한국해양수산개발원
KOREA MARITIME INSTITUTE

WEEKLY REPORT

KMI 동향분석

VOL.41
2017 AUGUST

발간년월 2017년 8월(통권 제41호) **주 소** 49111 부산광역시 영도구 해양로 301번길 26(동삼동) **발행인** 양창호 **감 수** 하동우 **인포그래픽** 김태한 **발행처** 한국해양수산개발원 **자료문의** 정책동향연구본부 동향분석실 **홈페이지** www.kmi.re.kr 이 보고서의 내용은 본원의 공식적 견해가 아닙니다.

신재생에너지, 해양에서 답을 찾자

최석우 성장동력실 전문연구원
(schoi@kmi.re.kr/051-797-4777)
박예나 성장동력실 연구원
(yena719@kmi.re.kr/051-797-4763)
이정민 성장동력실 연구원
(jmin@kmi.re.kr/051-797-4769)
남정호 해양정책연구실 연구위원
(jhnam@kmi.re.kr/051-797-4712)
박광서 성장동력실 실장
(kspark@kmi.re.kr/051-797-4722)

정부는 우리나라 에너지정책 패러다임의 대변혁을 예고하는 탈(脫)원전 선언과 함께 '신재생 3020'(신재생에너지 비중을 현재 4.7%에서 2030년까지 20%로 확대 방침)을 발표하였다. 세계 각국은 에너지 안보 강화, 대기오염 개선, 기후변화 대응, 에너지 빈곤 해소 등의 해결책으로 신재생에너지 산업에 대한 투자를 확대하고 있어, 2016년 기준 신재생에너지 비중이 세계 발전량의 11.3%, 발전설치용량 증가분의 55.3%에 이르는 등 빠르게 증가되고 있다. 우리나라 역시 94%에 이르는 에너지 수입의존도를 낮추고 미래 먹거리 및 일자리 창출을 위한 친환경 신성장산업으로서 신재생에너지 산업 육성에 적극 나서야한다.

신재생에너지 중 조력, 조류, 파력 등과 같은 해양에너지가 차지하는 비중은 아직 1% 수준으로 미미하지만, 최근 전반적인 기술발전은 상업적 이용 가능성을 크게 높이고 있다. 세계적으로 해양에너지는 부존 잠재량이 연간 전력 생산량의 약 4배에 이를 정도로 풍부하며, 고갈 위험이 전혀 없고, 환경오염 문제가 상대적으로 적으며, 일단 개발되면 운영비가 거의 들지 않는 등 무공해 청정에너지로서 가치가 높다. 또한 해양은 공간적 특성상 육상에 비해 발전설비의 대형화, 발전단지의 대규모화 실현에 유리하기 때문에 방대한 면적의 부지가 소요되는 태양광과 풍력 단지 건설을 위한 공간으로서 장점도 지니고 있다. 우리나라는 조력과 파력이 각각 6,500 MW, 해수온도차 발전 4,000 MW, 조류 1,000 MW 등 총 18,000 MW 이상의 해양에너지가 부존되어 있는 것으로 평가되는데, 여기에 해상풍력 33,200 MW, 해상태양광 5,400 MW 등 광의의 해양에너지를 포함할 경우 그 잠재력이 매우 크다.

해상풍력, 해상태양광, 해양바이오 등을 제외한 협의의 해양에너지는 글로벌 시장에서 조력발전과 해수열 외에는 아직 상용화 단계에 진입하지 못하였으나, 유럽과 미국을 중심으로 개발 및 실증시험이 활발하게 진행 중이다. 영국은 파력과 조류에 집중하고 있고, 미국은 해수온도차 발전소 건설 프로젝트를 진행하는 등 해양에너지 선도국가들은 에너지원별 차별화된 전략을 수립하여 상용화에 나서고 있다.

우리나라는 현재 조력발전과 해수열이 상용화에 성공하였으며 해상풍력이 준상용화 단계에 진입하여, 적극적인 투자가 유입될 경우 본격적인 산업화가 가능할 것으로 평가된다. 상용화 단계와 함께 현재의 기술수준, 건설인프라 보유, 입지선정 조건, 초기투자비, 유지비 등을 종합적으로 고려할 때, 단기적으로 해양환경 문제로 대규모 추진이 어려운 조력발전을 제외하면 우리나라의 해양에너지는 해상풍력과 해수열에 집중되어야 할 것으로 보인다. 이 경우 부존잠재량 기준으로 '신재생 3020'에 따른 신재생에너지 목표 공급량의 최대 30%까지 공급할 수 있을 것으로 추정된다. 중장기적으로는 현재 기술개발이 진행 중에 있는 조류, 파력 등 해양에너지 전반의 상용화로 방대한 해양에너지 자원의 잠재력을 구현해 나간다면 신재생에너지 공급에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

해양에너지 보급을 확대하기 위해서는 정부의 적극적인 정책적 뒷받침이 필요하다. 첫째, 해양에너지 산업화를 위해서는 장기 대형과제의 R&D가 필수적이며, 이를 위한 기초·기반 연구 등 기술개발이 선행되어야 한다. 둘째, 과학적·경제적·사회적으로 타당한 입지선정 시스템을 구축해야 한다. 입지 선정에서부터 개발과정, 개발 이후 단계 전반에 이르기까지 과학적 자료에 기반한 투명한 의사결정이 필요하기 때문이다. 마지막으로 해양에너지 개발의 조기 활성화를 위해 차별적 지원정책을 강구해야 한다. 이미 상업화된 신재생에너지 자원과 별도로 성장 잠재력은 높으나 아직 초기 개발단계에 있는 해양에너지원별로 기술수준과 사회적 수용력을 고려하여 자원특화형 시장확대 정책을 수립·시행해야 할 것이며, 산업계의 참여를 유도하기 위한 공공-민간 협력체제 구축 또한 필요하다. 아울러 해양에너지 기술 및 설비 시장의 선점을 위해서는 국제표준화 논의에도 적극 참여할 필요가 있다.

새 정부, 신재생에너지 대폭 확대 추진

■ 새 정부 탈(脫)원전 및 '신재생 3020' 선언

- 지난 6월 19일 문재인 대통령은 고리1호기 영구정지 선포식 기념사를 통해 탈핵시대를 선언하며 신규 원전 건설 계획 폐지와 설계수명이 지난 노후 원전의 수명 연장 거부를 통해 우리나라의 원전 의존도를 단계적으로 축소할 것임을 밝힘

- 더불어 현재 4.7%인 신재생에너지 발전비중을 2030년까지 20%로 확대할 방침('신재생 3020')을 발표하고, 향후 '신재생 3020' 이행계획수립 T/F를 구성하여 8월 말까지 '신재생 3020' 이행계획을 수립할 예정임
  · 산업통상자원부는 '신재생 3020' 목표 달성을 위해 53GW 규모의 신규 설립 보급이 필요하며, 이를 위해 태양광·풍력 발전을 전체 신재생에너지의 80% 수준으로 보급하는 선진국 수준의 에너지믹스를 달성해야 한다고 보고

■ 신재생에너지 산업의 육성은 정부의 탈원전 선언을 둘러싼 찬반 논쟁과 별개로 우리나라가 당면한 도전과제

- 2016년 기준 우리나라는 1차 에너지[1] 공급량의 82.9%를 차지하는 화석연료[2]의 대부분을 수입에 의존하고 있으며, 1차 에너지 공급량 중 에너지 수입 의존도는 약 94%[3]에 달함

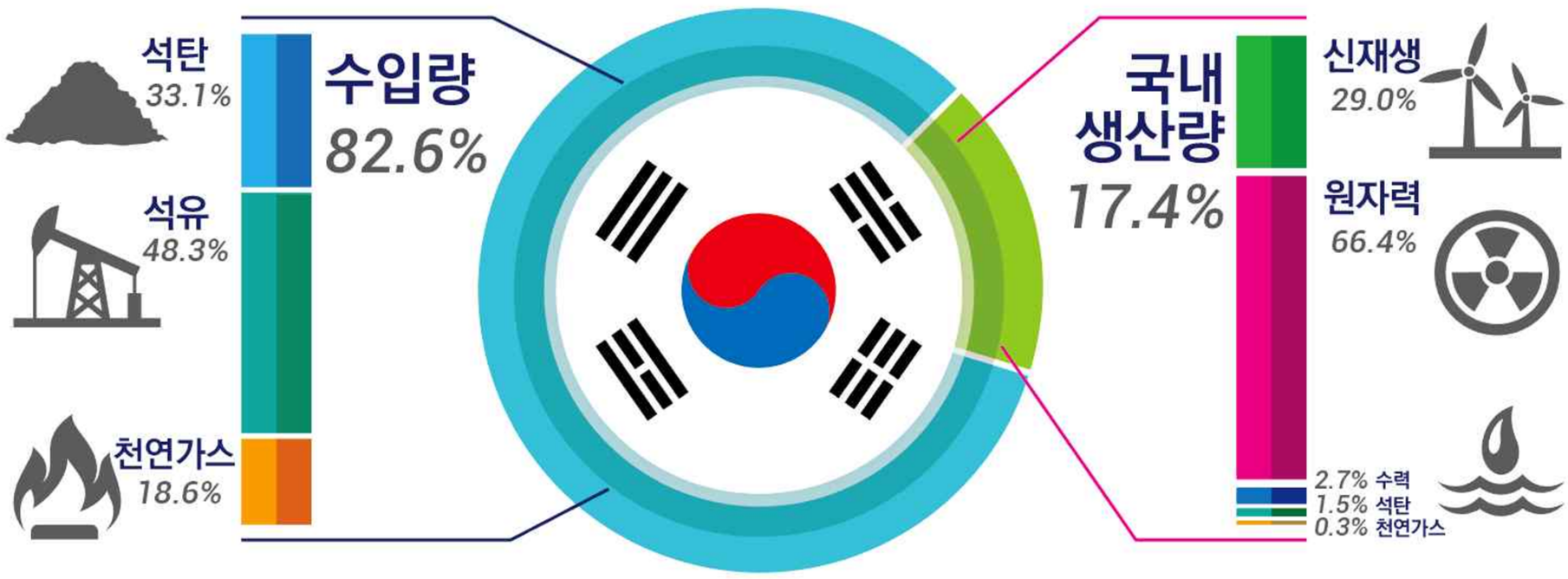
- 따라서 화석연료 고갈에 대비하고 에너지 수급 안정성을 높이기 위해서는 에너지 공급방식의 다양화가 필요함
  · BP(British Petroleum)에 따르면 화석연료의 가채연수[4]는 석유 49.7년, 천연가스 51.8년, 석탄 113년
  · 유가 변동 등 에너지 수급 불안정성이 국가경제에 과도한 영향을 미치는 구조

