REC 단가	134,211원/REC	전력거래소, 2016년 평균 기준
	거래물량(REC)	2.0REC	공급인증서 가중치
(2안) 적용변수	시간대별 SMP	81.74~127.71원/kWh	한국전기연구원 REC 가중치 연구 기준, 2018년 3월
	REC 단가	97,930~26,460원/REC	한국전기연구원 REC 가중치 연구 기준, 2018년 3월

○ 소요 비용

- 2020년부터 2033년까지 총 프로젝트 비용에서 전력판매비용을 차감한 결과는 [표 5-9] 과 같음

[표 5-9] 전력생산판매 수익을 차감한 전체 소요비용

구분 (단위: 억원)	1안		2안	
	소요비용	현재가치	소요비용	현재가치
case 1	546.9	520.4	825.5	687.3
case 2	474.5	476.5	781.0	660.2
case 3	305.7	374.2	677.2	596.9

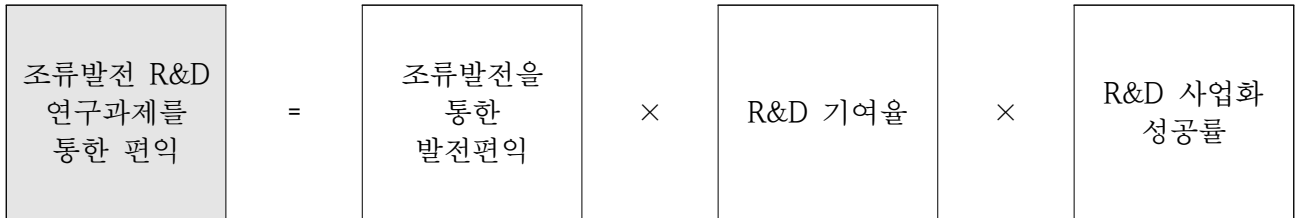
(3) 편익(benefit) 추정

가. 조류 발전을 통한 발전 편익

- (편익 산정식) 조류 발전 R&D 연구 과제를 통한 편익은 조류 발전을 통한 발전 편익(A), R&D 과제의 기술 기여율(B), R&D 과제의 사업화 성공률(C)의 곱으로 계산 후 CO₂ 감축량을 더함

- 다만, 플랜트 시장 진출에 따른 편익은 기술수명주기 등을 고려하여 플랜트 운전을 시작하는 2033년까지 8년으로 한정

[표 5-10] 편익 산정식



- (편익 산정의 가정) 편익 기간은 플랜트 수명을 고려하여 실증 운영을 시작하는 2026년부터 20년간 2045년까지로 가정
 - 다만, 플랜트 시장 진출에 따른 편익은 기술수명주기 등을 고려하여 플랜트 운전을 시작하는 2033년까지 8년으로 한정
- R&D 과제의 기술 기여율
 - 조류 발전을 위한 R&D 연구 중 해당 R&D 과제의 기술 기여율은 전문가 조사를 통해 35.2%를 적용함
- R&D 과제의 사업화 성공률
 - 본 R&D 연구과제의 사업화 성공률은 전문가 조사를 통해 87.5%를 적용함
- 할인율
 - 한국과학기술기획평가원의 연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침에서 명기된 적정 사회적 할인율을 추정하기 위한 기준이자율, 사회적 시간 선호율(SRTP), 재무적 할인율 등을 고려하여 4.5%를 적용함(기획재정부, 2018)
- (편익 추정) 편익 산출식에 주요 가정값을 적용한 결과, 10MW급 조류발전 실증단지 구축의 발전편익은 [표 5-11]과 같음

[표 5-11] 발전편의 추정

구분 (단위: 억원)	1안		2안	
	소요비용	현재가치	소요비용	현재가치
case 1	607.6	371.8	376.2	231.7
case 2	668.3	409.0	413.8	254.9
case 3	810.1	495.8	501.5	309.0

나. CO₂ 감축 효과

- (편의 산정식) CO₂저감 편의는 조류발전 실증단지 개발을 통해 감축되는 CO₂량에 탄소배출에 따른 사회적 비용을 곱하여 산출
 - (가정) 연간발전량에 따른 4개의 CO₂ 감축량 case 산출

[표 5-12] CO₂ 저감 편의 산정식

CO ₂ 저감 편의	=	CO ₂ 감축량	×	탄소 배출 사회적 비용
-----------------------	---	---------------------	---	--------------

- 편의 산정의 가정 조류발전 실증단지 개발은 에너지로서 화력발전 대비 CO₂배출을 저감할 수 있어 기후변화 및 관련 사회적 비용 절감에 기여

[표 5-13] 사업 편의도출 주요 항목별 적용값과 근거

항목	적용값	근거
편의기간	2026~2045년	플랜트 수명 20년
사회적 비용	158,162원	미국 EPA, Nature 저널, KEI
배출계수	0.4517	전력의 이산화탄소 배출계수
할인률	4.5%	기획재정부, 예비타당성조사 수행 총괄지침 제50조
기준연도	2018년	-

- CO₂ 감축에 대한 편익은 플랜트 운전기간 동안 지속적으로 발생가능하므로 플랜트 수명을 고려하여 편익발생기간을 2026년부터 2045년까지로 20년간 가정
- 연간 CO₂ 감축량
 - 발전용량에 기반한 연간 CO₂ 감축량 산출

[표 5-14] 발전용량에 기반한 연간 CO₂ 감축량

구분(평균이용률)	연간발전량(MWh)	CO ₂ 감축량(tCO ₂ /년)
Case 1(30.0%)	26,280 MWh	11,871 tCO ₂ /년
Case 2(33.0%)	28,908 MWh	13,058 tCO ₂ /년
Case 3(40.0%)	35,040 MWh	15,828 tCO ₂ /년

- 이산화탄소의 사회적 비용(SSC, Social Cost of Carbon)
 - 이산화탄소 1톤이 대기 중으로 배출됐을 때 사회가 1년 동안 부담해야 하는 경제적 비용
 - 기상이변으로 인한 농작물 수확량 감소 인간의 건강악화 사회기반시설 파괴에 드는 비용 등을 포함
 - 이산화탄소 1톤을 줄일 경우 얻는 경제적 이득
 - 미국 환경청(EPA) 에는 통상적으로 이산화탄소 1톤에 소요되는 사회적 비용을 37달러로 예측
 - KEI에서는 미국과의 경제규모를 비교하여 국내 이산화탄소 배출의 사회적 비용을 42,970원으로 도출
 - 최근 네이처 기후변화(Nature Climate Change)에 발표된 연구 논문에 따르면, 톤당 비용이 220달러로 증가한 것으로 조사되어 국내 데이터도 변동사항을 보정하여 사용
 - SCC 수치가 클수록 온실가스 감축 정책을 강화하는 것이 필요
- (편익 추정) 편익 산출식에 주요 가정값을 적용한 결과, ‘10MW급 조류발전 실증단지 구축’의 탄소배출 저감 편익은 [표 5-15] 와 같음

[표 5-15] 발전용량에 기반한 연간 CO₂ 감축비용

구분(평균이용률)	CO ₂ 감축편익(단위: 억원)	
	감축비용	현재가치
Case 1(30.0%)	1106.3	460.5
Case 2(33.0%)	1217.0	506.5
Case 3(40.0%)	1475.1	613.9

(4) 경제성 분석 결과

- 동 사업의 경제성 분석 결과는 REC 단가를 기준으로 1안과 2안이 각각 [표 5-16]과 [표 5-17]와 같음
 - 조류발전을 통한 발전편익 산출 결과 B/C 값 산출 결과 1안과 2안에서 모두 1보다 큰 값으로 사업타당성이 있다고 볼 수 있으며, case 2에 대한 현금흐름표를 [표 5-16]에 제시하였음

[표 5-16] 조류 발전을 통한 발전 편익(1안)

