

발간등록번호	11-B552989-000002-11
ISBN	978-89-94071-98-5

2019 국토교통 R&D 동향조사

시설물 분야

목 차

국내외 동향요약	1
1. 개요	6
1.1 정의 및 분야	6
1.2 연구의 필요성	9
2. 정책동향	11
2.1 미국	11
2.2 유럽	14
2.3 영국	16
2.4 프랑스	19
2.5 독일	21
2.6 일본	23
2.7 중국	25
2.8 한국	27
3. 시장동향	31
3.1 교량	31
3.1.1 세계시장동향	31
3.1.2 국내시장동향	33
3.2 터널 및 지하공간	35
3.2.1 세계시장동향	35
3.2.2 국내시장동향	36

3.3 비탈면/지반/기초	38
3.3.1 세계시장동향	38
3.3.2 국내시장동향	39
3.4 해양구조물	41
3.4.1 세계시장동향	41
3.4.2 국내시장동향	43
3.5 특수구조물	45
3.5.1 세계시장동향	45
3.5.2 국내시장동향	46
3.6 수공구조물	47
3.6.1 세계시장동향	47
3.6.2 국내시장동향	47
4. 기술동향	49
4.1 교량	49
4.1.1 강구조/합성구조 교량	49
4.1.2 콘크리트 교량	54
4.1.3 신소재 복합재료 교량	59
4.1.4 케이블 교량	61
4.2 터널 및 지하공간	65
4.2.1 육상터널	65
4.2.2 침매/부유식 터널	69
4.2.3 해저/대심도 터널	72
4.2.4 지하대공간	74

4.3 비탈면/지반/기초	77
4.3.1 비탈면 보호/보강/유지관리	77
4.3.2 지반 조사/개량	79
4.3.3 육상/해상 기초	83
4.4 해양구조물	86
4.4.1 준설/매립	86
4.4.2 항만/해안 구조물	89
4.4.3 인공섬	92
4.4.4 수중구조물	94
4.5 특수구조물	97
4.5.1 고압/극저온 구조물	97
4.5.2 방호/방폭 구조물	100
4.5.3 우주 구조물	102
4.6 수공구조물	105
4.6.1 댐	105
4.6.2 하천시설	107
5. 주요 이슈 및 시사점	110
참고문헌	112

표목차

〈표 1.1〉 시설물 분야 중분류 기술 정의 및 범위	8
〈표 2.1〉 INFRA Grants 프로젝트 목록	12
〈표 2.2〉 주별 P3 참여 가능부문 및 참여 형태	13
〈표 2.3〉 SNIT과 Mobilite21의 목표	19
〈표 2.4〉 제4차 사회자본정비중점계획의 중점목표 및 정책 패키지	23
〈표 3.1〉 미국 노후화 및 문제교량	32
〈표 3.2〉 국내 산사태 피해규모	40
〈표 3.3〉 항만별 투자계획	43
〈표 3.4〉 최근 10년간 국내 해양 준설량	44
〈표 3.5〉 국가·지방하천 단계별 투자계획	48

그림목차

[그림 2.1] 9개 핵심 교통 네트워크	15
[그림 2.2] 각 지역별 NICP 계획(안)	18
[그림 2.3] 기존의 제방 시설에 투과형 제방 등의 정비 사례	24
[그림 2.4] 수도권 광역급행철도 노선도	27
[그림 2.5] 수도권 교통축별 환승센터 기본구상(좌) 및 복합환승센터 조감도(우)	28
[그림 3.1] 유럽 강구조 교량 시장	31
[그림 3.2] 국내 신규 교량건설 시장 전망	33
[그림 3.3] 국내 교량 유지보수 시장 전망	34
[그림 3.4] 국내 신규 터널건설 시장 전망	36
[그림 3.5] 국내 터널 유지보수 시장 전망	37
[그림 3.6] 글로벌 Geotextile 시장 비중	38
[그림 3.7] 국내 신규 비탈면 건설 시장 전망	39
[그림 3.8] 국내 비탈면 유지보수 시장 전망	40
[그림 3.9] 저장지 시장 지역별 성장률 및 시장규모	42
[그림 4.1] 영국의 스테인리스 강교량 Pooley Bridge	49
[그림 4.2] 캐나다의 스테인리스 스틸 교량 Garrison Crossing	50
[그림 4.3] 강합성교량 PBTG 개념도	50
[그림 4.4] 3D 프린터로 개발된 세계 최초 강교량	52
[그림 4.5] 방화대교에 대한 GNSS기반의 mmVu 프로그램을 통한 실시간 변위 분석	52
[그림 4.6] 쿠웨이트의 셰이크 자베르 코즈웨이 프로젝트	55
[그림 4.7] 네덜란드(좌)와 중국(우)의 3D 프린터를 이용한 콘크리트 교량	56
[그림 4.8] 자기치유 콘크리트 개발	57
[그림 4.9] 무인항공기 드론을 이용한 균열 탐상 개요도	58
[그림 4.10] 3D프린터를 활용한 복합소재교량의 설계	60
[그림 4.11] 차나칼레 대교 프로젝트 개요	61
[그림 4.12] 초고강도 강연선풀용 포스트텐서닝 정착시스템 및 정하중시험	62
[그림 4.13] 케이블의 적용 사례	63

[그림 4.14] 미국 Trimble社의 BrIM을 바탕으로 하는 교량 설계	63
[그림 4.15] 케이블의 화재를 방지하는 수관 장치 설치 및 화재방지법	64
[그림 4.16] 미국 보어링 컴퍼니의 초고속 진공 지하터널 시연현장	65
[그림 4.17] 세계적인 하이퍼루프 교통수단 및 진공튜브 개발	66
[그림 4.18] 저심도 철도시스템 및 시공기술의 개념도	67
[그림 4.19] 터널의 에너지 라이닝 개념 및 영국 Crossrail에 적용된 에너지 라이닝 시스템	68
[그림 4.20] 세계 최장 HZMB 침매터널	69
[그림 4.21] HZMB 침매터널의 BIM 적용	70
[그림 4.22] 노르웨이 NPRA의 부유시 터널 개념	71
[그림 4.23] 복층터널의 개념도 및 개발 아이템	72
[그림 4.24] 미국의 다국적기업 AECOM社에서 제작한 대구경 TBM	73
[그림 4.25] 보령해저터널에 적용된 터널전방 3D 지반조건 탐사기법	73
[그림 4.26] 국내외 대규모 지하공간 개발(안)	74
[그림 4.27] 캐나다의 지하도시	75
[그림 4.28] 지하공간에 대한 조명 및 인공지능 기반의 공조시스템	76
[그림 4.29] 지하 병커를 활용한 데이터 센터	76
[그림 4.30] ECG기술을 이용한 비탈면 안정용 항구성 친환경 녹생토 재료 및 시공법 개발	77
[그림 4.31] ICT기반 지능형 산사태 조기경보시스템 흐름	78
[그림 4.32] 다중채널을 이용한 GPR의 공동탐상기술	79
[그림 4.33] 지반조사의 신뢰성 확보를 위한 복합탐사 해석 소프트웨어 개발	80
[그림 4.34] 스마트 지진방재 시스템 개념도	80
[그림 4.35] Shake Alert의 원리	81
[그림 4.36] 각 나라별 지진조기경보 시스템	82
[그림 4.37] 로봇을 이용한 기초공사 및 건설관련	83
[그림 4.38] 흙막이 가시설 공법의 개량 및 개선	84
[그림 4.39] 해상풍력 발전기 기초	85
[그림 4.40] 한국해양과학기술원에서 개발한 경량고화처리토 및 EMF를 이용한 준설토 장거리 이송기술	86
[그림 4.41] 준설작업의 대형화 장비	87
[그림 4.42] 미국 Trimble社의 3D 시각화 소프트웨어	88

[그림 4.43] 바람의 피해를 경감시킬 수 있는 플로팅 구조물 개념도	89
[그림 4.44] 이스라엘 EConcrete社의 친환경 생물공생형 해양 콘크리트 구조물	90
[그림 4.45] 네덜란드 로테르담의 재활용 폐플라스틱을 이용한 부유식 공원	91
[그림 4.46] 영국 Crossrail 인공섬을 활용한 카나리와프 철도복합역사	92
[그림 4-47] 전세계 부유식 해상풍력 플랫폼	95
[그림 4-48] 포세이돈 언더씨 리조트 개념도	96
[그림 4-49] 오션스파이럴 개념도	96
[그림 4.50] 수소 충전소 확대보급을 위한 각 국의 기술	97
[그림 4.51] 극한지 자원이송망-기반 구조물 설계를 위한 핵심기술 개념도	99
[그림 4.52] 전기전도성 콘크리트에 의한 제설 테스트베드	99
[그림 4.53] 방호구조물용 HPFRCC재료 및 방폭실험증실험	100
[그림 4.54] 달 기지 건설을 위한 에너지 저장 인공토양 및 벽돌 개발	102
[그림 4.55] 소형로봇을 이용한 달 기지 건설기술 개발	103
[그림 4.56] 우주 엘리베이터의 개념도	103
[그림 4.57] 미래핵심댐 건설기술	105
[그림 4.58] 수중 로봇 및 수중 드론의 개발 현황	106
[그림 4.59] 시카고 하천을 따라 연결되는 플로팅 자전거 도로	107
[그림 4.60] 독일 함부르크의 홍수방지방벽 및 산책로 조성	108
[그림 4.61] 하천 정화를 위한 로봇개발	109
[그림 4.62] 런던의 슈퍼하수도 건설 프로젝트인 Thames Tideway	109

국내외 동향요약

1. 정책동향

구분	주요 정책동향
미국	· '18년 트럼프 대통령은 인프라 재건을 위해 절차를 간소화하고 실질적으로 필요한 지역에 지원이 될 수 있도록 FAST 법을 제정 · '18년 미국교통부(DOT)는 15만 명 이하의 비도시 지역을 대상으로 도로, 교량 및 터널, 대중교통 시스템, 보행자 및 자전거 인프라, 화물운송 시설 등 교통 인프라에 대한 신규 구축 또는 개선을 위한 자금을 지원하는 'Rural Project Initiative' 추진 · '19년 운송 시스템 개선을 위한 혁신적인 기술 도입 및 노후 인프라의 활성화 촉진을 위해 'INFRA Grants' 2차 프로젝트 추진
EU	· '20년까지 유럽 전역의 도로, 철도, 내륙 수로, 해상 운송로, 항만, 공항 등의 인프라 구축 및 기존 인프라의 현대화를 통해 접근성을 강화하는 목적으로 유럽연합 교통부에서는 'TEN-T(Trans European Transport Network)' 추진 · 지역 간 불균형 해소 및 물리적인 유럽통합의 촉진을 위해 회원국 간 비슷한 수준의 인프라 시설을 마련하고자 CEF(Connecting Europe Facility)를 추진
영국	· NIC(National Infrastructure Commission)는 국가 사회기반시설을 평가한 'National Infrastructure Assessment 2018'을 발행하여 미래의 시설물 수요를 파악하고 장기 전략 수립 · '16년 IPA는 중장기 경제계획의 일환으로 국가 인프라 시설 개선이라는 목표를 설정하고 'NIDP(National Infrastructure Delivery Plan) 2016-2021' 발표하여 '21년까지 사회기반시설 관련 사업에 대해 민간투자를 포함하여 4,830억 파운드의 투자계획을 수립
프랑스	· '18년 프랑스 교통부는 마크롱 프랑스 대통령의 정책 우선순위에 따라 철도 인프라 분야 '이용자의 일상적 요구(everyday needs of users)'에 집중할 것을 발표하여 Borne's programme에서 우선적으로 '22년까지 134억 유로의 예산을 배정
독일	· '16년 독일의 연방 교통 및 디지털 인프라부에서는 교통 분야에 대한 인프라 개발 계획인 'BVWP(Bundesverkehrswegeplan) 2030' 수립하여 교통 인프라의 유지보수뿐만 아니라 1,000개의 신규 프로젝트를 총 2,696억 파운드를 투자할 계획 · 연방 교통 및 디지털 인프라부는 간선도로망 건설, 대기질 개선 프로그램, 수상교통·대중교통 인프라 구축 등 다방면에 걸쳐 인프라 관련 지원 정책 추진
일본	· '15년도부터 '20년도를 대상으로 하는 '제4차 사회자본정비중점계획'에서는 4가지 구조적 과제에 대응한 4가지 중점목표를 설정하고, 이를 달성하기 위한 13개의 정책 패키지를 설정 · 국토교통성에서 수립한 '인프라 장수명화 기본계획'은 그간의 인프라 점검·진단 결과를 고려하여 '19년까지 장수명화 계획을 수정·갱신할 예정이며, '30년에는 노후화로 인한 인프라 사고 제로를 목표
중국	· 일대일로(一帶一路) 정책을 통해 '30년까지 전 세계 100여국의 전력망 연계 구축을 계획하고 있으며 '16년 6월, 3차 중국·몽골·러시아 3국 회담을 통해 교통인프라 관련 13개 프로젝트를 포함한 31개 프로젝트 사안에 합의
한국	· '공정경제에 기초한 건설산업 혁신 성장의 기틀 마련'의 비전과 3대 목표를 설정하고 이를 달성하기 위한 9개 중점과제와 20개 추진방안을 담은 '제5차 건설산업진흥기본계획'을 최종 확정하고 '18년부터 '22년까지 5개년 간 단계적 실천 · '모두를 위한 국토, 함께 누리는 삶터' 조성을 위한 '제5차 국토종합계획'을 수립하여 국토 전역을 대상으로 장기적인 발전방향을 제시 · '2025년까지 BIM, AI 적용한 건설자동화 기술 개발'의 비전으로 건설 분야 노동생산성 향상, 사망자 수 감소, 근로시간 단축, 해외수주 확대를 목표로 하는 '제6차 건설기술진흥기본계획'을 수립하여 건설기술 정책·제도 선진화 및 연구개발 촉진

2. 시장동향

□ 글로벌 교량, 터널시장은 지속적으로 성장할 전망이며 국내시장도 지속 증가 추세

- 미국 교량의 노후화로 인한 교량 보수에 대한 수요 증가로 미국 교량시장은 '17년 전년도 대비 40억 증가하여 193억 달러로 추산되며, 유럽 강구조 교량 시장은 '25년 1,311억 달러의 규모를 형성할 것으로 전망
- 터널 및 지하공간에 대한 시장은 '16년 860억 파운드 규모를 달성하였으며, 향후 8년간 약 6,800억 파운드 시장규모 전망
- 국내 도로 및 철도 교량시장 '16년 9,550억에서 연평균 17.5% 성장하여 '25년 4조 764억원으로 예상되며, 국내 도로 및 철도 터널시장은 '16년 1,035억에서 연평균 10.2% 성장하여 '25년 2,483억원으로 예상

□ '25년 침식방지(Erosion Control) 시장의 규모는 1억 2천만 달러, Geotextile 시장은 '25년까지 연평균 12% 증가하여 91억 달러로 성장 전망

- '18년 7,700만 달러에서 연평균 7% 증가하여 '25년 1억 2천만 달러의 시장 규모를 달성할 것으로 전망
- 글로벌 지오텍 스타일 시장 규모는 '18년 41억 달러로 평가되며, 배수 및 침식 방지에 대한 수요 증가로 인해 '25년까지 연평균 12% 증가할 것으로 예상

□ '22년 준설 시장은 약 165억 달러의 규모로 성장하고 필요성 또한 확대 전망

- 세계 준설분야 시장은 '22년 약 165억 달러의 규모로 성장할 것으로 전망이며 특히, 중국의 준설시장은 '17년 3,320백만 달러에서 연평균 2.7% 성장하여 '22년 3,800백만 달러의 규모를 달성할 것으로 전망

□ '19년 기준 콘크리트 댐 세계시장규모는 37.8억 달러이며, 2.5%의 성장률을 기록하여 '24년에 43.7억 달러규모를 형성할 전망

- 콘크리트 댐의 한 종류인 중력 댐(gravity dam)은 '17년 25.34억 달러의 시장 규모를 형성하였고, 이는 전체 댐 시장의 약 67% 차지

3. 기술동향

분야	주요 기술동향
강구조/합성구조 교량	· 네덜란드 합작 투자회사인 MX3D에서는 3D 프린터를 이용한 스테인리스 강교량을 제작하여 암스테르담 운하에 설치 예정 · 미국 워싱턴 DC의 SSSBA(Short Span Steel Bridge Alliance)에서는 단경간에 건설할 수 있는 강합성교량 PBTG(Press- Brake-formed Steel Tub Girder)를 개발하여 시공 예정 · 우리나라는 교량 구조물의 상태 판단, 보수보강 및 재해 예방을 위하여 교량구조물의 실시간 변위 및 거동을 초정밀단위로 측정하는 교량 시설물 안전 모니터링 기법을 개발
콘크리트 교량	· 미국, 일본, 네덜란드, 덴마크 등은 유지보수가 어려운 시설물의 장기 건전도 향상에 대한 대책 요구의 증대와 사회적 유지관리 비용절감 등의 건설산업에 대한 시대의 요구에 따라 자기치유형 친환경 콘크리트 기술개발이 활발히 진행 · 환경부하 감소 및 지속가능성 확보 위해 경량 및 재생골재를 활용한 친환경 콘크리트 개발 및 활용이 증가 · 우리나라는 드론을 이용한 이미지 분석기법과 증강현실기법을 이용한 콘크리트 교량 유지관리 플랫폼 관련 연구개발 추진
신소재 복합재료 교량	· 최근 국내외에서 CNTs의 대량합성 및 품질 고도화와 다양한 나노소재 활용 콘크리트의 품질향상(고강도 및 내구성 향상) 측면에서의 기술 개발이 진행 중 · 네덜란드의 Royal HaskoningDHV社와 글로벌 업체인 DSM社, 대규모 3D프린터 공급업체 CEAD社는 유리로 채워진 열가소성 PET인 Arnite 복합재료와 유리섬유를 결합하여 3D 복합소재 교량을 설계 및 제작
케이블 교량	· 미국 Dugram Cheruvu Extradosed Cable Stayed Bridge 프로젝트에서 L&T社에서는 세계 최대 무게의 콘크리트 세그먼트(160톤)를 인양할 수 있는 케이블 시스템 개발 및 시공 · 미국과 우리나라는 BIM기반의 케이블교량의 전주기 통합 관리시스템 개발 및 재난, 재해 위험도 평가 등의 유지관리에 대한 연구 진행 · 우리나라는 세계 최초로 2,400MPa의 초고강도 강연선을 활용한 프리스트레스트 콘크리트 기술 개발
육상 터널	· 테슬라社 CEO 엘런머스크가 제안한 초고속 진공터널이 차세대 교통수단으로 각광받으면서 전세계적으로 하이퍼루프에 대한 연구가 추진 중 · 네덜란드, 중국, 우리나라 등은 지하 10m 이내 깊이의 저심도 터널 시공기술 개발 · 터널 라이닝에 설치된 열흡수 파이프 및 열교환기 등을 통해 지열을 터널 상부의 구조물에 공급하는 기술이 전 세계적으로 개발되고 상용화 진행 중 · 미국과 우리나라는 터널 화재에 대한 구조물 및 인명피해를 감소시키기 위하여 IoT를 활용하여 터널 화재 원격 소화 시스템 등에 대한 연구개발 진행
침매/부유식 터널	· 홍콩과 마카오, 중국 본토 주하이를 잇는 세계 최장 해상교량인 강주아오 대교와 해저터널은 '09년 공사를 시작하여 '18년 10월에 개통하였으며, 두 개의 인공섬 사이의 해저터널은 수심 40m지점에 33개의 침매함을 연결한 고난도 공정으로 건설 · 터널 설계 및 시공비용 절감뿐만 아니라 운영 및 유지보수 비용을 절감할 수 있는 BIM 기반의 통합운영관리시스템을 개발 · 노르웨이 공공도로청(NPRA)은 수심이 깊은 피오르드(fiord)지형의 문제점을 극복하기 위하여, 세계 최초로 부유식 수중터널을 시도하는 대규모 건설 프로젝트를 진행할 예정
해저/대심도 터널	· 시애틀에 있는 미국에서 가장 큰 고속도로 복층터널은 20년간 계획하고 '13년 7월에 시공한 이후에 세계 최대규모의 TBM(지름 17m, 길이 99m)인 Bertha를 제작하였으며, '19년 2월에 개통 · 국내에서는 초장대 해저터널 및 복층터널과 관련하여 터널건설시공, 환기 및 방재기술 등에 관련된 연구단을 구성하여, 관련기술 개발 및 시공에 주력

지하대공간	- 프랑스의 La Defense역과 같이 철도, 지하철, 버스 등의 다양한 교통수단이 연계될 수 있도록 초기부터 설계하거나, 스페인 마드리드시 Atocha역, 네덜란드 암스테르담 중앙역 등과 같이 지하의 환승통로를 이용하여 지상에 환승센터를 조성 - 싱가포르 URA는 싱가포르 지하 60m 이상의 마스터플랜을 구체화 - 캐나다 몬트리올에는 겨울의 추위에 견딜 수 있는 'Underground City'를 건설 - 스웨덴의 피오넨(Pionen) 데이터 센터는 과거 군용 지하벙커를 재활용하였으며, 노르웨이의 그린 마운틴 데이터 센터, 스위스의 포트녹스(Fort Knox) 데이터 센터는 스위스군의 알프스 산맥 지하벙커를 개조하여 활용 '서울역 일대 미래비전'의 사업일환으로 2025년에는 서울역 지하에 대규모 복합환승역사(연장 390m, 지하 5층 규모)를 구축할 예정
비탈면 보호/보강/유지관리	- 미국 GEOsystems社에서는 급경사의 상부토양층을 안정화 및 보강하기 위한 3D GEOWEB[®]을 제작 - 전 세계적으로 산사태에 대하여, 음향탐사, 항공레이저스캐닝과 같은 원격탐사, 육안조사, 앵커관측, 고정폴대 관측, GPS관측의 지표탐사와 지중경사계, 진동계, 토양강도특성 및 토양수분센서 등의 지중탐사와 관련된 모니터링 기술 개발 - 우리나라는 암반 노출사면의 안정적인 녹화를 위해 토양 안정화 기술인 ECG(Eco Clean Cement Grout)기술을 이용한 사면 안전용 친환경 녹생토 재료 및 시공법 개발
지반 조사/개량	- 미국에서는 GIS기반의 지리정보시스템을 증강현실(AR)과 통합하여 사용할 수 있도록 모바일 장치를 이용한 XR-GIS(mobile extended-reality) 어플리케이션을 개발 및 평가 - 전 세계적으로 지진조기경보 시스템의 필요성에 대한 인식이 증가함에 따라, 지진 빈도수가 높은 일본, 미국, 멕시코 등을 중심으로 시스템 구축과 관련된 연구가 활발히 진행 중이고, 우리나라는 최근에 연구 시작
육상/해상 기초	- 하버드대학교 Wyss Institute of Biologically Inspired Engineering팀에서는 시트파일을 운반 및 시공이 가능한 자율로봇(Romu)을 개발하여, 토양 안정화 및 지속가능한 토지관리가 가능하도록 제공 - 스페인의 Euroimplementos社は 제어식 철거 로봇인 RDC22.20을 설계 및 제조하였으며, 이는 구조물의 철거뿐만 아니라 사람이 접근하기 위험한 곳에서 기초공사 및 암반파괴 등에 사용 가능 - 신재생 에너지의 일환으로 전세계적으로 해상풍력 발전기 수요 증가로 인해 덴마크, 독일, 중국 등은 '10년대 초반부터 기술개발이 활발히 진행중이나, 한국은 최근에 연구 시작
준설/매립	- 일본, 독일, 네덜란드, 한국 등은 친환경 재활용 기술이 각광 받으면서, 준설토를 재활용 하는 방안에 대한 연구가 활발히 진행 - 미국의 Trimble社は GNSS 기반의 고성능 위치기반을 통해 정확한 위치에 준설, 기초공사, 측량 등의 시공이 가능 - 서울대학교와 한국해양과학기술원에서는 GIS기반 준설토 DB구축 및 지반특성에 따른 준설토 물량 산출 자동화 시스템 개발과 BIM기술의 준설매립 지반 실용화 기술 개발 관련 연구 수행
항만/해안 구조물	- 호주의 퀸즈랜드 대학에서는 자연재해 중에 바람과 파도 피해를 줄일 수 있는 "Floating forst"를 개발 - 이스라엘의 EConcrete社에서는 바이오증대재료(Bio-enhancement)를 개발하여 콘크리트에 첨가하여, 어류, 산호초, 해초 등의 해양식물과 동물의 성장을 가속화하는 모듈식 프리캐스트 콘크리트 구조물을 개발 - 네덜란드의 로테르담에서는 Ocean Cleanup Project를 통해 항구 및 하천에서 회수된 플라스틱 폐기물을 재활용하여 6각형 블록의 부유식 공원을 설계
인공섬	- 영국 crossrail 프로젝트의 일환으로 카나리와프(Canary Wharf) 북쪽 부두 근처에 해안공간을 활용하여 인공섬을 형성하여 부두에 정박해 있는 배 모양으로 철도역사를 구축 - 일본에는 폐기물을 매립하고, 매립이 완료된 인공섬을 스포츠 레저시설, 주택단지, 산업단지, 항만시설 등 다목적 활용하기 위한 Recycling Port가 추진 - 싱가포르 세마카우섬은 쓰레기매립지를 맹그로브 숲 조성을 통한 자연생태계 공원으로 조성하고 있으며, '35년에는 63백만㎡ 매립장이 모두 매립될 것으로 예상

수중구조물	· 해양 풍력발전에너지 시장 확대에 따라 노르웨이, 프랑스, 일본, 미국 등은 기본적인 부유식 해상풍력플랫폼 형식을 개선시키기 위한 다양한 해상풍력 플랫폼을 개발 중 · 자원고갈과 식량부족, 환경오염 문제 대처뿐만 아니라 인류의 거주지 확보를 위해 해저 도시 개발이 진행 중이며 최근에는 관광이나 레저를 위한 해저호텔도 건설
고압/극저온 구조물	· 수소연료에 대한 관심 증대에 따라 각국은 400기압 이상의 수소 충전소 및 인프라를 안전하고 효율적으로 구축하기 위한 기술을 개발 · 미국 Iowa State University에서는 눈과 얼음을 녹일 수 있도록 탄소섬유와 특수 혼합물을 결합하여 새로운 형태의 전기전도성 콘크리트를 개발 · 미국 University of Nebraska-Lincoln에서는 특수콘크리트에 미네랄 마그네타이트와 탄소입자를 20% 정도 배합한 전기전도성 콘크리트를 개발 · 우리나라의 한국건설기술연구원은 영하 40도 이하의 극한지 온도조건을 반영한 2,000km급 장거리 자원 이송망-기반 구조물 설계 및 평가기술을 개발
방호/방폭 구조물	· 미국의 University of Missouri 연구진은 폭발파에 대한 유리창의 위험성을 보완하기 위해 투명한 유리섬유로 구성된 폭발방지 얇은 유리패널을 개발 · 첨단 의료기기, 군사시설, 주요 사회기반시설의 보호를 위한 전자파 방해율을 저감하는 첨단 유무기 복합 건설재료 연구가 활발히 진행 중 · 우리나라의 한국건설기술연구원에서는 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료(HPFRCC, High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composite)를 활용하여 높은 강도와 에너지 흡수능력, 연성 거동이 우수한 재료에 대한 재료 개발
우주 구조물	· 유럽 우주국 ESA(European Space Agency)에서는 달의 암석 샘플 분석을 기반으로 하여 달의 인공토양 Regolith를 제작하여, 에너지를 저장할 수 있는 벽돌 개발 · 일본 우주항공연구개발기구(JAXA)는 달과 화성으로부터 입수한 토양만으로 건설자재를 제조하는 기술을 개발 · 미국 MIT에서는 달 기지 제작을 위한 BILL-E(Bipedal Isotropic Lattice Locomoting Explorer) 로봇을 개발하였으며 개발한 로봇은 항공기 제작, 교량 건설, 시설물 유지관리 및 보수에 활용이 가능 · 일본 Obayashi사는 탄소나노튜브로 만들어진 케이블을 두 개의 위성에 연결하여 소형 로봇이 안정적으로 움직일 수 있는지에 대해 검토하는 우주 엘리베이터 프로젝트를 수행 · 중국 칭화대학에서는 우주 엘리베이터를 만들 수 있는 세계에서 가장 강력한 탄소나노튜브 소재의 섬유를 개발하는데 성공 · 우리나라의 달 표면 모의 환경구현 기술에서 빠르게 투자가 이루어지고 있으며, 달 모사토 제작 및 건설 재료 분야에서도 우주 강대국과의 기술격차를 줄이기 위한 노력 진행 중
댐	· 일본 오바야시구미사는 수중에서 선명한 영상을 촬영할 수 있는 인프라 점검로봇 '다이구'를 개발 · 호주의 Aquabotix사는 구조물의 검사 작업이 가능한 원격작동차량(ROV)과 자율수중차량(AUV)을 하나로 통합한 Integra 수중로봇 개발 · 대우건설에서는 열화상카메라가 실린 드론을 띄우고, 물에 잠긴 취수탑에 수중 드론을 투입해 확보한 영상자료를 토대로 댐 상태를 모델링 하고, 실제 유실 및 균열이 발생된 구간을 보강할 수 있는 댐 관련 보수공법 프로세스를 구축 및 개발 · 국내 댐건설 기술은 일본 기술의 답습형태로 세계적인 기술개발의 새로운 패러다임을 반영하지 못하고 있으며, 댐건설 기술 개발 투자율이 타사업에 비해 현저히 뒤쳐짐
하천시설	· Zaha Hadid Architects社에서는 독일 함부르크의 심한 홍수를 방지하기 위하여 3층짜리 높이의 홍수방지방벽을 제작하였으며, 이는 유명한 강변 산책로 조성 · 미국의 Kickstarter社에서는 원격제어 플로팅 수집기를 통해서 쓰레기를 제거하는 Trash Robot 기계를 제작 · 네덜란드의 Ocean Cleanup社는 하천 및 바다의 플라스틱 폐기물을 수집하기 위해 긴 플로팅 베리어와 컨베이어 벨트를 사용하여 쓰레기를 걸러내고 물이 계속 흐르도록 하는 Interceptor를 개발 · 미국 South Dakota State University에서는 탄소강 칩을 재활용하여 오염된 강의 대장균 및 박테리아 중 대장균의 90%이상을 제거할 수 있는 재료를 개발