- 신재생에너지 산업의 육성은 에너지원 다양화를 통한 과도한 수입의존도 탈피, 탄소배출을 줄이는 친환경 에너지 확산, 신성장산업으로 미래 먹거리 및 일자리 창출 등과 연계되어 우리나라가 당면한 도전과제 중 하나임

---

1) 생산, 수출입 및 재고증감에 의해 국내 공급된 에너지
2) 유기체의 잔존물로 인하여 생성된 에너지 자원으로 석탄, 석유, 천연가스, 타르샌드 등이 포함
3) 1차에너지에 대한 순수입으로 계산하는 것이 일반적이나, 우리나라의 경우는 1차에너지 중에서 수입에너지 소비가 차지하는 비중으로 계산 원자력의 원료인 우라늄을 수입에너지로 간주하여 수입의존도를 발표하고 있음
4) 현재의 확인매장량을 현재의 생산수준으로 산정한 향후 채굴 가능연수

그림 1. 우리나라 1차 에너지 공급량 중 수입량 및 국내생산량 비중

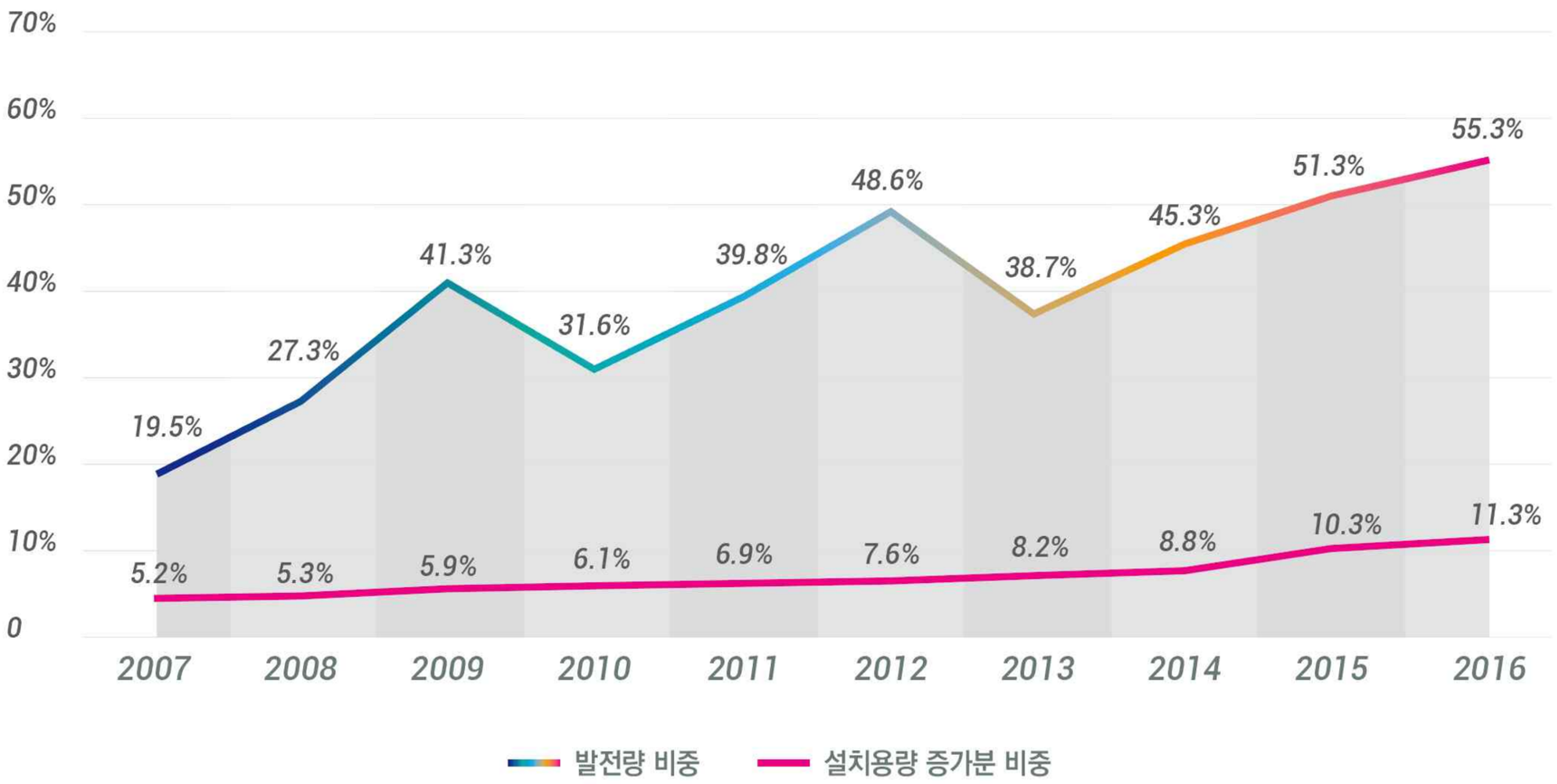


자료: 에너지경제연구원, 에너지 통계 월보, 2017.06., 한국에너지공단, 2016 신재생에너지의 이해 내용을 바탕으로 재구성

■ 세계적으로 신재생에너지는 2016년 최종 에너지의 11.3%를 담당하는 등 빠른 속도로 성장 중

- 에너지 안보 강화, 대기오염 개선, 기후변화 대응, 에너지 빈곤 해소 등 다양한 목적으로 세계 각국은 신재생에너지의 비중을 확대하고 있으며, 이를 통해 건전한 중장기 에너지 믹스(mix) 구성에 노력을 기울이고 있음

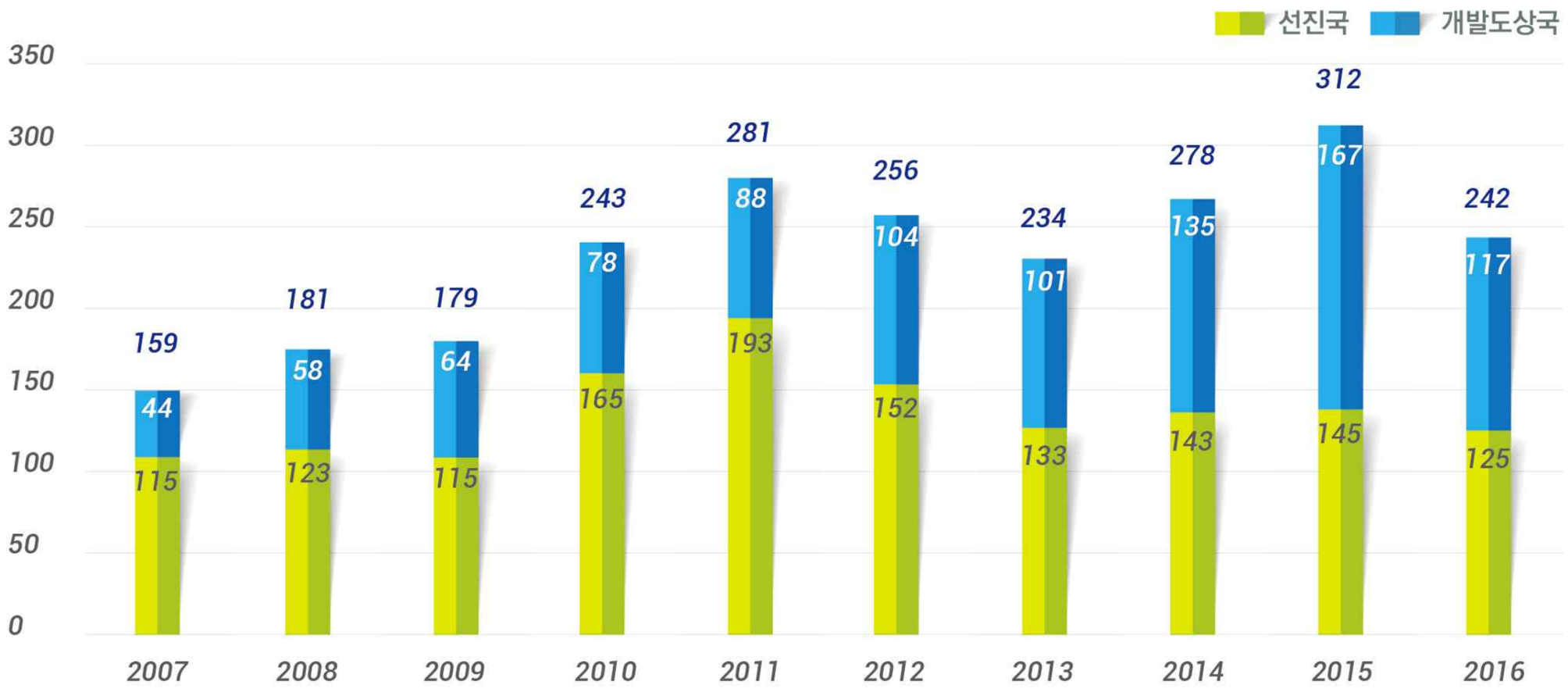
그림2. 세계 신재생에너지 발전량 비중 및 설치용량 증가분 비중



자료: Bloomberg New Energy Finance, Global Trends in Renewable Energy Investment 2017, 2017