구분	1안(단위: 억원)			비고
	case 1	case 2	case 3	
비용	520.4	476.5	374.2	현재가치 기준(2020~2033년)
편익 I	371.8	409.0	495.8	시장 진출을 통한 부가가치 창출(2026~2033년)
편익 II	460.5	506.5	613.9	CO ₂ 감축 효과(2026~2045년)
총 편익	832.3	915.5	1,109.7	편익 I + 편익 II
B/C	1.60	1.92	2.97	총 편익 / 비용

[표 5-17] 조류 발전을 통한 발전 편익(2안)

구분	2안(단위: 억원)			비고
	case 1	case 2	case 3	
비용	687.3	660.2	596.9	현재가치 기준(2020~2033년)
편익 I	231.7	254.9	309.0	시장 진출을 통한 부가가치 창출(2026~2033년)
편익 II	460.5	506.5	613.9	CO ₂ 감축 효과(2026~2045년)
총 편익	692.2	761.4	922.9	편익 I + 편익 II
B/C	1.01	1.15	1.55	총 편익 / 비용

○ 동 사업의 경제성 분석 결과에 따른 현금흐름표는 case 2를 기준으로 [표 5-18]에 제시하였음

[표 5-18] 현금흐름표(case 2)

구분 (단위: 억원)	사업비 추정비용(CAPEX+OPEX+R&D)								전력생산 추정비용 (case 3)			
	CAPEX	OPEX	R&D	소계	할인을 적용				1안	2안	할인을 적용	
					CAPEX	OPEX	R&D	소계			1안	2안
합계	928.0	631.0	90.0	1,649.0	725.7	301.6	80.1	1,107.4	1,989.7	1,118.2	951.0	545.2
(1단계) 설계	2020		40.0	40.0			36.6	36.6				
	2021		40.0	40.0			35.1	35.1				
(2단계) 제작· 설치	2022	18.0	10.0	28.0	15.1		8.4	23.5				
	2023	402.0		402.0	322.6			322.6				
	2024	446.0		446.0	342.5			342.5				
	2025	62.0		62.0	45.6			45.6				

[표 5-18] 현금흐름표(case 2) 계속

구분 (단위: 억원)	사업비 추정비용(CAPEX+OPEX+R&D)								전력생산 추정비용 (case 3)				
	CAPEX	OPEX	R&D	소계	할인율 적용				1안	2안	할인율 적용		
					CAPEX	OPEX	R&D	소계			1안	2안	
상용 운전	2026		31.6		31.6		22.2		22.2	99.5	68.0	70.0	47.8
	2027		31.6		31.6		21.2		21.2	99.5	65.4	66.9	44.0
	2028		31.6		31.6		20.3		20.3	99.5	63.5	64.1	40.9
	2029		31.6		31.6		19.4		19.4	99.5	61.7	61.3	38.0
	2030		31.6		31.6		18.6		18.6	99.5	60.4	58.7	35.6
	2031		31.6		31.6		17.8		17.8	99.5	59.2	56.1	33.4
	2032		31.6		31.6		17.0		17.0	99.5	56.2	53.7	30.3
	2033		31.6		31.6		16.3		16.3	99.5	55.0	51.4	28.4
	2034		31.6		31.6		15.6		15.6	99.5	53.1	49.2	26.3
	2035		31.6		31.6		14.9		14.9	99.5	52.2	47.1	24.7
	2036		31.6		31.6		14.3		14.3	99.5	51.9	45.0	23.5
	2037		31.6		31.6		13.7		13.7	99.5	51.7	43.1	22.4
	2038		31.6		31.6		13.1		13.1	99.5	51.7	41.3	21.4
	2039		31.6		31.6		12.5		12.5	99.5	51.7	39.5	20.5
	2040		31.6		31.6		12.0		12.0	99.5	51.9	37.8	19.7
	2041		31.6		31.6		11.5		11.5	99.5	52.1	36.1	18.9
	2042		31.6		31.6		11.0		11.0	99.5	52.4	34.6	18.2
	2043		31.6		31.6		10.5		10.5	99.5	52.8	33.1	17.6
2044		31.6		31.6		10.0		10.0	99.5	53.3	31.7	17.0	
2045		31.6		31.6		9.6		9.6	99.5	53.9	30.3	16.4	

5.3.4 재무적 타당성 평가

(1) 기본 가정 및 적용 변수

- 재무적 타당성 평가 방법은 평가의 관점이 투자사업을 추진하는 사업주체의 입장으로 투자비 회수가 가능한지를 밝히고 비용과 수익 항목에 있어서 사업주체에서 실제로 발생한 비용에 대하여 귀속되는 현금수입만을 비교·분석하여 사업주체의 재무상태에 어떤 영향을 미칠 것인가를 평가하기 위함
- 재무성 분석은 경제성 분석에 의하여 사업추진의 타당성이 있다고 판단되는 경우, 즉 B/C(편익/비용) 비율이 1.0 이상인 사업의 경우에 한하여 이루어지는 것을 원칙으로 함
 - 조류발전 시스템의 내용년수는 경제성 분석과 동일한 20년으로 하였으며, 본 재무적 타당성 평가에서는 조류발전을 통한 발전편익에서 1안과 2안의 총 6개의 case에 대해 분석을 진행함
 - 재무성 분석을 위한 기본 가정은 [표 5-20]에 제시하였으며, 경제성 분석에서의 가정에 세금을 추가로 고려함

[표 5-19] 조류발전을 통한 발전 편익

(단위: 억원)

구분	case 1	case 2	case 3
1안	1.60	1.92	2.97
2안	1.01	1.15	1.55

[표 5-20] 재무성 분석 기본 가정 및 적용 변수

구분	주요 내용
분석 기간	<ul style="list-style-type: none"> ○ 경제성 분석기간: 2020~2045년 - 2020~2025년(6년간): 설계 및 제작·설치(건설) 기간 - 2026~2045년: 운영기간(20년)
발전 편익 + CO ₂ 감축 편익	<ul style="list-style-type: none"> ○ REC 단가 134,211원/REC(전력거래소, 2016년 평균 기준) - Case 1: 26,280 MWh(평균이용률 30.0%, 11,871 tCO₂/년) - Case 2: 28,908 MWh(평균이용률 33.0%, 13,058 tCO₂/년) - Case 3: 35,040 MWh(평균이용률 40.0%, 15,828 tCO₂/년) <ul style="list-style-type: none"> ○ SMP 및 REC 가중치에 따른 값 적용(조기선, 2018) - Case 1: 26,280 MWh(평균이용률 30.0%, 11,871 tCO₂/년) - Case 2: 28,908 MWh(평균이용률 33.0%, 13,058 tCO₂/년) - Case 3: 35,040 MWh(평균이용률 40.0%, 15,828 tCO₂/년)
CAPEX	○ 92,800백만원
OPEX	<ul style="list-style-type: none"> ○ 3,155백만원(투자비의 3.4%) - 출처: ETRI 2014, European Commission, pp. 34~36
할인율	<ul style="list-style-type: none"> ○ 현재가치 환산을 위한 할인율 - 4.5% 적용(기획재정부, 예비타당성조사 수행 총괄지침 제50조)
세금	<ul style="list-style-type: none"> ○ 법인세 및 주민세 등은 법인세법에 의해 규정된 세율을 적용 - 법인세: 과세표준금액 2억원 이하는 10% 세율 적용 <li style="padding-left: 20px;">: 과세표준금액 2억원 이상은 2,000만원(2억원까지의 세액)에 2억원 초과 금액의 20%의 세율 적용 - 주민세: 법인세의 10% 산정
기준 환율	○ 달러(USD): 1,145₩/\$ (2017. 7. 12. 기준)