1. 개요

1.1 정의 및 분야

- 등 연구에서 시설물은 관련법에서 정의된 시설물의 범위에서 건축물, 상하수도를 제외하고 비탈면/지반/기초, 방호/방폭 구조물, 우주 구조물 등을 포함
 - 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」에 의하면 시설물은 건설공사를 통하여 만들어진 교량, 터널, 항만, 댐, 건축물 등 구조물과 그 부대시설로서 제1종 시설물, 제2종시설물, 제3종시설물로 구분
 - 제1종시설물은 교량, 터널, 방파제, 댐, 건축물, 상하수도 등 공중의 이용편의와 안전을 도모하기 위하여 특별히 관리할 필요가 있거나 구조상 안전 및 유지 관리에 고도의 기술이 필요한 대규모 시설물
 - 제2종시설물은 제1종시설물 외에 사회기반시설 등 재난이 발생할 위험이 높거나 재난을 예방하기 위하여 계속적으로 관리할 필요가 있는 시설물
 - 제3종시설물은 제1종 및 제2종시설물 외에 안전관리가 필요한 소규모 시설물
- 시설물 분야는 목적물에 따라 교량, 터널/지하공간, 비탈면/지반/기초, 해양구조물, 특수구조물, 수공구조물로 구분
 - 교량은 하천, 호소, 해협, 만, 운하, 저지, 강, 개천, 길 등에 가로질러 놓은 토목 구조물로 교량기술은 교량의 계획, 설계, 시공, 유지관리, 해체 기술을 의미
 - 강구조/합성구조 교량은 강구조 또는 합성 구조로 이루어진 다양한 형태의 교량을 해석, 설계, 시공, 구현하고 모니터링과 유지관리를 도모하는 기술
 - 콘크리트 교량은 철근콘크리트 및 프리스트레스 콘크리트 구조로 이루어진 교량을 해석, 설계, 시공, 유지관리 하는 기술
 - 신소재 복합재료 교량은 FRP 복합재료, 알루미늄 등 신소재를 활용하여 교량을 해석, 설계, 시공, 유지관리 하는 기술
 - 케이블 교량은 케이블 구조로 이루어진 교량을 해석, 설계, 시공, 유지관리 하는 기술

- 터널/지하공간은 도로, 철도, 수로 등을 통하게 하기 위해 땅속을 뚫은 통로를 의미하며, 터널/지하공간 기술은 위치, 직경, 구배, 지반조건을 고려한 터널의 설계, 시공, 유지관리를 의미
 - 육상 터널은 도로, 철도, 수로, 전력구 등을 통과시키기 위해 육상에 건설되는 터널의 설계/시공/보수보강기술
 - 침매/부유식 터널은 침매 및 부유식 터널에 대한 설계, 시공, 모니터링, 보수/보강 및 방재 관련 기술
 - 해저/대심도 터널은 지하 30M이상 심도에 건설되는 지하터널 및 해저에 건설되는 터널의 설계, 시공, 환기, 방재 관련 기술
 - 지하대공간은 여러 가지 형태의 지하대공간을 해석하고 설계하며 시공하고 완성된 지하대공간을 유지관리 할 수 있는 기술
- 비탈면/지반/기초는 인공/자연 비탈면의 관리기술, 지반구조물 설계를 위한 정보조사/분석기술, 각종 구조물의 기초 설계/시공기술을 포함
 - 비탈면/보호/보강/유지관리는 비탈면안정화를 위한 비탈면경사 완화, 비탈면보강 및 피해 저감을 위한 첨단 계측/모니터링 기술
 - 지반 조사/개량은 구조물 건설을 위한 지반의 공학적 특성을 비교, 분석하고 연약한 기초지반의 지지력 증대, 침하방지 등을 위한 기술
 - 육상/해상 기초는 건축물, 기계 등 각종 구조물에 가해진 하중과 자체 중량을 지반에 전달시키는 구조체를 지반조건에 최적화하여 설계/시공하는 기술
 - 흙막이 구조물/지하벽체는 지하공간 조성 시 하중을 지탱하는 흙막이 구조물의 설계/시공 기술
- 해양구조물은 해양환경에서 건설 및 사용되는 구조물로 연안구조물과 해양구조물로 구분되며, 해양구조물의 설계, 시공, 유지관리하는 기술을 포함
 - 준설/매립은 항만 수중에 있는 흙, 모래, 돌 등의 재료를 준설선으로 들어 올려 이를 구역 밖으로 운반 투기하는 기술로서 굴착, 운반, 매립으로 구분됨
 - 항만/해안 구조물은 해안선을 중심으로 사람과 선박이 안전하게 승선, 접안, 하역할 수 있도록 하거나 자연외력으로부터 보호하기 위한 시설물을 건설하는 기술로서 항만의 조사, 계획, 설계, 시공, 유지관리 기술을 포함

- 인공섬은 인공매립, 착저식, 잔교식, 부유방식의 인공섬을 건설하기 위한 조사/설계/시공 기술
- 수중구조물은 수중이나 해저의 시설물을 설치하거나 지장물을 해체하는 기술
- 특수구조물은 고압/극저온, 폭발, 화재, 저중력, 무산소 등 극한환경에 대응하기 위해 건설되는 구조물의 설계, 시공, 유지관리 기술을 의미
 - 고압/극저온 구조물은 고압/극저온 상황에서 높은 압력 수준에 놓인 구조물에 대한 설계, 시공, 유지관리 기술
 - 방호/방폭 구조물은 인화성 또는 가연성 물질의 화재 및 폭발물의 폭발로 발생하는 폭발하중, 충돌하중에 의한 피해 등을 최소화하도록 설계되는 구조물의 설계, 해석, 재료, 시공 기술
 - 우주 구조물은 달 기지 건설과 같이 저중력, 무산소 상황에서 거주 여건을 건설하기 위한 재료, 현지 재료 획득 및 활용기술, 설비, 자동화 무인 시공 기술
- 수공구조물은 대무, 하천수 등의 수자원을 인간생활, 생산활동 등의 다양한 목적으로 이용하기 위해 건설되는 구조물의 설계, 시공, 유지관리 기술
 - 댐은 하천수 등의 수자원을 다양한 목적으로 이용하는 기술 및 관리운영 기술
 - 하천시설은 하천 및 하천시설의 설계 및 유지관리에 필요한 기술 및 치수/이수의 목적에 의하여 인위적으로 훼손된 하천을 하천 본래의 건전성 회복에 필요한 기술

〈표 2.1〉 시설물 분야 중분류 기술 정의 및 범위

중분류명	기술정의 및 범위
교량	외부하중 및 환경 조건을 극복하고, 주변경관과 조화 속에 교량기능을 발휘하고 또한 주변 경관과 조화를 가질 수 있도록 교량을 해석/설계/시공/유지관리하고 해체하는 기술
터널/지하공간	터널 및 지하공간의 위치, 직경, 구배, 지반조건을 고려하여 설계 및 굴착계획/방법을 결정하고, 경제적으로 유지관리하는 기술
비탈면/지반/기초	인공/자연 비탈면의 관리기술, 지반구조물 설계를 위한 정보조사/분석기술, 각종 구조물의 기초 설계/시공기술
해양구조물	자원의 탐사·개발, 해양과학조사 선박의 계류·수리·하역·해상주거·관광·레저 등 목적으로 해저에 고착된 시설물이나 해상부유 구조물(선박제외)의 설계/시공/유지관리 기술
특수구조물	특수구조물은 환경조건이 양호한 지역이 아닌 극한환경 또는 유고지역의 급격한 충격에 대응하기 위해 건설되는 구조물을 포함함
수공구조물	댐, 하천을 대상으로 설계 및 유지관리에 필요한 기술

1.2 연구의 필요성

- 전 세계적으로 건설시장이 확대되는 가운데 시장선점 및 기술우위를 확보하기 위해 고부가가치 원천 기술 개발이 시급
 - (건설 ENG 역량강화) 우리나라 글로벌 설계경쟁력은 17위 수준으로('17년) 지속적으로 약화되고 있으나, 건설 ENG는 고부가가치와 일자리를 창출할 수 있는 대표적인 융·복합기술산업으로 역량 강화가 시급
 - (특수구조물 시장 선점) 중국, 동남아시아, 중동 등 신흥국 건설시장이 확대되는 가운데 케이블교량, 복층·해저터널 등 특수구조물 시장 규모 또한 급증할 것으로 예측되어 경쟁력 강화를 통한 시장 선점 전략 마련 필요
 - ※ 케이블교량 글로벌 시장전망: 13.7조 원('14) → 21.7조 원('25)
 - 복층·해저터널, 지하공간 포함 글로벌 터널 시장전망: 311.2억 달러('14) → 560.8억 달러('25)¹⁾
 - (고성능·친환경 재료 확보) 고성능, 다기능 건설 新재료 원천 기술력 확보로 건설 원가와 사회적 비용 최소화에 대한 요구를 충족하고 세계 건설재료 시장을 선도하기 위한 노력 필요
 - (지하공간 개발) 지상 공간의 과밀화를 방지하고 교통문제를 해결하기 위해 지하도로, 복층터널 등 지하공간개발 수요가 꾸준히 증가하고 있어 관련 기술 개발 필요
 - ※ 미국 시애틀에서는 9억 달러 규모의 세계 최대 대단면 복층터널인 Alaskan way 터널이 건설 중
 - ※ 우리나라는 서부간선도로, 동서부산지하고속화도로 등의 사업을 추진 중
- 재난·재해가 증가함에 따라 구조물의 안전성을 강화하고 기존 노후 시설물의 안전진단을 통해 사고를 예방 국가적 지원에 대한 수요 증대
 - (대형 재난·재해 증가) 최근 국가적으로 지진, 썬크홀 등 재난·재해 발생빈도가 증가하고 있으며 재난 유형의 복잡화·다양화로 관련 피해규모 급증
 - ※ 매년 환경 재난·재해는 증가 하고 있으며 '50년이 기상이변에 의한 비용이 세계 GDP의 1%('12년 기준 7억2천만 달러)에 도달할 것으로 전망
 - ※ 우리나라는 '78~'99년의 지진 횟수는 평균적으로 연간 약 19회였으나, '00년대에 들어서면서 연간 지진횟수가 47.7회(평균값)로 급격히 증가

1) 한국건설기술연구원(2017), 「국토교통 시설물 분야 세부기술 확보전략 수립연구」 최종보고서(2017.10)

- (노후 시설물 증가) 산업화 시대에 건설된 다수의 SOC 시설물 사용수명이 도래함에 따라 노후시설물의 급증으로 사회문제 대두

※ 한국시설안전공단에 따르면 30년 이상 노후 시설물은 '18년 1,860개에서 '24년 4,211개로 급격히 증가할 전망

□ 인공섬, 특수교량 등 유망 시장 분야 및 특수구조물, 설계·시공 자동화, IoT 기반 시설물 관리 기술 등 취약 분야를 중심으로 기술수준 향상이 필요

- 향후 시장 수요가 성장할 것으로 전망되는 특수건축물 분야의 기술격차가 커지고 있으며, 중국의 성장으로 우리나라의 세계 건설 시장 진출에 한계 예상

- 인공섬, 주요 도로 지하화, 특수 장대 교량 및 대심도 터널 등 사회적 요구에 부응하기 위한 시설물 구축 및 기존 시설물의 효과적 개량 관련 기술 개발 필요

※ 일본에는 폐기물을 매립하고, 매립이 완료된 인공섬을 스포츠 레저시설, 주택단지, 산업단지, 항만시설 등 다목적 활용하기 위한 Recycling Port가 추진

※ 영국 crossrail 프로젝트의 일환으로 카나리와프(Canary Wharf) 북쪽 부두 근처에 해안공간을 활용하여 인공섬을 형성하여 부두에 정박해 있는 배 모양으로 철도역사를 구축 중

- 우주구조물 기술의 전단계라 할 수 있는 고압/극저온 구조물 및 방호/방폭 구조물 등에 연구를 추진하고 있으나 엔지니어링 및 인프라 수준이 낮아 향후 꾸준한 연구개발 추진 필요

□ 온실가스 배출 저감과 자원 고갈문제 대응을 위한 친환경 건설기술 개발 필요

- 온실가스 저감 및 에너지 고갈에 대응하기 위한 친환경 기술 개발 요구

- 선진국들은 UN기후변화협약(COP)을 통해 온실가스 저감 목표를 수립하고 연구 개발 및 정책을 추진

※ 우리나라 온실가스 저감 목표는 '30년 배출전망치(BAU) 대비 37% 감축

- 건설 산업으로 인한 생태계 파괴, 자원 고갈, 온실 가스 방출 등의 문제 해결을 위한 사회적 요구 증가

- 친환경적 건설 산업 육성을 위해 환경오염을 최소화하는 시공방법과 친환경 재료 개발을 통한 친환경 건설기술 확보가 시급

※ 국내 CO₂ 배출량 중 건설교통분야 비중은 42%

※ 친환경·고성능 건설 재료는 국가 CO₂ 저감(건설분야 CO₂ 발생량 중 건설재료는 13% 이상을 차지)과 유지관리 비용 감소의 일석이조 효과가 기대되는 유망한 분야

2. 정책동향

2.1 미국

- '18년 트럼프 대통령은 인프라 재건을 위해 절차를 간소화하고 실질적으로 필요한 지역에 지원이 될 수 있도록 FAST 법을 제정하고 이를 근거로 여러 프로젝트를 추진
 - 트럼프 대통령은 복잡한 허가절차에 의해 제한되거나 행정부의 우선순위에 따라 추진되었던 인프라 구축 및 개선 프로젝트의 문제점 개선 위해 관련 입법 추진
 - 연방정부의 권한을 축소시키고 주정부와 지방 정부의 권한을 강화하여 실질적이고 간소화된 절차를 통해 인프라 재건 프로젝트를 효율적으로 추진하기 위해 입법
 - '18년 미국교통부(DOT)는 농촌지역 사회의 교통 인프라를 개선하기 위한 'Rural Project Initiative' 추진²⁾
 - ※ 연방도로관리청에 따르면, 현재 비도심지역 도로의 40%가 운행에 적합하지 않은 상태이며, 약 4만개의 교량이 구조적인 결함 존재
 - 15만 명 이하의 비도심 지역을 대상으로 도로, 교량 및 터널, 대중교통 시스템, 화물운송 시설 등 교통 인프라에 대한 신규 구축 또는 개선을 위한 자금 지원
 - 최대 35년 내외의 장기간 고정 금리의 대출 서비스 통해 프로젝트 비용의 최대 49%까지 지원 가능
 - '19년 운송 시스템 개선을 위한 혁신적인 기술 도입 및 노후 인프라의 활성화 추진을 위해 'INFRA Grants' 2차 프로젝트 추진³⁾
 - 교통 인프라 건설을 신속하게 추진할 수 있는 프로젝트에 중점을 두며, INFRA 프로젝트 비용에는 재건축, 복구, 재산 취득, 환경 완화, 건설 우발 상황, 장비 구입 및 시스템 성능과 직접 관련된 운영 개선 포함
 - '18년 프로젝트에서는 약 15억 달러를 26개 프로젝트에 지원
 - 대규모 프로젝트의 경우 최소 2천5백만 달러, 소규모의 경우 최소 500만 달러를 지원하여 총 8억 5천만 달러 투자 예정

2) United States Department of Transportation, TIFIA Rural Project Initiative (RPI)
<https://www.transportation.gov/buildamerica/programs-services/tifia/tifia-rural-project-initiative-rpi>

3) United States Department of Transportation, INFRA Grants program
<https://www.transportation.gov/buildamerica/infragrants>

〈표 2.1〉 INFRA Grants 프로젝트 목록

구분	프로젝트 내용
대규모 프로젝트	· 앨라배마 교통국은 I-10 고속도로에 215피트 이상의 수직 여유공간을 가진 6차선 사장교를 건설하기 위해 1억 2,500만 달러 투자 · 애리조나 교통부는 I-17 고속도로 차선을 추가하기 위해 9,000만 달러 투자 · 캘리포니아주의 테메쿨라(Temecula)시는 I-15 고속도로의 Collector/Distributor road 건설에 5,000만 달러 투자 · 플로리다주는 Cape Canaveral Spaceport Indian River Bridge를 교체하기 위해 9,000만 달러 투자 · 메인 교통부는 미국-캐나다 국경 세인트존 강의 교량 교체를 위해 3,600만 달러 투자 · 미시시피주 교통부는 Appalachian Development Highway System 건설을 위해 5,240만 달러 투자 · 오레곤 주는 벤드 북쪽 도로를 개선하기 위해 6,400만 달러 투자
소규모 프로젝트	· 앨라배마주 터스컬루사(Tuscaloosa)시는 University Boulevard의 육교 교체를 위해 680만 달러 투자 · 콜로라도 교통부는 콜로라도 남동부에 12마일을 차선을 추가하기 위해 820만 달러 투자 · 조지아주는 I-75 고속도로에 24피트 폭의 램프를 건설하기 위해 500만 달러 투자 · 오하이오주는 Cuyahoga강의 강둑을 재건하기 위해 690만 달러 투자 · 사우스 다코타 교통국은 미주리강의 교량을 교체하기 위해 1,130만 달러 투자 · NCTCOG (North Central Council of Governments)와 텍사스 교통부는 Dallas-Fort Worth 지역의 7개 교량을 교체하기 위해 8,775만 달러 투자 · 워싱턴주의 City of Union Gap은 SR-97과 Longfibre Road를 연결하는 Regional Beltway를 건설하기 위해 660만 달러 투자

자료: United States Department of Transportation, INFRA Grants program

□ **연방정부의 지원만으로 미국 전 지역의 인프라 구축에는 한계가 있기 때문에 각 주 정부는 P3(Public Private Partnerships) 프로젝트*를 확대하는 추세⁴⁾**

※ 민관협력사업(Public Private Partnership): 인프라 구축 사업, 공공서비스 제공 서비스 수행, 관리, 운영하기 위하여 정부기관과 투자자 또는 기업간의 계약 방식으로 하는 투자방식

- 민간 부문의 조기 참여는 주정부 및 지방 정부가 직면하는 복잡한 교통 문제를 해결하기 위해 혁신, 효율성 및 자본 확보 가능하며 리스크에 대한 부담을 줄이고 완공 후 시설 유지관리에 있어서도 사업 효율성 향상이 가능
- P3 프로젝트를 촉진하기 위해 TIFIA 및 RRIF 대출, 사립 활동 채권 (PAB) 및 INFRA 보조금 제공하고 있으며 각 주마다 P3에 대한 전반적인 입장이나 관련 규제 및 법률, 사업 적용분야가 상이

4) United States Department of Transportation, Public-Private Partnerships(P3)
<https://www.transportation.gov/buildamerica/programs-services/p3>

〈표 2.2〉 주별 P3 참여 가능부문 및 참여 형태

주	허용분야	참여가능 형태 및 특징
앨라배마	교통	DB, DBO, DBOM
알래스카	교통	파이낸싱, DBO
아리조나	교통	참여형태의 제약은 없으나 교통부의 승인이 필요
아칸소	교통	철도, 수로 프로젝트에 한하며 민간의 사유화 금지
캘리포니아	다분야	설계, 시공, 재건축, 운영, 임대 등 다양한 방식의 참여를 허용
콜로라도	교통	참여형태의 제약은 없으나 교통부의 승인이 필요
코네티컷	다분야	일자리 창출 등 경제적 성장효과가 있을 경우의 프로젝트만 허용
델라웨어	교통	연구, 계획, 설계, 시공, 임대, 파이낸싱, 운영, 유지관리, 개보수
플로리다	교통	교통부의 부동산을 임대하는 방식으로 협력할 경우
조지아	다분야	에너지발전, 통신서비스, 케이블 및 비디오 서비스, 저수지 개발 등의 프로젝트는 제외
일리노이	교통	고속철도와 자기부상열차, 지역 50일 반경 내의 교량, 알파나 유료고속도로 프로젝트로 제한
인디애나	다분야	다양한 시설 공사에 참여할 수 있으나 시설에 따라 참여할 수 있는 형태에 차이
루이지애나	교통	시공, 유지관리, 개보수, 운영
메인	교통	파이낸싱, 개발, 운영, 관리, 소유, 임대, 유지관리
메릴랜드	다분야	시설의 형태에 제한은 없으나 완공 후에도 주정부가 시설의 소유권을 유지
메사추세츠	교통	DBOM
미네소타	교통	개발, 자금조달, 설계, 운영
미시시피	교통	유료도로의 설계, 자금조달, 시공, 운영, 유지관리
미주리	교통	대중교통 시설의 자금조달, 계획, 시공, 유지관리, 운영
네바다	교통	개발, 시공, 개보수, 유지관리
노스캐롤라이나	교통	주 교통부의 참여 가능 자금이 25만 달러로 제한
노스다코타	다분야	유료시설의 시공, 개보수, 재건축, 운영, 관리와 소유권
오하이오	교통	개발, 파이낸싱, 유지관리, 운영
오레곤	교통	개발, 파이낸싱, 설계, 계획, 시공, 운영, 관리, 임대 등 다양한 형태로 참여 가능
펜실베이니아	교통	사전개발, DB, DBO, DBM, DBOM, OM
사우스캐롤라이나	교통	유료도로 시설을 위한 자금조달, 계획, 설계, 시공, 개보수
테네시	교통	연간 100만 달러 이하 규모의 15개 프로젝트로 제한 연간 100만 달러 초과 규모의 5개 프로젝트로 제한
텍사스	교통	교통부와의 합의 필요
유타	교통	유료시설에 대한 설계, 시공, 재건축, 파이낸싱, 취득, 운영 및 유지
버지니아	교통	교통부와의 합의 필요
워싱턴	교통	교통부와의 합의 필요
웨스트버지니아	교통	시공, 개보수
위스콘신	교통	BOT 또는 임대
워싱턴 DC	다분야	제한없음

* DB: Design-Build, DBO: Design-Build-Operate, DBOM: Design-Build-Operate-Maintain
 자료: KOTRA, 美 주별로 다른 PPP(P3) 제도 이해하기, 2017.02.07.

2.2 유럽

□ 유럽연합 교통부에서는 ‘TEN-T(Trans European Transport Network)’ 추진⁵⁾

※ Trans European Transport Network은 유럽 전역의 철도, 도로, 내륙 수로, 해상 운송 경로, 항만, 공항 및 철도 터미널로 구성된 유럽 운송 네트워크 개발 정책

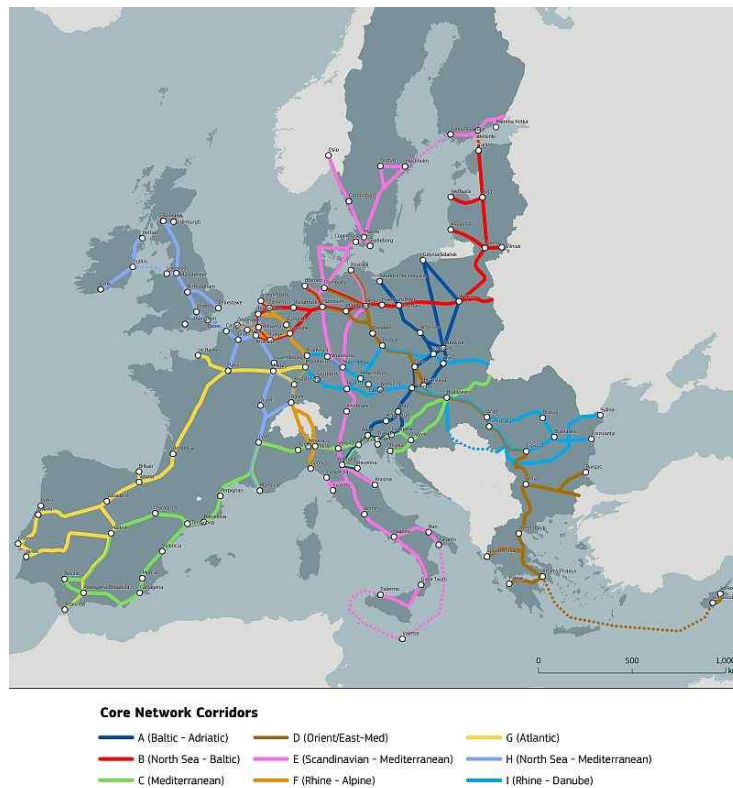
- '20년까지 유럽 전역의 도로, 철도, 내륙 수로, 해상 운송로, 항만, 공항 등의 인프라 구축 및 기존 인프라의 현대화를 통해 접근성을 강화하는 목적으로 추진
 - TEN-T의 궁극적인 목적은 EU 회원국 간의 교통망 격차와 병목 현상을 줄이고 사회적·경제적·지리적 통합을 강화하여 단일 유럽 교통망 창출에 기여
- 유럽 전역을 대상으로 교통망을 구축하는 종합적인 계획과 핵심적인 지역 간의 교통망을 구축하는 계획으로 구분

□ CEF(Connecting Europe Facility)는 기반 시설 투자를 통해 성장, 고용 및 경쟁력을 증진시키기 위한 프로그램으로 '20년까지 지속 추진

- 지역 간 불균형 해소 및 물리적인 유럽통합의 촉진을 위해 회원국 간 비슷한 수준의 인프라 시설을 마련하고자 추진하고 있으며, 3개 분야에 집중
 - (운송 분야) '50년까지 EU 내 화물 및 여객 운송산업의 성장이 각각 80%, 50% 이상 전망됨에 따라 고도화된 운송 인프라 시설 마련
 - EU 주요 인프라 구간인 9개의 간선망(Corridor) 내 총 94개의 주요 항구·육로·철로 연결, 38개 주요 공항과 철로를 이용한 주요 도심 연결, 1만5,000km 구간의 고속철도화, 국경 간 교통 정체 구간 개선을 위한 35개의 프로젝트 포함
 - (에너지 분야) 전기, 가스, 스마트 그리드, 석유 등 역내 에너지 시장의 전면 통합을 통해 러시아로부터 에너지 자립을 증강하고 재생에너지를 포함한 역내 에너지 공급 안보 강화
 - (통신 분야) EU 집행위는 역내 단일 디지털 시장 구축을 위해서는 회원국 간 발전된 네트워크가 사전 구축돼 있어야 하며, 회원국 간 적절한 통신 인프라 수준을 위해 브로드밴드 통신망 구축 프로젝트 또한 함께 지원

5) The European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport(DG MOVE)
https://ec.europa.eu/transport/themes/infrastructure_en
한국교통연구원, 유럽 연합(European Union)의 교통정책, 2018