그림 3. 세계 신재생에너지 투자규모

단위 : 10억 달러

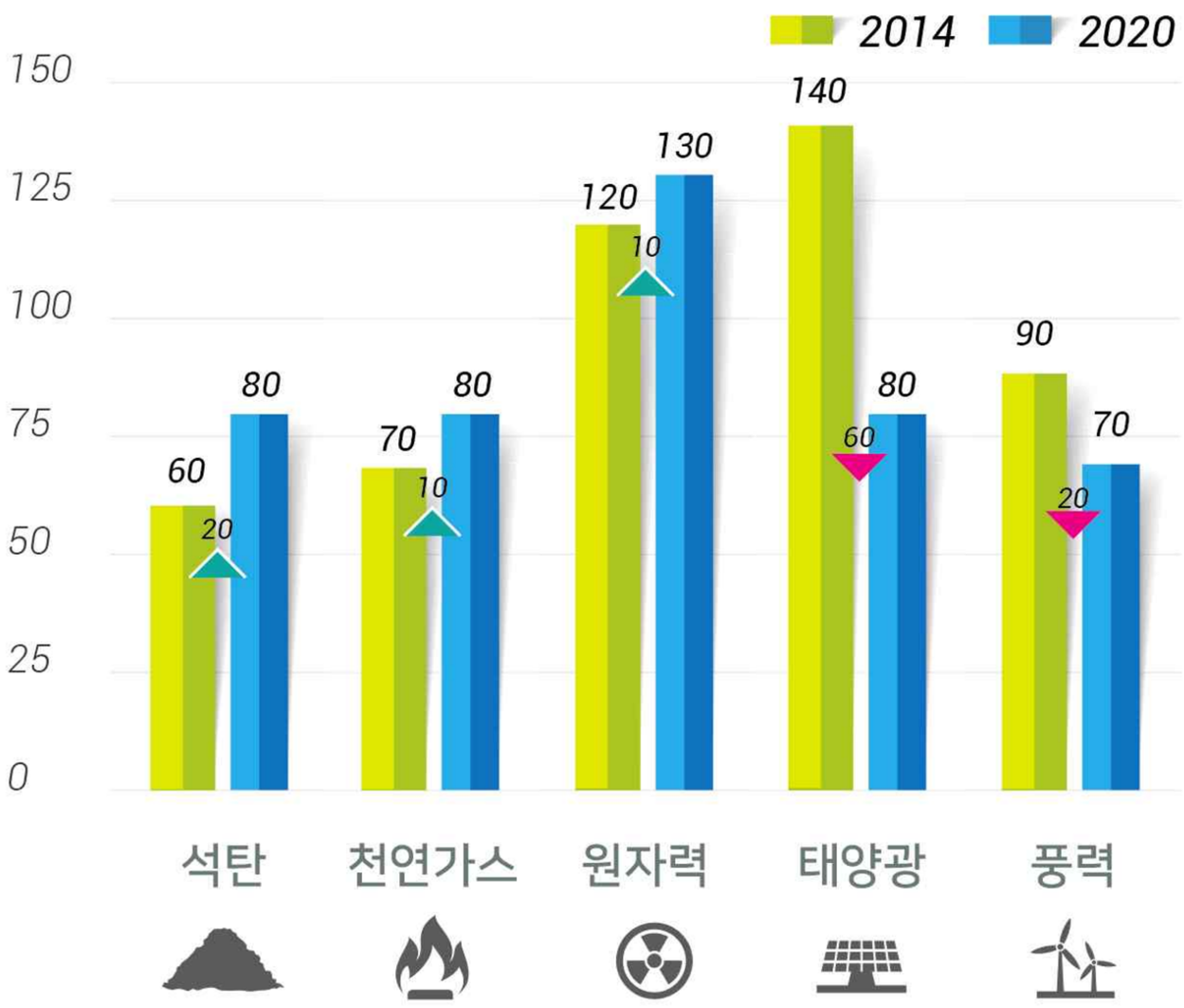


자료: Bloomberg New Energy Finance, Global Trends in Renewable Energy Investment 2017, 2017

- 에너지 효율을 높이는 기술개발과 발전단지의 대규모화를 통해 기존 에너지원 대비 신재생 에너지의 발전단가가 빠르게 하락하고 있음

표 1. 주요 에너지원별 발전단가 전망

단위 : 원/KWh, %

주요 에너지원별 발전단가 비교	구분	증감률
	석탄	33.3
	천연가스	14.3
	원자력	8.3
	태양광	-42.9
	풍력	-22.2

자료: 한국수출입은행, 2016 세계 신재생에너지 산업 전망 및 이슈, 2016 내용 기반 재구성

- 세계는 파리기후협약의 이행을 위해 탄소배출저하 정책을 추진하고 있으며 그 핵심은 신재생에너지 기술 개발 및 보급 사업에 대한 지원 강화임
  - 전 세계 189개국 중 147개국이 신재생에너지를 언급하고 있으며, 173개국이 신재생에너지 목표를 제시하고 146개국이 신재생에너지 지원정책을 시행 중

표 2. 세계 각국의 신재생에너지 정책

국가	정책유형	목표
미국	양적목표	재생에너지 연료 360억갤런(2022년)
	부문비중	30개 주 및 워싱턴 DC 재생에너지 의무 할당제 시행
	시스템목표	발전부문 배출량을 2030년까지 2005년 대비 32% 감축
EU	시스템목표	2020년까지 최종에너지 소비에서 재생에너지 20% 2030년까지 최종에너지소비에서 재생에너지27%
	부분비중	2020년까지 수송에너지 중 재생에너지 10%
중국	용량목표	2020년까지 350 GW 수력에 70 GW양수발전, 200 GW풍력, 100 GW 태양광, 30 GW 바이오에너지
	시스템 목표	2020년까지 총 에너지 공급 중 비화석연료 비중 15% 2030년까지 총 에너지 공급 중 비화석연료 비중 20%
인도	용량목표	2022년까지 태양광 100 GW, 풍력 60 GW, 바이오에너지 10 GW, 수소력 5 GW
호주	발전량 목표	2020년까지 대규모 재생에너지 발전량 33 TWh
멕시코	부문목표	2024년까지전력생산에서 화석연료 비중 65% 이하 2035년까지전력생산에서 화석연료 비중 60%이하 2050년까지전력생산에서 화석연료 비중 50%이하
인도네시아	시스템목표	2025년까지 1차 에너지 중 새로운 재생에너지 비중 23% 2050년까지 1차 에너지 중 새루운 재생에너지 비중 31%
말레이시아	부문비중	2020년까지 재생에너지 발전용량 2080 MW 2030년까지 재생에너지 발전용량 4000 MW

자료: EA World Energy Outlook 2015, 2016 신재생에너지 백서 내용 기반 재구성

바다는 신재생에너지의 새로운 무대

■ 해양에는 조력, 조류, 파력, 해수온도차, 해수염도차 등 다양한 에너지원들이 존재

- 해양에너지 자원을 효과적으로 전기 또는 열에너지로 변환하는 다양한 방식의 변환기술이 존재함
  - 해양에너지를 이용하는 주요 발전 중 해수의 위치에너지를 이용하는 조력발전, 해수의 운동에너지를 이용하는 조류발전, 파도에너지를 이용하는 파력발전, 해수의 열에너지를 이용하는 온도차 발전(OTEC) 또는 해수열[5](SWAC) 등이 있음
  - 최근에는 해양에너지가 가지는 원천적 단점인 낮은 경제성 및 전력품질 문제를 극복하기 위해 해양에너지원별 요소기술들을 융·복합한 복합발전 개발이 주목받고 있음

5) 해수온도차 냉난방(Seawater Air Conditioning : SWAC)을 의미함

- 나아가 해양이라는 공간에 존재하는 에너지원으로 범주를 확대할 경우 해상풍력, 해상태양광, 해양바이오 등도 포함됨

· 협의의 해양에너지는 수권(水圈)만을 의미하나, 해상풍력, 해상태양광, 해양바이오 등이 해양공간에 설치될 경우 공유수면 사용, 해양장비 사용, 해양공학기술 적용 등을 고려할 경우 해양에너지에 포함 가능

■ 세계 해양에너지는 전 세계 전력 생산량의 약 4배에 달하는 방대한 부존 잠재량 보유

- IEA-OES의 보고서(2006)[6]에 따르면, 해상풍력, 해양바이오, 해상태양광을 제외한 세계 해양에너지의 부존 잠재량은 9만 3,100 TWh/년으로 평가되며, 이는 2013년 세계 전력 생산량 2만 3,321 TWh/년의 약 4배에 해당

· 그 중 파력이 8만 TWh/년으로 대부분을 차지하고, 이어서 해수온도차, 해수염도차, 조류 순으로 나타남

· 다만, 기술적인 문제, 공간이용의 우선순위 문제 등으로 부존 잠재량에서 실제 개발가능한 자원량은 부존량에 훨씬 미치지 못하는 것으로 평가됨

- 우리나라는 조력과 파력이 각각 6,500 MW, 해수온도차 발전 4,000 MW, 조류 1,000 MW 등 총 1만 8,000 MW 이상의 해양에너지가 부존되어 있는 것으로 평가됨

· 해상풍력 3만 3,200 MW, 해상태양광 5,400 MW으로 해양에너지의 범위를 광의로 넓힐 경우 더욱 큰 잠재력을 가진 것으로 평가됨

■ 해양에너지는 비고갈성, 친환경성, 저운영비 등 『3無 청정에너지』에 해당

- 해양에너지는 주기가 사라지지 않는 한 무한대로 발전이 가능하며, 이산화탄소 등 오염원 발생이 거의 없는 청정에너지에 해당함

- 또한 기존의 주축 신재생에너지에 비해 높은 장기 예측성으로 자원의 효율적 이용이 가능하며 상대적으로 주변 경관에 미치는 영향이 적은 장점이 있음

- 다만 초기 자본비용이 높아 경제성이 떨어지고, 특히 조력발전은 댐을 건설할 경우 환경에 미치는 영향이 크다는 점이 단점으로 지적됨

■ 해양은 공간적 특성상 육상에 비해 대형화, 대규모화 실현에 유리

- 태양광과 풍력발전은 발전용량 1,000 MW(新 원전 1기 발전용량은 약 1,400 MW) 시설을 건설할 경우 필요한 부지면적이 각각 44 km^2, 202 km^2로 여의도 면적의 15.2배, 69.7배에 해당함

6) IEA-OES, Policy Report, 2006과 IEA Statistics for 2004 자료 참조

- 국토 면적이 넓은 국가들의 경우 태양광과 풍력 단지 건설이 용이하나 국토 면적이 좁고 산림 면적이 넓은 우리나라의 경우 부지 확보 자체가 어려운 상황임
  - 우리나라는 외딴 산지를 중심으로 건설 계획을 수립하고 있으나, 대형 풍력터빈 등의 설치 보수 시 운반이 어렵고 대규모 단지 조성으로 인한 환경 및 경관 피해에 대한 우려가 큼
- 반면에 해양은 육지면적 대비 관할권이 4.5배에 달해 부지 확보가 상대적으로 쉬우며 소음이나 자연 훼손 등의 부작용도 적어 대안공간으로서 큰 장점을 갖고 있음