(2) 재무성 분석 결과

- 동 사업의 재무성 분석 결과는 REC 단가를 기준으로 1안과 2안이 각각 [표 5-24]와 같음
- 해양에너지 정산단가의 변동에 따른 재무성 분석을 수행한 결과 모든 안에서 편익/비용 비율이 0.793 ~ 1.258로 나타남
 - B/C 값 산출 결과 1안의 case 2와 case 3에서 1.0보다 큰 값이 산출되어 재무적 타당성이 있다고 볼 수 있음

[표 5-21] 재무성 분석 결과

구분 (단위: 억원)	1안			2안			비고
	case 1	case 2	case 3	case 1	case 2	case 3	
비용	1133.9	1133.9	1133.9	1133.9	1133.9	1133.9	현재가치 기준(2020~2045년)
편익	1069.5	1176.5	1426.0	970.4	898.7	1089.3	조류발전을 통한 부가가치 창출 +CO ₂ 감축(2026~2045년)
B/C	0.943	1.038	1.258	0.856	0.793	0.961	총 편익 / 비용

5.3.5 균등화 에너지비용(LCOE, Levelized Cost of Energy)

(1) LCOE의 산출 방법

- 균등화비용 산출은 IEA(International Energy Agency)의 모델을 적용하였음(OES- IEA, 2015)
- 균등화비용 산출식

$$LCOE = \frac{CAPEX + \sum_{t=1}^n \frac{OPEX_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{AEP_t}{(1+r)^t}}$$

- 위 식에서 CAPEX = Capital expenditures 건설비용
- OPEX_t = Operational expenditures(at year t) 운영비
- AEP_t = Annual electricity production(at year t) 연간전력생산량
- r = discount rate 할인율
- n = Lifetime of the system 발전기 수명
- t = Year from start of project 조류발전기 운영 기간

- 한편, 국내의 전원별 균등화비용의 산출식은 다음과 같음(에너지경제연구원, 2013)

- $LCOE = \text{고정비} + \text{변동비}$
 $= \text{건설비} * \text{고정비율} / (\text{설비용량} * \text{시간} * \text{이용률} * (1 - \text{소내전력률}))$
 $+ \text{연료비(원자력의 경우 원자력연구개발기금 포함)}$

- 국내 $LCOE = \frac{\text{건설단가(원/kW)} * \text{고정비율}(\%)}{8,760 * \text{이용률} * (1 - \text{소내비율})}$
 $+ \frac{\text{열소비율(kcal/kWh)} * \text{연료비단가}}{\text{발열량(kcal/kg)} * (1 - \text{소내소비율})}$

- 고정비율: 자본회수계수 + 법인세율 + 운전유지비율

(2) LCOE의 산출 결과

가. 기본 가정 및 적용 변수

- 균등화비용 산출 시 발전량은 경제성 분석에 적용한 것과 동일하게 적용하였으며, 이외의 기본 가정은 OES-IEA 및 JRC의 기준 적용
- 조류발전 시스템의 내용년수와 연간 O&M비용은 경제성 분석과 동일한 20년과 총 건설비(투자비)의 3.4%를 적용하여 산출
- 균등화비용 산출 시 건설비용은 928억원으로 연간전력생산량에 대한 3개의 비율 (30%, 33%, 40%), 할인율은 기재부 4.5%와 OES-IEA, JRC의 기준인 10%의 2개안을 적용하여 총 6개안에 대한 균등화비용을 산출하였음

나. 균등화비용 산출 결과

- 10MW급 조류발전기의 공사비용을 경제성분석의 건설비용인 928억원을 5년간 균등하게 적용하고, 6년차인 2026년부터는 3.4% 유지비를 적용, 또한 발전기 평균이용률을 3개의 case로 분석 진행하여 균등화비용 산출

[표 5-22] LCOE 산출을 위한 기본 가정 및 적용 변수

구분	주요 내용
운영 기간	<ul style="list-style-type: none"> ○ 20년 - OES-IEA International LCOE for ocean energy technologies, 2015 기준 - JRC Ocean Energy Status Report, 2016 기준
발전량	<ul style="list-style-type: none"> ○ 시설용량: 10MW ○ 연간발전량: 발전기 평균이용률에 따른 4개 case로 진행 Case 1(30.0%) 26,280MWh, Case 2(33.0%) 28,908MWh, Case 3(40.0%) 35,040MWh
비용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 건설비용: 928억원 ○ 연간 운영/유지 비용: 31억원/년(투자비의 3.4%) - 출처: ETRI 2014, European Commission, pp34 ~ 36
할인율	<ul style="list-style-type: none"> ○ 4.5% 적용(기획재정부, 예비타당성조사 수행 총괄지침 제50조)

- case별 균등화비용 산출된 결과는 할인율 4.5%에서 288 ~ 384원/kWh으로 예측되며, 상세 결과는 [표 5-23]와 같음
 - (case 1) 균등화비용은 할인율 4.5%와 10%에서 각각 384원/kWh와 522원/kWh로 산출되었음
 - (case 2) 균등화비용은 할인율 4.5%와 10%에서 각각 349원/kWh와 475원/kWh로 산출되었음
 - (case 3) 균등화비용은 할인율 4.5%와 10%에서 각각 288원/kWh와 392원/kWh로 산출되었음

- 최근 조류발전 상용화기술 개발사업 보고서(한국해양과학기술원, 2017) 결과에서 시설용량 100MW급 조류발전기의 LCOE는 58~576원/kWh으로 예측되었으며, 지속적인 연구개발을 통한 학습효과(learning effect)와 대규모발전단지 건설을 통한 시설의 공동활용 등으로 전체 투자비 감소와 조류발전의 LCOE 값이 낮아질 것으로 예상함

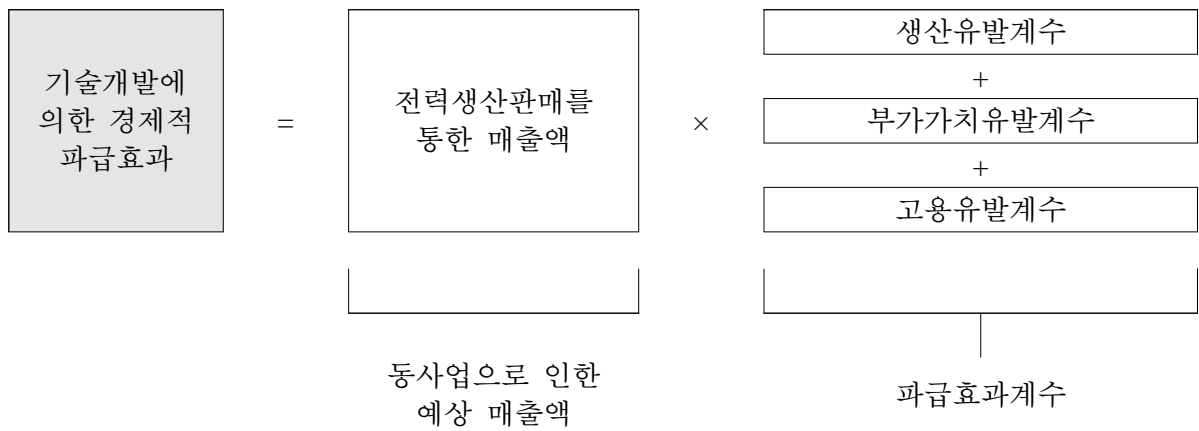
- OES-IEA(2015)에서는 상용화 단계의 조류발전 LCOE를 148~320원/kWh으로 예측하였으며, 유럽의 경우 2016년 기준으로 조류발전의 LCOE를 709~932원/kWh로 산출하였고, 본격적인 조류발전 상용화 시기에는 197원/kWh로 감소할 것으로 예측하고 있음 (JRC Ocean Energy Status Report, 2016)