- CEF 운송분야는 9개의 교통 네트워크 구축 및 7개 우선순위 프로젝트에 '14년부터 '20년까지 총 243억 유로를 투자
- CEF 운송분야에서는 지속가능한 운송 혁신, 병목현상 제거, 인프라 재건 등을 목적으로 9개의 핵심 교통 네트워크를 선정하여 집중 투자
 - 북해-발트해, 북해-지중해, 라인강-알파강, 라인강-다뉴브, 스칸디나비아-지중해 등 9개 교통 네트워크를 설정
 - 연결되지 않은 국경 간 인프라를 연결하여 상호 운영성을 증진하고 인프라 재건 및 업그레이드하여 병목현상제거하기 위한 프로젝트 추진
- Intelligent Transport Services for road (ITS), Safe and secure infrastructure 등 7대 프로젝트 우선순위를 설정하여 매년 프로젝트를 선정 및 지원
- ※ 7대 프로젝트 우선순위: European Rail Traffic Management System (ERTMS), Intelligent Transport Services for road (ITS), Motorways of the Sea (MoS), New technologies and innovation, River Information Services (RIS), Safe and secure infrastructure, Single European Sky - SESAR



자료: EC Connecting Europe Facility 홈페이지(https://ec.europa.eu/transport/themes/infrastructure_en)

[그림 2.1] 9개 핵심 교통 네트워크

2.3 영국

- NIC는 국가 사회기반시설을 평가한 ‘National Infrastructure Assessment 2018’을 발행하여 미래의 시설물 수요를 파악하고 장기 전략 수립
 - '15년 10월, 영국 재무부 산하에 NIC(National Infrastructure Commission)를 신설하여 시설물 평가 등 심도 있는 연구를 통한 정부정책 권고 등의 업무 담당⁶⁾
 - ('30년) 영국 전력의 절반을 재생가능 에너지로 공급, 플라스틱 포장의 3/4 재활용화, 순수 전기자동차 판매준비, 지방 도시를 위한 교통 및 운송부분 장기 자금에 4,330억 파운드 투자, 극심한 가뭄에 대한 강화책 마련
 - ('33년) 전국에 광대역 광섬유 설치
 - ('50년) 모든 지역 사회를 위한 국가 표준의 홍수 강화대책 마련
- '16년 IPA는 중장기 경제계획의 일환으로 국가 인프라 시설 개선이라는 목표를 설정하고 ‘NIDP(National Infrastructure Delivery Plan) 2016-2021’ 발표⁷⁾
 - '16년 1월, IUK와 MPA를 합병하여 IPA(Infrastructure and Projects Authority)를 조직하고 사회기반시설 관련 사업의 성공적인 추진을 위한 다양한 역할 수행⁸⁾
 - ※ IUK: Infrastructure UK / MPA: Major Projects Authority
 - 사회기반시설 관련 사업의 성공적인 추진을 위해 민간자본 유치 활성화 및 투자 우선순위 결정 등 컨트롤 타워 역할 수행
 - 시설물 관련 주요 사업의 성과를 평가하고 개선함으로써 사회 이익을 제공하고 비용가치를 제공하는 등 사회기반시설 개선을 위한 전반적인 지원 역할
 - 국가 경제의 중추로서 인프라 시설에 1,000억 파운드 이상의 정부 투자계획 포함
 - '21년까지 600개 이상의 사회기반시설 관련 사업에 대해 민간투자를 포함하여 4,830억 파운드의 투자계획 수립

6) 국회입법조사처, 해외 주요 국가의 인프라 유지관리 시스템 연구, 2018. 12

7) Infrastructure and Projects Authority, National Infrastructure Delivery Plan 2016-2021

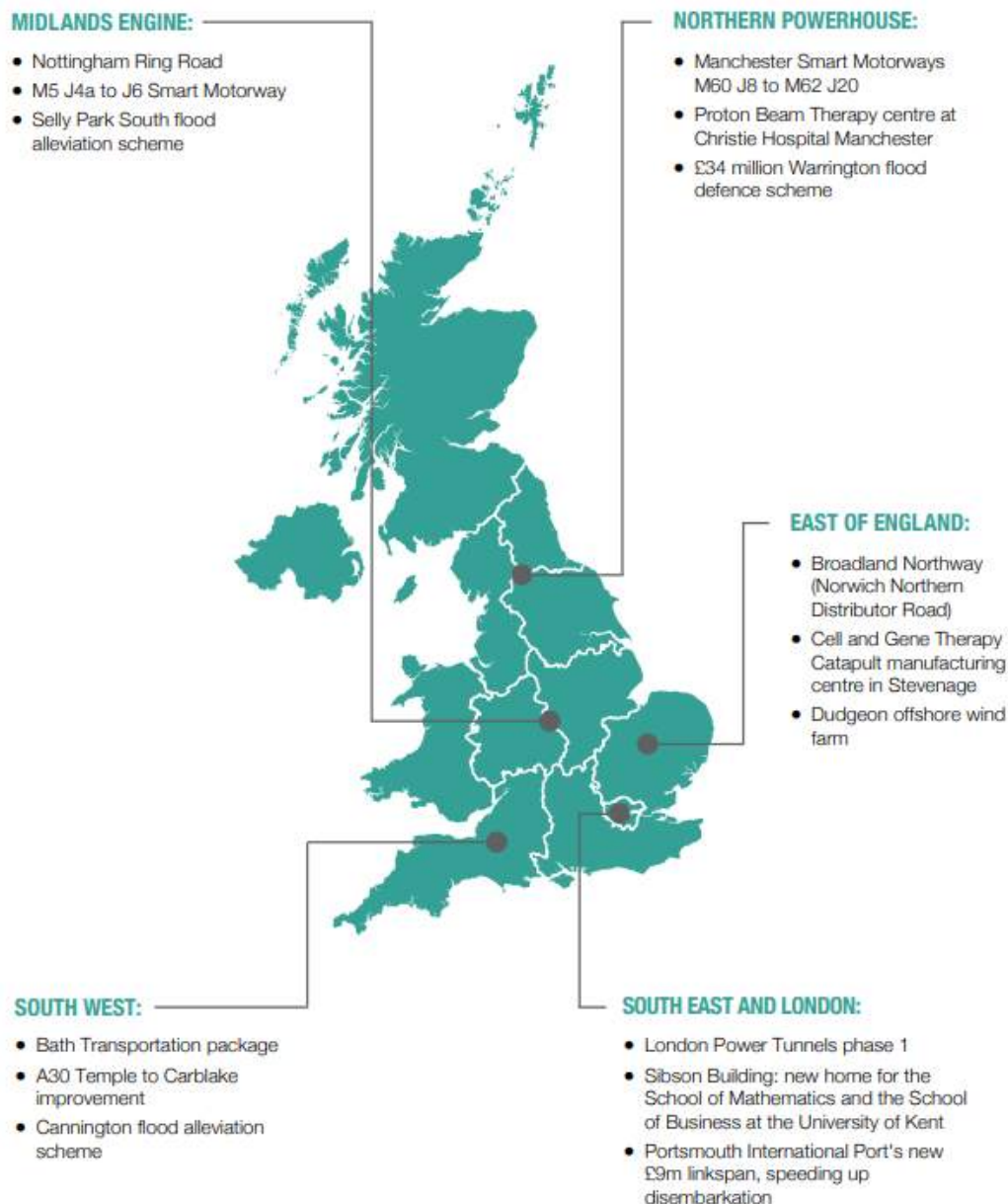
8) Infrastructure and Projects Authority,

<https://www.gov.uk/government/organisations/infrastructure-and-projects-authority/about>

- IPA는 '17년부터 교통 및 에너지 네트워크와 학교 및 병원 등의 사회기반시설에 대한 투자효과를 개선하기 위해, 'TIP(Transforming Infrastructure Performance)' 계획을 수립하고 추진 중⁹⁾
 - 각 시설물 관련 사업의 자본 효율성을 넘어, 사회기반시설 시스템의 전체 수명과 성능을 향상시키기 위한 시설물의 계획, 조달 및 연계 방안을 마련
 - (사업의 우선순위) 투자대비 최대 이익창출을 위해 합리적인 사회기반시설 사업의 우선순위를 설정
 - (생산성 향상) 국가 기반 산업인 건설 분야에 대해 디지털 설계 및 새로운 제조 기술을 채택하고, 일자리 창출을 통해 생산성 향상을 도모
 - (시설물 투자의 이점 극대화) 기존 시설물의 성능을 향상시키고, 미래를 고려한 시설물 설계 기술 등의 발전을 도모
 - 인프라의 성능 향상을 위해 네 가지 도전과제를 향후 10년간 진행할 예정
 - (성능 향상을 위한 벤치마킹) 기존 시설물 관련 사업의 비용사용, 일정 및 성능 자료를 제공하여 사업의 예산 책정과 설계를 지원
 - (정렬 및 통합) 시설물 관련 사업과 프로그램이 경제적, 사회적, 환경적 목표를 달성하도록 정부와 부서를 아우르는 통합계획 지원
 - (성장을 위한 발주) 시설물의 장기적 가치를 창출하고, 지속가능한 공급망 확보를 위해 이용객과 시설물 간의 보다 지능적인 상업 관계 구축
 - (스마트 인프라) 기술혁신을 통해 보다 생산적인 발주 시스템을 구축하고 시설물의 자산을 고려하여 보다 지능적으로 운영하도록 지원

9) Infrastructure and Projects Authority, Transforming Infrastructure Performance, 2017. 12
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/664920/transforming_infrastructure_performance_web.pdf
 국회입법조사처, 해외 주요 국가의 인프라 유지관리 시스템 연구, 2018. 12

- ‘National Infrastructure and Construction Pipeline 2018’을 발표하고 ‘18년 영국 전 지역에서 수행된 주요 인프라 프로젝트와 투자 동향에 대해 분석¹⁰⁾
- NICP 계획의 국가 우선순위 프로젝트와 운송, 에너지, 디지털 인프라를 포함한 각 분야의 프로젝트 진행상황 및 투자동향 대한 최신 정보 제공



[그림 2.2] 각 지역별 NICP 계획(안)

10) Infrastructure and Projects Authority

2.4 프랑스

- '18년 프랑스 교통부는 마크롱 프랑스 대통령의 정책 우선순위에 따라 철도 인프라 분야 '이용자의 일상적 요구(everyday needs of users)'에 집중할 것을 발표
 - 프랑스 정부는 프랑스철도청(SNCF) 네트워크 인프라 관리에 사용되는 350억 유로의 부채를 부담하고, SNCF는 연간 36억 유로의 예산으로 10년간 정부 투자 수행
 - Borne's programme에서 우선적으로 '22년까지 134억 유로의 예산을 배정하였고, 이의 51%가 철도에 사용될 예정
 - '22년부터는 매년 2억 유로의 예산이 디지털철도(digital railway) 계획에 배정될 예정
 - 파리지 외부의 철도서비스에 대한 접근을 향상시키기 위해 26억 유로를 투입하여 중요 허브에서의 수용량을 증가시킬 계획
- 기존의 국가 교통인프라 계획인 SNIT(Schema national des infrastructures de transport)을 대체하기 위해 새로운 인프라 계획 목표를 담은 Mobilite 21 수립¹¹⁾
 - Mobilite 21은 프랑스 인프라 프로젝트를 우선순위에 따라 세 단계로 구분
 - 1단계('14~'30년)에 실행될 우선순위가 높고 예비조사가 필요한 프로젝트, 2단계('30~'50년)에 실행될 예비조사가 필요한 프로젝트, 3단계('50년 이후)에 실행될 것으로 예상되고 새로운 사실이 나오기 전에는 예비조사가 실행되지 않는 프로젝트로 구분

〈표 2.3〉 SNIT과 Mobilite21의 목표

SNIT('11)	Mobilite 21('13)
교통인프라의 질 보장	신규 인프라 프로젝트를 제한하기 위해 기존 교통시스템을 적절하게 활용
교통 서비스의 질을 업그레이드	시스템 성과와 영토 연결성 향상
철도 시스템의 성과 향상	교통 시스템의 환경성과를 향상
혁신적 관리와 재정 메커니즘에 대한 실험	교통 시스템과 인프라의 환경적 영향 최소화

11) Strategic Infrastructure Planning: International Best Practice, OECD/ITF 2017

- Mobilité 21의 아젠다는 공공재정 분야에서 글로벌 금융위기에 대처하고 국가의 환경목표와 지속가능한 이동성을 달성하고자 하는 정부정책 의지를 반영
 - 프랑스의 Grenelle process는 SNIT, Mobilité 21의 인프라 정책 관련 의사 결정에서 환경적인 고려를 많이 하도록 기여¹²⁾
 - ‘Grenelle de l'environnement’로 불리는 프랑스 환경법은 공적 협의 과정으로 Grenelle process를 시행
 - Grenelle process는 프랑스의 경제가 탄소중립적인 경제가 되도록 하는데 힘쓰며, '20년까지 탄소방출량을 20% 감축하는 역할을 담당
 - Grenelle process는 '07년부터 프랑스의 인프라 정책을 구축하는데 중요 역할을 담당

12) Gaps and Governance Standards of Public Infrastructure in Chile, OECD 2017

2.5 독일

- '16년 독일의 연방 교통 및 디지털 인프라부(BMVI)에서는 도로, 철도, 수로 등 교통 분야에 대한 인프라 개발 계획인 'BVWP(Bundesverkehrswegeplan) 2030' 수립¹³⁾
 - 연방 교통 및 디지털 인프라부는 10~15년마다 인프라 사업을 위한 기본계획을 수립하며, '16년 8월, '연방교통 인프라 계획 2030'을 수립하고 교통 인프라 부문의 지원 확대
 - '연방교통 인프라 계획 2030' 프로그램은 교통 인프라의 유지 보수뿐만 아니라 1,000개의 신규 프로젝트를 위해 총 2,696억 유로를 투자할 계획
 - 여객 교통량의 증가로 인해 교통 인프라의 유지 보수뿐만 아니라 확장에 대한 필요성이 증가하여 총 2,696억 유로 투자
 - 그 중, 도로 49.3%, 철도 41.6%, 수로 9.1%의 비중으로 추진
 - ※ 건설 및 신축 프로젝트(유지보수 제외): 도로 53.6%(연간 23억 유로), 철도 42.1%(연간 18억 유로), 수로 4.3%(연간 2억 유로)의 비중으로 추진
- 독일 연방 교통 및 디지털 인프라부(BMVI)는 교통 인프라의 유지보수 및 현대화를 위해 다방면으로 투자 지속
 - 교통 및 디지털 인프라부는 간선도로망 건설, 대기질 개선 프로그램, 수상교통·대중교통 인프라 구축 등 다방면에 걸쳐 인프라 관련 지원 정책 추진
 - ※ '12년 101억 유로 대비 '19년 148억 유로로 교통 인프라 투자 대폭 증가
 - (고속도로 민관협력, Reform der Bundesfernstraßenverwaltung) '17년 연방 정부는 고속도로 건설, 운영, 유지보수, 자금조달 및 용자를 관리하는 책임을 민간기업에 위임하는 법안을 상정하고 민관협력 사업을 확대하여 '22년까지 연방 도로에 약 2.2백만 유로 투자 계획
 - (대기질개선프로그램 2017-2020, Sofortprogramm Saubere Luft) 전기차 전환 정책, 노후 디젤차량 개선, 도심차량시스템 디지털화 등 도시의 대기 질 개선을 위해 '17년 새롭게 도입된 긴급프로그램으로 총 10억 유로를 투자할 계획

13) 연방 교통 및 디지털 인프라부: BMVI(Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur), <https://www.bmvi.de/DE/Themen/Mobilitaet/Infrastrukturplanung-Investitionen/Bundesverkehrswegeplan-2030/bundesverkehrswegeplan-2030.html>
한국조세재정연구원, 주요국 예산안 - 독일, 2019. 02

- (수상교통, Wasserstraßen kompakt) 수로를 운송수단으로 확보하고 효율성을 제고하기 위해 ‘연방수로 건설법(Bundeswasserstraßenausbaugesetzes)’ 개정 및 관련 사항을 우선순위로 지정하여 내륙수로의 인프라 투자 확대
- (대중교통, Öffentlicher Personennahverkehr) 농촌지역과 센터의 연결 및 도시지역에서의 일상 교통수단으로서 버스와 기차의 고품질 서비스를 보장하기 위해 재정적 지원과 혁신적 개발 촉진
- (자전거 교통, Fahrradverkehr) 연방정부와 지방자치단체는 자전거 도로 건설 및 확장에 대한 재정 지원을 계획하여 자전거 교통을 더욱 강력하게 추진할 예정
- '18년 독일 연방 교통 및 디지털 인프라부(BMVI)는 인프라 구축 및 현대화를 위한 계획·승인 절차 간소화 법안 제정
 - 계획 및 승인 절차의 병목 현상을 최소화하여 시간절약 등 인프라 구축을 가속화 하고 효율성 및 투명성 제고를 목표로 이중 검사와 인터페이스를 최소화하고 보다 효율적인 절차 마련
 - 시민참여 방식을 통한 투명성과 디지털화 확대 및 신속한 법적 절차 추진
- '19년 독일 연방 교통 및 디지털 인프라부(BMVI)는 미래 복합운송(KV)을 위한 새로운 환적시설 건설 지원
 - 교통·디지털 인프라부는 독일 북부지역 노이뮌스터(Neumünster)를 대상으로 미래 복합운송을 위한 환적시설 건설 프로젝트에 7.8백만 유로 지원
 - 환적시설은 '19년 착공하여 '21년부터 운영될 수 있도록 진행 예정

2.6 일본

□ 국토교통성에서 수립한 ‘인프라 장수명화 기본계획’은 ‘30년까지 노후화로 인한 인프라 중대사고 ‘제로’를 목표로 추진¹⁴⁾

- 그간의 인프라 점검·진단 결과를 고려하여 ‘19년까지 장수명화 계획을 수정·갱신할 예정이며, ‘30년에는 노후화로 인한 인프라 사고 ‘제로’를 목표

□ 국토교통성의 ‘제4차 사회자본정비중점계획’을 통해 도로, 항만, 하수도, 공항 등의 통합적인 인프라 정비 시행

- ‘제4차 사회자본정비중점계획(‘15~’20)’에서는 4가지 구조적 과제*에 대응한 4가지 중점목표를 설정하고, 이를 달성하기 위한 13개의 정책 패키지를 설정

※ 4개의 구조적 과제: ① 노후화 가속, ② 지진 등 자연재해에 취약, ③ 인구감소에 따른 지방의 파폐, ④ 국제적 경쟁 가열

〈표 2.4〉 제4차 사회자본정비중점계획의 중점목표 및 정책 패키지

구분	중점목표	정책 패키지
중점목표 1	사회자본의 전략적인 유지관리·갱신을 수행	1-1 유지관리 사이클의 구축을 통해 안전·안심 확보와 생애주기 비용의 저감 및 평준화
		1-2 유지관리 기술의 향상과 유지관리 산업의 경쟁력 강화
중점목표 2	재해특성과 지역의 취약점에 따른 재해 리스크를 저감	2-1 거대 지진·쓰나미와 대규모 폭발의 리스크 감소
		2-2 극심화하는 기상재해에 의한 리스크 감소
		2-3 재해 발생시의 리스크 저감을 위한 위기관리대책의 강화
		2-4 육·해·공의 교통안전 확보
중점목표 3	민간투자를 촉발하고 경제성장을 지탱하는 기반을 강화	3-1 지역생활서비스의 유지·향상을 위한 컴팩트 시티 형성
		3-2 안심하고 생활·이동할 수 있는 공간의 확보 (유니버설 디자인의 추진)
		3-3 아름다운 경관·좋은 환경의 형성과 건전한 물 순환 유지 및 회복
		3-4 지구온난화 대책의 추진
중점목표 4	민간투자를 촉발하고 경제성장을 지탱하는 기반을 강화	4-1 대도시권의 국제경쟁력 강화
		4-2 지방의 산업·관광투자를 촉발하는 도시·지역 만들기의 추진
		4-3 일본의 뛰어난 인프라 시스템의 해외 수출

14) 대한건설정책연구원, 일본 노후 인프라 대응 전략 및 정책적 시사점, 2017. 11
국토교통성(国土交通省), <http://www.mlit.go.jp/index.html>

□ '19년 국토교통성은 '미래를 잇는 인프라 정책'을 통해 인프라 정책 방향 제시

- 경제 성장과 지역사회의 활성화를 견인하는 인프라 정책 추진 중
 - (수도권 순환도로 등의 정비) 도심 통과 교통량 감소를 통한 교통체증 완화 및 도심 도로의 이용 환경 개선을 목표로 추진
 - (신칸센 전국 네트워크 구축) 홋카이도 신칸센, 호쿠리쿠 신칸센, 규슈 신칸센을 대상으로 정비 및 노선 확장을 통해 전국을 잇는 네트워크 구축
- 물리적 인프라 시설의 확충 및 기능 강화를 통한 방재 대책 가속
 - 자연재해에 대비하여 주요 인프라의 물리적 시설 확충 및 소프트웨어 접목을 통한 기능 강화 등 인프라에 대한 융·복합적인 정책 추진 중
 - 기존의 제방 시설에 투과형 제방 등을 정비하여 토사·홍수 범람 등 복합적인 재해 대책 추진



출처: 국토교통성, 미래를 잇는 인프라 정책(未来につなぐインフラ政策), 2019. 3

[그림 2.3] 기존의 제방 시설에 투과형 제방 등의 정비 사례

□ 인구감소 및 고령화에 따라 ICT, IoT, 로봇기술 등 신기술을 활용하여 생산성을 향상시키는 인프라 정책 추진

- (i-Construction) '25년까지 건설현장의 생산성 20%향상을 목표로 기술력 향상 중심의 4차 산업혁명 대응 전략 수립·추진
 - ①정보화시공, ②로봇, ③CIM 등 선결 기술의 시범사업 실시 등 지속적인 R&D에 더한 ICT기술 현장 적용을 위한 전략으로 추진

※ 국토교통성은 i-Construction, 인프라 유지보수 혁명, 고품질 인프라의 해외 전개 등을 포함한 31개의 생산성혁명 프로젝트를 발표('18.6월)

2.7 중국

□ 일대일로(一帶一路) 정책을 통해 '30년까지 전 세계 100여국의 전력망 연계 구축¹⁵⁾

- 글로벌 전력시장을 장악하기 위해 자국을 비롯한 동남아시아, 라틴아메리카, 아프리카 등 전력망 구축에 노력
 - ※ '20년까지 우선 라오스, 브라질, 파키스탄, 포르투갈 등의 국가에 전력망 구축
- '16년 6월, 3차 중국·몽골·러시아 3국 회담의 '중몽러 경제회랑 건설 기획 강요(建设中蒙俄经济走廊规划纲要)' 체결을 통해 국가 간 구체적인 협약 도출
 - 3차 회담에서 교통인프라, 국경통과 지점 현대화, 무역·세관업무·검사·검역협력, 과학기술 협력, 산업협력, 에너지 협력 등 32개 프로젝트 사안에 합의
 - ※ 32개 프로젝트는 교통인프라 관련 13개, 국경통과 지점 현대화 관련 1개로 인프라 관련 사업이 주요 내용 차지

□ BIM을 기반으로 한 사회기반시설 운영 관리 시스템(BIMSea)을 활용

- '18년 중국 쿤밍(KUNMING)에 새로 건설되는 지하철 역사의 BIM 시각화 관리 시스템은 지하철 운영 및 유지보수 관리 업무에 활용
 - 중국 지하철 역사는 설비 관리 부실로 점검 및 데이터 관리가 어려웠으나 BIM 도입 후 BIM 데이터를 활용한 맞춤형 운영 관리가 가능
 - BIM 데이터를 활용해 지하철 역사 정기점검 횟수를 연 1회에서 월 1회로 증가시켜 관리수준을 향상했으며 문제 발생 시 시간, 비용, 인력 절감이 가능
- '18년 상하이 양푸강변 도시 재생 사업은 교량 건설, 강변지구에 조성되는 스마트 시티에 BIM을 활용하는 중국내 BIM 선도 프로젝트
 - 교량시공 뿐만 아니라, 도로, 경관, 수로, 자산 관리 등 전문적인 설계 시공의 공동 작업을 BIM으로 구현하는 것을 목표
 - 설비 관련 3차원 BIM 데이터는 2D 도면에서 발견하지 못한 문제점을 3D의 시각화된 도면으로 작업하여 간섭체크에 관한 문제점을 파악하고 해결
 - ※ 상하이 시는 BIM 응용 기술의 보급, 홍보 및 교육을 위해 BIM 기술 경진 대회, 전문 포럼 등을 개최하고 어플리케이션, 기술 표준 등을 활용해 BIM 기술 보급을 촉진

15) 대통령직속 북방경제협력위원회, 시베리아철도 이용활성화 방안 최종보고서, 2018. 10
대외경제정책연구원(KIEP), 2017년 중국의 주요 경제부처별 정책 방향, 2017. 03

□ '16년 4월 「교통운수정보화 발전계획」 지능적 항만운영, 안전관리 개선, 물류 협력, 사업모델 혁신 등 분야별 목표 제시

- 현재 해당 계획에 따라 11개 항만(광저우항, 샤먼항, 상해항, 칭다오항 등)을 대상으로 지능형 항만운영, 안전관리 개선, 물류 통합, 비즈니스 모델 혁신 등 4개 분야에 대한 스마트 항만 구축 시범사업을 추진 중

- '17년 5월 개장한 칭다오항에서 컨테이너 하역 작업 시 사용하는 항만의 안벽 크레인 작업 효율은 전 세계 자동화터미널 평균 작업 대비 150% 우수

- 상하이항은 '17년 12월에 개장하였으며 세계 최대 완전무인자동화컨테이너 터미널로 배에서 하역하여 게이트를 통과하는 모든 과정이 자동화 된 터미널

※ 상해항은 스마트 항만구축으로 연 3조 8,000억 원의 부가가치 창출이 예상

□ 중국정부는 자국 산업수준 향상을 위해 '15년 5월 「중국제조 2025」를 통해 전략적 목표 과제를 수립

- 「중국제조 2025」 달성을 위해 10대 전략적 중점분야를 설정하였으며 특수금속 기능소재와 고성능 구조재료 건설신소재 등 선진 기초재료*를 개발

※ 국민경제, 국방 군사 산업의 구축에 대해 기반적인 지원 및 보장 역할을 하는 재료

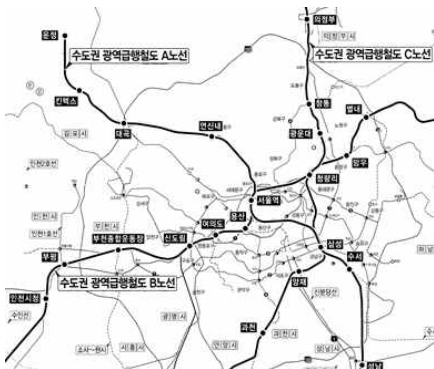
- 원자력용 대형 단조재, 특수후판, 반응로내 구조용강 및 관련 용접재, 초초임계 보일러용 강 및 고온 고압 회전소재, 교량용 고강도강판의 자주화 실현

- 복잡한 지질환경(고온, 산성가스 침식)에서의 유정 시멘팅 자가복구용 시멘트, 궤도교통에 쓰이는 도로·교량 콘크리트 구조 초고속 복구 시멘트계 소재 개발

2.8 한국

□ 국토교통부에서는 관계부처와 합동으로 ‘광역교통비전 2030’를 확정하고 세계적 수준의 급행 광역교통망을 구축할 계획¹⁶⁾

- '30년까지 철도 연장을 약 두 배 확충하는 것을 목표로 하여, 광역철도는 기존 730km에서 1,577km로, 도시철도는 기존 710km에서 1,238km로 확장할 계획
- 수도권급행철도 A노선('23년), 신안산선('24년)은 계획대로 차질없이 준공하고, 수도권급행철도 B, C노선은 조기착공을 적극 추진할 계획
- 이와 함께, 4호선(과천선) 등 기존 광역철도 노선을 개량하여 급행운행을 실시하고, 인덕원~동탄 등 신설되는 노선도 급행으로 건설하여 급행 운행비율을 현재의 2배 이상(16%→35%, '30년)으로 확대해 나갈 예정
- 유기적인 철도 네트워크 구축을 위하여 수인선('20년, 동서축), 대곡~소사('21년, 남북축) 등 동서·남북축을 보강하고, 사상~하단선('23년, 부산·울산권), 광주 2호선('25년, 광주권) 등 도시내 이동성 강화를 위한 도시철도를 지속적으로 확충할 계획



출처: 국토교통부, 광역교통비전2030, 2019.10.31



[그림 2.4] 수도권 광역급행철도 노선도

- 도심 교통량 분산을 위해 수도권 외곽 순환고속도로망을 조기에 완성하고 주요 간선 상습정체구간 해소를 위한 대심도 지하도로 신설 검토
- 제1순환고속도로의 교통흐름 개선을 위하여 상습정체구간 2곳(서창~김포, 판교~퇴계원)의 복층화를 검토하고, 제2순환고속도로는 미착공 구간의 조속 착수를 통해 '26년 전 구간 개통을 추진할 계획

16) 광역교통 2030, 관계부처 합동, 2019.10.