표 3. 대규모 신재생에너지 발전 단지 사례

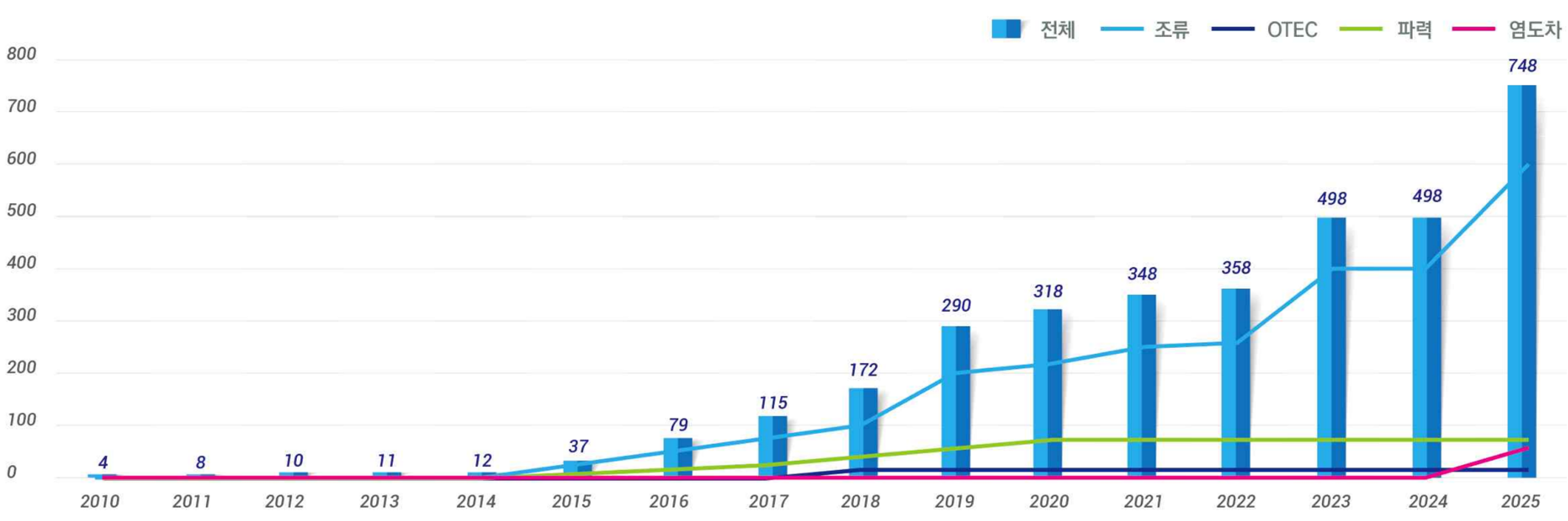
에너지원	육상 태양광	육상 풍력
전경		
위치	인도 타밀나두	미국 캘리포니아 모하비 사막
면적	10 km^2 **(여의도 면적의 3.4배)**	12.95 km^2 **(여의도 면적의 4.5배)**
발전량	648 MW	1,547 MW
총 투자비	약 8,000억원	약 1조 3,500억원

세계는 해양에너지 상용화 기술개발 및 실증시험 추진

■ 세계 해양에너지 연간 설치규모, 2017년 115 MW에서 2025년 748 MW 전망

- 해상풍력, 해양바이오 등을 제외한 순수 해양에너지 글로벌 시장에서 조력발전 외에는 아직 상용화 단계에 진입하지 못했으나 미국과 EU를 중심으로 개발 및 실증시험이 활발하게 진행 중임
  - · 미국은 2050년까지 전력 수요의 7%를 파력발전으로 공급하는 목표를 수행하기 위하여 기술개발 투자를 확대하고 정책지원을 강화하고 있음
  - · EU는 해양에너지 로드맵을 통하여 2020년 3.6 GW(전체 전력수요의 0.3%), 2050년 188 GW를 설치하여 2050년까지 전력수요의 15%를 충당할 것을 목표로 제시함
- 2017년 조력발전을 제외한 전 세계 해양에너지 연간 설치규모는 2010년 4 MW 대비 2,775% 증가한 115 MW로 추정되며, 2025년에는 748 MW까지 증가할 것으로 전망됨
  - · 특히 해수온도차발전, 파력, 염도차 대비 조류발전의 성장이 급속도로 이루어질 전망임

그림 4. 세계 해양에너지 연간 설치규모



자료: KnowRES, The Ocean Energy Sector Report, 2015

■ 해양에너지 선도국가, 각각의 에너지원별 차별화된 전략을 수립하여 기술개발 추진

- 영국은 해양에너지 기술개발 선도국가로 파력과 조류에 집중하고 있으며, 이어 미국과 노르웨이 등이 대규모 발전소 건설 프로젝트를 진행하고 있음
  - · 영국은 조류, 파력, 해상풍력 등 에너지원별 개발을 활발하게 진행 중임
  - · 미국은 하와이 Nelha에 1 MW, 100 KW의 온도차발전을 설치하는 등 온도차발전의 선도국가임
  - · 노르웨이는 영국과 함께 조력발전단지를 착공하고, 세계 최초의 부유식 해상풍력 단지를 설치함
  - · 일본은 540 kW급 부유식 파력발전장치를 실해역에 설치하고 실험을 완료하였으며, 부유식 해상풍력 단지 실증시험을 수행 중임

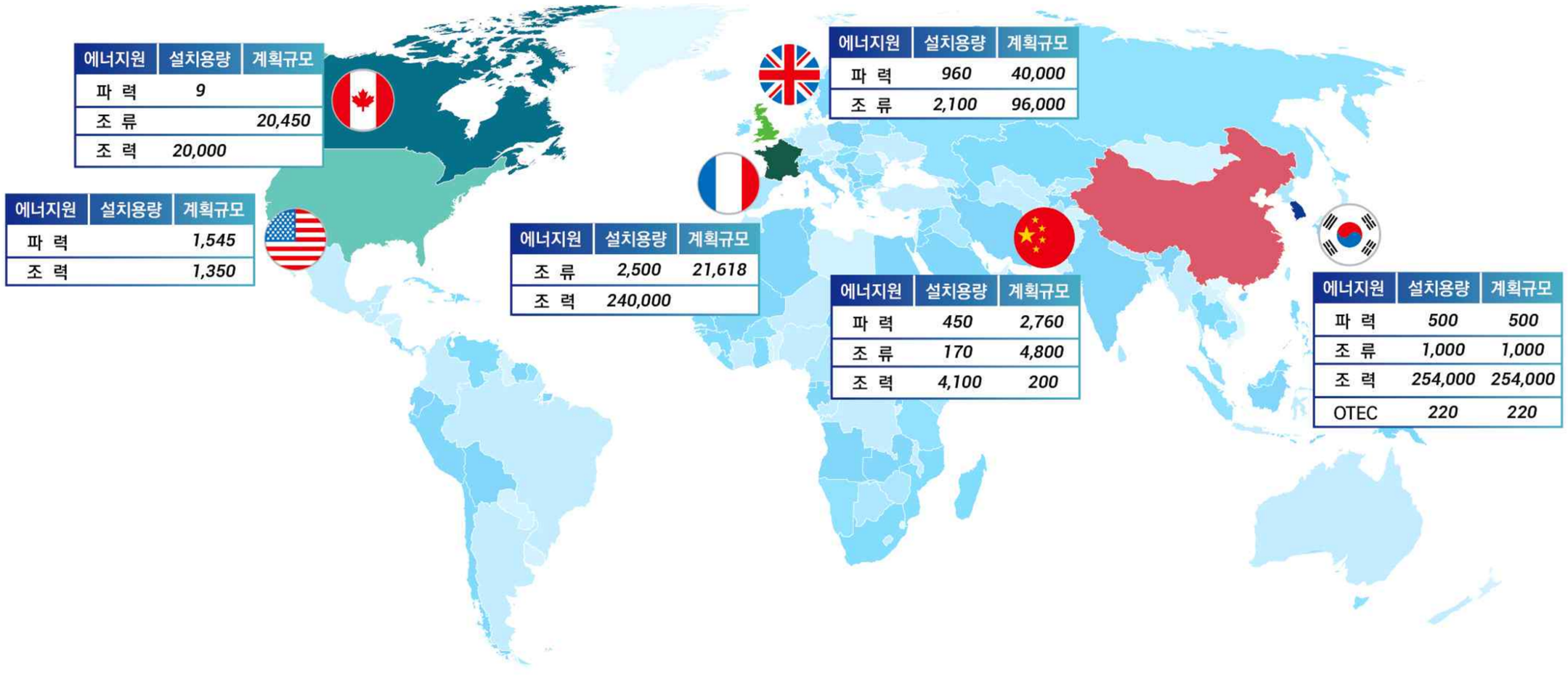
표 4. 세계 각국의 해양에너지 개발 동향

구분	내용
조력	• 프랑스 - 240 MW규모의 랑스 발전소 운영 중 • 호주 - 신규 발전소 건설 계획 수립 중
조류	• 영국, 독일 - 10 MW급 실증단지 착공 예정('15) • 영국, 노르웨이, 스위스 - 10 MW급 실증단지(Sound of Islay) 착공 예정('15) • 영국, 프랑스 - 5.6 MW 실증단지(프랑스 라즈 블랑카드) 착공 예정('17)
파력	• 영국 - 스코틀랜드 4 MW급 발전설비(100 KW x 40기) 설치계획 • 스페인 - 무트리쿠(Mutriku) 300 kW급 발전설비(18.7 KW x 16기) 운전 중 • 스웨덴 - 1 MW 발전시스템 실해역 실증('14) 후, 10 MW 파력 실증단지 개발로 확대하는 계획 추진 • 일본 - 해양과학기술센터(JAMSTEC)에서 540 KW급 부유식 파력발전장치 실해역 설치, 실험 완료
온도차발전	• 미국 - OTEC International社는 하와이 NELHA에 발전설비(1 MW) 착공('12~) 및 Makai Ocean社는 NELHA에 100 KW 설치('14) • 일본 - 쿠메지마섬에 파일럿플랜트(50 KW) 설치('13) ⇒ 100 KW 설치('14) ⇒ 발전설비(1 MW) 실증계획('16)
해상풍력	• 영국, 독일 등 유럽을 중심으로 2015년까지 총 1만 2,107 MW가 설치 • 2015년에만 3,398 MW가 설치됨
복합발전	• 덴마크 - 부유식 해상풍력과 파력 복합발전의 Poseidon을 개발하여 실해역 시험을 진행하였으며, 풍력 3기를 포함하는 20 MW 상용플랜트 개발 중 • 영국 - 고정식 해상풍력에 부착할 수 있는 500 kW 파력발전기 "Wave Treader" 시제품을 개발하였으며, 실해역 시험 예정 • 노르웨이 - 세계 최초의 부유식 해상풍력 실증프로젝트 "Hywind 프로젝트"는 Spar 형식의 기반 구조물에 지멘스의 2.3 MW 발전기 2기를 노르웨이 Karmoy에서 10 km 외해에 2009년 설치 • 일본 - 동경대 컨소시엄은 경제산업성의 지원으로 후쿠시마 부유식 해상풍력 단지 실증시험 프로젝트('11~'15) 수행 중 • 네덜란드 - 반잠수식 부유구조물 기반 해상풍력 실증플랜트의 실해역 시험을 2011년부터 진행 중이며, 최종 상용화 단계에서 150 MW 설치를 계획(Windfloat)