[표 5-23] LCOE 산출 결과

평균이용률(%)	균등화비용(단위: 원/kWh)	
	할인율(4.5%)	할인율(10.0%)
Case 1(30.0%)	384	522
Case 2(33.0%)	349	475
Case 3(40.0%)	288	392

5.3.6 경제적 파급효과

- 동 사업으로 인해 기대되는 매출은 [표 5-24]이고 매출로 인한 생산유발, 부가가치 유발, 고용유발 등의 경제적 파급효과를 도출



[표 5-24] 매출 추정(PV)

구분 (단위: 억원)	1안	2안
case 1	864.5	495.6
case 2	951.0	545.2
case 3	1,152.7	660.9

- 한국은행에서 관리하고 있는 산업연관표를 보면 토목건설 분야(산업시설 건설)의 생산유발계수는 2.286, 부가가치유발 계수는 0.732이고, 고용유발계수는 10.8명/10억원임

[표 5-25] 동 사업의 생산유발 부가가치유발 고용유발 계수

구분	산업분류	계수
생산유발계수	52. 토목건설	2.286
부가가치유발계수		0.732
고용유발계수(명/10억)		10.8

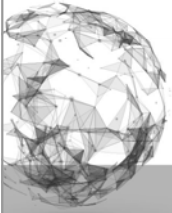
- 조류발전 실증단지 개발로 인해 발생될 것으로 예상되는 매출액의 현재가치는 1안과 2안 각각 case 3개이며, 그 결과를 [표 5-26]과 [표 5-27]에 제시함
 - (1안-case 1) 예상되는 매출액의 현재가치는 864.5억원이며, 이에 대한 생산유발 파급효과는 1,976.3억원, 부가가치유발 파급효과는 632.8억원, 고용유발 효과는 933.7명임
 - (1안-case 2) 예상되는 매출액의 현재가치는 951.0억원이며, 이에 대한 생산유발 파급효과는 2,173.9억원, 부가가치유발 파급효과는 696.1억원, 고용유발 효과는 1,027.0명임
 - (1안-case 4) 예상되는 매출액의 현재가치는 1,152.7억원이며, 이에 대한 생산유발 파급효과는 2,582.1억원, 부가가치유발 파급효과는 826.8억원, 고용유발 효과는 1,244.9명임
 - (2안-case 2) 예상되는 매출액의 현재가치는 495.6억원이며, 이에 대한 생산유발 파급효과는 1,133.0억원, 부가가치유발 파급효과는 362.8억원, 고용유발 효과는 535.3명임
 - (2안-case 3) 예상되는 매출액의 현재가치는 545.2억원이며, 이에 대한 생산유발 파급효과는 1,246.3억원, 부가가치유발 파급효과는 399.1억원, 고용유발 효과는 588.8명임
 - (2안-case 4) 예상되는 매출액의 현재가치는 660.9억원이며, 이에 대한 생산유발 파급효과는 558.4억원, 부가가치유발 파급효과는 178.8억원, 고용유발 효과는 263.8명임

[표 5-26] 동 사업을 통한 생산유발 부가가치유발 고용유발(1안)

구분	매출액 (억원)	생산유발계수 (억원)	부가가치유발액 (억원)	고용유발 (명)
case 1	864.5	1,976.3	632.8	933.7
case 2	951.0	2,173.9	696.1	1,027.0
case 3	1,152.7	2,582.1	826.8	1,244.9

[표 5-27] 동 사업을 통한 생산유발 부가가치유발 고용유발(2안)

구분	매출액 (억원)	생산유발계수 (억원)	부가가치유발액 (억원)	고용유발 (명)
case 1	495.6	1,133.0	362.8	535.3
case 2	545.2	1,246.3	399.1	588.8
case 3	660.9	558.4	178.8	263.8



제6장

과제제안요구서(RFP)

6 과제제안요구서(RFP)

6.1 최종목표

- 10MW급 조류발전 실증단지 개발(상용화 완료단계/TRL 9) 구축
 - 세부과제 1: 10MW급 조류발전 실증단지 자원분석 및 적지선정 기술 개발
 - 세부과제 2: 10MW급 조류발전 실증단지 최적설계 및 시공 기술 개발
 - 세부과제 3: 10MW급 조류발전 실증단지 운영·유지관리·인증 기술 개발
 - 세부과제 4: 조류발전 비즈니스 모델 개발(사업관리기법)
- 향후 상세기획을 통해 구체적인 성능지표, 달성 목표 등을 설정함

6.2 세부 연구내용

- 10MW급 조류발전 실증단지 자원 분석 및 적지선정 기술 개발
 - 조류발전단지 해양물리, 기상, 지반 특성 조사 및 분석
 - 조류발전단지 자원평가 및 적지 선정
 - 조류발전단지 후류영향분석 및 최적 배치
- 10MW급 조류발전 실증단지 최적설계 및 시공 기술 개발
 - 조류발전기/지지구조물 설계 및 제작
 - 조류발전단지 설계
 - 인허가 획득 및 주민수용성 제고방안 수립
 - 환경영향평가 및 환경 모니터링 체계 수립
- 10MW급 조류발전 실증단지 운영·유지관리·인증 기술 개발
 - 조류발전 실증단지 설계, 설치, 시험평가, 운영에 관한 절차서 개발 및 표준화(국제 인증 대비)
 - 조류발전단지용 통합 SCADA-CMS 개발(출력제어)

- 조류발전 비즈니스 모델 개발(사업관리기법)
 - 조류발전단지 사업화 전략(비즈니스모델) 수립
 - 국내 조류발전단지 구축을 위한 SPC 구성 모델 및 사업관리기법 개발
 - 파이낸싱 구조 모델 개발, 원가 추정 비즈니스모델 개발, 정책 개발

6.3 연차별 투자계획

구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합 계
정부출연금(억원)	110	125	150	135	520
민간부담금(억원)	110	125	150	135	520

- ※ 정부출연금 예상 투입액, 정부의 재정상황에 따라 변경될 수 있음
- ※ 기업참여필수, matching 비율은 해양수산 연구개발사업 운영규정에 따름

6.4 기대효과

- 국내 에너지 정책변화에 부응하며 친환경 해양에너지 상시공급 및 에너지 신산업 육성에 기여함
- 국내 조류발전 실증단지 구축을 통한 track record 확보가 가능하며, supply chain 구축을 통한 기술력 제고 및 조류발전 산업화를 촉진함
 - 준상용화 9 단계 달성을 통해 기술 수준 제고
- 조류발전시스템 및 조류발전단지 기술에 대한 수입 대체 및 해외시장 진출 기반 마련
- 발전 수입을 통한 기술 재투자로 지속성 있는 조류발전 시장을 확보하고, 한국형 비즈니스 모델로 해양 분야 신산업 경제 실현 및 고용창출 기여
- 다양한 입지조건 요소(해양/지반 조건, 어업, 해상 교통, 해상 레크레이션, 군사, 전력계통 등)의 통합 분석 자료는 단지의 적정개발규모, 연간발전량, 개발 방법 등의 결정을 위한 기본 자료로 활용

6.5 과제 평가 계획

6.5.1 평가/관리기준 설정

- 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정에 의거하여 해양수산연구개발사업 운영규정의 R&D 추진체계는 다음과 같음