- 주요 간선도로, 부산·울산권 사상~해운대 등에 지하부는 자동차, 지상부는 BRT·중앙버스차로 등 대중교통차로로 활용하는 대심도 지하도로 신설을 검토 예정
- 버스·환승 편의증진 및 공공성 강화를 위해 광역버스의 대폭확대와 환승센터 구축
 - M버스 운행지역을 지방 대도시권까지 확대하는 등 운행노선을 대폭 확충하고, 정류장 대기 없이 M버스를 이용할 수 있도록 전 노선으로 예약제를 확대('22)
 - 남양주 왕숙, 인천 계양, 부천 대장 등 3기 신도시에 전용차로, 우선신호체계 적용 등 지하철 시스템을 버스에 도입한 S-BRT를 구축할 계획
 - 도심형(삼성역 등), 회차형(청계산입구역 등), 철도연계형(킨텍스역 등)으로 환승센터를 체계적으로 구축하고, 광역버스 노선을 환승센터에 연계되도록 개편하는 등 대중교통 운행체계를 환승센터 중심으로 재정비



출처: 국토교통부, 광역교통비전2030, 2019.10.31

[그림 2.5] 수도권 교통축별 환승센터 기본구상(좌) 및 복합환승센터 조감도(우)

- '20년부터 '40년을 대상으로 하는 '제5차 국토종합계획'을 수립하여 국토 전역을 대상으로 장기적인 발전방향을 제시
 - '모두를 위한 국토, 함께 누리는 삶터'를 기조로 4대 목표를 설정하고 이를 달성하기 위한 5대 전략과 17개 세부전략을 제시
 - (개성과 경쟁력을 갖춘 균형국토 만들기) 분권형 균형발전, 지역간 연계·협력, 지역산업 혁신, 개성있는 문화국토 조성
 - (편안하고 안전한 생활국토 만들기) 인구감소에 대응한 유연한 도시, 편안한 도시·생활·주거공간, 포용적인 주거복지, 안전하고 회복력 있는 안심국토 조성
 - 지능형 국토방재기반 구축과 유지관리 고도화를 위해 스마트기술을 활용한 시설물 안전·유지관리 고도화, 국토라이프라인 구축 등 지능형 지하관리, 건축물 재난관리와 도로·철도 등 교통수단 안전성 증진 등의 추진과제 제시

- (아름답고 지속가능한 매력국토 만들기) 계획적 토지이용과 매력있는 경관 창출, 지속가능한 국토, 기후변화 대응과 국토-환경 정책협력 강화, 국토자원의 미래 가치 창출과 활용도 제고
 - 인프라의 다기능화·경관자원화를 위해 철도·도로·항만·하천 등 SOC시설에 대한 경관관리 적용 강화를 추진과제로 제시
 - 수자원·해양자원 활용도 제고를 위해 해양·연안공간의 다차원적인 활용, 해양 영토 보호, 섬 잠재력 극대화 등을 추진과제로 제시
- (편리하고 스마트한 첨단국토 만들기) 네트워크형·순환형 교통망, 전략적 인프라 관리와 포용적 교통정책, 미래형 혁신 교통체계, 지능형 국토·생활공간 조성
 - 전략적 네트워크 교통체계 구축·관리 강화를 위해 국가간선망의 지속추진, 도로 및 철도망 단절구간 연결 등을 추진과제로 제시
 - 노후인프라 적기 개량과 유지관리를 위해 인프라 유형과 생애주기를 고려한 통합관리시스템 운영, IoT기반의 첨단기술을 활용한 노후인프라 개량과 성능 고도화를 추진과제로 제시
- (세계와 함께 번영하는 평화국토 만들기) 한반도 국토개발·관리 기반 조성, 한반도-유라시아 교통·물류 네트워크, 글로벌 대한민국 네트워크 역량 강화
 - 남북한 교통인프라 연결 및 현대화, 대륙연결·개방형 교통물류 네트워크 구축을 위해 도로, 철도 성능복원 및 현대화, 유라시아 대륙횡단 연결 등을 추진과제로 제시

□ 건설산업 전반의 혁신을 위해 ‘제5차 건설산업진흥기본계획’을 최종 확정하고 ’18년부터 ’22년까지 5개년 간 단계적 실천

- ‘공정경제에 기초한 건설산업 혁신 성장의 기틀 마련’의 비전과 3대 목표를 설정하고 이를 달성하기 위한 9개 중점과제와 20개 추진방안 제시
 - (산업구조의 경쟁력 강화) 생산구조 규제 혁신, 건설기업 혁신 성장 지원, 부실·불법 업체 퇴출
 - 건설업 업역·업종·등록기준 개편, 원도급자 직접시공 활성화, 다단계 하도급 구조 개선, 기술력 중심 발주제도 개편, 중소 건설기업 성장경로 지원, 페이퍼 컴퍼니 등 부실업체 퇴출, 불법행위 단속 및 처벌 강화
 - (공정한 동반성장 기반 마련) 건설산업 일자리 개선, 공정한 원-하도급 관계 조성, 산업 전반의 갑질 관행 근절

- 건설근로자 임금보장 강화, 건설 근로환경 개선, 숙련 기술자 및 기능인력 육성, 하도급업체 보호 강화, 우수 협력업체에 인센티브 부여, 공공 발주자의 부당행위 개선, 대형 건설사의 불공정 행위 근절
 - (중장기 성장동력 확보) 해외시장 진출 역량 확보, 스마트 건설기술 개발·활용 촉진, 안전 확보 및 신시장 창출
 - 설계·엔지니어링 경쟁력 강화, 지원체계 고도화로 진출시장 다변화, 핵심 건설기술 개발을 통한 생산성 향상, 민간 기술개발 및 품질 확보 촉진, 스마트 인프라 발주 및 노후 인프라 개선, 친환경 건설 활성화 및 건설안전 확보
- '18~'22년을 대상으로 하는 '제6차 건설기술진흥기본계획'을 수립하여 건설기술 정책·제도 선진화 및 연구개발 촉진
- '25년까지 BIM, AI 적용한 건설자동화 기술 개발'의 비전으로 건설 분야 노동 생산성 향상, 사망자 수 감소, 근로시간 단축, 해외수주 확대를 목표
 - 목표 달성을 위한 2개의 추진전략과 10개의 중점추진과제로 추진
 - (4차 산업혁명에 대응하는 기술개발·신산업 육성) 기술개발, 고부가 산업 육성, 건설 안전 강화의 분야에 대한 5개 중점추진과제 도출
 - ※ 중점추진과제: ①스마트 건설기술을 통한 생산성 향상, ②해외 수요 대응형 건설기술 개발, ③분야 간 융·복합을 통한 경쟁력 강화, ④건설 BigData 유통을 통한 신산업 육성, ⑤건설의 안전 환경 관리
 - (글로벌 시장 경쟁력 강화를 위한 제도 개선) 산업 개편·육성, 건설인력·교육, 기준·제도 분야에 대한 5개 중점추진과제 도출
 - ※ 중점추진과제: ①Eng.의 역량 강화 및 해외진출 지원 ②국제 기준에 부합 하는 제도 구축, ③글로벌기준에 맞는 경력 관리체계 구축, ④국제경쟁력을 갖춘 기술인력 육성, ⑤기술력 중심의 발주·심의 강화
- '18년 '하천기본계획 수립지침'을 통해 하천기본계획 수립을 위한 세부사항 제시
- 하천기본계획의 체계적·효율적 수립을 위한 기준, 절차, 방법 등 세부적인 사항에 대해 안내
 - 하천에 관한 제반 사항을 검토하여 하천의 체계적인 정비와 하천의 이용 및 자연친화적 관리 등을 위한 종합계획
 - 하천기본계획의 수립을 위한 조사, 분석, 정비·관리·시행 계획 등의 검토 및 의견수렴, 초안 마련, 협의, 심의, 고시 등의 절차를 거쳐 수립
 - 하천기본계획은 하천법 시행령 제24조에 따라 공통유역도를 기본으로 권역별로 수립하며, 하천법 제25조에 따라 10년 단위로 수립

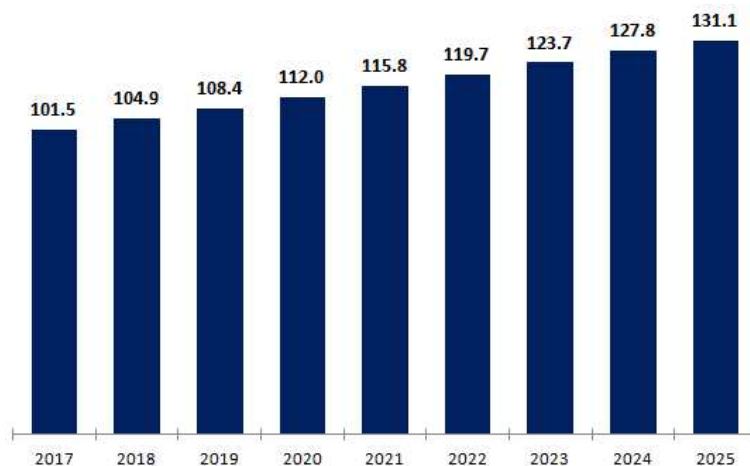
3. 시장동향

3.1 교량

3.1.1 세계시장동향

□ 유럽 강구조 교량 시장은 독일을 중심으로 지속적인 성장세 유지

- '17년 유럽 강구조 교량 시장규모는 1,015억 달러이고, 연평균 성장률은 3.4%로 '25년에는 1,311억 달러의 규모를 형성할 것으로 전망¹⁷⁾
- '18년 기준 유럽 강구조 교량 시장은 2.4%의 성장률을 기록
- 그 중 독일은 유럽 강구조 교량 시장에서 가장 큰 규모를 차지하고 있고, 연평균 성장률은 4.8%로 '25년에는 340억 달러의 규모를 형성할 것으로 전망
- '17년 기준 유럽 through truss bridge 시장규모는 458억 달러이며, 3.7%의 성장률로 확대될 것으로 전망
- '18년 기준 유럽 중로트러스교(half through truss bridge) 시장규모는 335억 달러이며, 연평균 성장률은 3.3%로 '25년에는 431억 달러의 규모를 형성할 것으로 전망



자료: Europe Steel Bridge Market will multiply at an impressive CAGR of 3.4% by 2027, MarketWatch, 2019. 05.

[그림 3.1] 유럽 강구조 교량 시장

17) <http://www.researchnester.com>

- 미국도로교통건축협회(ARTBA)의 데이터 조사에 따르면 미국 교량의 노후화로 인한 교량 보수에 대한 수요 증가로 미국 교량시장은 '17년 193억 달러로 추산
- '17년 기준 중앙 및 지방정부의 교량 관련 계약금액이 193억 달러이며, 이는 전년도 대비 25%인 40억 달러 증가한 규모¹⁸⁾
 - 버지니아주는 '17년 기준으로 96개의 교량사업이 발주되었으며 그 규모는 22억 달러에 달하며, 주별 평균 교량사업비용은 캔자스주 70만 달러, 버지니아주는 2,270만 달러 수준
 - '18년 기준 미국 교량수는 616,096개로, 약 7.6%인 4만7천여 개의 교량이 'Poor' 등급을 받음
 - 교량에 대한 평가는 Good(좋은), Fair(보통), Poor(안좋은)으로 분류
 - 미국도로교통건축협회(ARTBA)는 미국에 있는 교량의 1/3 가량이 중대한 보수가 필요한 상황으로 판단

〈표 3.1〉 미국 노후화 및 문제교량

연도	'14년	'15년	'16년	'17년	'18년
교량 총계	610,749	611,845	614,386	614,978	616,096
-도시	166,292	168,753	170,776	172,252	174,262
-지방	444,457	443,092	443,610	442,726	441,834
구조적 결함 교량 총계	61,365	58,791	56,007	54,560	-
-도시	11,093	10,660	10,114	9,882	-
-지방	50,272	48,131	45,893	44,678	-
Good Bridge 총계			-	288,011	283,316
-도시			-	82,544	81,282
-지방			-	205,467	202,034
Fair Bridge 총계	-	-	-	279,265	285,676
-도시	-	-	-	80,408	83,557
-지방	-	-	-	198,857	202,119
Poor Bridge 총계	-	-	-	47,619	47,054
-도시	-	-	-	9,281	9,415
-지방	-	-	-	38,338	37,639

자료: U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration (<https://www.fhwa.dot.gov>), 2019.11.26

18) U.S. Bridge Market Outlook, Transportation Builder, 2018

3.1.2 국내시장동향

□ 국내 교량시장을 공사수주 실적으로 예측한 결과, '25년 기준 3조 1,011억 규모로 예상되며 유지보수 시장과 신규 건설시장이 비슷해질 것으로 전망

※ 국내기업 건설 수주 금액(신규건설 수주, 유지보수 공사 수주)의 연평균 증가율을 '25년까지 적용하여 시장규모를 추정

※ 신규건설 수주금액은 '12~'18년 대한전문건설협회 통계자료를 이용하였으며, 유지보수 공사 수주금액은 '12~'18년 대한시설물유지관리협회 통계자료를 이용하였으며 각 적용대상별로 연평균 증가율을 계산하여 시장규모를 추정

- 도로교량 및 철도교량의 신규건설 수주규모는 '12년 2,172억원에서 연평균 18.0% 증가하여 '18년 5,851억원으로 조사

- SOC 예산감소를 반영하여 최근 3년간('15~'18년) 연평균 증가율(15.6%)을 '25년까지 증가한다고 가정하면 교량 신규건설 시장규모는 1조 5,488억원으로 예상



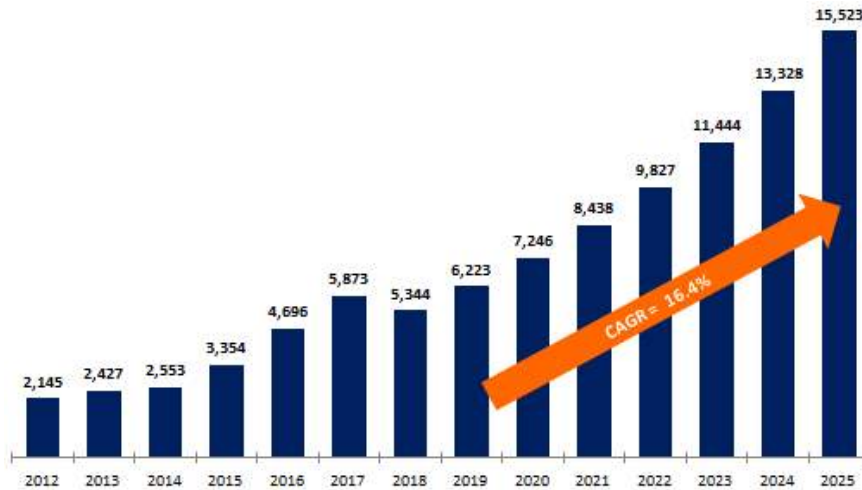
자료: 대한전문건설협회, 전문건설업통계조사 자료 인용 및 재가공

[그림 3.2] 국내 신규 교량건설 시장 전망

- 도로교량 및 철도교량의 유지보수 공사 수주규모는 '12년 2,145억원에서 연평균 16.4% 증가하여 '18년 5,344억원으로 조사

- '25년까지 연평균 16.4% 증가한다고 가정하면 교량 유지보수 공사 시장규모는 1조 5,523억원으로 예상

단위: 억원



자료: 대한시설물유지관리협회, 시설물유지관리업조사 자료 인용 및 재가공

[그림 3.3] 국내 교량 유지보수 시장 전망

□ '18년 국내 도로 및 철도 분야의 교량은 총 37,166개소로 나타나며 지속 증가 추세¹⁹⁾

- '2018년도 도로 교량 및 터널 현황조사'에 따르면 국내 도로교량은 34,297개소로 총 연장은 3,452km로 집계
 - 지난 10년 동안 도로교량 연장은 2,567km에서 3,452km로 34.5% 증가하였으며 전체 도로연장(110,714km)의 3.1%를 차지
 - 케이블 교량은 현수교인 노량대교(남해군)와 사장교인 장자교(군산시), 레고랜드 진입교량(춘천시)이 포함되어 현수교는 9개소, 사장교는 68개소인 것으로 집계
 - 해상교량은 연도교인 선유교(무녀도~선유도)와 장자교(장자도~선유도), 연륙교인 노량대교(하동 금남~남해 설천), 일반해상교인 동백대교(전북 군산~충남 서천)가 포함되어, 연도교는 46개소, 연륙교는 55개소, 일반해상교는 35개소인 것으로 집계
- '18년 철도교량은 3,069개소로 총 연장은 373km로 집계
 - 지난 10년 동안 철도교량 연장은 285km에서 373km로 30.9% 증가하였으며 전체 철도연장(10,092km)의 3.7%를 차지
 - 우리나라에서 가장 긴 철도교량은 호남고속철도 공주~익산간 논산평야를 가로지르는 '정지고가(9.32km)'인 것으로 조사

19) 국토교통통계누리, 도로교량 및 터널현황/철도터널현황_연도별, 2019.12.14

3.2 터널 및 지하공간

3.2.1 세계시장동향

- 국제터널학회(ITA) 회원국의 터널 프로젝트의 예산은 '16년 860억 파운드 규모를 달성하였으며, 향후 8년간 총 6,800억 파운드 규모로 예상²⁰⁾

※ ITA 회원국 등 총 89개국의 약 2,300개 프로젝트를 분석하여 집계

- ITA에 따르면 '16년 터널 건설 프로젝트 예산은 '13년 대비 23% 증가하여 860억 파운드의 규모를 달성하였으며 중국이 전체의 약 50%를 차지
 - '16년 중국이 전세계 총 프로젝트 예산의 약 50%를 차지하고 있으며, 유럽은 97억 파운드, 중동 지역이 102억 파운드의 규모로 부상
 - 연평균 5%의 성장을 예상한 것과 달리 연평균 7% 이상 성장하여 '16년에는 '13년 대비 23% 증가하였으며 향후 5~10년간 지속 성장 전망
- ITA는 향후 8년간('17~'24년) 총 6,800억 파운드로 예산이 증가할 것으로 전망

- GlobalData의 건설정보센터의 데이터에 따르면 '18년 기준 전세계 총 터널 프로젝트는 1조 3,700억 달러로 조사²¹⁾

※ GlobalData의 건설정보센터는 전세계 터널 프로젝트를 추적조사 중에 있으며 프로젝트 예산에는 현재 진행 중인 프로젝트와 계획 중인 프로젝트를 포함

- 유럽은 전세계 프로젝트 예산의 42%에 해당하는 5,626억 달러 규모이며, 아시아-태평양 지역은 4,672억 달러 규모
 - 아메리카 지역은 2,232억 달러, 중동 및 아프리카 지역은 1,089억 달러로 조사
 - 국가별로는 영국이 1,840억 달러로 터널 프로젝트에 가장 많은 예산을 투자하고 있으며 2위는 중국으로 1,620억 달러를 투자
- 현재 계획 중인 프로젝트가 모두 추진된다면 '21년에는 전세계에서 연간 1,710억 달러 이상을 투자할 것으로 예상

20) 국제 터널 및 지하공간 협회(ITA, International Tunnelling and Underground Space Association), WTC 2017

21) GlobalData, Project Insight: Global Tunnel Construction Projects, 2018

3.2.2 국내시장동향

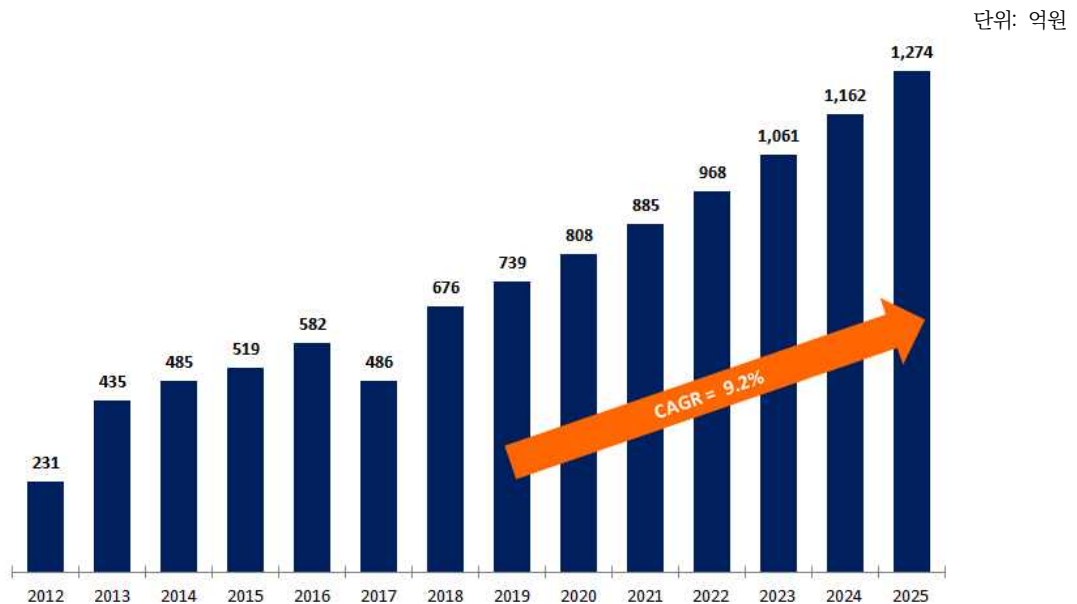
□ 국내 터널시장을 공사수주 실적으로 예측한 결과, '25년 기준 2,947억 규모로 예상되며 유지보수 시장이 신규건설 시장보다 커질 것으로 전망

※ 국내기업 건설 수주 금액(신규건설 수주, 유지보수 공사 수주)의 연평균 증가율을 '25년까지 적용하여 시장규모를 추정

※ 신규건설 수주금액은 '12~'18년 대한전문건설협회 통계자료를 이용하였으며, 유지보수 공사 수주금액은 '12~'18년 대한시설물유지관리협회 통계자료를 이용하였으며 각 적용대상별로 연평균 증가율을 계산하여 시장규모를 추정

- 도로터널 및 철도터널 신규건설 수주규모는 '12년 231억원에서 연평균 19.6% 증가하여 '18년 767억원으로 조사

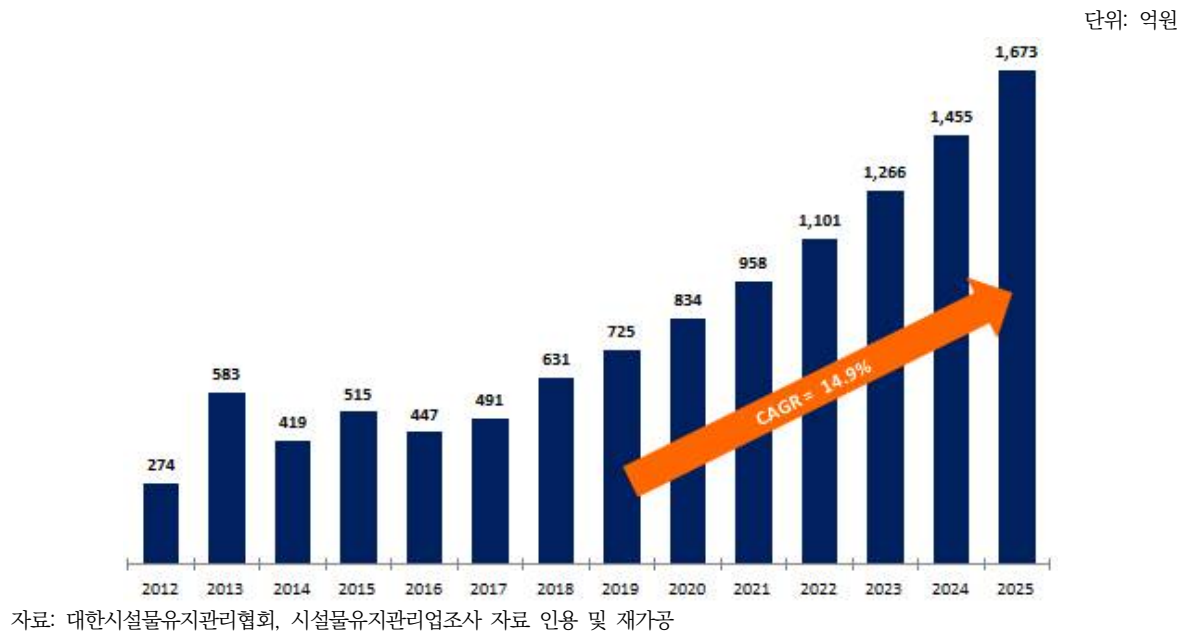
- SOC 예산감소를 반영하여 최근 3년간('15~'18년) 연평균 증가율(9.2%)을 '25년까지 증가한다고 가정하면 터널 신규건설 시장규모는 1,274억원으로 예상



자료: 대한전문건설협회, 전문건설업통계조사 자료 인용 및 재가공

[그림 3.4] 국내 신규 터널건설 시장 전망

- 도로터널 및 철도터널의 유지보수 공사 수주규모는 '12년 274억원에서 연평균 14.9% 증가하여 '18년 631억원을 달성
- '25년까지 연평균 14.3% 증가한다고 가정하면 터널 유지보수 공사 시장규모는 1,673억원으로 예상



[그림 3.5] 국내 터널 유지보수 시장 전망

□ '18년 국내 도로 및 철도 분야의 터널은 총 3,399개소로 나타나며 지속 증가 추세²²⁾

- '2018년도 도로 교량 및 터널 현황조사'에 따르면 국내 도로터널은 2,566개소로 총 연장은 1,897km로 집계

※ 교량 및 터널 현황은 전국 279개 지자체, 지방국토관리청 및 한국도로공사가 온라인으로 입력한 데이터를 토대로 집계

- 지난 10년 동안 도로터널 연장은 910km에서 1,897km로 108.5% 증가하였으며 전체 도로연장(110,714km)의 1.7%를 차지
- 우리나라에서 가장 긴 도로터널은 서울양양고속도로 구간에 위치한 '인제양양터널 (10.96km)'인 것으로 조사

- 국내 철도터널은 833개소이며, 총 연장길이 921km로 나타남

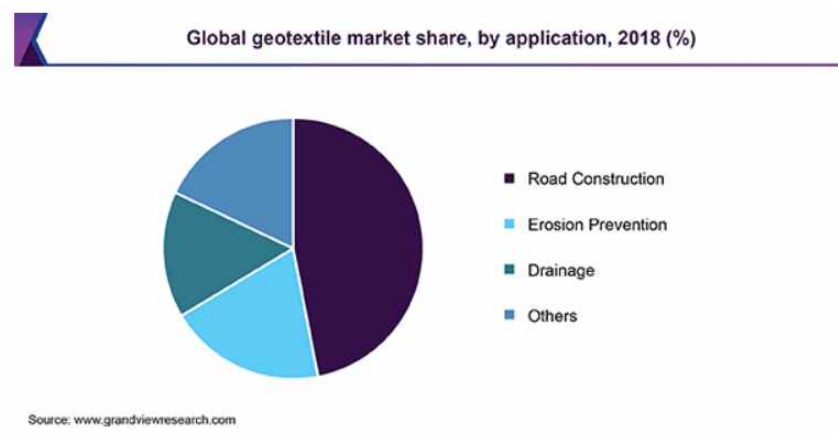
- '18년 국내 철도터널은 총 833개소로 '15년 768개소 대비 65개소 증가하고, 총 연장길이 또한 710km에서 921km로 약 211km 증가
- 우리나라에서 가장 긴 철도터널은 서울의 수서역과 평택의 지제역을 연결하는 '울현터널(50.3km)'인 것으로 조사

22) 국토교통통계누리, 도로교량 및 터널현황/철도터널현황_연도별, 2019.12.14

3.3 비탈면/지반/기초

3.3.1 세계시장동향

- '25년 침식방지(Erosion Control) 시장의 규모는 1억 2000만 달러로 성장 전망²³⁾
 - Grand View Research에 따르면, '18년 7,700만 달러에서 연평균 7% 증가하여 '25년 1억 2,000만 달러의 시장규모를 달성할 것으로 전망
 - 경사 보호, 수로 및 도랑 라이닝, 저수지 제방, 방수로, 배수구, 제방 및 강둑 등 다양한 용도로 활용 가능하며, 개발도상국의 인프라 개발 추세에 따라 긍정적인 미래시장 예측
- Geotextile 시장은 '25년까지 연평균 12% 증가하여 91억 달러의 규모 전망²⁴⁾
 - 글로벌 지오텍 스타일 시장 규모는 '18년 41억 달러로 평가되며, 배수 및 침식 방지에 대한 수요 증가로 인해 '25년까지 연평균 12% 증가할 것으로 예상
 - 인구 증가, 산업화, 도시화로 인한 수요 증가에 따라 신흥 시장의 성장이 가속화 되어 지오텍 스타일의 시장규모는 크게 성장