자료: 해양수산부·산업통상자원부, 해양에너지 중장기 개발 계획('15-'25), 2015

그림 5. 주요국 해양에너지 설치 규모

(단위 : MW)



자료: IEA-OES, 2015 Annual Report, 2016

우리나라도 해양에너지 선도 가능성 충분

■ 우리나라는 조력발전과 해수열이 가장 앞선 가운데 해상풍력도 준상용화 단계에 진입

- (조력) 해양에너지 중 가장 먼저 상용화 단계에 진입하였으나 세계 최대 규모인 시화호 조력발전을 제외한 타 조력발전(가로림, 강화, 인천만, 아산만)은 인허가 및 타당성 검토, 주민보상 등의 문제로 재추진되거나 보류됨
- (조류) 조류발전의 대표인 울돌목 조류발전은 실증에는 성공하였으나 목표발전량에 미달되어 상용화 단계에 이르지 못함
- (파력) 2003년에 착수된 파력발전 사업을 통해 제주 시험파력발전소가 설립 및 운영 중임
- (해수온도차발전) 2014년 세계 4번째로 20 KW 규모의 해수 온도차 파일럿 플랜트 제작 성공, 2015년 200 KW 규모의 해수 고온도차 발전기 제작 성공 및 1 MW 해수온도차발전 상세설계 실용인증을 획득하고 실증플랜트 제작을 진행하고 있음
- (해수열) 2009년 한국해양대 국제교류협력관에 100 RT급 냉난방시스템이 설치되었고, 2015년 부산롯데타운 마트동에 1,600 RT(5,600 KW)급 해수열원 히트펌프를 사용한 냉난방시스템이 설치됨

- (해수염도차) 2015년 50 KW 규모의 염도차 실증플랜트 건설을 완료하였고, 2020년까지 200 MW 상용화 발전소를 건설할 계획임

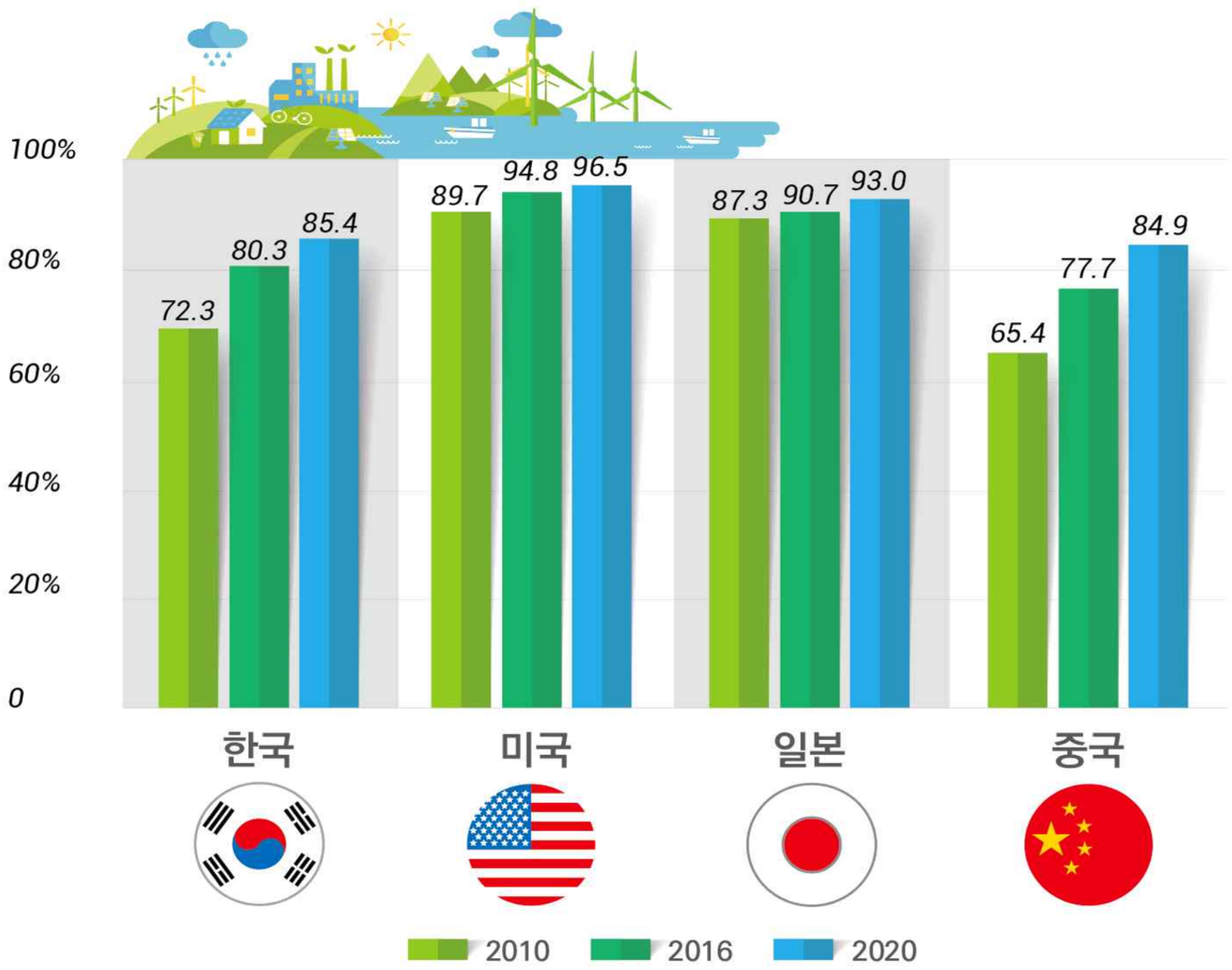
- (해상풍력) 2015년 착공하여 2016년 부분가동을 시작한 제주 탐라해상풍력발전단지가 올해 9월 완공될 예정이며, 제주 대정읍('18~'20), 충남 안면도('18~'21), 전남 신안군('18~'22)에서도 각각 100 MW, 100 MW, 400 MW 규모로 건설될 예정임

■ 해양에너지 선도국 대비 우리나라의 기술수준은 80.3%, 기술격차는 4.2년

- 우리나라 해양에너지 기술수준은 최고기술국인 EU 대비 2010년 72.3%, 2016년 80.3%로 8.0%p 증가하였으며, 2020년에는 5.1%p 증가한 85.4%에 이를 것으로 전망됨
  · 2010년 EU와 4.8년의 기술격차가 존재했으나 2016년 4.2년, 2020년 3.6년으로 지속적으로 감소할 전망임

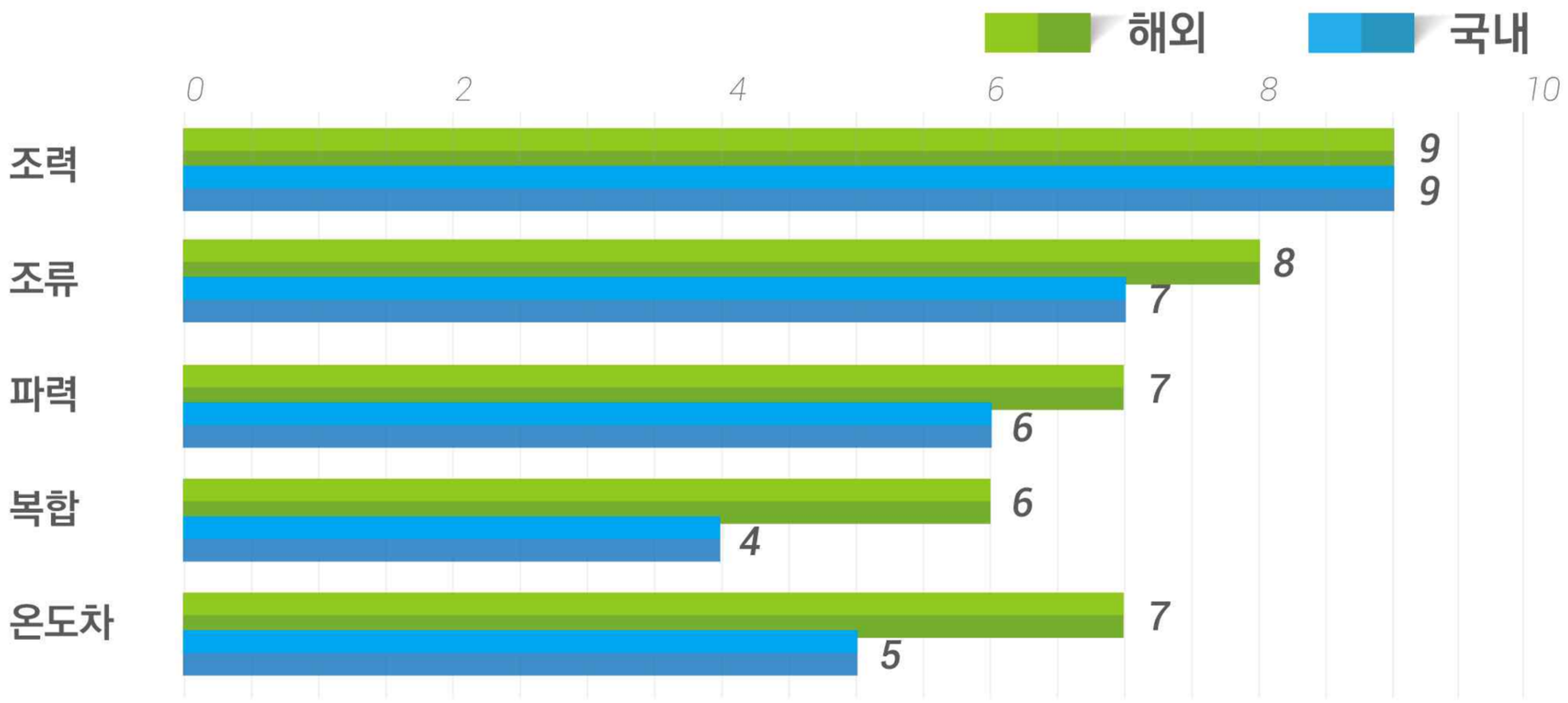
- 조력발전의 기술수준은 9점으로 선도국과 동일하나 그 외 에너지원의 기술수준은 격차가 발생함
  · 특히, 복합발전과 해수온도차발전이 조류, 파력발전보다 더 큰 격차가 존재함