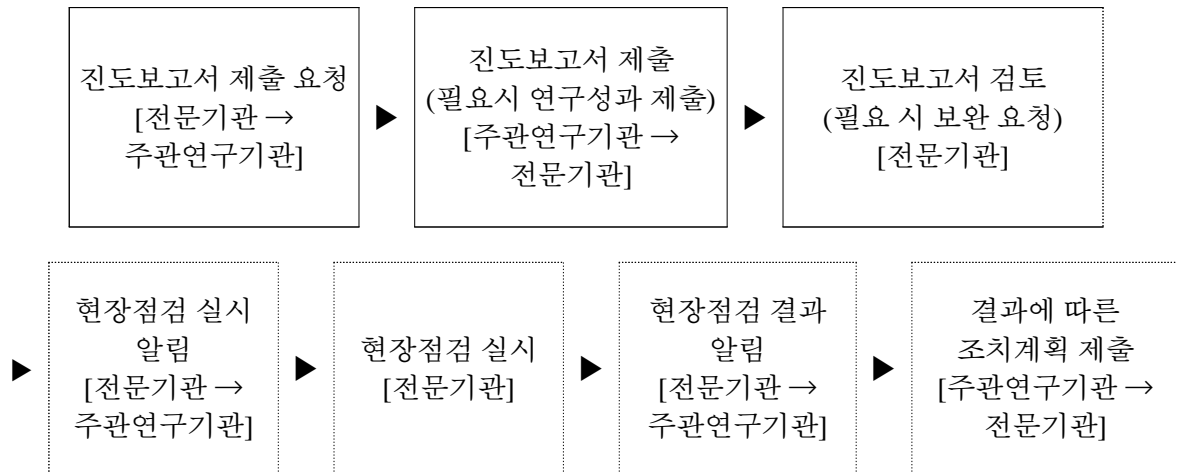
- 해양수산부 연구개발사업 운영규정을 준수하여, 기술개발의 필요성, 추진계획의 타당성, 구체성 및 기술의 우수성 등에 대한 가중치를 부여하여 평가를 시행하여 목적지향형 R&D 사업을 추진할 수 있도록 평가항목을 설정하여 적합한 기관을 선정함

[표 6.1] 선정평가기준

평가항목	배 점	평가내용
연구개발의 필요성	10	연구개발 대상기술의 중요성 및 필요성
		해양수산 R&D정책과 연구내용과의 장기적 연계성
연구개발 목표 및 내용	30	최종·연차별 목표 및 분야별 목표와의 적합성, 명확성, 창의성
		성과목표 및 성과지표 설정의 명확성 및 타당성
		RFP와의 적합성
		연구개발내용의 완성도 및 실현가능성
연구개발추진전략체계 및 연구수행 방법	20	추진전략 및 연차별 추진체계의 합리성
		연구수행방법의 적합성
연구성과 활용 가능성	10	활용방안의 적절성 및 구체성
		개발기술의 경제적 기대성과(투자 및 파급효과 등)
연구수행능력	10	연구책임자의 연구수행·관리능력 및 관련분야 연구경험
		참여연구인력의 적정성 및 전문성
연구시설 확보 및 연구개발비 계상의 합리성	10	연구장비·시설 확보 및 활용의 적합성
		연구개발비 계상·집행 및 개발기간의 합리성
합계	100	

6.5.2 마일스톤 점검 및 연구비 관리체계 평가

- 해양수산 연구개발사업 운영규정 제36조(진도관리)와 관련하여 사업단을 통해 사업 수행과정을 정기적으로 모니터링 하여 사업의 실패 확률을 줄일 수 있도록 함
- 연구책임자가 제시한 마일스톤에 입각하여 목표달성도에 대한 평가를 실시하고 관리함
 - 연구책임자가 제시한 마일스톤의 목표 달성여부를 확인 및 평가하고 프로젝트의 성과 및 진척도를 판단
 - 과제 진척도 및 성과 추적 등이 가능하도록 전주기적 온라인 연구실적·성과정보 모니터링 시스템 구축, 운용



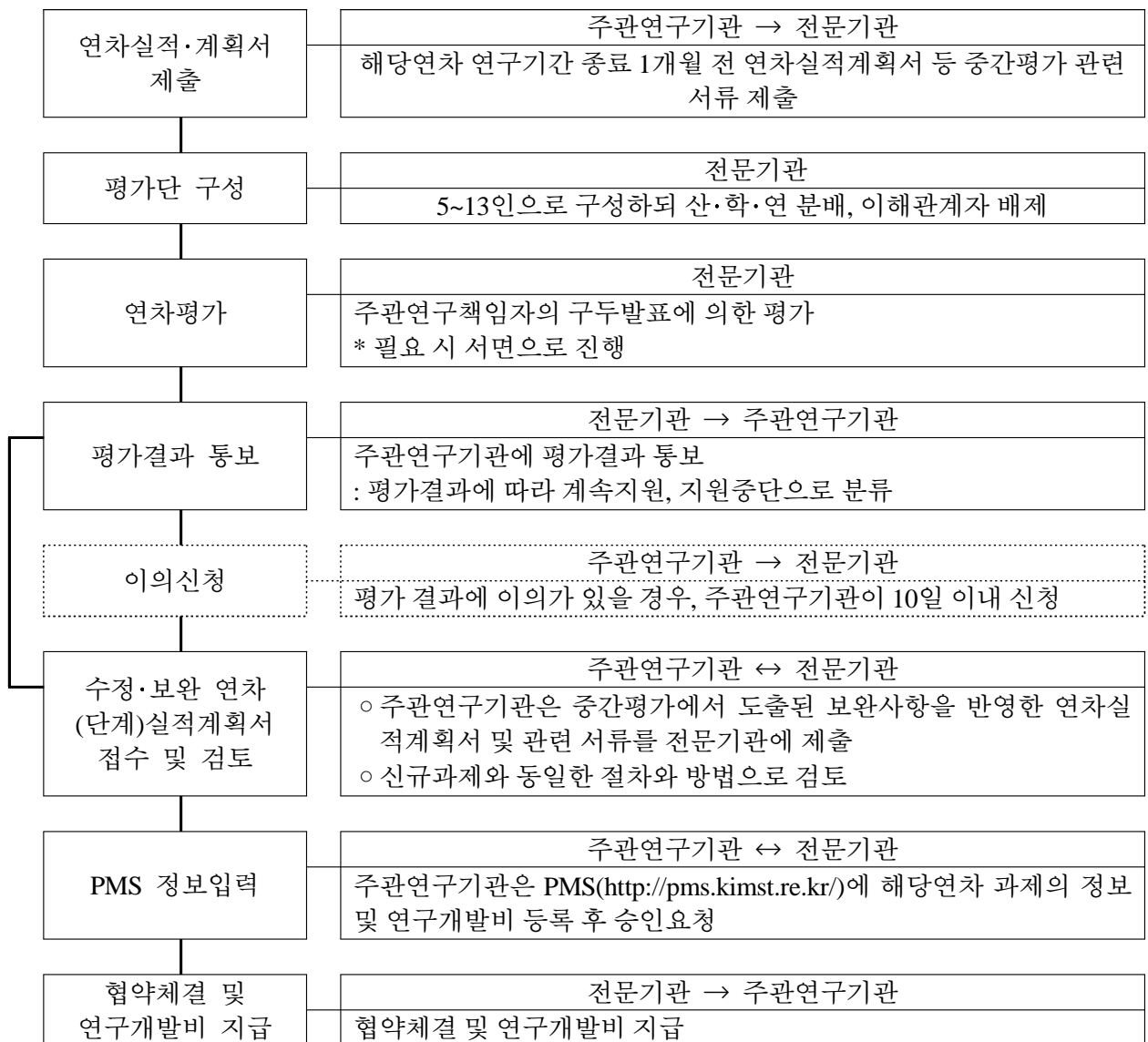
- 또한, 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제14조에 따라 비영리법인을 대상으로 2년마다 연구비관리체계의 적절성, 연구비 집행의 투명성에 대해서 평가를 실시함