[그림 3.6] 글로벌 Geotextile 시장 비중

23) QY Research, Global Erosion Control Blankets Market Insights, Forecast to 2025

24) Grandview Research, Geotextile Market Size, Share&Trends Analysis Report By Material(PP, PE), By Product (Non-Woven, Woven), By Application(Road Construction, Erosion Prevention), By Region, And Segment Forecasts, 2019 - 2025

3.3.2 국내시장동향

□ 국내 비탈면시장을 공사수주 실적과 사업예산으로 예측한 결과, '25년 기준 3,672억 규모로 예상되며 유지보수 시장이 신규건설 시장보다 커질 것으로 전망

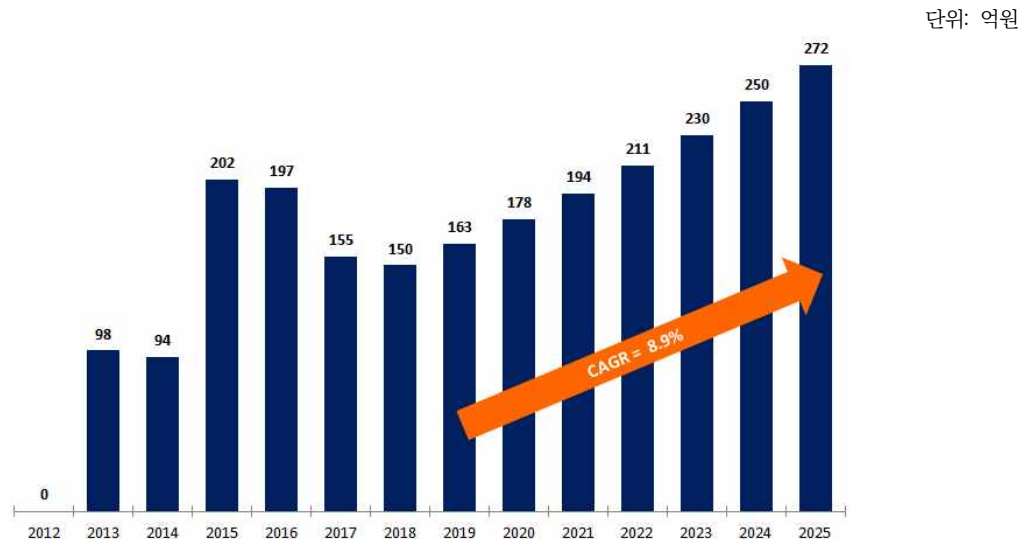
※ 국내기업 신규건설 수주 금액과 급경사지 붕괴위험지역 정비사업 예산의 연평균 증가율을 '25년까지 적용하여 시장규모를 추정

※ 신규건설 수주금액은 '12~'18년 대한전문건설협회 통계자료를 이용하였으며, 급경사지 붕괴위험지역 정비사업 예산은 '15~'20년(투자계획) 행정안전부 재해예방사업 투자실적 자료를 이용하였으며 수주금액과 예산의 연평균 증가율을 계산하여 시장규모를 추정

※ '12년에는 비탈면과 하천 공사 수주액을 함께 조사하여 통계에서 제외

- 비탈면 신규건설 수주규모는 '13년 98억원에서 연평균 8.9% 증가하여 '18년 150억원으로 조사

- '25년까지 연평균 8.9% 증가한다고 가정하면 비탈면 신규건설 시장규모는 272억원으로 예상



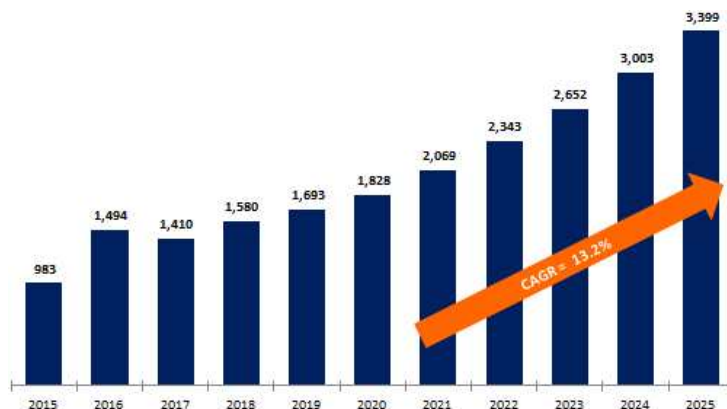
자료: 대한전문건설협회, 전문건설업통계조사 자료 인용 및 재가공

[그림 3.기] 국내 신규 비탈면 건설 시장 전망

- 비탈면 유지보수(급경사지 정비) 시장의 규모는 '15년 983억원에서 연평균 13.2% 증가하여 '20년 1,828억원으로 조사

- '25년까지 연평균 13.2% 증가한다고 가정하면 비탈면 유지보수 공사 시장규모는 3,339억원으로 예상

단위: 억원



자료: 행정안전부 재해예방사업 투자실적 자료 인용 및 재가공

[그림 3.8] 국내 비탈면 유지보수 시장 전망

□ '17년 하절기 집중호우 기간 산사태에 의한 피해액은 139억 원(232개소)으로 동일기간 전체 피해액 871억 원의 16%를 차지

※ 직접적인 시설물 시장보다는 사면붕괴, 산사태 등으로 인한 재해피해 및 복구비용 규모로 간접적인 확인 가능

○ '17년 7월 2일~11일과 7월 14일~16일의 집중호우 기간을 대상으로 산사태에 의한 피해액은 139억 원이며 전체 시설의 피해액 871억 원의 16%를 차지

- 산사태 발생건당 피해액은 60백만 원으로 하천 개소별 피해액 137백만 원의 두 번째로 높은 피해규모

〈표 3.2〉 국내 산사태 피해규모

구 분		단위	물량	피해액 (백만원)	피해액/단위 (백만원)
공공시설	계	개소	2,563	68,359	26.7
	하천	개소	104	14,269	137.2
	소하천	개소	281	12,632	45.0
	도로·교량	개소	149	8,517	57.2
	산사태	개소	232	13,994	60.3
	군사시설	개소	20	632	31.6
	소규모시설 등	개소	1,777	18,315	10.3

자료: 2017년도 재해연보, 국민재난안전포털

3.4 해양구조물

3.4.1 세계시장동향

□ '22년 준설 시장은 약 165억 달러의 규모로 성장하고 필요성 또한 확대 전망²⁵⁾

- Future Market Insights(FMI)에 따르면, 세계 준설분야 시장은 '22년 약 165억 달러의 규모로 성장할 것으로 전망
 - 특히, 중국의 준설시장은 '17년 3,320백만 달러에서 연평균 2.7% 성장하여 '22년 3,800백만 달러의 규모를 달성할 것으로 전망
- 또한, 준설 산업은 새로운 항만 및 해변 보수 공사에 의한 수익 비중이 크므로 여행 및 관광과 안전의 대응책으로서 필요성 확대
 - 지구 온난화로 인한 해수면 증가 및 세계 인구와 해안 지역 인구의 지속적 증가에 따라 침식과 홍수에 대응하기 위한 연안 토지 준설의 필요성 확대
 - 준설 산업은 새로운 항만 건설과 해변 보수 공사에 의한 수익 비중이 크므로 세계 관광 산업의 발전과 밀접한 연관이 있으며, 세계 관광기구(WTO)의 자료에 따르면 '16년 국제 관광객 수는 12억 명 이상으로 조사²⁶⁾

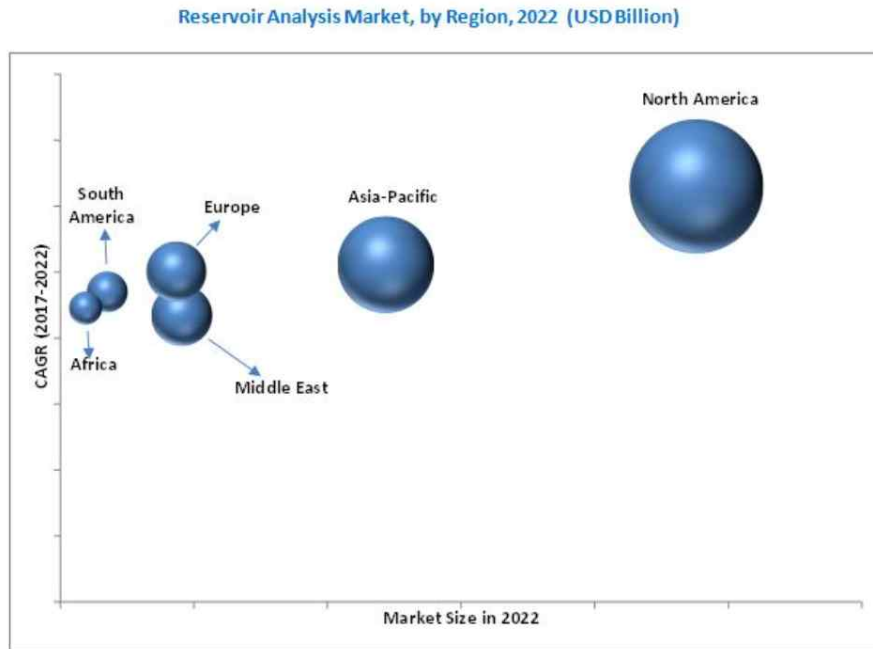
□ '17년 저장지 시장은 73.2억 달러에서 연평균 4.1% 성장하여 '22년 89.5억 달러 전망²⁷⁾

- 저장지 시장의 성장은 경쟁력 있는 석유/가스 장소, 새로운 장소 개발의 증가와 신흥국들의 에너지수요 증대 및 저장지 분석의 신뢰도 향상이 주요 요인으로 작용
 - 석유와 가스의 생산증가가 예상되는 북미(North America)지역이 '22년까지 최고 성장률 및 최대 시장규모를 형성할 것으로 전망

25) Future Market Insights(FMI), Global Dredging Market Set to Grow by 2022

26) Fact.MR, Dredging Market Forecast, Trend Analysis & Competition Tracking - Global Market insights 2017 to 2022

27) Market and Markets, Reservoir Analysis Market by Service (Geo Modeling, & Reservoir Simulation, Data Acquisition & Monitoring, and Reservoir Sampling), Application (Onshore & Offshore), Reservoir Type (Conventional & Unconventional), and Region - Global Forecast to 2022



[그림 3.9] 저장지 시장 지역별 성장률 및 시장규모

자료: MarketandMarkets Analysis

- 인공섬 시장은 인공섬 기반 플랜트 시장 성장과 플로팅 건축 시장 성장으로 연평균 10% 성장할 것으로 예상
 - 글로벌 부유식 플랜트 시장은 '17년 8.9억 달러에서 연평균 11.1% 성장하여 '22년 14.4억 달러로 예상²⁸⁾
 - ※ 부유식 플랜트는 가스 및 오일 생산하는 부유식 플랜트, 부유식 해상풍력 플랫폼, 태양 발전을 위한 인공섬으로 구분
 - 부유식 플랜트 시장의 성장은 전력 부족으로 인한 전력생산 수요 증가, 육상 발전플랜트 건설의 한계 극복, 신재생에너지 효율 향상이 주요 요인으로 작용
 - 세계 부유식 건축시장은 '10년 72억 달러이며 연평균 10%씩 성장할 것으로 예상²⁹⁾
 - 해상주거시설, 해상마리나, 해상복합레저단지 등 다양한 목적으로 부유식 건축 시설이 활용됨에 따라 시장은 지속적으로 성장할 것으로 전망

28) Market and Maekets, Floating Power Plant Market by Power Source (Non-Renewable (Gas Turbines, IC Engines), Renewable (Solar Panels, Solar Floating Structure, Wind Turbines, Wind Substructure)), Capacity, and Region - Global Forecast to 2022, 2017.08.

29) 강영훈, 부유식 수상거주시설 건축계획의 관한 연구, 2013

3.4.2 국내시장동향

□ ‘제2차 신항만건설기본계획(’19~’40년)에 따라 신규항만 12곳이 건설될 것으로 계획되어 국내 항만 시장은 ’40년까지 총 41.9조원으로 예상³⁰⁾

- 신규항만 12곳은 재정 16조 819억, 민자 25조 7,734억원 규모로 계획
 - 정부의 재정투자는 방파제, 준설 등 기반시설을 민간투자는 부두, 배후단지 등 수익성 시설에 투자할 계획
 - 지난 20년간(’98~’18년) 연평균 1.3조원 수준의 민간재원이 필요하나, 현재 연간 항만분야 민간투자는 연간 2조원 수준으로 수용가능 규모
- 총 투자액의 32.4%가 부산항 신항에 투입되며, 그 다음으로는 광양항(17.5%), 울산신항(16.1%) 순서로 투자
 - 정부투자는 부산항 신항(32.3%), 제주신항(11.3%), 새만금신항(9.9%)의 순서이며, 민간투자는 부산항 신항(32.4%), 광양항(23.5%), 울산신항(21.3%) 순

〈표 3.3〉 항만별 투자계획

단위: 조원, %

구 분	총 투자액		재정		민자	
	투자액	비중	투자액	비중	투자액	비중
인천 북항	0.2	0.5%	0.2	1.2%	-	-
인천 신항	2.2	5.1%	1.3	8.3%	0.8	3.2%
평택당진항	2.8	6.8%	1.2	7.6%	1.6	6.2%
보령신항	0.1	0.2%	0.1	0.5%	-	-
새만금신항	2.9	6.9%	1.6	9.9%	1.3	5.0%
목포신항	0.4	1.0%	0.2	1.2%	0.2	0.9%
광양항	7.3	17.5%	1.3	7.8%	6.0	23.5%
부산항 신항	13.6	32.4%	5.2	32.3%	8.4	32.4%
울산 신항	6.8	16.1%	1.3	7.8%	5.5	21.3%
포항영일만항	1.4	3.4%	1.1	6.6%	0.4	1.5%
제주 신항	2.9	6.8%	1.8	11.3%	1.0	4.0%
동행신항	1.4	3.3%	0.9	5.4%	0.5	2.0%
합 계	41.9	100.0%	16.1	100.0%	25.8	100.0%

자료: 해양수산부, 제2차 신항만건설기본계획

30) 해양수산부, 제2차 신항만건설기본계획(2019-2040), 2019.8.2.

□ 최근 10년간의 해양 준설량은 약 20,503만㎥ 규모로 연평균 2,050만㎥ 수준

- 최근 10년간('08~'17년)의 국내 해양 준설량은 약 20,503만㎥로 조사되어 연평균 2,050만㎥ 규모이며, 최근 3년간 다소 감소 추세
- 약 416개소에서 96,314만㎡의 면적을 대상으로 준설사업이 추진되었으며, 총 1조 4,789억 원 투자

〈표 3.4〉 최근 10년간 국내 해양 준설량

구 분	준설장소(개소)	준설량(만㎥)	준설면적(만㎡)	투자금액(백만원)
'08년	61	2,598	9,973	150,116
'09년	60	2,150	7,484	129,564
'10년	34	1,897	5,081	160,489
'11년	50	3,119	11,591	228,265
'12년	51	2,114	13,663	197,184
'13년	21	745	4,488	60,151
'14년	30	987	3,476	77,448
'15년	14	2,825	10,080	154,526
'16년	38	2,744	17,581	232,340
'17년	57	1,324	12,897	88,892
합 계	416	20,503	96,314	1,478,975

자료: 국가통계포털, 준설현황(해양수산부, 항만시설 및 능력현황)

3.5 특수구조물

3.5.1 세계시장동향

- 중국은 '18년 1월 26일 북극정책백서를 공식 발간했으며 해상 인프라 구축을 통해 중국-북극-유럽대륙을 연결하는 일대일로 전략을 가속화
 - 중국은 자국을 '근(近) 북극국가'로 칭하며 북극 항로의 개발 이용을 통해 공동으로 '빙상 실크로드'를 구축하겠다고 발표
 - '05~'17년 중국이 북극권 국가에 투자한 금액이 1조 4000억 달러(약 1,521조 원)로 추정되고 이 중 인프라 투자에는 892억 달러(약 97조원)가 투입
 - 북극해를 관통하는 10,500 km 해저 데이터 케이블 건설 산업을 통해 물류 등 하드웨어뿐만 아니라 소프트웨어에서도 유럽과 연결성을 향상할 계획을 구상
 - 러시아와 천연 가스 확보를 위한 북부항로 (NSR) 인프라 개발 협력을 강화하고 북유럽 국가의 인프라 건설 수주에 참여
 - '18년 12월 북극풍과 계절적 변화로 40도의 온도차가 있는 극한 환경에서도 내구성을 확보한 북극권 최장 현수교 Batstadsander 교량을 완성
 - 중국 기업은 스웨덴 Lysekil 항의 확장, 도로, 철도 및 교량에 투자했으며 그린란드 Kalaallit 공항 건설 수주에 성공
- ※ 중국은 '09년 남극대륙 최고(最高) 쿤룬(昆崙) 기지 인근에 길이 4km, 폭 50m의 임시활주로를 만들었으며 '18년 영구적 공항건설을 추진
- 북빙양의 해빙이 지속되며 러시아, 핀란드, 노르웨이, 캐나다 및 미국이 긴밀히 협조하여 향후 15년간 북극 지역에 1조 달러 규모의 인프라 투자를 계획
 - 17년 말 야말-네네츠 자치구 3개 가스센터 개발을 시작해 25년까지 총 6개를 완성 시 매년 총 6,500억 m³로 가스를 생산하게 되며 연간 4,500만 톤의 석유와 3,300만 톤의 LNG를 생산해 유럽에 공급
 - 야말-네네츠 서쪽 카라해(Kara Sea)에서는 얼음에 강한 'Prirazlomnaya' 플랫폼을 통해 북극해에서 석유를 추출이 가능할 것으로 예상

3.5.2 국내시장동향

- 우리나라는 우주 건설 기술 분야에서 우주 선진국들과 경쟁할 수 있다고 판단하고, 한국건설기술연구원에서는 기술개발을 위해 총 70억원을 투자
 - 한국건설기술연구원은 미항공우주국(NASA)의 제안을 받아 달 표면 환경을 그대로 재현한 ‘지반열 진공챔버(Dirty Thermal Vacuum Chamber)’를 제작완성
 - 지반열 진공챔버 제작에 '16년부터 '19년까지 총 70억 원을 투입
 - '17년 6월 한국건설기술연구원에서는 문 빌리지 포럼을 개최했으며 ‘우주 현지 자원 활용’ 분야에 대해 한국 건설 기술의 선제적 대응방안과 역할을 모색
 - 정부는 '19년 미국 NASA에서 진행하는 국제우주정거장(ISS)를 대체 프로젝트 ‘달 궤도 플랫폼 게이트웨이(LOP-G)’ 건설에 참여
- 우리나라는 산업현장 안전규제 강화에 대한 요구가 높아짐에 따라 방호방폭 분야 기술 개발을 위해 '17~'19년간 총 41억원을 투자
 - '19년 4월 방호방폭연구단에서는 방호·방폭 기능을 갖춘 고성능 섬유보강 시멘트 복합재(HPFRCC, High Performance Fiber Reinforced Cement Composite) 개발에 성공
 - 내화성능 확보 신규 방호·방폭 구조물 건설용 HPFRCC 재료, HPFRCC 프리캐스트 방호구조물, HPFRCC 구조부재 내충격 및 방폭 성능평가 가이드라인 등을 개발
- 화석연료 고갈과 탐사·시추기술 발달로 동토지역 자원에 대한 상업적 개발이 활발해지면서 국토교통과학기술진흥원은 '13~'18년간 동토지역 자원이송망 설계, 시공 및 유지관리 기술을 위해 총 248억원을 투자
 - 한국건설기술연구원에서는 영하 40℃ 이하의 극한지 온도조건을 반영한 2,000km급 장거리 자원이송망-기반구조물 설계 및 평가기술을 개발
 - 5년 내 예정 프로젝트 규모만 100억 달러 이상인 극한지 대형프로젝트에서 러시아 국영기업 가스프롬(Gazprom) 인증을 통해 국내 기업의 현지 진출에 기여

3.6 수공구조물

3.6.1 세계시장동향

- '19년 기준 콘크리트 댐 세계시장규모는 37.8억 달러이며, 2.5%의 성장률을 기록하여 '24년에 43.7억 달러규모를 형성할 전망³¹⁾
 - 콘크리트 댐의 한 종류인 중력 댐(gravity dam)은 '17년 25.34억 달러의 시장 규모를 형성하였고, 이는 전체 댐 시장의 약 67% 차지
 - 콘크리트 댐에는 중력 댐, 버트레스 댐 및 아치 댐 등 세 가지 유형으로 구분
- '18년 기준 국제대댐회(ICOLD)에 등재된 세계 대(大)댐 수는 97개 국가에 57,199개 분포³²⁾
 - ※ 대(大)댐: 높이가 15m 이상 또는 높이가 5m 이상이고 저수지량이 3백만m³인 댐
 - 중국과 미국은 각각 23,841개, 9,263개의 대댐을 보유하여 세계 1위와 2위를 기록하고, 양 국의 대댐 수는 전 세계의 약 58% 차지
 - 한국은 1,338개의 대댐을 보유하여 6위 자리에 올라있고, 전 세계의 약 2.3% 차지

3.6.2 국내시장동향

- 국내 하천시장은 '17년부터 '25년까지 총 28조원으로 국가하천시장은 4조원, 지방하천시장은 14조원으로 예상
 - ※ 국내 하천시장은 국가·지방하천 종합정비계획('16~'25)의 단계별 투자계획으로 추정
 - 의견수렴 및 관련계획 검토 등의 대상지구 선정기준에 의한 장래사업계획은 국가 하천 152개 지구(3.5조원), 지방하천 1,916개 지구(28.6조원)로 선정되었으며, 국가·지방하천 정비사업 예산규모 등을 고려하여 단계별 투자계획을 수립³³⁾
 - 국가하천의 현 예산규모는 '13~'15년 평균 연 0.4조원이고 지방하천은 현 예산 규모는 '13~'15년 평균 연 0.7조원으로 지방하천 예산규모를 고려하면 정비 완료에 최소 20년 이상 소요될 것으로 예상

31) MarketWatch. 2019

32) International Commission On Large Dams

33) 유신기술회보 23호, 국가 및 지방하천 종합정비계획, 2016.12.

- 국비와 지방비를 포함하여 총사업비 1.8조원/년 규모(국가하천 0.4조원/년, 지방하천 1.4조원/년)를 기준으로 연차별 투자계획을 수립
- 국가하천은 '20년까지 1.99조원, '25년까지 2.01조원을 투자할 것으로 예상되며, 지방하천은 '20년까지 6.88조원, '25년까지 7.12조원을 투자할 것으로 예상
 - 지방하천은 효율적인 사업추진을 위해 광역시·도별 예산배분 기준에 따라 투자계획을 수립

〈표 3.5〉 국가·지방하천 단계별 투자계획

(단위: 억원)

구 분		합계		중기 투자계획	
		사업개소수	총사업비	~'20년	~'25년
국가하천		67	40,000	19,900	20,100
지방하천	소계	1,518	140,000	68,767	71,233
	서울	1	1,176	472	704
	부산	20	2,180	1,092	1,088
	대구	13	1,858	1,006	852
	인천	13	986	522	464
	광주	9	1,194	648	546
	대전	15	1,239	642	597
	울산	15	2,422	1,130	1,292
	세종	17	1,692	826	866
	경기	143	15,732	7,670	8,062
	강원	152	14,266	6,824	7,442
	충북	101	9,794	4,968	4,826
	충남	200	13,813	6,816	6,997
	전북	136	14,388	7,212	7,176
	전남	182	16,210	7,942	8,268
	경북	184	19,876	9,759	10,117
	경남	276	19,592	9,446	10,146
	제주	41	3,581	1,792	1,789

자료: 유신기술회보 23호, 국가 및 지방하천 종합정비계획, 2016.12.

4. 기술동향

4.1 교량

4.1.1 강구조/합성구조 교량

- 스테인리스 강은 가볍고 내식성이 높으나 비용이 비싸 건설 분야에 사용되지 않다가 최근 기술의 발전으로 가격이 저렴해지면서 교량에 적용되는 사례 증가
 - 영국 Cumbria의 Pooley Bridge는 '15년에 홍수로 무너진 이후 '17년 스테인리스 강교량으로 제작하여 '20년 1월에 완공될 예정
 - 새로운 Pooley Bridge 교량은 40m 경간의 아치형 교량으로 아치교는 스테인리스로 제작되고 상판은 콘크리트로 제작
 - 교량의 형식은 지역 커뮤니티가 참여하여 주변의 아름다운 풍경과 조화를 이룰 수 있도록 오픈형 아치교로 선정
 - 건설사는 교량 건설 경험뿐만 아니라 금속 가공분야에서 우수한 기술을 보유하고 있는 WEC Group Ltd로 선정



자료: Cumbria 홈페이지(<https://www.cumbria.gov.uk/pooleybridge/>)

[그림 4.1] 영국의 스테인리스 강교량 Pooley Bridge

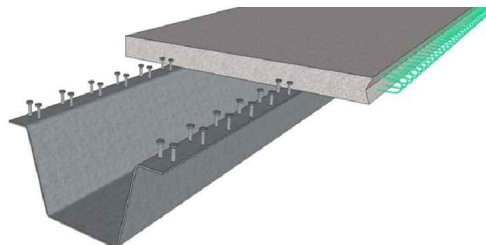
- 캐나다 토론토시는 캐나다 최초로 100% 스테인리스 강교량 Garrison Crossing을 건설하여 Ordinance Park, Stanley Park 및 Fort York Grounds의 세 공원을 연결
- Garrison Crossing의 북쪽 교량 경간은 52m, 남쪽 교량 경간은 58m인 아치교로 상판은 사다리꼴의 스테인리스 스틸 박스 거더로 건설
- '16년 8월 스테인리스 스틸로 제작하기 시작하여 '18년에 660톤의 크레인으로 들어올려 시공하였으며 '19년 완공



자료: Garrison Crossing 홈페이지(<https://garrisoncrossingbridge.ca/design-build-team/>)

[그림 4.2] 캐나다의 스테인리스 스틸 교량 Garrison Crossing

- 미국의 SSSBA(Short Span Steel Bridge Alliance)에서는 급속시공을 위한 모듈화된 강합성교량 기술 개발
- 미국 워싱턴 DC의 SSSBA(Short Span Steel Bridge Alliance)에서는 단경간에 건설할 수 있는 강합성교량 PBTG(Press- Brake-formed Steel Tub Girder)를 개발하여 시공 예정³⁴⁾
 - 노후 강합성교량의 프리캐스트 바닥판에 대한 급속 전면교체 및 부분교체를 위한 시공방법을 개발하고 교량 연결부의 구조성능을 개선하기 위하여 프리캐스트 바닥판에 프리스트레스를 도입한 강합성 콘크리트 바닥판 공법 등 개발



자료: Short Span Steel Bridge Alliance 홈페이지(<https://www.shortspansteelbridges.org/>)

[그림 4.3] 강합성교량 PBTG 개념도

34) <https://www.shortspansteelbridges.org/>

□ 일본과 한국은 고성능 내후성 강재를 이용한 강교량 적용기술 개발

- '15년 일본의 국토교통성 국토기술정책종합연구소에서 내후성강교량의 활용성을 높이는 연구를 바탕으로 전체 강교 중 내후성강교의 비율을 계속적으로 증가
 - 강재의 부식저항력을 향상시킨 내후성강재는 미국에서 1933년 건축물의 외장재로 개발되었으나, 일본에서 '60년 이후부터 교량에 내후성강재를 적용하기 시작
 - 최근 일본에서는 정책적으로 국가 주도하에 신설 강교량의 20~30%에 내후성강을 적용 및 활용³⁵⁾
 - 내후성강교의 용접재료 및 시험평가 방법, 유지관리 지침서, 구조성능 등을 평가하여 무도장 내후성강을 강교량에 적용하기 위한 연구 진행³⁶⁾
 - 무도장 내후성강은 초기도장 및 재도장이 불필요하므로 양호한 유지관리 및 가설기간 단축의 장점 존재
- '18년 한국철도시설공단과 포스코는 고성능 내후성 강재를 개발하여 서해선(홍성~송산) 복선전철 삼교천교 횡단구간(충남 홍성군 소재)에 국내 최초로 적용
 - 철도공단이 개발한 내후성 강재는 기존에 사용하던 강재와 비교하여 겨울철에도 파괴에 대한 안전성이 최대 2배 향상되고, 강도는 최대 17% 향상
 - 또한, 무도장 강재는 도장공사에서 발생하는 환경오염물질을 차단하여 대기 및 수질오염 예방이 가능하고 유지보수 작업이 최소화되어 생애주기비용 절감 가능