그림 6. EU 기준 주요국의 해양에너지 기술수준



자료: 한국해양과학기술진흥원, 해양수산 기술수준 분석, 2017

그림 7. 해양에너지원별 국내외 기술수준 비교



자료: 해양수산부·산업통상자원부, 해양에너지 중장기 개발 계획('15-'25), 2015

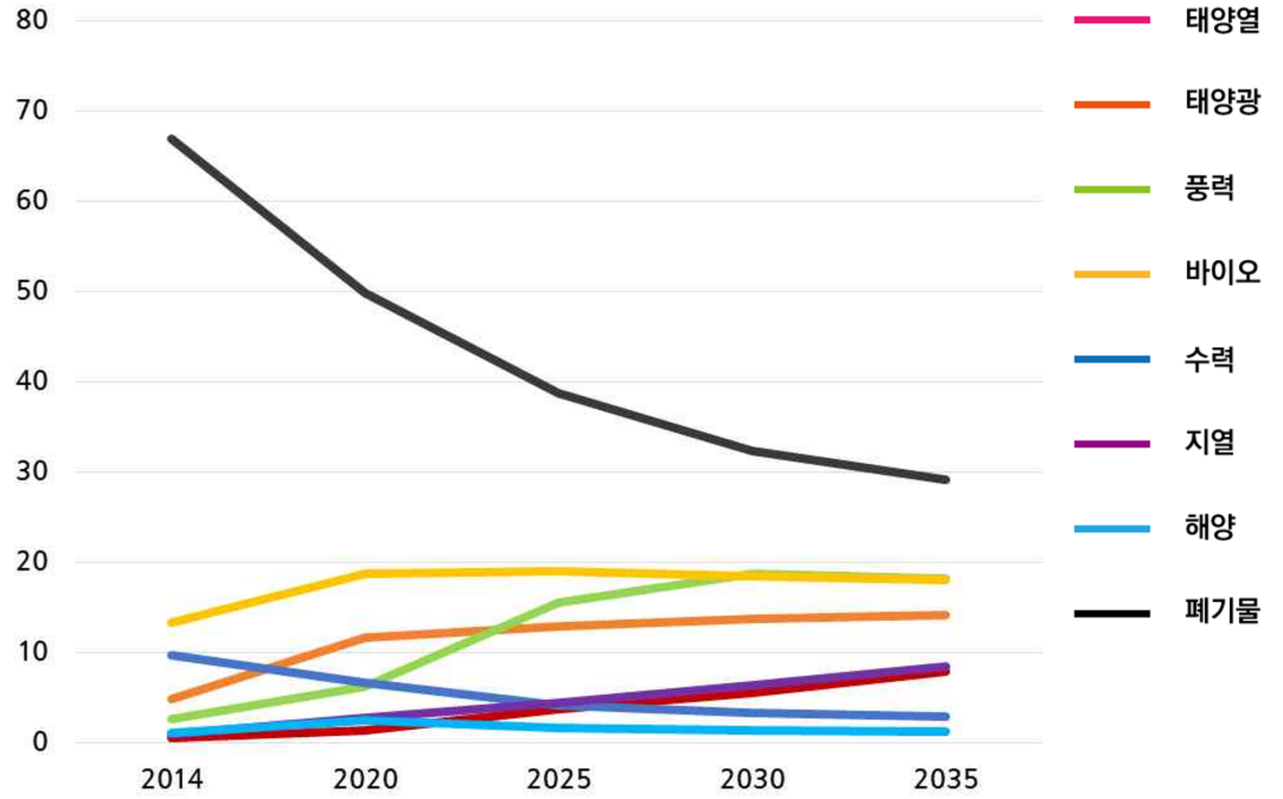
■ 기존의 제4차 신재생에너지 기본계획[7]에서는 2025년 해양에너지 보급목표를 1.6%로 낮게 설정

- 2015년 우리나라 신재생에너지는 폐기물과 바이오 에너지가 84.3%로 대부분을 차지하는 가운데 해양에너지는 0.8%로 상용화가 거의 이루어지지 않았음
  · 폐기물과 바이오에너지는 원료 수급, 에너지 효율성, 원료의 수집과 이송에 소모되는 비용, 2차적으로 환경에 미치는 영향 등의 문제로 생산량 확대에 명확한 한계가 존재함
- 1차 에너지 기준 신재생에너지의 비중은 2014년 3.6%에서 2035년 11.0%로 확대할 계획이었으나 해양에너지 보급목표는 다소 낮게 설정함
  · 2014년 1.1% 수준에 머물렀던 해양에너지 비중을 2020년 2.5%로 확대 목표를 설정하였으나, 조력발전 중심의 계획이 환경규제 강화 및 지역주민 반발 등으로 사업추진이 지연되면서 2025년 1.6%, 2035년에는 1.3%로 하향 조정함
- 2025년까지 신재생에너지의 1.6%를 해양에너지로 공급하기 위하여 총 835 MW의 해양에너지 발전소 건설을 추진할 전망임
  · 에너지원별로 조력 774 MW, 조류 45 MW, 파력 12 MW, 해수온도차 4 MW 발전소를 설치할 계획임

7) 산업통상자원부, 제4차 신재생에너지 기본계획, 2014. 9

표 5. 1차 에너지기준 신재생에너지 비중

(단위 : %)

구분	신재생에너지 비중 (해양에너지 비중)	에너지원별 비중 목표
2014	3.6 (1.1)	
2020	5.0 (2.5)	
2025	7.7 (1.6)	
2030	9.7 (1.4)	
2035	11.0 (1.3)	

자료: 한국에너지공단, 2016 신·재생에너지 백서, 2017

■ 단기적으로 해상풍력과 해수열에 집중하고, 중장기적으로 조류, 파력 등 해양에너지 전반의 상용화 추진 필요

- 현재의 기술수준, 상용화단계, 건설 인프라 보유, 입지선정 조건, 초기 투자비, 유지비 등을 종합적으로 고려할 때, 단기적으로 대규모 보급이 가능한 해양에너지원은 해상풍력과 해수열임
  - · 해상풍력은 초기투자비는 많이 들지만 기술수준, 건설인프라, 유지관리비 등을 고려할 경우 조기 상용화가 가능할 것으로 판단
  - · 해수열은 평가항목 전반에 걸쳐 우수한 것으로 평가되었으며, 이미 시범보급을 거쳐 일반보급에 착수하여 조기 확대 보급이 가능할 것으로 판단
  - · 조력발전은 세계 최대 규모의 시화조력발전 건설 및 운영 노하우가 있으나 댐 건설에 따른 환경문제, 지역사회의 수용성 등을 고려할 경우 기술력에도 불구하고 조기 확대 보급에는 한계가 있을 것으로 판단
  - · 조류 및 파력발전은 날씨의 영향을 적게 받는 안정적인 에너지 공급원으로서, 현재 발전시스템의 실증을 위한 실해역 시험장 구축을 진행 중이며 향후 대규모 발전 인프라가 조성되면 신재생에너지 보급 확대에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단

표 6. 우리나라 해양에너지 자원 종합 평가

구분	조력	조류	파력	온도차 발전	해수열	염도차	해상 풍력	해양 바이오	해상 태양광
기술수준	5	3	2	2	5	2	4	2	4
상용화단계	5	3	2	1	5	1	4	2	3
건설 인프라	5	4	4	3	5	3	5	3	4
입지선정	1	2	2	1	4	2	4	4	1
초기투자비	1	3	3	3	5	3	3	3	2
유지비	4	4	4	4	4	4	5	3	4
종합	21	19	17	14	28	15	25	17	18

평가지표: 각 평가 항목 당 1(매우미흡)~5(매우양호)의 5점 척도 이용, 항목 당 점수의 단순 합산을 통해 종합 평가 지수 산출(30점 만점)

■ 해상풍력과 해수열을 집중 개발할 경우 부존잠재량 기준으로 2030년 신재생에너지 목표 공급량의 약 30%까지 달성 가능

- ‘신재생 3020’에 따라 2030년에 에너지 목표 수요량의 20%[8]인 45.2 Mtoe를 신재생에너지로 공급 추진

- 해상풍력의 부존 잠재량과 해수열 설비로 인한 에너지 절감량을 단순 합산할 경우 ‘신재생 3020’ 목표 공급량의 29.7% 달성이 가능함
  · 해상풍력 : (부존량) 33,200 MW, (’30년 연간 공급량) 7.50 Mtoe[9], (비중) 16.6%
  · 해수열 : (절감가능량) 7.61 Mtoe[10], (’30년 연간 절감량) 5.92 Mtoe[11], (비중) 13.1%

- 이밖에 입지 선정 해결을 통한 조력발전 증가, 항만 시설 및 배후단지를 이용한 태양광발전 보급률 증가, 조류, 파력, 염도차 등의 상용화 조기 추진 등을 통해 해양에너지의 비중을 높여나갈 수 있음