6.5.3 진도관리 및 연차평가

- 진도관리는 해양수산 연구개발사업 관리지침 제5장 제29조(진도관리)에 따라 효율적인 사업관리를 위해 각 주관연구기관에서 수행하고 있는 연구과제의 추진현황을 정기적으로 파악하는 등 필요한 조치를 취할 수 있음
 - 성과지표별 목표 달성도 등 연구실적 및 다음분기 연구계획
 - 연구개발비 집행현황
 - 연구개발성과의 실용화 추진 현황 및 계획(실용화 대상 과제인 경우)
 - 그 밖에 필요한 사항
- 연차평가는 각 세부사업 및 세세부사업 내 개별 과제 대상으로 매 사업연도 종료 시 실시함
- 각 컨소시엄 및 총괄주관기관, 핵심과제 주관기관은 연차평가를 위해 연차보고서를 작성하여 제출해야 함
 - 컨소시엄 총괄보고서는 총괄주관기관이 작성하여 사업단에 제출
 - 핵심과제 주관기관은 각 개별과제 연차보고서를 작성하여 총괄주관기관에 제출하고, 총괄주관기관은 각 핵심과제의 연차보고서를 취합하여 제출

- 사업단을 중심으로 매년 연차평가를 실시
 - 주관기관이 제출한 연차보고서 점검, 현장실태조사, 평가위원회 심의 등을 거쳐 “계속”, “중단”, “조기완료”로 성과구분
 - 상대평가에 따라 예산차등지원 및 하위등급과제 집중관리 조치
 - 평가위원회는 다음 항목을 평가
 - 당해연도 실적 및 차년도 계획 평가
 - 차년도 연구개발비 계상의 적정성 검토
 - 연구개발과제의 의견사항

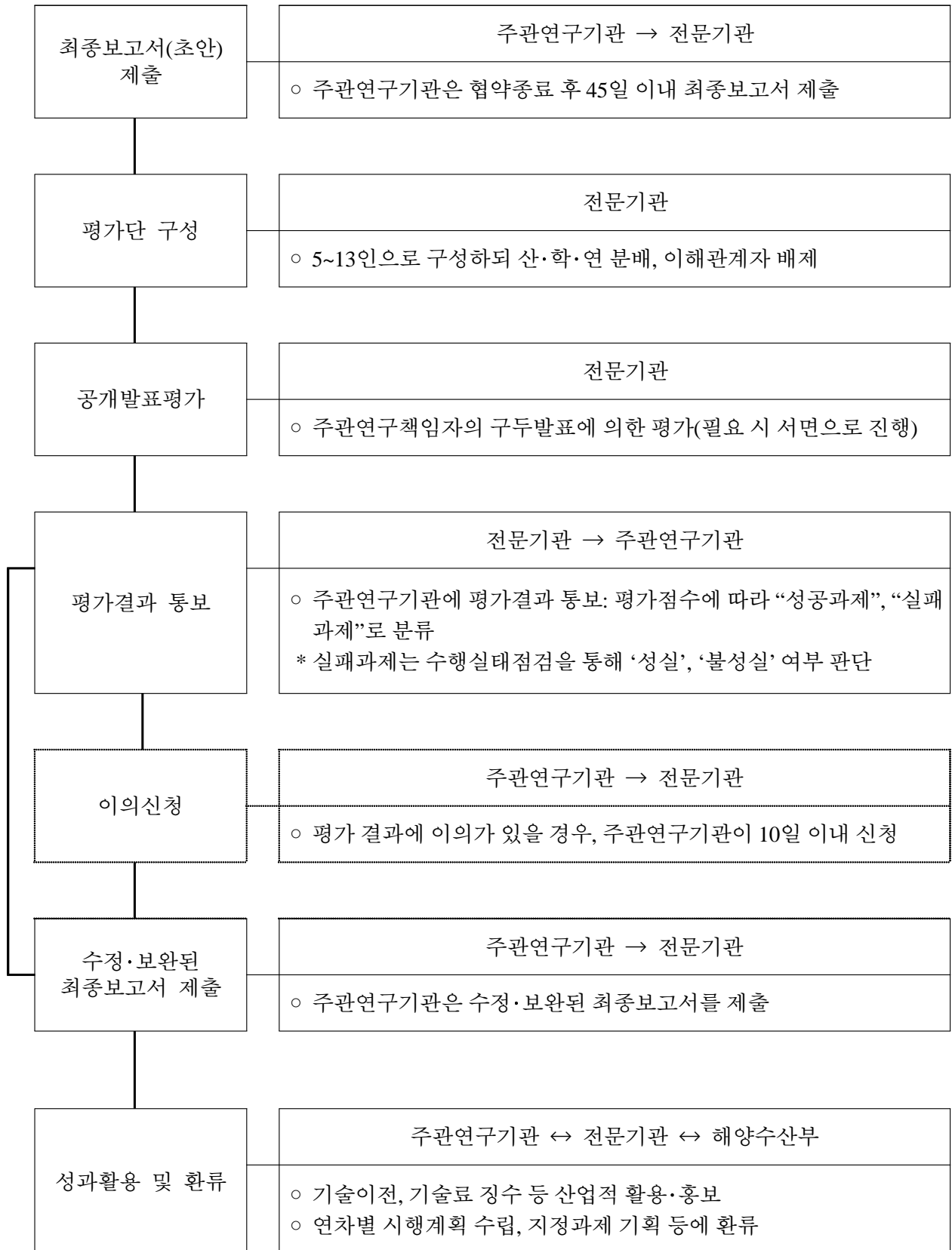
[표 6.2] 연차평가 절차



6.5.4 최종평가

- 사업단은 개별 프로젝트들의 종료시점에 최종보고서 점검, 현장실태조사 또는 평가 위원회의 심의를 통하여 과제의 추진실적 및 성과에 대하여 종합평가를 실시
- 주요 판단기준은 연구책임자가 제시한 프로젝트 최종목표의 달성여부 및 사업화 가능성, 기술개발비 집행의 적정성 등
- 최종평가 결과는 “성공과제” 또는 “실패과제(성실, 불성실)”로 구분
 - 최종평가 결과 100점 만점을 기준으로 배점 평가를 실시하여 60점 이상 과제는 “성공과제”, 60점 이하 과제는 “실패과제”로 구분함
 - 실패과제는 계획된 최종 기술개발목표를 달성하지 못하였으나, 기술개발은 성실히 수행한 경우 “성실실패”로 판단하며, 그렇지 않은 경우를 “불성실실패”로 구분함
 - 성실수행과제는 제재를 면제하되, 불성실수행과제는 연구 수행상황 및 실적 등을 고려하여 제재 차등화
 - 평가지표
 - 연구개발결과 평가 / 검토의견

[표 6.3] 최종평가 절차



6.5.5 추적 평가

○ 추적평가 방안

- 본 사업의 추적평가 체계 및 조사내용은 해양수산 연구개발사업 운영규정 제38조 (연구개발결과의 평가)에 의거하여 과제 종료 후 3년 이내에 실시함
- 연구성과의 사업화 여건 분석 및 적시 환류를 통한 R&D 투자 효율성 및 정책 실효성 제고를 위해 추적평가 실시

[표 6.4] 추적평가 절차



* 매년 2월 말까지 전문기관에 제출

○ 추진절차: 3단계(사전분석⇒현장조사⇒최종평가)

- 사전분석
 - 정량분석 결과에서 상위권에 해당하는 과제를 현장조사 대상으로 선정(산업화/공공분야 특성을 반영해 가중치를 달리 적용하여 평가)
 - 사전분석 결과는 현장조사 대상과제 도출을 위함과 동시에 최종 평가 시 활용
- 현장조사
 - 해양수산R&D 전문가를 동반한 현장조사를 실시하여 해양수산 R&D 성과의 추세·활용현황·애로사항 등을 파악
 - 현장조사 수행을 위하여 과제(기술) 관련 연구기관 전문가 또는 유사과제를 수행한 경험이 있는 전문가 등을 활용하여 인터뷰 실시
- 최종평가
 - 사전분석 및 현장조사 결과를 반영하여 우수과제에 대한 최종평가를 실시하여 점수를 배점하여 등급을 확정
- 추적평가 결과 활용
 - 성과 활용·확산의 우수사례 발굴 및 성과 미흡요인 파악을 통한 실질적인 개선방안 마련