□ 네덜란드 합작 투자회사인 MX3D는 3D 프린터를 이용한 세계 최초 강교량을 제작

- 네덜란드 합작 투자회사인 MX3D에서는 3D 프린터를 이용한 스테인리스 강교량을 제작하여 암스테르담 운하에 설치 예정
 - 교량의 길이는 12.5m, 폭 6.3m로, 4개의 로봇으로 약 6개월 간 제작하였으며 EU로부터 2018 START prize에서 최우수상을 수여³⁷⁾

35) 경갑수 외 4인, 국내외의 교량 현황조사 및 시사점, 한국강구조학회지 29(6), 2017.12

36) 조광일 외 3인, 내후성강재의 강교량 적용기술 개발, 한국강구조학회지 29(4), 2017.08

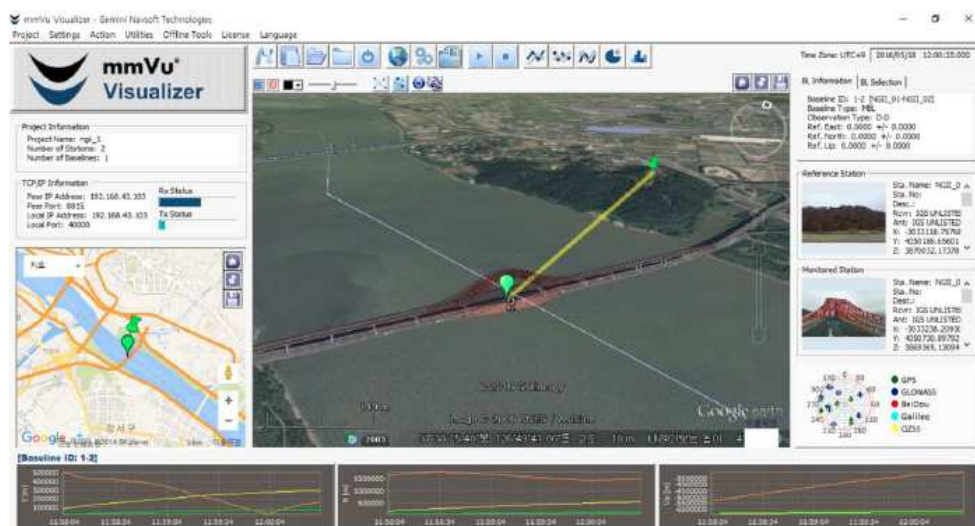
37) <https://ars.electronica.art/aeblog/en/2018/06/05/3d-printed-steel-bridge>, 2018.06



[그림 4.4] 3D 프린터로 개발된 세계 최초 강교량

□ 국토교통부는 스마트 센서 기반의 지능형 교량 시설물 모니터링 기법을 개발

- 교량 구조물의 상태 판단, 보수보강 및 재해 예방을 위하여 GNSS, 무선통신용 환경센서, 드론영상 데이터를 무선 네트워크로 전송하여 중대형 교량구조물의 실시간 변위 및 거동을 초정밀단위로 측정하는 교량 시설물 안전 모니터링 기법을 개발³⁸⁾
 - 무선통신용 환경센서는 진동, 온도, 습도, 조도, CO₂량, 적외선상태 등을 측정
 - 무선통신용 IoT기반의 환경센서와 USN 방식을 결합하여 프로그램을 개발하여 간단하게 현장에서의 필요한 거동 데이터를 측정하고, GPS 3차원 위치 값으로 정확한 측정지점에 대한 데이터 획득
 - GNSS 기반의 mmVu프로그램은 캐나다 Gemini Navsoft Technologies社에서 개발한 것으로, 구조물의 미세변위를 실시간으로 측정 가능



[그림 4.5] 방화대교에 대한 GNSS기반의 mmVu 프로그램을 통한 실시간 변위 분석

38) 연상호, 김중수, 연준흠, 한국지리정보학회지 22권 2호, 스마트 센서 기반의 교량 시설물 안전 모니터링 기법 연구, 2019.06

- 강구조의 피로 균열을 조기진단하기 위하여 실시간 피로균열 모니터링을 위한 비파괴 진단기법, 균열 시각화 및 정량화 관련 기술 개발
 - 열탄성 응력해석에 기반한 수동 열화상 기법과 능동 열화상 기법을 통합한 레이저 통합 열화상 기법을 기반으로 한 마이크로 단위의 균열 모니터링 기술 개발³⁹⁾
 - 기존의 대표적인 비파괴진단기법은 음향방출기법 및 비선형 초음파 기법 등이 있으나, 검사 영역이 한정되며 내구성이 낮은 한계가 존재
 - 높은 해상도의 비전 카메라를 활용한 피로균열 촬영은 이물질을 균열로 인식하는 한계가 존재
- 이미지분석 및 LS-SVM 등의 알고리즘을 사용하여 강구조 교량의 부식에 의한 녹 면적 결정을 고정확도로 사용자가 일괄적으로 판단할 수 있는 검측기술 개발⁴⁰⁾
 - 이와 더불어 환경조건별에 따른 빅데이터를 바탕으로 한 강재 교량의 부식 손상량 예측 기법에 대한 연구 진행⁴¹⁾

39) 안윤구, 장근영, 황순규, 한국강구조학회지 31권 4호, 강부재의 피로 균열 모니터링을 위한 수동 및 능동 레이저 통합 열화상 기법, 2019.08

40) K.W.Liao, Y.T.Lee, Automation in Construction 71(2), Detection of rust defects on steel bridge coatings via digital image recognition. 2016.11

41) 안윤구, 장근영, 황순규, 한국강구조학회지 31권 4호, 강부재의 피로 균열 모니터링을 위한 수동 및 능동 레이저 통합 열화상 기법, 2019.08

4.1.2 콘크리트 교량

- 건설기업들은 해상교량 건설의 장대화, 공기단축, 품질향상 등을 위해 모듈화 공법, 스마트 조립 및 용접 자동화, FSLM공법 등 새로운 건설기술을 개발
 - 강주아오 대교의 총 연장 55km 중 해상교량은 35.6km이며, 대교의 사용수명은 120년, 16급 태풍과 규모 8.0 지진에도 견딜 수 있도록 설계
 - 주 교량 구간 상부구조는 강박스형교 및 철강-콘크리트 합성교 구조로 적용되었으며 메인 교량상판 철강 사용량만 42만톤
 - 세계 최초의 스마트 강박스형교 패널 유닛 생산라인을 구축하여 스마트 조립과 용접 로봇 시스템이 도입돼 공기 단축 및 품질향상
 - 현대건설은 쿠웨이트의 셰이크 자베르 코즈웨이 프로젝트를 수주하여 36.1km의 해상교량을 건설
 - ※ 프로젝트는 총 연장 36.1km(해상27.5km, 육상 8.6km)의 해상교량, 약 33만㎡ 규모의 인공섬(남측/북측 각 1개소)과 건물 및 기계·전기·통신공사 등을 건설
 - 해상 교량 부분의 주교량 340m 구간은 고난이도의 설계와 시공이 필요한 비대칭 복합 사장교로 건설
 - 해외 저명한 설계사와 주탑 모형 실험 등을 시행하고, 현대건설의 R&D 센터를 중심으로 국내 우수 대학들과 공동 시험을 진행해 교량의 안전성을 검토
 - 차량이 통행하게 될 해상교량 상부공에는 FSLM(Full Span Launching Method, 교량 상판 일괄가설 공법) 공법을 적용
 - 세계 최대 규모로 꼽히는 1800톤 PC 박스 거더를 FSLM 공법으로 설치하기 위해 플로팅 크레인과 런칭 갠트리 등 각종 특수중장비를 제작했으며, 수심에 따라 적합한 설치 방법을 적용해 공정을 진행
 - 별도 마련된 제작장에서 폭 17m, 형고 4m, 길이 60m의 PC 박스 거더를 이들에 하나 꼴로 약 1,000개를 제작하여 특정 위치로 해상 이동해 일괄로 설치
 - 다리를 떠받치는 해상 교각 기초작업의 경우 직경 2.5~3.0m의 전체 1,160개로 해상에 40~60m 간격으로 적용하고 해저에 최대 길이 70m 가량의 기초 기둥을 철근 모듈화 작업을 적용해 공기단축 및 품질확보



자료: 현대건설 홈페이지, 현대건설, 20억 6,000만달러 규모 '쿠웨이트 코즈웨이 해상교량공사' 수주

[그림 4.6] 쿠웨이트의 셰이크 자베르 코즈웨이 프로젝트

□ 중국, 네덜란드 등은 3D 프린터를 이용한 콘크리트 교량을 건설 중

- 네덜란드 공공사업·물관리국과 네이 메헨시 디자이너 미셸 반 데르 클레이는 연장 29m, 5경간 보행자·자전거 콘크리트 교량을 3D 프린터로 건설
 - 기존의 시공방법으로는 실현 불가능한 비선형을 사용한 디자인을 3D 프린터를 이용하여 건설
 - 교량은 39개의 부재로 나누어 인쇄한 후 가설현장 근처에서 조립하고 1경간씩 프리스트레스를 도입해서 일체화
- 중국 칭화대학교 건축대학은 연장 26.3m, 폭 3m의 보행자 전용 콘크리트 교량을 3D 프린터를 이용하여 건설
 - 상해 바오산구에 있는 작은 운하를 가로지르는 교량은 칭화대학교 건축대학 산하 디지털건축 연구센터가 설계하고 상하이 위즈덤베이 투자관리회사가 시공
 - 176개의 콘크리트 유닛으로 이루어진 이 아치형 다리는 두 대의 로봇팔 3D 프린팅 시스템을 이용했으며, 전체 유닛을 출력하는데 450시간이 소요
 - 다리의 주요 구조물에 템플릿이나 보강재를 사용하지 않기 때문에 기존 방식으로 제작했을 때와 비교해 건설비가 1/3이상 저렴



자료: 닛케이XTECH, 世界最長の3Dプリンター橋が間もなく誕生, 2019.06.20.
한국디자인진흥원, 세계에서 가장 긴 3D 프린팅 콘크리트 교량, 상하이에 건설, 2019.02.08.

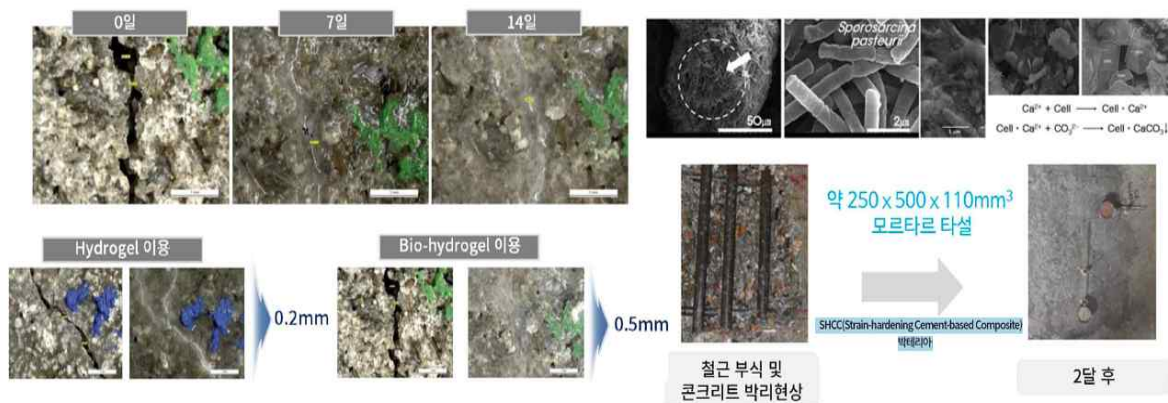
[그림 4.7] 네덜란드(좌)와 중국(우)의 3D 프린터를 이용한 콘크리트 교량

□ 세계 각 국에서는 자기 치유 콘크리트 개발을 위한 연구개발 추진

- 유지보수가 어려운 시설물의 장기 건전도 향상에 대한 대책 요구의 증대와 사회적 유지관리 비용절감 등의 건설산업에 대한 시대의 요구에 따라, 자기치유형 친환경 콘크리트에 대한 필요성 증대 및 기술개발이 활발히 진행⁴²⁾
 - 국내에서는 콘크리트 표면에 자기치유 코팅제를 도포하여, 코팅된 캡슐이 파괴되면서 균열부에 자기치유하며 특별한 촉매제 없이 태양광에 의해 경화되는 기술을 개발
 - 또한, 유·무기계, 박테리아, 캡슐 등을 활용한 균열제어형 자기치유 콘크리트 및 반응제어형 자기치유 콘크리트를 개발하고 있으며, 성능평가 표준화 기술 및 실용화 전략을 수립하여 연구를 진행
 - 일본에서는 상하수 처리 시설의 고내구화를 위하여 미생물과 티탄공법을 융합한 자기정화용 피복공법에 대한 연구가 진행
 - 네덜란드의 TU Delft에서는 탄산칼슘을 생산하는 박테리아를 사용해 스스로 치유하는 콘크리트를 개발하여 자기치유 기술을 선도하고 있으며, 박테리아와 우레아를 넣은 경량골재를 사용하여 에콰도르의 Cruzsacha 운하에 적용 및 SHCC(Strain-Hardening Cement-based Composite)에 박테리아를 보수재료로 활용하여 다양한 환경조건에서의 patch repair로 적용
 - 또한 강섬유를 포함한 아스팔트에 열을 가하여 역청을 재생하는 Self-healing 아스팔트를 개발하였으며, 네덜란드 고속도로의 일부 구간에 시범 적용하여 유지관리 비용절감 효과를 확인

42) 이광명, 자기치유 콘크리트 기술 현황과 미래 전망, 2018.02

- 미국에서는 마이크로 캡슐을 이용한 폴리머 재료의 균열 자기치유와 액상 치유제를 이용하여 일회 파손이 일어난 경우 치유 효율이 90%에 이르도록 개선
- 덴마크의 COWI社에서는 healCON 프로젝트(2013-2017)의 일환으로 박테리아 콘크리트를 터널에 시험적용하여 유지관리 비용 최대 2% 절감효과를 기대



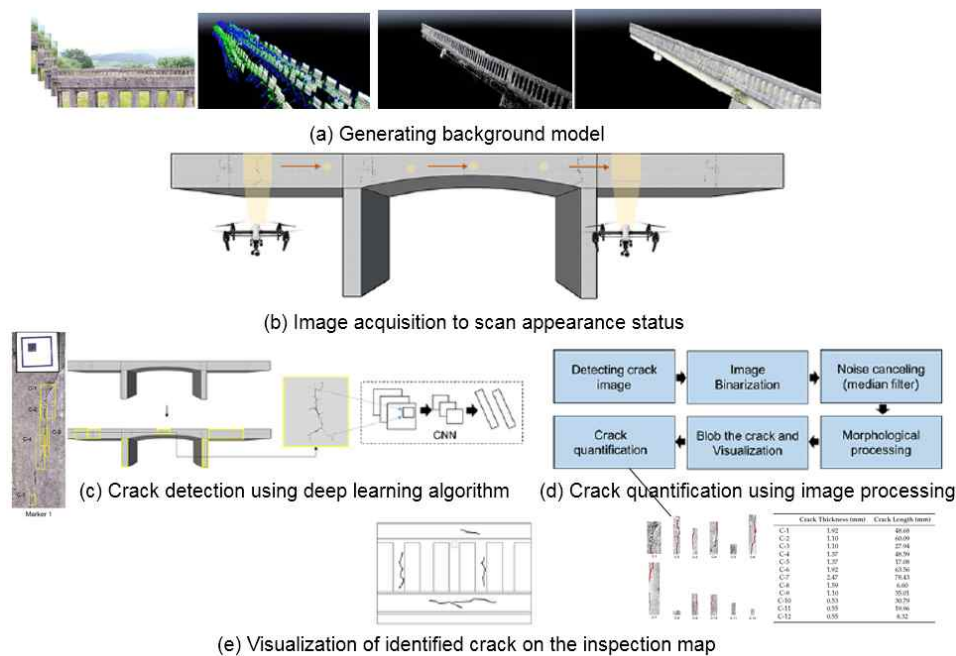
[그림 4.8] 자기치유 콘크리트 개발

□ 전 세계적으로 친환경 콘크리트의 개발 및 활용 증가

- 환경영향을 최소화하고 경제적이고 환경 친화적인 콘크리트 재료를 활용하여 지속 가능한 건설을 목표하는 세계적인 움직임이 지속적으로 증가
 - 국내에서는 친환경적이면서 전통적인 재료인 황토를 활용하여 시멘트의 대체 재료로 사용
 - 황토의 건조수축 변형을 방지하기 위하여 고흡수성 수지 또는 PET병을 재활용한 PET fiber 등을 활용하여 수축균열을 방지하는 연구개발 수행
 - 미국 UCLA에서는 이산화탄소를 바인더로 활용하는 인공지능 및 기계학습 기반의 친환경 3D 프린트 콘크리트 재료를 개발하는 것을 목표로 함⁴³⁾
 - 바텀애시, 고로슬래그, 페로니켈슬래그 등의 산업부산물을 활용한 시멘트의 함유율을 줄여 콘크리트의 환경부하를 줄이는 연구와 폐콘크리트의 재활용, 순환 골재의 성능 및 경제성을 향상시키는 연구는 전 세계적으로 꾸준히 수행

43) <https://www.3dprintingmedia.network/ucla-1-5m-eco-friendly-3d-printed-concrete/>, 2019.08

- 국내에서는 드론을 이용한 이미지 분석기법과 증강현실기법을 이용한 콘크리트 교량 유지관리 플랫폼 관련 연구개발 추진
 - 기존 육안점검 및 조사를 대신하여 드론과 딥러닝 기반의 이미지 분석기법을 활용하여 콘크리트 구조물의 외관조사를 용이하게 하는 기술 개발⁴⁴⁾
 - 급속한 고령화 및 노후화된 구조물의 수량 증가에 따른 잠재적 안전사고가 내재됨에 따라, 효율적 유지보수 및 관리를 위한 구조물 진단기술에 대한 관심 증가
 - 드론으로 스캐닝 및 3차원 모델을 구성하여, 딥러닝 기반의 손상 면을 매핑하여 구조물 유지관리를 위한 입체 영상 플랫폼 및 AR 시각화를 통한 현장활용 기술 연구⁴⁵⁾



[그림 4.9] 무인항공기 드론을 이용한 균열 탐상 개요도

44) I.H.Kim, H.M.Jeon, S.C.Baek, W.H.Hong, H.J.Jung, Sensors 18(6), Application of Crack Identification Techniques for an Aging Concrete Bridge Inspection Using an Unmanned Aerial Vehicle. 2018.06

45) 박만우, 증강현실 기법을 이용한 구조물 유지관리 플랫폼 개발, 한국BIM학회, 2019.06

4.1.3 신소재 복합재료 교량

□ 국내외에서 콘크리트 품질향상을 위해 나노소재 등을 활용한 경량, 고강도 콘크리트 개발 활발⁴⁶⁾

- 해외에서는 나노소재 이용 콘크리트 기술은 기존에 주로 탄소기반의 CNTs 활용에 중점을 두고 있으나, 최근에는 CNTs의 대량합성 및 품질 고도화와 다양한 나노소재 활용 콘크리트의 품질향상(고강도 및 내구성 향상) 측면에서의 기술 개발에 초점
 - 나노 실리카, 개질 유황 및 슬래그 재료 활용한 콘크리트 기술 개발, 나노 섬유 활용 콘크리트 강도 증진 및 염해저항성 개선 연구, Al₂O₃, TiO₂ 및 ZrO₂ 등 나노소재 혼입 콘크리트 연구 등이 진행 중
 - 유럽에서는 콘크리트에 나노소재를 적용하여 강도 및 내구성을 향상시키는 대규모의 기술개발 프로젝트가 진행 중
 - 일본은 경량골재를 활용하여 단위중량과 압축강도를 획기적으로 증가시킨 콘크리트를 개발하여 교량 및 고층 빌딩에 적용
 - '13년 도쿄 하베노 하루카스 빌딩 상부에 1.85t/m³, 압축강도 21MPa의 경량 고강도 콘크리트를 적용하여 하층부 축력을 20% 절감
 - Guggenheim Museum과 The Grenland Bridge 등의 랜드마크성 건축물과 토목 구조물에 경량 콘크리트 적용이 꾸준히 이루어지고 있으며 fib 2010은 경량 콘크리트 압축강도 등급을 절건밀도 2.0t/m³에서 80MPa로 제시
 - 최근 독일의 팡창점토 골재 제조사인 Leca-S 사에서는 1.9t/m³, 압축강도 60MPa급의 제조 가능성을 제시
 - 일부 실리카 활용 경량골재 코팅과 이를 이용한 콘크리트 내구성 향상관련 연구가 시도되고 있으나, 아직 초기단계로 지속적인 연구가 필요한 실정
 - 일본에서는 콘크리트의 강도 향상을 위한 특수강섬유를 혼입하여 보강한 초고강도 섬유보강콘크리트(SUQCEM, Super High-Quality Cementitious Material) 개발
 - 이는 설계기준강도 180MPa, 휨인장강도 8.8MPa의 강도를 갖는 콘크리트
- 국내에서는 2000년대 초반부터 나노 콘크리트 관련 연구를 시작하였으며, 주요 나노 소재로는 SiO₂가 주성분인 Nano-SiO₂를 대상

46) 선우윤호, 초고성능 콘크리트의 개발 및 적용 현황, 건설기술/쌍용, 2016

- 나노소재의 콘크리트 융복합 관련 연구개발은 나노소재의 콘크리트에의 적용성 검토, 나노소재에 의한 콘크리트의 강도 및 성능 향상 등 기초 단계 연구가 산발적으로 추진 중
- 한국건설기술연구원은 2020년까지 진행되는 Super Structure 2020을 통해 저비용, 장수명 하이브리드 사장교 기술의 개발을 위한 연구를 진행하고 있음
 - K-UHPC를 적용한 부재는 상부구조의 자중 감소 및 장경간화를 통해 장대화 교량의 목표를 달성하는 한편, 공사비 절감의 효과를 가져올 것으로 기대

□ 네덜란드는 3D 프린터를 활용한 복합소재 교량 프로토타입 제작에 성공

- 네덜란드의 Royal HaskoningDHV社와 글로벌 업체인 DSM社, 대규모 3D 프린터 공급업체 CEAD社는 유리로 채워진 열가소성 PET인 Arnite 복합재료와 유리섬유를 결합하여 3D 복합소재 교량을 설계 및 제작⁴⁷⁾
 - 3D 프린터를 사용하게 되는 경우, 필요한 정확한 양의 재료로만 적용되므로 효율적인 설계 및 구축이 가능
 - Arnite 복합재료는 고강도 특성을 가지고 있으며 재활용이 가능한 재료이므로, 교량 설계의 지속가능성과 다양성을 향상시킴
 - 3D 프린터를 활용한 복합소재교량에 센서를 사용하여 다리의 유지보수를 예측하고 최적화할 수 있으며, 환경모니터링 및 교량상태를 실시간으로 제공할 수 있도록 설계



(a) 3D 프린팅 교량의 이미지



(b) 3D 프린팅 복합소재 교량의 확대면



(c) 3D 인쇄중인 복합소재 교량 형상

[그림 4.10] 3D프린터를 활용한 복합소재교량의 설계

47) <https://3dprintingindustry.com/news/dsm-royal-haskoningdhv-and-cead-design-worlds-first-lightweight-3d-printed-b-ridge-161154/>, 2019.09

4.1.4 케이블 교량

□ 우리나라 건설기업들은 ‘보스보러스 대교’, ‘템부롱 대교’ 완공, 세계 최장 현수교 ‘차나칼레 대교’ 수주 등으로 세계 케이블 교량 시장을 선도

- ‘차나칼레 대교’는 터키 차나칼레에서 다르다넬스 해협을 동서로 횡단하는 교량으로 주경간이 2,023m로 세계 최장의 현수교로 SK건설과 대림산업이 수주
 - 현수교 구간 3,623m, 총 연장 5,173m의 교량의 주경간은 2,023km, 주탑의 높이는 318m로 설계
 - 터키의 강진지역 특성을 감안해 강관말뚝으로 보강된 지반과 케이슨 사이에 자갈층을 형성해 큰 지진 발생 시 기초 미끌림을 허용 지진에너지를 소산하는 구조인 말뚝-케이슨 분리형 기초를 적용
 - 주탑은 지진 관성력을 줄이기 위해 강재 주탑으로 계획하고 있으며, 강풍에 안전성을 확보할 수 있도록 폭 45m의 보강형은 유선형 강바닥판 트윈박스로 단면을 구성하고 바람을 제어할 수 있는 방풍막과 에어갭을 추가
 - 현수사재는 1.960MPa의 고강도 소선 127가닥으로 형성한 PPWS 케이블로 구성
- 포스코는 ‘차나칼레 대교’ 건설과 관련하여 터키 최대의 강구조물 제작업체 ‘심타스 스틸’과 양해각서(MOU)를 체결하고 두께 6mm 이상의 철판 3만 5천톤을 공급
 - 포스코는 용접 작업을 줄이고 공기를 단축할 수 있는 광폭재 사용, 용접이 까다로운 두께 100mm 이상 후물재 용접 솔루션, 오랜 시간 품질을 유지하는 운송과 보관 솔루션 등을 적극 제시하여 주탑용 후판을 전량 수주



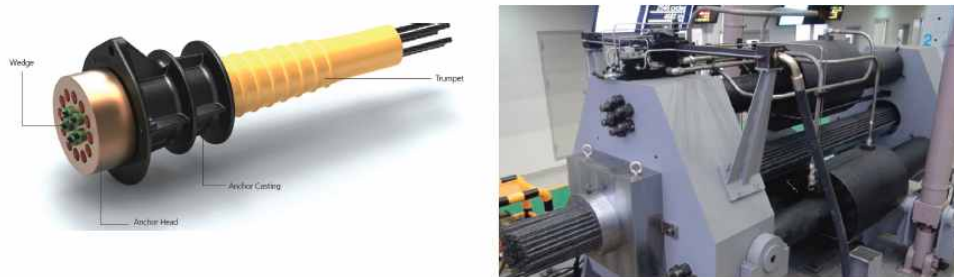
자료: MEDIA SK, 세계 최장 현수교 ‘터키 차나칼레’ 짓는 SK건설, 2017.03.09.