8) 제2차 에너지기본계획의 2030년 목표 에너지 수요 : 226.0Mtoe
9) 실제 가동률(capacity factor) 30%를 고려한 연간 에너지 공급량
10) 임해지역(산업단지 71%, 인구 27%)의 냉난방/급탕에 사용되는 에너지 76.1Mtoe의 10%
11) 성능계수(COP) 4.5를 적용

해양에너지 보급 확대를 위해서는 정책적 뒷받침이 필요

■ 환경 변화에 탄력적인 혁신형, 개방형, 융합형 R&D 체제 구축

- **(학습형 R&D 체제 확립)** 해양에너지 산업화를 위한 R&D는 장기대형과제로 진행과정에서 이루어지는 외부 및 내부의 변화를 파악하여 적절하게 대응이 필요함
  - · 시장 상황 및 경쟁 여건에 대한 지속적인 모니터링과 대응전략 수립을 위한 조사·연구 강화 필요
- **(탄력적 의사결정 체계 구축)** 해양에너지 기술개발사업은 비연속적이고 가변적인 기술개발 과정을 수반하는 혁신형 R&D 사업으로 변화관리를 위한 의사결정 구조가 필요함
  - · 기술동향 및 시장에 관한 학습 결과를 수용하여 기술개발 로드맵을 주기별 혹은 수시로 개정하고, 수정된 로드맵을 바탕으로 사업실행 상의 중요 사안에 대해 탄력적으로 조정하는 의사결정 체계 구축 필요
- **(개방형 혁신 여건 조성)** 혁신주체가 필요로 하는 기술과 지식을 외부에서 조달하는 한편 내부의 자원을 외부와 공유하면서 새로운 제품과 서비스를 창출하도록 유도하는 여건 조성이 필요함
  - · 연구개발 주체들이 신속하고 효율적으로 실증사업을 추진하고, 학습곡선을 공동으로 구축해 나갈 수 있도록 테스트베드와 클러스터를 조성
  - · 불확실성이 높고 투자 규모가 큰 혁신형 R&D를 추진함에 있어서 다양한 주체의 참여 활성화와 호혜적 국제협력 모색 필요
- **(기초·기반연구 강화)** 해양에너지와 관련된 원천기술개발을 통한 경쟁력 확보가 필요함
  - · 근본적 경쟁력 확보를 위해 기초연구에 대한 꾸준한 관심과 투자 필요
  - · 에너지저장장치(ESS) 등 해양에너지 산업화를 위해 반드시 필요한 연관기술에 대한 기초·기반연구 필요

■ 과학적·경제적·사회적으로 타당한 입지선정 시스템 구축

- **(객관적 검증시스템 구축)** 해양에너지 개발과정에서 투명성 강화 및 자료의 검증시스템 마련이 필요함
  - · 비영리 기구인 Climate Bonds Initiative는 해양에너지 개발을 위한 3가지 기준을 제시, 이 중 입지선정단계에서 가장 우선해야할 원칙적 기준은 '공개 및 투명성 요소(disclosure component)'
  - · 투명한 공개가 필요한 사항으로 해양재생에너지 개발지역의 위치, 규모, 해양생태계 현황, 시설물의 예상수명, 에너지개발사업의 구체적인 사업 및 운영 방향, 온실가스 감축량 등을 제시
  - · 또한, 연안해역의 이용밀도가 높고, 다양한 사업이 이루어지는 우리나라의 해양공간 이용특성을 고려할 때 개발주체가 제공한 자료와 정보에 대한 객관적 검증 시스템 구축 필요

– **(통합영향예측 체계 개발)** 해양공간 정밀조사를 확대하고 생태적·사회경제적 예측 체계 개발이 필요함

· 대규모의 해양시설이 입지하는 경우 시설설치에서부터 운영과정에서 해양환경과 생태계, 기존의 해양사회경제활동에 대한 영향은 불가피하게 발생

· 현재 해양공간의 점용과 사용, 개발행위에 대해 규모에 따라 사전환경성검토, 해양환경영향평가, 해역이용협의 등의 포괄적 환경영향평가의 의무적 수행 필수

· 그럼에도 불구하고, 해양환경 및 생태계, 사회경제활동에 대한 영향예측기술 수준이 낮아 과학적 정책결정을 지원 불가

· 한편, 통합영향예측은 자료의 구축정도에 따라 예측의 정확도가 달라지는데, 우리나라의 법정조사체계는 통합예측체계에 필요한 입력자료를 제공할 수 없는 한계가 존재

· 해양에너지개발을 위한 적정 입지선정이 과학적 타당성을 확보하려면, 해양공간에 대한 정밀한 기초자료(baseline)를 확보하고, 에너지시설입지로 인한 해양환경생태적 영향, 주변 사회경제활동에 대한 영향을 통합적으로 예측할 수 있는 모델 개발이 필요

– **(해양공간계획 체제 구축)** 생태계서비스의 Trade-Off에 기초한 해양공간계획(MSP, Marine Spatial Planning) 체제 구축이 필요함

· MSP는 보전, 이용개발 행위 간 갈등을 과학적 조사연구와 사회적 합의에 기초하여 조정하는 정책과정으로 규정할 수 있음

· 우리나라는 현재 연안통합관리제도의 한계를 보완한 MSP체제 구축을 위한 법률정비와 기술개발 추진 중

· 해양에너지 개발을 MSP 체제를 통해 실현하는 과정이 보다 과학적으로 이루어지기 위해서는 생태계가 제공하는 유형, 무형의 혜택을 가치화(valuation)하고, 해양에너지개발의 가치와 이로 인해 사라지거나 감소할 가치를 비교하는 Trade-off 시스템 활용이 필수

· 예를 들어, 해상풍력발전단지 개발로 인한 혜택(에너지 수급, 기후변화 대응 등)과 위협(소음 진동, 해상운송영향, 경관가치 감소, 어업생산량 감소, 관광활동 감소 등)을 비교하여 편익이 비용보다 큰 지역을 최적 입지로 선정하는 생태계서비스 기반 해양공간계획 지원시스템(ecosystem service-based marine spatial planning support system)을 활용해야 과학적·경제적 타당성을 확보 가능

– **(상생발전 거버넌스 구축)** 입지선정 과정에서 사회적 갈등 해소와 상생발전을 위한 거버넌스 구축 필요성이 제기됨

· 정책결정과정이 투명한 절차와 과학적 근거에 기초하여 이루어질 경우에도 과학적 불확실성(scientific uncertainty)은 불가피하고, 이러한 불확실성이 사회적 갈등을 유발하는 원인으로 작용

· 해양에너지 시설이 입지하는 지역의 주민들의 심리적 불안과 우려는 수치와 자료로 해소되지 않을 수 있는바, 사회적 갈등을 해소하기 위한 대책이 필요

· 금전적 피해보상을 떠나 현재 사회경제활동의 단절을 최소화하면서 경제적 이익이 감소하지 않거나 오히려 증진될 수 있는 지역발전모델 개발 필요

· 이러한 지역사회 발전모델 개발은 투명한 공개, 최대다수 참여(시민단체 등 간접이해당사자 포함)가 보장되는 거버넌스 운영이 필수

■ 해양에너지 개발의 조기 활성화를 위한 차별적 지원정책 강구 필요

– **(자원특화형 시장확대 정책 수립)** 기술개발단계를 고려한 자원특화형 시장확대 정책이 필요함

· 현재 우리나라는 정부 재정 부담 감소와 시장원리에 따른 경쟁 촉진을 위해 신재생에너지 공급의무화(RPS)[12] 제도를 도입 운영 중이나, 해양에너지와 같이 성장 잠재력은 높으나 초기 개발단계에 속해 있는 신생 자원의 육성에는 역효과 우려

· 현재의 상대적 가치뿐만 아니라 잠재적 가치, 즉 미래의 산업발전전략 측면까지 고려하여 공급인증서(REC)[13] 가중치 결정 필요

· 또한, 현재 협의의 해양에너지원 중 조력, 조류 발전만 REC 가중치가 부여되고 있어 파력 등 다른 해양에너지원으로 확대 시급

· 다양한 에너지원에 대한 종합 평가를 우선함으로써 과학적, 경제적, 사회적 타당성이 모호한 특정 에너지원에 대한 과도한 투자를 막는 제도적 장치 필요

– **(공공–민간 협력체제 구축)** 급속한 기술 진보와 혁신을 위한 산업계의 니즈 및 전략에 효율적으로 대응하기 위한 체제 구축이 필요함

· R&D, 융자 및 세제지원 등 산업 육성을 위한 기존의 정책 수단 이외에도 송전망 설치를 비롯한 계통연계비용의 분담 문제 등의 해결을 위해 공공부문과 관련산업 협력 필요

· R&D의 효율적 추진을 위해 공공과 민간부문의 관련 기관들이 참여하는 협의체 구성 필요

– **(국제표준화 논의 참여)** 해양에너지 설비에 관한 국제적인 시장이 형성되고 발전하기 위한 국제표준화 논의에 적극적인 참여가 필요함

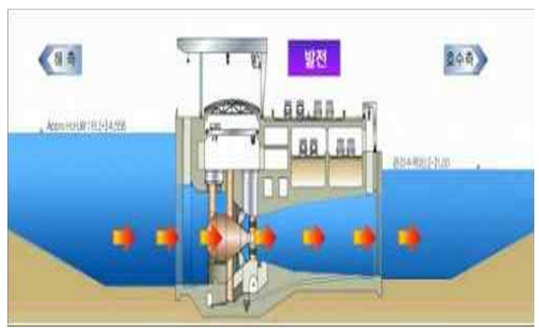
· 해양에너지에 대한 국제표준화 논의가 다른 신재생에너지원에 비해 늦게 시작되었다는 점은 우리나라에는 기회 요소