- 해양 R&D 성과확산을 위한 과제기획·선정·모니터링 방안 등 R&D 프로세스 전반에 걸쳐 환류체계 구축방안 수립에 활용

○ 평가방법

- 전문가에 의한 현장중심의 정성평가 및 연구종료이후 성과활용 미흡요인 분석과 정량적인 성과활용 결과 데이터를 종합하여 우수과제를 발굴
- (업무효율화) 매년 수행하는 성과분석 연구용역에 포함하여 실시
- (환류체계) 우수과제 발굴 및 성과활용 미흡요인 분석

참고 문헌

- 국립해양조사원(2010). 조류에너지 자원도 개발연구(1) : 관측유속 기반
- 기획재정부(2018). 예비타당성조사 수행 총괄지침. 기획재정부
- 산업통상자원부(2014). 2014 신·재생에너지 백서
- 에너지관리공단(2008). 신·재생에너지 R&D전략 2030
- 조기선(2018). 해양에너지 상용화를 위한 REC 가중치 연구
- 한국에너지기술평가원(2013). 2013-2014 에너지기술 국내시장 전망
- 한국에너지기술평가원(2016). 청정에너지기술 로드맵
- 한국해양연구원(2011). 조류에너지 실용화 기술개발 최종보고서
- 현범수, 조철희, 김문찬, 문채주(2011). 조류발전 기술현황과 전망. 48(3). 대한조선학회지
- 해양수산부(2015). 해양에너지 중장기 개발 계획('15~'15)(안)
- EMEC(2008). Guidelines for health and safety in the marine energy industry
- EMEC(2009). Assessment of performance of tidal energy conversion systems, marine renewable energy guides
- EMEC(2009). Assessment of tidal energy resource, marine renewable energy guides
- EMEC(2009). Guidelines for marine energy converter certification schemes
- EMEC(2009). Guidelines for design basis of marine energy conversion systems
- EMEC(2009). Guidelines for reliability, maintainability and survivability of marine energy conversion systems
- EMEC(2009). Guidelines for grid connection of marine energy conversion systems
- EMEC(2009). Guidelines for project development in the marine energy industry
- EMEC(2009). Guidelines for manufacturing, assembly and testing of marine energy conversion systems
- EMEC(2016). Experience support services for the marine renewables industry
- EMEC(2016). An EMEC guide to research, development and testing of marine energy technology
- IEA(2008). IEA energy policies reviews-the european union
- IHS EER(2010). Global Ocean Energy Outlook. IHE Emergin Energy Research.

- IT Power(2005). Development, installation and testing of a large-scale tidal current turbine. DTI
- KISTEP(2011). 조류발전의 국내외 동향과 향후 발전 전략. Green-tech Research
- Ko, K.(2016). Ocean renewable energy market prospect in Japan, case study: offshore renewable energy initiatives in Nagasaki prefecture. ICOE
- KOMERI(2014). 해양에너지 실해역 실증시험장 개발을 위한 타당성 조사연구
- LEE. K.-S.(2006). Tidal and tidal current power study in Korea. KORDI
- Martin. E. M, Folz. P., Bates. P., Peale R., Dunn. R. and Lessard. S.(2008). A test bed design characterization of tidal turbine flows, final report
- METI(2015). Japan's Energy Plan. Ministry of Economy, Trade and Industry, Japan
- NEDO(2010). <http://www.nedo.go.jp/>
- Northwest National Marine Renewable Energy Center(2017). <http://nnmrec.oregonstate.edu/home>
- Ocean Energy Europe(2015). Draft Ocean Energy Strategic Roadmap, building ocean energy for Europe
- Ocean energy systems(2015). 2015 Annual Report
- REN21(2016). Renewables-2016 global status report
- Zhang, Y.-L., LIN, Z. and Liu, Q.-I.(2014). Marine renewable energy in China current status and perspectives. Water Science and Engineering. 7(3). 288-305

첨부 1. 경제적 파급효과

○ (1안-case 1) 예상되는 매출액의 현재가치는 426.0억원이며, 이에 대한 생산유발 파급 효과는 973.9억 원, 부가가치유발 파급효과는 311.9억원, 고용유발 효과는 460.1명임

[표-A] 동 사업 1안- case 1의 생산유발 부가가치유발 고용유발 계수

구분	매출액 (억원)	생산유발계수 (억원)	부가가치유발액 (억원)	고용유발(명)
2026	31.3	71.6	22.9	33.8
2027	30.0	68.6	22.0	32.4
2028	28.7	65.6	21.0	31.0
2029	27.5	62.8	20.1	29.7
2030	26.3	60.1	19.2	28.4
2031	25.2	57.5	18.4	27.2
2032	24.1	55.0	17.6	26.0
2033	23.0	52.6	16.9	24.9
2034	22.0	50.4	16.1	23.8
2035	21.1	48.2	15.4	22.8
2036	20.2	46.1	14.8	21.8
2037	19.3	44.1	14.1	20.9
2038	18.5	42.2	13.5	20.0
2039	17.7	40.4	12.9	19.1
2040	16.9	38.7	12.4	18.3
2041	16.2	37.0	11.9	17.5
2042	15.5	35.4	11.3	16.7
2043	14.8	33.9	10.9	16.0
2044	14.2	32.4	10.4	15.3
2045	13.6	31.0	9.9	14.7
소계	426.0	973.9	311.9	460.1

- (1안-case 2) 예상되는 매출액의 현재가치는 864.5억원이며, 이에 대한 생산유발 파급 효과는 1,976.3억원, 부가가치유발 파급효과는 632.8억원, 고용유발 효과는 933.7명임

[표 B] 동 사업 1안- case 2의 생산유발 부가가치유발 고용유발 계수

구분	매출액 (억원)	생산유발계수 (억원)	부가가치유발액 (억원)	고용유발(명)
2026	63.6	145.4	46.6	68.7
2027	60.9	139.1	44.5	65.7
2028	58.2	133.1	42.6	62.9
2029	55.7	127.4	40.8	60.2
2030	53.3	121.9	39.0	57.6
2031	51.0	116.7	37.4	55.1
2032	48.8	111.6	35.7	52.7
2033	46.7	106.8	34.2	50.5
2034	44.7	102.2	32.7	48.3
2035	42.8	97.8	31.3	46.2
2036	41.0	93.6	30.0	44.2
2037	39.2	89.6	28.7	42.3
2038	37.5	85.7	27.5	40.5
2039	35.9	82.0	26.3	38.8
2040	34.3	78.5	25.1	37.1
2041	32.9	75.1	24.1	35.5
2042	31.4	71.9	23.0	34.0
2043	30.1	68.8	22.0	32.5
2044	28.8	65.8	21.1	31.1
2045	27.6	63.0	20.2	29.8
소계	864.5	1,976.3	632.8	933.7

○ (1안-case 3) 예상되는 매출액의 현재가치는 951.0억원이며, 이에 대한 생산유발 파급 효과는 2,173.9억원, 부가가치유발 파급효과는 696.1억원, 고용유발 효과는 1,027.0명임

[표 C] 동 사업 1안- case 3의 생산유발 부가가치유발 고용유발 계수

구분	매출액 (억원)	생산유발계수 (억원)	부가가치유발액 (억원)	고용유발(명)
2026	70.0	159.9	51.2	75.6
2027	66.9	153.0	49.0	72.3
2028	64.1	146.4	46.9	69.2
2029	61.3	140.1	44.9	66.2
2030	58.7	134.1	42.9	63.4
2031	56.1	128.3	41.1	60.6
2032	53.7	122.8	39.3	58.0
2033	51.4	117.5	37.6	55.5
2034	49.2	112.5	36.0	53.1
2035	47.1	107.6	34.5	50.8
2036	45.0	103.0	33.0	48.7
2037	43.1	98.5	31.6	46.6
2038	41.3	94.3	30.2	44.6
2039	39.5	90.2	28.9	42.6
2040	37.8	86.4	27.7	40.8
2041	36.1	82.6	26.5	39.0
2042	34.6	79.1	25.3	37.4
2043	33.1	75.7	24.2	35.8
2044	31.7	72.4	23.2	34.2
2045	30.3	69.3	22.2	32.7
소계	951.0	2,173.9	696.1	1,027.0