[그림 4.11] 차나칼레 대교 프로젝트 개요

□ 국내에서는 세계 최초로 2,400MPa의 초고강도 강연선을 활용한 프리스트레스트 콘크리트 기술 개발

- 국내 ‘초장대교량사업단(’08-’15)’의 연구개발 성과로써 세계 최초로 2,400MPa의 초고강도 강연선을 개발하였으며, 포스트텐서닝을 위한 정착시스템 개발과 프리텐션 적용기술 등을 개발하여 상용화 진행⁴⁸⁾

- 최근 한국에서 초고강도 강연선이 개발 및 상용화된 것에 영향을 받아, 일본 및 중국에서 상용화 및 강도 향상 개발 시도



[그림 4.12] 초고강도 강연선용 포스트텐서닝 정착시스템 및 정하중시험

□ 미국에서는 최대 무게의 세그먼트를 인양할 수 있는 케이블 시스템 개발

- 미국 Dugram Cheruvu Extradosed Cable Stayed Bridge 프로젝트에서 L&T社에서는 세계 최대 무게의 프리캐스트 콘크리트 세그먼트(160톤)를 인양할 수 있는 케이블 시스템 개발 및 시공⁴⁹⁾

□ 고속철도의 수요증가로 장경간 교량이 늘어나면서 케이블교량의 적용 및 필요성 증가

- 장대레일 개발과 고속철도의 수요 증가와 함께 일본의 제2치쿠마가와교(최대경간 135m) 및 이탈리아의 Po River교(최대경간 192m) 등 몇몇 국가에서 철도 사장교를 시공하는 추세⁵⁰⁾

- 다만, 철도교량에 대한 케이블교량 형식은 비틀림, 피로, 온도에 의한 변형에 의해 궤도변형 등의 단점이 있어 아직까지 사용하지 않는 국가도 일부 존재

48) 김진국, 양준모, 한국콘크리트학회지 31(4), 초고강도 강연선과 프리스트레스트 콘크리트 기술 현황, 2019.07

49) <http://www.newindianexpress.com/states/tehrangana/2019/apr/20/cable-bridge-segment-heaviest-in-country-1966566.html>, 2019.04

50) http://www.kric.go.kr/jsp/industry/knp/railCommonSenceDetail.jsp?p_id1=A010031131&p_id2=163&q_name=1&pageNo=6, 2012.02



(a) 미국의 프리캐스트 세그먼트 인양 케이블⁴⁹⁾

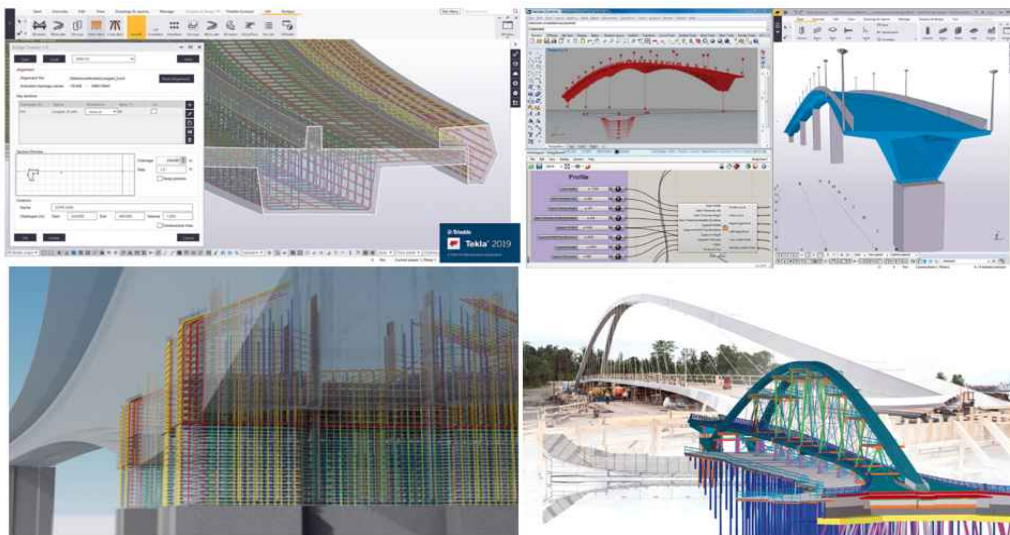


(b) 일본의 신칸센 사장교⁵⁰⁾

[그림 4.13] 케이블의 적용 사례

□ 케이블 교량이 늘어나면서 이에 대한 유지관리 및 화재에 대한 대응기술 개발 확대

- 케이블 교량의 글로벌 경쟁력을 강화하기 위하여, BIM기반의 케이블교량의 전주기 통합 관리시스템 개발 및 재난, 재해 위험도 평가 등의 유지관리에 대한 연구 진행
- 미국 Trimble社에서는 교량에 대한 정보모델링인 BrIM을 개발하여 교량의 유지보수 사업에 적용할 수 있도록 라이더 센서를 기반으로 하는 3D 모델링 소프트웨어와 자산관리를 할 수 있는 시스템 개발 및 상용화⁵¹⁾
- 국내에서는 GNSS기반의 케이블교량 모니터링 기술로 3차원 변위를 측정하여 실시간 거동 검토가 가능하며, 국내의 유지관리 기술을 해외에 적용 중



[그림 4.14] 미국 Trimble社의 BrIM을 바탕으로 하는 교량 설계

51) <https://www.theconstructionindex.co.uk/news/view/bim-for-bridges>, 2019.07

- 해상에 건설되는 초장대 케이블 교량은 유조선 등에 의해 발생 가능한 화재에 대해 취약하므로 화재에 대한 대응기술이 전 세계적으로 검토 중
- '15년 서해대교 낙뢰화재에 의해 케이블이 끊어지는 사고에 따라, 경기도는 교량 케이블의 화재를 방지하는 수관 장치 설치 및 화재방지법을 제시⁵²⁾
 - 케이블과 수관의 발화점 차이를 이용하여 케이블에 열이 가해지면 발화점이 낮은 수관이 먼저 불에 타면서 물이 밖으로 나와 화재를 진압하는 방식
- ※ 수관은 생활 속에서 흔히 볼 수 있는 수도용 파이프(염화비닐 등)로 발화점은 85℃이며 케이블의 발화점은 300℃
- 프랑스 VSL에서는 화재로 인한 손상취약도에 대해서, 공학적으로 설계 시 위험 평가를 수행하며, 더불어 시뮬레이션 수행 및 화재예방 시스템에 대해 통합 설계를 수행⁵³⁾



[그림 4.15] 케이블의 화재를 방지하는 수관 장치 설치 및 화재방지법

52) <http://www.cenews.co.kr/news/articleView.html?idxno=8023>, 2019.05

53) <http://fire-protection.vsl.com/fpia/>

4.2 터널 및 지하공간

4.2.1 육상터널

□ 전세계적으로 차세대 교통수단으로 각광받고 있는 하이퍼루프에 대한 연구가 추진 중

- 미국의 테슬라社 CEO인 엘런머스크는 보어링 컴퍼니의 ‘초고속 진공 지하터널’을 통해 도심지에서 교통체증을 단번에 해결할 수 있는 개념 및 시공현장을 소개
 - 레일 위를 달릴 수 있도록 개조된 테슬라社의 SUV차량을 통해 지하터널 주행을 시연하였으며 최고 시속 속도는 64km/h으로 목적지까지 약 1분 소요⁵⁴⁾



(a) 초고속 진공 지하터널 시연

(b) 지하터널 라이닝 및 굴착장비

[그림 4.16] 미국 보어링 컴퍼니의 초고속 진공 지하터널 시연현장

- 엘런머스크는 음속에 가까운 속도로 달리는 약 1,300km/h의 캡슐형태의 운송수단인 하이퍼루프 개념을 제시
 - 진공관으로 연결된 터널을 이용하며 운행에 쓰이는 에너지를 태양광 발전으로 운행하는 친환경 교통수단을 소개하고 진공튜브내의 주행방식에 대한 연구 수행
 - 엘런머스크의 하이퍼루프TT(HyperloopTT)社는 '18년 10월에 사람이 승차할 수 있는 풀사이즈 프로토타입 주행모델 퀴엔티로원(Quintero One)을 공개하였으며, 자기부상열차와 유사한 방식으로 열차를 띄워 운행⁵⁵⁾
 - 영국 리차드 브랜슨이 후원하는 버진 하이퍼루프원(Virgin Hyperloop One)社는 네바다 사막에 금속튜브, 고속열차, 압력용기, 진공시스템으로 구성된 트랙을 만들어 테스트를 수행하였으며, 387km/h의 속도에 도달하는 모의주행에 성공⁵⁶⁾

54) <https://news.joins.com/article/23222753>, 2018.12

55) <https://www.motorgraph.com/news/articleView.html?idxno=20970>, 2018.10

56) <http://www.thegear.kr/news/articleView.html?idxno=15666>, 2018.01

- 국내에서는 한국철도기술연구원이 국산 하이퍼루프 시스템인 ‘하이퍼튜브 (HTX)’를 구상하였으며, 자기부상기술과 진공압축기술을 융합하여 기압을 0.1 기압 이하로 낮춰 공기저항을 최소화하는 아진공 상태의 기밀튜브를 제작⁵⁷⁾
 - 신축 이음부 거동, 콘크리트, 기타 재료의 연결부 기밀성 시험 등에 대한 추가 연구 진행예정
- 중국에서는 시속 4000km대의 아진공 튜브트레인을 개발 중이며, 이 밖에도 독일, 일본, 프랑스 등에서 초고속 진공튜브 자기부상 열차 및 진공튜브 개발 연구 진행 중



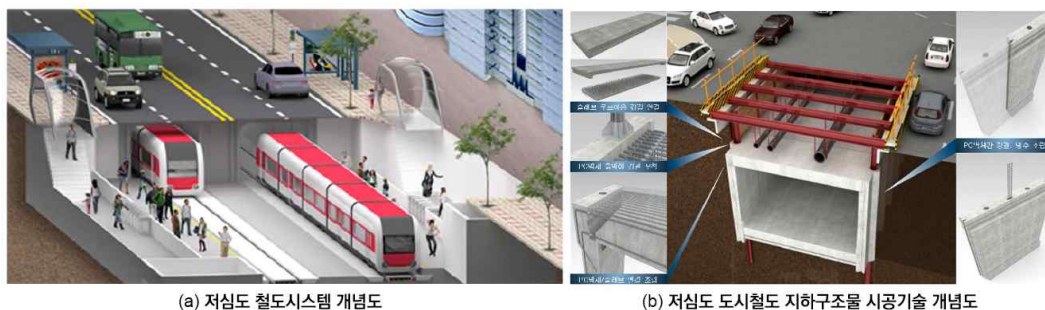
[그림 4.17] 세계적인 하이퍼루프 교통수단 및 진공튜브 개발

- 전 세계적으로 교통편의 향상 및 도시 집중화로 인한 교통난 해결을 위한 대안으로 지하 10m이내 깊이의 저심도 터널 시공기술 개발
 - 저심도 철도 및 도로터널은 기존 지하철 및 대심도 터널에 비해 지상과의 접근성이 뛰어나 대중교통을 이용하는 사람들에게 빠른 환승이 가능한 수단으로, 전 세계적인 도시 집중화로 인한 교통난을 해결하기 위해 활발히 연구 진행
 - 국내의 경우, 지하 10m이내 깊이의 저심도 도시철도 현장에서 지반공사를 수행하면서 미리 제작한 프리캐스트 벽체와 슬래브 구조물을 조립해 축조하는 시공하는 신기술을 개발
 - 프리캐스트 벽체는 흙막이벽체 겸 영구벽체로 조립시 슬래브는 버팀보로 겸용하도록 하여 기존 흙막이 공법보다 공사기간 단축 및 경제성을 갖춘 기술 개발⁵⁸⁾

57) <https://www.zdnet.co.kr/view/?no=20180524104340>, 2018.05

58) http://m.cnews.co.kr/m_home/view.jsp?idxno=201903031100001200091#cb, 2019.03

- 또한, 개착공법의 가시설 공법의 한계점을 보완하기 위하여 트렌치 쉴드 장비를 개발하여 굴착하면서 세그먼트를 삽입하는 반복시공이 가능한 시스템 개발⁵⁹⁾
- 네덜란드에서는 연약한 지반에서의 저심도 터널에 대한 터널 라이닝 설계 및 해석적 모델 개발을 통한 저심도 터널 최적 설계 진행⁶⁰⁾
- 중국에서는 십자형 다이어프램을 활용하여, 얇은 매립지 및 불규칙한 표면지형에서 굴착하는 기술을 개발⁶¹⁾
- 일본에서는 고속철도에서의 저심도 터널 건설을 위하여 pre-ground를 통한 지면 개선 효과 및 영향 깊이 등에 대해 연구 수행⁶²⁾



[그림 4.18] 저심도 철도시스템 및 시공기술의 개념도

□ 지열을 터널 상부의 구조물에 공급하는 터널 에너지 라이닝 시스템기술을 전 세계적으로 개발 및 상용화 진행

- 터널 라이닝은 지반과 접하는 면적이 넓어 지중의 에너지를 활용하기 용이하여, 터널 라이닝에 설치된 열흡수 파이프 및 열교환기 등을 통해 지열을 터널 상부의 구조물에 공급하는 기술을 전 세계적으로 개발 및 상용화 진행⁶³⁾
- 영국의 Crossrail 프로젝트에서는 정거장에 기초 및 지중 연속벽에 열흡수 파이프를 설치하여 지열을 정거장의 에너지로 활용 중
 - 터널 세그먼트 시스템은 라이닝에 설치된 열흡수 파이프는 열차 운행시의 모터 및 브레이크, 에어컨에서 발생하는 폐열을 터널 라이닝을 통하여 포집 및 활용

59) 이소오, 과학기술연합대학원, 저심도 철도시스템의 시공을 위한 트렌치 쉴드 장비 설계연구, 2016.02

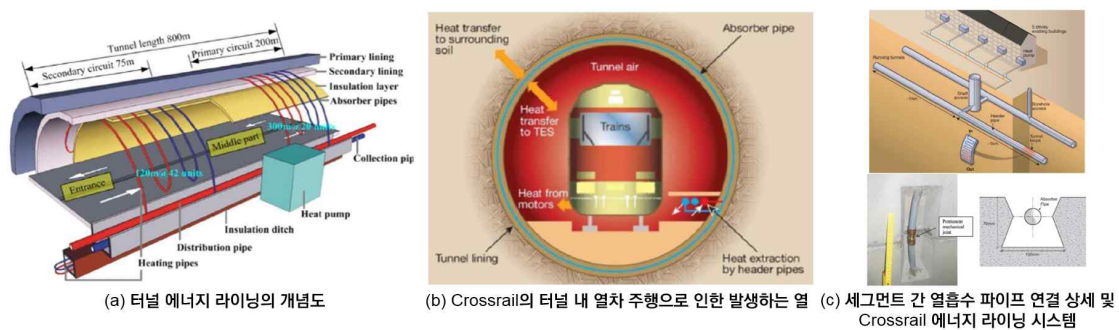
60) M. N Vu et al., Structural Analysis for Shallow Tunnels in Soft Soils, International Journal of Geomechanics 17(8), 2017.08

61) Q.Fang et al, Shallow tunnel construction with irregular surface topography using cross diaphragm method, Tunneling and Underground Space Technology, 68, 2017.09.

62) Q.Fang et al, Shallow tunnel construction with irregular surface topography using cross diaphragm method, Tunneling and Underground Space Technology, 68, 2017.09.

63) 이상필 외 2인, 터널 에너지 라이닝 시스템의 활용에 관하여, 한국터널지하공간학회지 21(1), 2019.03

- 독일 슈트트가르트 지하철과 오스트리아 라인처 터널의 경우, 슛크리트층에 열 흡수 파이프를 설치하였고, 핀란드 헬싱키 도심 철도망은 에너지 라이닝의 유지보수와 에너지 판매비용을 고려하여 열흡수 파이프의 길이 및 직경 등을 제시
- 중국 내몽골 리창터널은 슛크리트와 라이닝 사이에 열흡수 파이프를 설치하여 히트펌프와 연결하여 밀폐형 시스템을 구성
 - 내부의 냉매는 지열을 흡수하여 온도가 상승한 냉매는 라이닝 단열층 사이에 설치한 가열 파이프로 이동시켜 터널 출입구의 동결 문제를 해결



[그림 4.19] 터널의 에너지 라이닝 개념 및 영국 Crossrail에 적용된 에너지 라이닝 시스템

- 터널 화재가 발생하였을 때 IoT 기술을 활용하여 화재를 효율적으로 진압하고 인명을 보호할 수 있는 기술 개발 및 상용화 추진 중
 - 터널 화재에 대한 구조물 및 인명피해를 감소시키기 위하여 IoT를 활용하여 터널 화재 원격 소화 시스템 등에 대한 연구개발 진행
 - 국내에서는 터널 화재 확산 방지 및 초기 화재 대응을 위하여 터널 내의 화재 감지를 통한 비상경보, 원격 자동소화시스템, 화재확산연기 지연장치 및 화재 연동형 배기구 시스템을 개발⁶⁴⁾
 - 발생신호를 터널 관제실 및 인근 소방서로 전송하여 원격으로 화재를 초기에 진압 및 화재확산을 억제하며 서울시 구룡터널에 국내 최초로 설치
 - 미국 콜로라도주 교통부에서는 터널 및 터널 주변의 온도가 25도 이상 증가할 때 터널 운영자 및 인근 소방서에 즉각적으로 알림과 동시에 위치정보를 통해 정확한 위치에서 화재 진압이 가능한 기술을 개발 및 설치하여 운영⁶⁵⁾

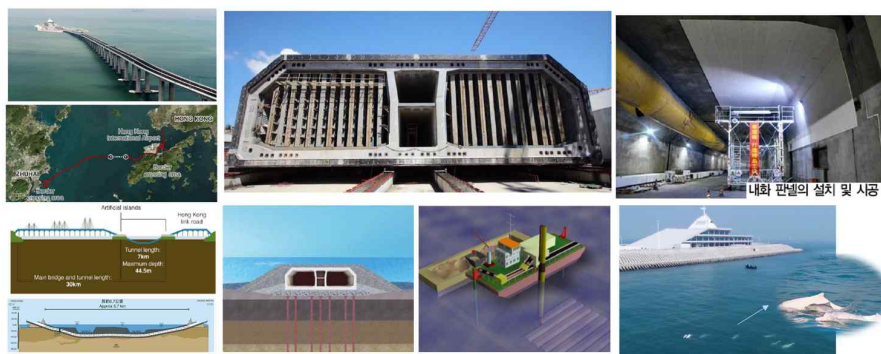
64) 박진욱 외 3인, 대심도 복층터널 원격 자동소화 시스템 개발, 대한설비공학회 학술발표대회, 2018.06

65) <https://coloradosun.com/2019/10/09/fire-suppression-system-colorado-eisenhower-tunnel/>, 2019.08

4.2.2 침매/부유식 터널

□ 중국과 홍콩은 세계 최장 HZMB 침매터널의 건설을 통해 침매터널의 핵심기술을 확보

- 홍콩과 마카오, 중국 본토 주하이를 잇는 세계 최장 해상교량인 강주아오 대교(HZMB, Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge)와 해저터널은 '09년 공사를 시작하여 '18년 10월에 개통⁶⁶⁾
 - 최장 침매터널은 국제터널협회 ITA가 주관하는 '18년 올해의 터널상에 선정
 - 두 개의 인공섬 사이의 해저터널은 수심 40m지점에 33개의 침매함(immersed tube)을 연결한 고난도 공정으로 건설되었으며, 6.7km으로 세계 최장의 침매터널
 - 또한 30만톤급의 유조선이 통행할 수 있도록 설계하였고, 곡선형 침매함의 제작과 조립, 운반 및 거치시의 경보예측시스템 도입
 - 침매터널의 지반조건은 전형적인 연약 해상퇴적물이며, 터널과 인공섬의 지반조건이 상대적으로 열악하고 지층특성이 짧은 거리에 다양하게 분포
 - 고압분산 젯트그라우팅과 SCP(Sand Compaction Pile)을 이용하여 침매함 기초지반을 개량하였고, 암반블록과 자갈베드를 복합적용한 터널 기초를 통해 침매함의 안정성을 확보



[그림 4.20] 세계 최장 HZMB 침매터널

- 침매터널은 한쪽 차선에서의 충돌 및 폭발하중, 화물선에 의한 침몰하중, 유조선의 앵커하중, 극한의 파도와 파랑, 지진하중 등의 우발하중을 고려하여 단면을 설계
 - 차로 및 환기팬 등을 고려하여 단면크기 결정, 방수가 보장되도록 특수 고무 씬을 이용하여 연결

66) 김영근, 세계 최장 HZMB 해저터널의 주요 기술 혁신, 한국터널지하공간학회지 21(1), 2019.03

- 침매함의 이동에 대한 위험도와 시공성은 파도와 기상조건에 따라 결정되므로 파도 데이터를 수집 및 예측하는 파도 예측시스템을 기반으로 의사결정모델을 적용
 - 환기 및 방재대책으로 모니터링 및 탐지, 사고 통제, 셀프 구명, 긴급서비스 대응, 교통처리 및 관리에 대해 적용
 - 침매터널 콘크리트 라이닝의 내화성능 향상을 위해 내화 판넬인 25mm두께의 Promatect-H 선정하여 설치
 - 공사구간은 중국 흰 돌고래의 주요 활동 지역이므로 보호존에서는 해상에서의 현장작업을 최소화하여 조립작업을 주로 진행
 - 소음을 최소화하기 위하여 작업선을 업그레이드 하고, 정기적으로 모니터링 하기 위해 EM&A프로그램 실시
- 터널 설계 및 시공비용 절감뿐만 아니라 운영 및 유지보수 비용을 절감할 수 있는 BIM 기반의 통합운영관리시스템을 개발
- 중국의 HZMB프로젝트에서 터널/지반설계, 시공에 BIM을 적용하여 평면과 수직 곡선의 기술적 문제 해결, 유지보수를 포함한 통합운영관리 시스템을 적용⁶⁷⁾
 - 도면작업 절차의 최적화와 시공도면 품질 보장, 설계 에러 및 변경을 축소화하고 4D공정관리 및 시뮬레이션, 교통정보시스템의 3D 모니터링 및 관리를 수행
 - 시스템 운용 및 실시간 제어의 BIM모델을 기반으로 유지관리의 신속한 대응 및 정보지원을 제공하여, 운영과 유지보수의 의사소통 효율이 30% 이상 향상
 - 런던의 Crossrail 프로젝트에서는 BIM을 통해, 설계 및 시공 비용을 20% 절감하고 운영 및 유지보수 시 40%를 절약하는 것을 목표



(a) HZMB 침매터널의 BIM적용 및 통합운영관리시스템



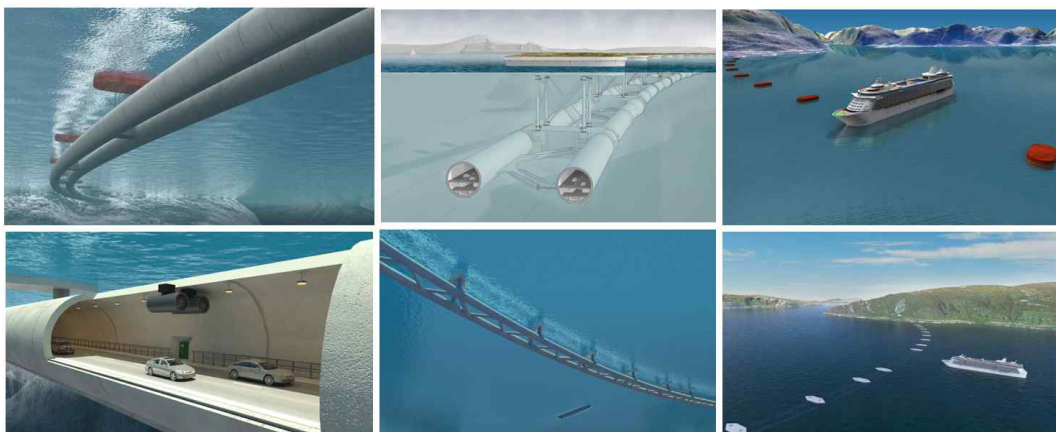
(b) 3D디스플레이 운영시스템과 실시간 컨트롤

[그림 4.21] HZMB 침매터널의 BIM 적용

67) <https://www.geospatialworld.net/blogs/construction-firms-realize-the-benefits-of-an-integrated-bimgeospatial-full-lifecycle-approach-to-construction/>, 2019.10

□ 노르웨이와 중국은 지형 문제점을 극복하기 위한 대안으로 부유식 터널 건설에 대한 지속적으로 도전 중

- 노르웨이 공공도로청(NPRA)은 수심이 깊은 피오르드(fiord)지형의 문제점을 극복하기 위하여, 세계 최초로 부유식 수중터널을 시도하는 대규모 건설 프로젝트를 진행할 예정⁶⁸⁾
 - 수면 30m 아래 5곳의 부유식 터널을 최남단 도시 크리스티안산에서 북부 트론헤임까지 연결하는 데 총 45조 원이 소요될 것으로 판단
 - 부유식 수중터널은 폭발이나 화재에 취약하므로 이를 보완하여 '50년까지 완공이 기대되고, 폰툰에 케이블로 고정하며 콘크리트로 구성될 예정
- 중국은 '18년에 중국교통건설주식유한회사 주관으로 교통운수부, 텐진수상운수공정 과학연구원, 네덜란드 Delft공대 등이 협력하여 부유식 터널공사기술 연구를 수행⁶⁹⁾
 - '19년 1월 수중부유식 터널(SFT)의 파랑, 조류, 충격 조건에서의 터널 구조 시스템의 동력응답을 시뮬레이션하고 이론적으로 분석하는 등 세계 최초로 부유식 터널에 대해 테스트 수행
 - 장경간 서스펜션 구조 유체-고체 결합 메커니즘, 심층수 환경 조건에서의 해저 터널 구조 지지력 특성, 열악한 해양 환경 조건에서의 구조 시스템 안전성, 고인성 고강도 특수 구조 신소재 개발, 시공공법, 장비제조, 위험성 평가 등과 관련된 꾸준한 연구 필요



[그림 4.22] 노르웨이 NPRA의 부유식 터널 개념

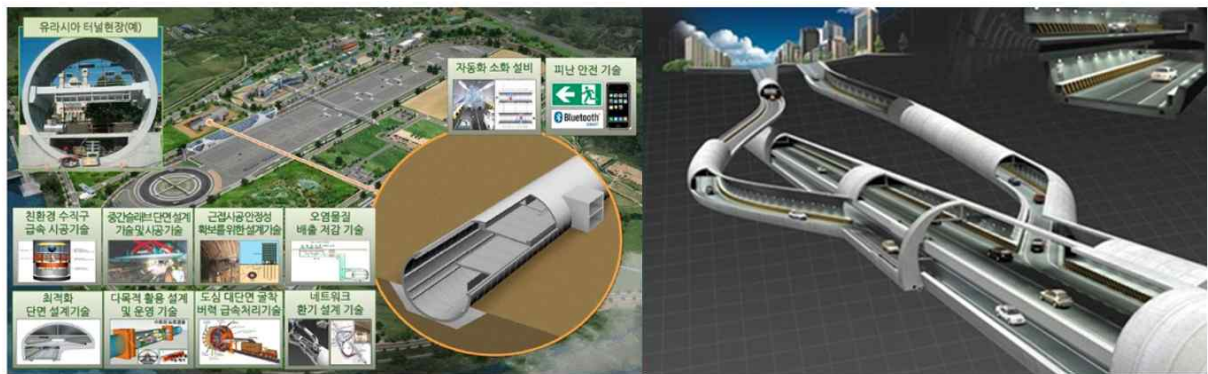
68) <https://edition.cnn.com/style/article/norway-underwater-floating-tunnel-intl/index.html>, 2019.01

69) http://digitalpaper.stdaily.com/http_www.kjrb.com/kjrb/html/2019-01/29/content_413922.htm?div=-1, 2019.01

4.2.3 해저/대심도 터널

□ 세계적으로 해저/대심도 터널에 대한 시공 및 연구개발 증가 추세

- 국내에서는 초장대 해저터널 및 복층터널과 관련하여 터널건설시공, 환기 및 방재기술 등에 관련된 연구단을 구성하여, 관련기술 개발 및 시공에 주력
 - 서울시에는 ‘2030 서울플랜’을 바탕으로 하여 도로계획에 복층터널 기술을 접목할 예정⁷⁰⁾
 - 기존 해외의 복층터널은 단일노선으로 건설하는 것으로 구성되었으나, 분·합류부 및 교차로 시공을 통한 ‘네트워크형 복층터널’을 시공할 수 있는 주요 기술을 개발⁷¹⁾
 - 초장대 해저터널의 경우, 공사 중의 환기시스템을 구성하기 위해 환기갱 설치를 위한 인공섬을 최소화하며, 높은 팬 압 압력을 사용하기 위해 환기 덕트 접속부에서의 누풍 발생을 최소화시킬 수 있는 덕트 접속부 개발 수행⁷²⁾
- 수도권 교통단 해소와 장거리 통근자들의 교통복지 제고를 위하여, 수도권 광역 급행철도인 GTX 대심도 건설 착공, 예타 통과에 따라 주변인접구조물의 소음·진동 및 안전과 관련된 관심 증대 및 관련 연구개발 수행



[그림 4.23] 복층터널의 개념도 및 개발 아이템

- 시애틀에 있는 미국에서 가장 큰 고속도로 복층터널은 20년간 계획하고 '13년 7월에 시공한 이후에 세계 최대규모의 TBM(지름 17m, 길이 99m)인 Bertha를 제작 하였으며, '19년 2월에 개통⁷³⁾

70) <http://www.ctman.kr/news/14620>, 2018.04

71) <http://www.ctman.kr/news/14620>, 2018.04

72) 조형제 외 4인, 초장대 해저터널의 공사중 덕트 접속부의 누풍 성능 개선에 관한 연구, 한국터널지하공간학회 논문집 19(2), 2017.03

- AECOM社は 미국의 다국적 엔지니어링 기업으로, 시애틀에 적용된 TBM 이외에도 홍콩, 말레이시아, 상하이 등 복층터널의 대구경 TBM 제작기술 개발⁷⁴⁾