· 우리나라가 국제표준화 논의의 초기단계부터 적극적으로 참여할 경우 국제표준 선점을 통한 기술 및 부품 수출시장 확대 가능

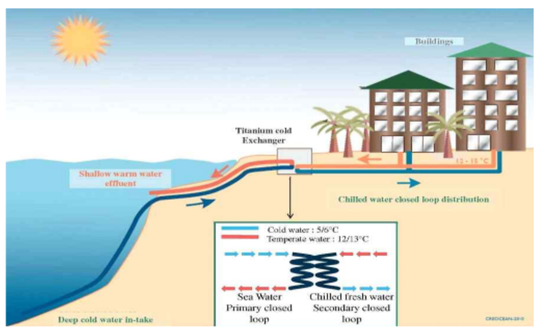
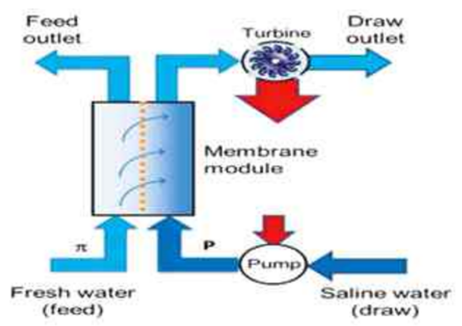
12) 일정규모(500MW) 이상의 발전설비(신재생에너지 설비는 제외)를 보유한 발전사업자(공급의무자)에게 총 발전량의 일정비율 이상을 신·재생에너지를 이용하여 공급토록 의무화한 제도

13) 발전사업자가 신·재생에너지 설비를 이용하여 전기를 생산·공급하였음을 증명하는 인증서로서, 공급의무자는 의무공급량을 신·재생에너지 공급인증서를 구매하여 충당할 수 있음

[부록] 해양에너지원별 부존 잠재량 및 장·단점

에너지원		조력발전	조류발전	파력발전
조감도				
입지조건		◦ 평균조차 5m 이상 ◦ 폐쇄된 만의 형태 ◦ 해저의 지반이 견고 ◦ 에너지 수요처와 근거리	◦ 조류의 흐림이 최소 2m/s 이상 ◦ 조류 흐름의 특징이 분명한 곳	◦ 자원량이 풍부한 연안 ◦ 육지에서 거리 30km미만 ◦ 수심 300m 미만의 해상 ◦ 항해, 항만 기능에 방해 되지 않을 것
기술종류		◦ 조지의 수에 따라 단조지 또는 복조지 ◦ 조석의 이용 횟수에 따라 단류식 또는 복류식	◦ 파일고정식 ◦ 계류고정식 ◦ 자중고정식	◦ 가동물체형 ◦ 진동수주형 ◦ 월파형
기술 수준[14]	해외	상용화	준상용화	실증
	국내	상용화	실증	시스템 검증
세계 부존 잠재량[15] (TWh/년)		300+	800+	8,000~80,000
우리나라 부존 잠재량[16] (MW)		6,500	1,000	6,500(외해 50GW)
장단점 (우위:○ 열위:X)	운영비	○	○	○
	환경영향	X	○	○
	예측성	○	○	○
	간헐성	X	X	X
	경관영향	X	X	○
	기저부하	X	○	○

14) 해양에너지 중장기 개발계획, 국가과학기술심의회, 2015년 기반 보완 수정
15) IEA–OES, Policy Report, 2006와 IEA Statistics for 2004 등 기반 보완 수정
16) 해양에너지의 미래 전망과 국가적 발전 전략연구(한국과학기술한림원, 2012년)과 신재생에너지의 이해(한국에너지공단, 2016)

에너지원	해수온도차발전	해수열	해수염도차발전
조감도			
입지조건	◦ 연중 표층수와 심층수 온도차가 20℃ 이상인 기간이 많을 것 ◦ 어업 및 선박 항행에 방해되지 않을 것	◦ 수심 100~200m 이상에서 수온 5℃ 이하의 해수 이용 ◦ 해안선으로부터 1km까지 연안육역에만 적용 가능	◦ 해수와 담수가 만나는 기수역
기술종류	◦ 폐순환 시스템 ◦ 개방순환 시스템 ◦ 혼합순환 시스템	◦ 해수열원 히트펌프 종류 : 스크롤, 스크류, 터보 등	◦ 압력지연삼투 발전 ◦ 역전기투석 발전
기술수준 해외	실증	상용화	실증
기술수준 국내	서브 시스템 검증	상용화	서브 시스템 검증
세계 부존 잠재량 (TWh/년)	10,000	-	2,000
우리나라 부존 잠재량 (MW)	4,000	-	-
장단점 (우위:○ 열위:X) 운영비	○	○	○
환경영향	○	○	○
예측성	○	○	○
간헐성	○	○	○
경관영향	○	○	○
기저부하	○	○	○

에너지원		해상풍력발전	해양바이오 에너지	해상태양광발전
조감도				
입지조건		◦ 풍속등급 4등급 이상 (평균풍속 7m/s 이상, 풍력밀도 400W/m^2 이상) ◦ 수심이 낮고 육지에서 멀지 않은 곳	◦ 미세조류 생산시설 필요	◦ 풍부한 일조량 ◦ 에너지 수요처와 근거리 ◦ 어업 및 선박 항행에 방해 되지 않을 것
기술종류		◦ 콘크리트 케이슨 타입 ◦ 모노파일 타입 ◦ 자켓 타입 ◦ 부유식 타입	◦ 1,600여종의 미세조류 존재	◦ 프레임형 ◦ 부력일체형
기술 수준	해외	상용화	실증	상용화
	국내	준상용화	시스템 검증	준상용화
세계 부존 잠재량 (TWh/년)		1,800+	-	-
우리나라 부존 잠재량 (MW)		33,200	-	5,400
장단점 (우위:○ 열위:X)	운영비	○	X	○
	환경영향	○	○	○
	예측성	X	○	X
	간헐성	X	○	X
	경관영향	X	○	X
	기저부하	X	○	X

KMI 동향분석

구분	제목	발행일
제1호	한진해운사태로 부산항 환적물동량 연간 50만TEU 이상 줄어들 듯	2016.11.02
제2호	지진예측을 위해 해저활성단층 조사가 시급하다	2016.11.09
제3호	미 대선 결과에 따른 해운·항만·수산 부문 영향과 대응	2016.11.16
제4호	우리나라 선박의 28%, 고효율·친환경 선박으로 교체가 시급하다	2016.11.23
제5호	해운업 구조조정 지원, 정책금융 왜 실효성 없었나?	2016.12.01
제6호	해운의 산업적 특성을 고려한 새로운 해운금융 시스템 구축해야	2016.12.08
제7호	수산양식산업, 식량부문의 4차 산업혁명 예고	2016.12.15
제8호	해운 얼라이언스 재편으로 부산항 환적물동량 추가 감소 우려	2016.12.26
제9호	해양수산정책, 국민경제 발전에 기여-해양수산의 성과와 과제	2017.01.04
제10호	해양수산과 국민경제 -'2017 KMI 해양수산 전망대회'지상 중계 -	2017.01.11
제11호	중·일 해양경비력 강화에 따른 전략적인 대응 필요	2017.01.19
제12호	2016 유엔총회 결의, 한국 KMI의 역할 높이 평가	2017.01.26
제13호	연근해어업 생산량 92만 톤으로 추락, 특단의 자원회복 대책 필요	2017.02.01
제14호	빅데이터로 본 2016 해양수산	2017.02.08
제15호	對EU 수산물 수출, 환경인증제도 개발에 대비 필요	2017.02.15
제16호	남해 EEZ 모래채취 갈등을 수습할 공동연구와 대책이 시급	2017.02.22
제17호	아베 정권, 독도 침탈 노골화 - 초·중 '학습지도요령 개정안'에 독도는 '일본 고유 영토' 명기	2017.02.23
제18호	'전국 해양수산 가치 공유로 지역 상생발전시대 막 열어' 2017 전국 해양수산 대토론회 성황리에 개최	2017.03.02
제19호	동북아 허브경쟁력 강화 위해 부산항 LNG 벙커링 터미널 구축 서둘러야	2017.03.15
제20호	2017년 중국 '양회', '해양강국' 건설 천명	2017.03.24
제21호	3대 얼라이언스의 체제 변화로 부산항 운영 비효율성 개선 시급	2017.03.31
제22호	우리 해운산업도 민관 협력 산업정책(Smart 산업정책) 적용해야	2017.04.07
제23호	국민 78.7%, 해양수산에 '보통 이상의 관심', 국민 인식과 정책 수립, 함께 가야 : KMI, '전국' 규모의 '해양수산 국민인식조사' 첫 실시	2017.04.14
제24호	러시아 명태 비즈니스 모델, 우리 수산업의 새로운 활력 기대	2017.04.19
제25호	어린 물고기를 살릴 지혜로운 소비로 국민이 수산자원관리를 주도해야	2017.04.21
제26호	블록체인 기술 적용으로 컨테이너 화주의 비용 20% 절감 가능	2017.04.28
제27호	국내 크루즈시장 체질개선 시급	2017.05.04
제28호	항만도시 미세먼지 대책 수립 시급	2017.05.18
제29호	中 일대일로, 글로벌 SCM 구축을 통한 중국식 세계화 전략 본격화	2017.05.25
제30호	새정부의 해양수산 일자리 창출 방안	2017.06.01

구분	제목	발행일
제31호	4차산업혁명의 첨병!,로보틱·스마트 항만이 현실로... - 한국, 완전무인자동화 항만 세계 흐름을 따라가야 -	2017.06.07
제32호	60돌 맞은 원양산업, 원양어업 재건을 위한 특단 대책 필요	2017.06.14
제33호	'여객 안전'과 '일자리 창출' 위해 연안여객 운송의 대중교통체계 편입 필요	2017.06.21
제34호	소매 수산시장 해수공급시설 교체시급, 국민들은 가격표시제 요구	2017.06.28
제35호	항만도시의 미세먼지 저감 위해 AMP 설치 서둘러야	2017.07.05
제36호	G20 해양쓰레기 실행계획 채택,국내 관리 및 대응 강화 필요	2017.07.12
제37호	해운-조선, 상생(相生) 통해 불황극복과 재도약 모색해야	2017.07.19
제38호	국내 해수욕장 관리, 패러다임 변화 모색 필요	2017.07.26
제39호	최근 해양 국제기구의 거버넌스변화와 우리나라의 역할 증대	2017.07.26
제40호	재조해양(再造海洋)으로 해양의 '판'을 키워야 : '2017 해양수산 국정과제 이행 전략 세미나' 지상중계	2017.08.02
URL : http://www.kmi.re.kr/		