- (1안-case 4) 예상되는 매출액의 현재가치는 1,152.7억원이며, 이에 대한 생산유발 파급효과는 2,582.1억원, 부가가치유발 파급효과는 826.8억원, 고용유발 효과는 1,244.9명임

[표 D] 동 사업 1안- case 4의 생산유발 부가가치유발 고용유발 계수

구분	매출액 (억원)	생산유발계수 (억원)	부가가치유발액 (억원)	고용유발(명)
2026	84.8	193.8	62.1	91.6
2027	81.1	185.5	59.4	87.6
2028	77.7	177.5	56.8	83.9
2029	74.3	169.9	54.4	80.3
2030	71.1	162.6	52.1	76.8
2031	68.0	155.6	49.8	73.5
2032	65.1	148.9	47.7	70.3
2033	62.3	142.4	45.6	67.3
2034	59.6	136.3	43.6	64.4
2035	57.1	130.4	41.8	61.6
2036	54.6	124.8	40.0	59.0
2037	52.3	119.4	38.2	56.4
2038	50.0	114.3	36.6	54.0
2039	47.8	109.4	35.0	51.7
2040	45.8	104.7	33.5	49.5
2041	43.8	100.2	32.1	47.3
2042	41.9	95.9	30.7	45.3
2043	40.1	91.7	29.4	43.3
2044	38.4	87.8	28.1	41.5
2045	36.7	31.0	9.9	39.7
소계	1,152.7	2,582.1	826.8	1,244.9

○ (2안-case 1) 예상되는 매출액의 현재가치는 244.3억원이며, 이에 대한 생산유발 파급 효과는 558.4억원, 부가가치유발 파급효과는 178.8억원, 고용유발 효과는 263.8명임

[표 E] 동 사업 2안- case 1의 생산유발 부가가치유발 고용유발 계수

구분	매출액 (억원)	생산유발계수 (억원)	부가가치유발액 (억원)	고용유발(명)
2026	21.4	49.0	15.7	23.1
2027	19.7	45.1	14.4	21.3
2028	18.3	41.9	13.4	19.8
2029	17.0	38.9	12.5	18.4
2030	16.0	36.5	11.7	17.2
2031	15.0	34.2	11.0	16.2
2032	13.6	31.1	10.0	14.7
2033	12.7	29.1	9.3	13.8
2034	11.8	26.9	8.6	12.7
2035	11.1	25.3	8.1	12.0
2036	10.5	24.1	7.7	11.4
2037	10.0	23.0	7.4	10.8
2038	9.6	21.9	7.0	10.4
2039	9.2	21.0	6.7	9.9
2040	8.8	20.2	6.5	9.5
2041	8.5	19.4	6.2	9.2
2042	8.2	18.7	6.0	8.8
2043	7.9	18.0	5.8	8.5
2044	7.6	17.4	5.6	8.2
2045	7.4	16.8	5.4	7.9
소계	244.3	558.4	178.8	263.8

○ (2안-case 2) 예상되는 매출액의 현재가치는 495.6억원이며, 이에 대한 생산유발 파급 효과는 1,133.0억원, 부가가치유발 파급효과는 362.8억원, 고용유발 효과는 535.3명임

[표 F] 동 사업 2안- case 2의 생산유발 부가가치유발 고용유발 계수

구분	매출액 (억원)	생산유발계수 (억원)	부가가치유발액 (억원)	고용유발(명)
2026	43.5	99.4	31.8	46.9
2027	40.0	91.5	29.3	43.2
2028	37.2	85.0	27.2	40.1
2029	34.5	79.0	25.3	37.3
2030	32.4	74.0	23.7	35.0
2031	30.4	69.4	22.2	32.8
2032	27.6	63.1	20.2	29.8
2033	25.9	59.1	18.9	27.9
2034	23.9	54.6	17.5	25.8
2035	22.5	51.3	16.4	24.3
2036	21.4	48.9	15.6	23.1
2037	20.4	46.6	14.9	22.0
2038	19.5	44.5	14.3	21.0
2039	18.7	42.6	13.7	20.1
2040	17.9	40.9	13.1	19.3
2041	17.2	39.3	12.6	18.6
2042	16.6	37.9	12.1	17.9
2043	16.0	36.5	11.7	17.3
2044	15.4	35.3	11.3	16.7
2045	14.9	34.1	10.9	16.1
소계	495.6	1,133.0	362.8	535.3

○ (2안-case 3) 예상되는 매출액의 현재가치는 545.2억원이며, 이에 대한 생산유발 파급 효과는 1,246.3억원, 부가가치유발 파급효과는 399.1억원, 고용유발 효과는 588.8명임

[표 G] 동 사업 2안- case 3의 생산유발 부가가치유발 고용유발 계수

구분	매출액 (억원)	생산유발계수 (억원)	부가가치유발액 (억원)	고용유발(명)
2026	47.8	109.3	35.0	51.6
2027	44.0	100.7	32.2	47.6
2028	40.9	93.5	29.9	44.2
2029	38.0	86.9	27.8	41.0
2030	35.6	81.4	26.1	38.5
2031	33.4	76.4	24.5	36.1
2032	30.3	69.4	22.2	32.8
2033	28.4	65.0	20.8	30.7
2034	26.3	60.0	19.2	28.4
2035	24.7	56.5	18.1	26.7
2036	23.5	53.7	17.2	25.4
2037	22.4	51.2	16.4	24.2
2038	21.4	49.0	15.7	23.1
2039	20.5	46.9	15.0	22.2
2040	19.7	45.0	14.4	21.3
2041	18.9	43.3	13.9	20.4
2042	18.2	41.7	13.3	19.7
2043	17.6	40.2	12.9	19.0
2044	17.0	38.8	12.4	18.3
2045	16.4	37.5	12.0	17.7
소계	545.2	1,246.3	399.1	588.8

○ (2안-case 4) 예상되는 매출액의 현재가치는 660.9억원이며, 이에 대한 생산유발 파급 효과는 558.4억원, 부가가치유발 파급효과는 178.8억원, 고용유발 효과는 263.8명임

[표 H] 동 사업 2안- case 4의 생산유발 부가가치유발 고용유발 계수

구분	매출액 (억원)	생산유발계수 (억원)	부가가치유발액 (억원)	고용유발(명)
2026	57.9	49.0	15.7	23.1
2027	53.4	45.1	14.4	21.3
2028	49.6	41.9	13.4	19.8
2029	46.1	38.9	12.5	18.4
2030	43.2	36.5	11.7	17.2
2031	40.5	34.2	11.0	16.2
2032	36.8	31.1	10.0	14.7
2033	34.5	29.1	9.3	13.8
2034	31.8	26.9	8.6	12.7
2035	29.9	25.3	8.1	12.0
2036	28.5	24.1	7.7	11.4
2037	27.2	23.0	7.4	10.8
2038	26.0	21.9	7.0	10.4
2039	24.9	21.0	6.7	9.9
2040	23.9	20.2	6.5	9.5
2041	22.9	19.4	6.2	9.2
2042	22.1	18.7	6.0	8.8
2043	21.3	18.0	5.8	8.5
2044	20.6	17.4	5.6	8.2
2045	19.9	16.8	5.4	7.9
소계	660.9	558.4	178.8	263.8