(a) 시애틀 복층터널 개념도 및 Bertha TBM공사 장면



(b) 홍콩의 TM-CLK 해저터널에 적용된 대구경 TBM

[그림 4.24] 미국의 다국적기업 AECOM社에서 제작한 대구경 TBM

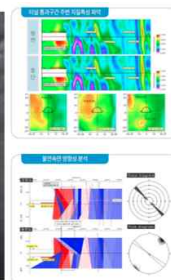
- 해저터널의 시공 중 전방의 지질을 예측할 수 있는 비파괴 지반조건 측정 기술 개발
 - '21년에 개통될 것으로 예상되는 국내 보령해저터널은 세계에서 5번째로 긴 해저터널이며, NATM공법으로 시공하였고, 시공 중 비파괴 검사를 통한 비파괴 지반조건 검사 기술 적용^{75),76)}
 - 스위스의 Amberg社は P파와 S파를 이용하여 터널 전방의 지질을 예측할 수 있는 3D TSP(Tunnel Seismic Prediction) 탐사기법을 개발하였으며, 국내 보령해저터널 등에 불연속면 및 이상지질 등을 측정



(a) 보령해저 터널 조감도



(b) TSP을 통한 터널전방 지반조건 탐사기법



[그림 4.25] 보령해저터널에 적용된 터널전방 3D 지반조건 탐사기법

73) <https://www.theconstructionindex.co.uk/news/view/double-deck-road-tunnel-opens-in-seattle>, 2019.02

74) <https://tunnelingonline.com/advances-in-tunneling-overcome-challenges-in-urban-areas/>, 2019.06

75) <http://www.gmeng.co.kr/>

76) http://www.hani.co.kr/arti/economy/economy_general/897227.html, 2019.06

4.2.4 지하대공간

□ 전 세계적으로 철도역사를 중심으로 하는 대규모 지하공간 개발 프로젝트 증가

- 서울시는 2호선 삼성역~9호선 봉은사역의 연장 630m, 지하 6층 규모의 ‘영동대로 지하공간 통합개발’을 통해 복합환승역사를 개발 예정
 - 총 사업비 1조 1,691억 원이 투자될 것으로 예상되고, 삼성역을 경유하는 6개의 노선 역사가 통합 건설될 예정⁷⁷⁾
- ‘서울역 일대 미래비전’의 사업일환으로 2025년에는 서울역 지하에 대규모 복합 환승역사(연장 390m, 지하 5층 규모)를 구축할 예정
 - 철도노선 5개를 추가적으로 설치하고 지상에는 상업시설 및 대중교통이 유기적으로 연계하는 환승시스템을 구축할 예정⁷⁸⁾



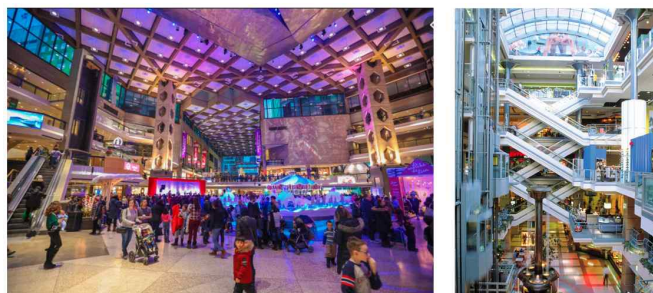
[그림 4.26] 국내외 대규모 지하공간 개발(안)

- 프랑스의 La Defense역과 같이 철도, 지하철, 버스 등의 다양한 교통수단이 연계될 수 있도록 초기부터 설계하거나, 스페인 마드리드시 Atocha역, 네덜란드 암스테르담 중앙역 등과 같이 지하의 환승통로를 이용하여 지상에 환승센터를 조성
- 일본 신주쿠역의 대규모 지하공간에는 환승 콘코스를 중심으로 JR 및 지하철, 사설 철도간의 연계환승이 가능
 - 역사를 중심으로 보행전용 데크, 선상도로 및 육교, 지하자유로 및 광장 등 다양한 출입구를 통해 역사로 접근할 수 있는 환승체계를 갖추고 있음

77) <http://sid.seoul.go.kr/>

78) <https://m.edaily.co.kr/news/Read?newsId=03909766615932200&mediaCodeNo=#forward>, 2017.05

- 신주쿠역은 하루 이용객 364만명으로 세계 제 1위의 이용객을 가지는 역으로, 약 30개의 철도노선과 6개의 철도회사가 참여하고 있으며, 역의 지하도는 200여개의 출구가 존재
- 싱가포르 URA는 싱가포르 지하 60m 이상의 마스터플랜을 구체화 중⁷⁹⁾
 - 철도, 버스, 차량뿐만 아니라, 석유화학물질의 저장 등을 염두하고 있으며, 지하 공간과 인프라에 대한 완벽한 3D 지하맵을 통해 파이프라인과 전력망에 대해 구체적으로 계획 중
- 도시 내 밀집지역, 추운 지역의 도시 등에서는 지하 스마트 도시 개발을 위한 연구 개발을 수행하고 있으며 최근에는 데이터 센터를 지하에 건설하는 사례도 증가
- 캐나다 몬트리올에는 겨울의 추위에 견딜 수 있는 ‘Underground City’를 구성하여 상권을 조성
 - 토론토 패스(path)는 27km에 달하는 지하도시로 1,200여개의 상점과 서비스점, 20개의 주차장, 2개의 대형쇼핑몰, 8개의 주요호텔, 6개의 지하철역 등으로 구성⁸⁰⁾



[그림 4.27] 캐나다의 지하도시

- 국내에서는 지하공간의 답답함을 자연 채광 및 조명을 통해 변화하는 디자인 및 아이디어 제시
 - 영동대로 지하공간에는 파리의 지하공간 건축가인 도미니트 페로가 태양광이 지하까지 들어올 수 있는 ‘Light walk’의 컨셉을 연출⁸¹⁾
 - Virtual projection을 활용한 지하공간에서의 지상정보, 지상환경의 투시 및 실내외 빛 환경 스마트 센싱, 상황인식에 따른 스마트 조명 등의 연구개발 진행⁸²⁾

79) <https://www.straitstimes.com/politics/masterplan-of-spores-underground-spaces-ready-by-next-year>, 2018.02

80) <http://news1.kr/articles/?3148325>, 2017.11

81) http://mbn.co.kr/pages/news/newsView.php?uagent=m&news_seq_no=3367840, 2017.10

- 지하공간에 대한 실내 공기질을 인공지능 기반의 공조환경 관리 기술을 통해 선제적으로 황사, 초미세먼지 등의 외부환경에 지능적으로 대응하면서 동시에 운영 비용을 최소화하는 기술 개발⁸³⁾



[그림 4.28] 지하공간에 대한 조명 및 인공지능 기반의 공조시스템

- 병커형 지하 데이터 센터의 활용 및 건설이 활발하여 시장규모가 확대
 - 서버에 의해 나오는 열기를 줄이기 위하여 기존의 냉각과 환기를 사용하였는데, 지하의 항온성 특성으로 인해 전력비용이 절감 가능하고 기존의 병커를 활용하여 부지비용 최소화 및 공사비 절감 가능⁸⁴⁾
 - 스웨덴의 피오넨(Pionen) 데이터 센터는 과거 군용 지하병커를 재활용하였으며, 노르웨이의 그린 마운틴 데이터 센터, 스위스의 포트녹스(Fort Knox) 데이터 센터는 스위스군의 알프스 산맥 지하병커를 개조하여 활용⁸⁵⁾



[그림 4.29] 지하 병커를 활용한 데이터 센터

82) <https://brdg.co/vr-room/>

83) <http://news.zum.com/articles/53372670>, 2019.06

84) <https://tunnelingonline.com/underground-data-centres-for-the-urban-spaces-of-the-future/>, 2019.09

85) 장수호, 지하공간의 특징을 고려한 도심지 대규모 지하공간의 활용과 구상 사례, 건설기술 쌍용 76, 2019

4.3 비탈면/지반/기초

4.3.1 비탈면 보호/보강/유지관리

□ 친환경 녹생토 이용 비탈면 녹화 등 친환경 재료를 활용한 비탈면 안정 기술 개발

- 암반 노출비탈면의 안정적인 녹화를 위해 토양 안정화 기술인 ECG(Eco Clean Cement Grout)기술을 이용한 비탈면 안전용 친환경 녹생토 재료 및 시공법 개발⁸⁶⁾
 - 기존 녹생토 재료에 비해 결합재, 첨가제, 식생 기반재가 공급되어 긴 사용수명과 급경사에 설치 가능한 것이 특징
- 미국 GEOsystems社에서는 급경사의 상부토양층을 안정화 및 보강하기 위한 3D GEOWEB®을 제작
 - tendon과 지오 멤브레인, ATRA tendon clip을 사용하여 식생이 가능하도록 하며, 3D 셀룰러 구조를 통해 흘러내림을 방지하는 기술을 개발⁸⁷⁾



[그림 4.30] ECG기술을 이용한 비탈면 안정용 항구성 친환경 녹생토 재료 및 시공법 개발

86) 장현오 외 2인, ECG기술을 활용한 사면 안정용 녹생토 재료 및 시공법 개발, 한국콘크리트학회지 31(3), 2019.05

87) <https://www.prestogeo.com/>

□ ICT 기반 비탈면 모니터링 및 데이터 활용 기술을 이용하여 산사태 조기경보시스템 개발을 추진

- 한국지질자원연구원에서는 집중호우에 따른 우리나라 지질특성과 국내·일본 기상 자료를 바탕으로 ICT기반 지능형 산사태 조기경보시스템 개발예정⁸⁸⁾
 - 3D 격자모델 구성, 경사면 분석을 통한 수치모델 작성, 토질특성 및 토심조사, 산사태 이력 및 LiDAR와 국립공원관리공단 자료를 바탕으로 산사태 발생이력으로 의사결정 하는 시스템 구축예정
 - 강우에 의한 불포화 사면 산사태 발생 예측, 산사태 피해위험 지역 선정, 기상 레이더 정보를 활용한 사전 기상정보 연동의 3가지 기술을 접목



[그림 4.31] ICT기반 지능형 산사태 조기경보시스템 흐름

- 전 세계적으로 산사태에 대하여, 음향탐사, 항공레이저스캐닝과 같은 원격탐사, 육안조사, 앵커관측, 고정폴대관측, GPS관측의 지표탐사와 지중경사계, 진동계, 토양강도특성 및 토양수분센서 등의 지중탐사와 관련된 모니터링 기술 개발
 - 뿐만 아니라, 데이터 처리 및 활용, 시설물에서의 의사결정 시스템에 대한 추가적인 연구 수행

88) <https://www.sciencetimes.co.kr>

4.3.2 지반 조사/개량

□ GPR를 이용하여 신속하고 정확하게 지반내부의 공동을 탐사하는 기술을 개발

- 국내에서는 깊이 0.1~2.0m의 지반을 조사하고, 다중채널 GPR의 중첩해석기법을 이용해 지하내부의 공동을 탐사하는 기술을 개발^{89),90)}
 - 또한 지면 접촉식으로 GPR데이터와 동기화된 노면 영상카메라를 활용하여 동시에 획득 및 탐사한 도로면을 기록
- 미국 GSSI社は 교통 인프라 조사 목적의 차량탑재 다중채널 GPR시스템 및 소프트웨어를 개발하고 판매
- 일본 Geo Search社は 교통 인프라 조사를 위하여 탐사 장비를 개발하여 활용하며 현재는 60km/h의 속도로 자료 취득 수행이 가능
- '00년대 이전에는 북미지역의 GPR외산장비를 많이 사용하였으나, 최근 다중채널, 다중주파수 GPR시스템 또는 스텝주파수 레이더 시스템 등의 기술력 바탕으로 유럽 외산장비 업체가 주를 이룸



[그림 4.32] 다중채널을 이용한 GPR의 공동탐상기술

□ 지반조사의 신뢰도 향상을 위한 연구개발 진행

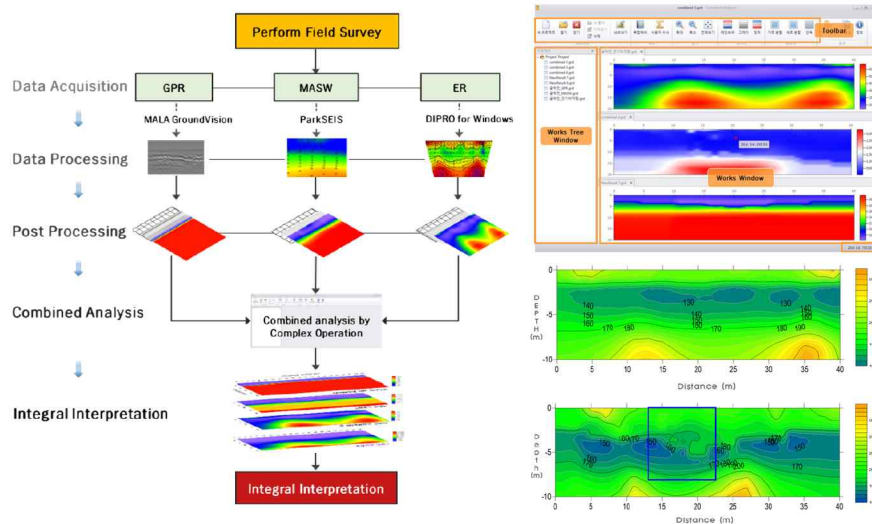
- GPR, MASW, 전기비저항을 개별탐사 및 후처리 한 결과를 복합해석 할 수 있는 복합탐사 해석 소프트웨어(Geophysical Combined Analyzer)를 개발⁹¹⁾

89) <http://www.ctman.kr/news/15613>, 2018.10

90) 한국지질자원연구원, 도심지 지하공동 탐지 다중 채널 3차원 GPR 시스템 개발, 2017.12

91) 노영화, 이석환, 지하 굴착 후 개별탐사(GPR, MASW, 전기비저항) 결과의 복합연산에 의한 지반이완영역 해석 연구, 대한지질학회지 55(4), 2019.08

- 국내에서는 지하수위, 지하공동, 지반 연약대, 지반이완대 등의 지반조사 방법의 불확실성을 최소화하기 위한 목적



[그림 4.33] 지반조사의 신뢰성 확보를 위한 복합탐사 해석 소프트웨어 개발

□ 지진에 대한 실시간 모니터링 기술 연구에 대한 필요성 증대

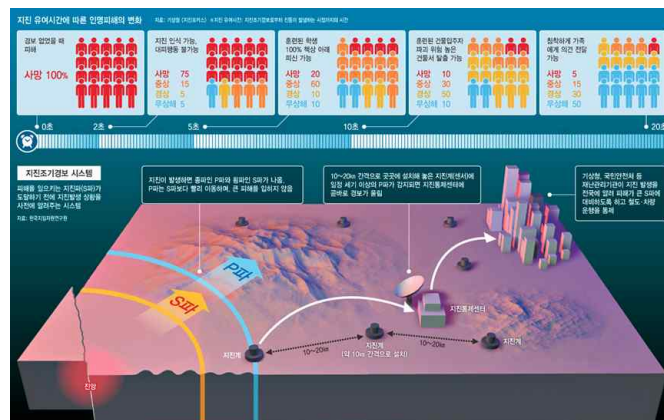
- 실시간으로 변이, 기울기 감지를 통해 임계치 초과 시 알림 및 경보, 대피, 보수 등 24시간 자동 모니터링이 가능하도록 스마트 지진방재 시스템을 구축⁹²⁾
- '17년 포항시에 발생한 5.4 규모의 지진에 대하여 IoT와 5G네트워크를 활용하여 광센서를 구조물 및 비탈면에 설치



[그림 4.34] 스마트 지진방재 시스템 개념도

92) 이규환, 4차 산업혁명 핵심기술로 국민생명 지킨다! : 지진으로부터 24시간 모니터링 체계 구축, 지역정보화 115, 2019.03

- 전 세계적으로 지진조기경보 시스템의 필요성에 대한 인식이 증가함에 따라, 지진 빈도수가 높은 일본, 미국, 멕시코 등을 중심으로 시스템 구축과 관련된 연구가 활발히 진행 중이고, 한국은 최근에 연구 시작⁹³⁾
- 미국에서는 ‘지진위험 감소법’에 근거하여 지질조사국(USGS), 연방위기관리국(FEMA)등이 협력하여 Shake Alert®을 개발
 - P파를 분석하여 지진특성(위치 및 크기) 분석, 예상 강도 및 피해지역을 계산하여 S파 도착이전에 사용자에게 경고 메시지 전달하고, '15년 2월부터 태평양 북서부 지역에 조기경보로 활용⁹⁴⁾



[그림 4.35] Shake Alert의 원리

- 일본에서는 고속철도 신칸센의 지진조기감지 시스템인 UrEDAS를 개발하여, P파 주기로부터 지진의 규모를 추정하여 5~20초 이내에 긴급지진속보를 발령하여 철도의 운행여부를 결정하는 세계 최초의 조기경보시스템을 구축
- 멕시코에서는 조기경보시스템을 적용시킨 SASMEX, IoT 및 빅데이터 시스템 학습기술을 활용한 Grillo시스템을 개발
 - 최대 400km 떨어진 곳의 지진을 탐지할 수 있으며, 실시간으로 데이터를 클라우드로 전송하여 멀티 플랫폼 알람방식으로 위치에 관계없이 개별 사용자에게 개인화된 지진 알람 및 예측정보 제공
- Grillo 시스템은 인터넷 연결 여부에 관계없이 건물을 모니터링하고 구조물이 안전하지 않을 경우에는 경고하고, 지진 발생 시 엘리베이터, 가스관, 발전기 등의 중요한 시스템을 자동적으로 중단

93) 전유정, 지진조기경보, KISTEP 기술동향브리프, 2019.12

94) http://www.hani.co.kr/arti/science/science_general/766979.html, 2016.10

- 국내의 경우에는 지진 안전지대에서 벗어나면서 최근에 관련된 연구가 진행 중으로, 기상청에서 5.0 이상의 지진에 대하여 대국민 조기경보 서비스를 '15년부터 시작
- 기상청은 7~25초 수준으로 조기경보 발표시간을 점차 단축하였으며, 진앙에 인접한 지진 관측소를 활용한 On-site경보 기술 개발에 착수하여 5초 이내에 진도 정보를 제공하는 것을 목표



[그림 4.36] 각 나라별 지진조기경보 시스템

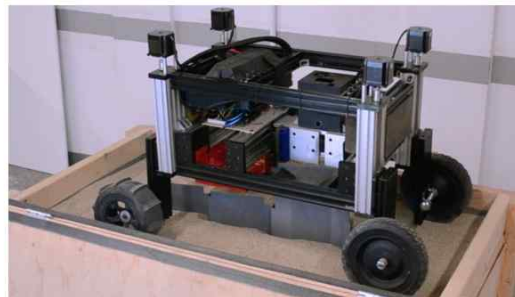
- 국내에서는 기존의 연약지반 개량공법의 한계를 극복하고 초연약지반에 시공이 가능한 확대굴착 교반장치를 이용한 정착장 확대 개량형 연약지반 앵커공법을 개발⁹⁵⁾
 - 실트 및 점토층과 같은 연약지반에 적용하여 경제성 및 안정성을 확보할 수 있는 새로운 그라운드 앵커 공법이 필요
 - 굴착지반의 붕괴를 방지하기 위해 그라운드 앵커 공법을 많이 사용하고 있으나 앵커의 정착장이 길어지고 소요 인발저항력이 발휘되지 못하는 등의 문제점이 발생
 - 새로 개발한 공법은 PC강선조립체를 팩 또는 주름관 내부에 형성된 고강도 시멘트 구근체에 정착시킴으로써 확실한 강도를 확보하고, 고강도 시멘트 구근체에 전달되는 앵커의 인장 하중을 소일시멘트로 개량된 확대 구근체에 전달시켜 소일 시멘트 구근체의 주변마찰력으로 인장 하중을 지지하도록 하는 원리
 - 앵커의 단 간격이 좁아 지하구조물의 시공 조인트 간섭이 많은 경우 앵커 설치 단 높이를 지하 층고에 맞도록 조절 시공이 가능하며, 앵커 수량은 45~55%, 공사비는 20~35% 절감이 가능

95) 기술과혁신, Hot Tech - 확대굴착 교반장치를 이용한 정착장 확대 개량형 연약지반 앵커공법, 2019.02.

4.3.3 육상/해상 기초

□ 미국과 스페인에서 로봇을 이용한 시공 및 파괴 등 기초 공사 관련 연구 진행

- 하버드대학교 Wyss Institute of Biologically Inspired Engineering팀에서는 시트파일을 운반 및 시공이 가능한 자율로봇(Romu)을 개발하여, 토양 안정화 및 지속가능한 토지관리가 가능하도록 제공⁹⁶⁾
- 스페인의 Euroimplementos社は 제어식 철거 로봇인 RDC22.20을 설계 및 제조하였으며, 이는 구조물의 철거뿐만 아니라 사람이 접근하기 위험한 곳에서 기초공사 및 암반파괴 등에 사용 가능⁹⁷⁾



(a) 시트파일 운반 및 시공 로봇 Romu



(b) 제어식 철거로봇인 RDC22.20

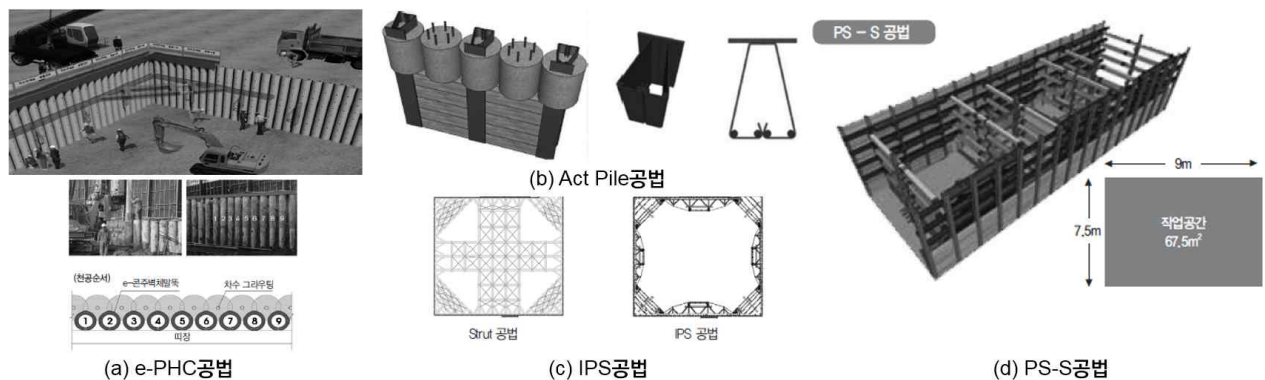
[그림 4.37] 로봇을 이용한 기초공사 및 건설관련

- #### □ 도심지 구조물 인접공사 증가 및 공사부지 부족에 의한 흙막이 가시설 공법을 개선 및 개량하는 기술 개발
- 작업공간의 확대를 위해 띠장은 강재 규격 최소화 및 약축 개선 방향으로 개발되며, 일부 프리스트레스에 의한 방식으로 개발 진행⁹⁸⁾

96) <https://wyss.harvard.edu/news/laying-the-ground-for-robotic-strategies-in-environmental-protection/>, 2019.04

97) <https://www.euroimplementos.net>

- 흙막이 버팀보는 좌굴 억제 방안으로 구조체 자체의 강성을 효과적으로 증대할 수 있는 합성 구조체가 개발되고 있는 추세
- Hi-PHC공법 및 e-PHC공법은 공장제작 파일(PHC)을 이용한 공법으로 기성 파일을 이용한 벽체의 강성 증대, 신뢰성 확보, 시공성 향상 등의 장점이 존재하고, 기존 기성말뚝만을 이용한 공법의 단점을 보강
- Act Pile은 냉간 성형부재와 덧판을 이용하여 내부에 콘크리트를 충전하여 합성 부재를 형성하는 것으로, 횡자굴에 대한 저항력을 극대화한 공법
- PS-S와 IPS공법은 흙막이지지 구조를 프리스트레스 도입 및 현수교를 응용하여 버팀보의 설치간격을 넓혀 작업 공간 확보하며, 사용강재 감소 및 시공기간 축소 가능
- 지보재 없이 3~4m이상의 굴착심도에서도 자립할 수 있는 지층 및 주변현황을 고려한 엄지말뚝을 활용한 RSW 및 PS-beam공법 등의 자립식 흙막이 공법 개발



[그림 4.38] 흙막이 가시설 공법의 개량 및 개선

- 신재생 에너지의 일환으로 전세계적으로 해상풍력 발전기 수요 증가로 인한 해상 설치기술 개발
 - 한국전력연구원에서는 내·외부 수압차를 이용한 500~600톤급의 해상풍력 기초 구물을 기존보다 30% 저렴한 비용으로 하루 만에 설치하는 신개념 공법을 국내에서 처음 개발⁹⁹⁾
 - 기존 해상풍력 발전기 기초는 말뚝을 해저기반에 항타하는 방식으로 기초공사 수행

98) 김준호, 허남태, 흙막이 가시설 공법의 최신 기술 동향, 건설기술 쌍용, 2018

99) <http://www.etnews.com/20191021000196>, 2019.10

- 수압차를 이용한 석션버켓 기술은 무진동·무소음 설치 공법이며, 대형강관 파일을 해저면에 거치하고 상부에 설치된 석션펌프로 물을 배출하는 신개념 기초설치공법
 - 대형장비를 최소화하여 하루 이내로 시공 가능하고, 육지에서 구조물을 일괄 조립하여 해상으로 이동 및 설치하는 시스템을 구축 중
- 석션기초는 덴마크와 독일을 중심으로 발전기 기초 및 기상관측용에 활용되고 있었으나, '10년도 중국 Quidong sea에 2.5MW 풍력발전기를 위해 직경 30m, 길이 7m의 콘크리트 석션기초를 프로토타입으로 최초로 제작¹⁰⁰⁾
- '14년 덴마크의 Dong Energy社에서 독일의 Bokum Riffgrund 1PJ지역에 4MW급 풍력발전기를 기반으로 석션기초를 사용하여 최초로 공용화 시공



(a) 한전에서 개발한 석션버켓 기술('19)



(b) 독일에 시공된 덴마크의 최초 석션기초 시공 사례('14)



[그림 4.39] 해상풍력 발전기 기초

100) 박기웅, 조주환, 해상풍력 발전기 석션기초 설계기준, 유신기술회보

4.4 해양구조물

4.4.1 준설/매립

□ 친환경 제품에 대한 요구가 증가함에 따라 친환경 해양 준설토의 매립지 재활용 기술 개발 진행 중

- 친환경 재활용 기술이 각광 받으면서, 준설토를 재활용하는 방안에 대한 연구가 진행¹⁰¹⁾
 - ※ 일반적으로 준설작업은 산업적인 목적에 의해 인위적으로 조성되기 때문에, 주로 산업시설 인근에서 준설작업이 이뤄지며, 이는 중금속 등의 유해한 환경 물질 함유 가능성 높아 지정된 투기장에 버리거나, 세척하여 오염물질을 씻어낸 후 사용
 - 한국해양과학기술원에서는 점토와 실트와 같은 준설토를 경량고화처리토로 제조하여 준설 후 매립된 지반이나 연약한 지반에 즉각적으로 재활용¹⁰²⁾
 - 기존 연약지반 개량 공법에 비해 공사비 절감 및 공기 단축 가능
 - 생태무독성의 고화재를 제조하고, 양친성 고분자재료를 사용하여 오염준설토 정화 및 유용화 기술 개발
 - 준설토를 빠른 속도로 이동 및 폐기하기 위한 준설토 장거리 이송기술은 전자기장 (EMF, Electro Magnetic Frequency)을 흘려 이동효율 10~30% 향상 및 유류비 절감 가능



[그림 4.40] 한국해양과학기술원에서 개발한 경량고화처리토 및 EMF를 이용한 준설토 장거리 이송기술

- 일본 Chubu국제공항, Kitakyushu공항, Haneda공항에서는 산토와 준설토를 공기압송선을 통해 매립지로 이송 및 매립하였으며, 시멘트를 첨가하여 고화처리 방식으로 시공

101) 국토교통부, 환경친화적 준설토 확보, 매립 및 운송거리 30km이상급 이송기술 개발 : 효율적 준설토 이송 및 운반장비 기술 개발 최종보고서 (2세부), 2018.10

102) <http://www.kioست.ac.kr/kor.do>, 2017.07

- 독일, 네덜란드, 말레이시아에서는 오염된 퇴적물을 바탕으로 벽돌제조하는 기술을 소개하고 있으며, 강도 및 환경 내구성 등을 향상시키기 위한 연구 진행

□ 네덜란드, 벨기에 등 유럽을 중심으로 준설기술에 첨단화 및 대형화 기술 개발¹⁰³⁾

- 유럽은 Delft공대 준설실험실과 세계 최대 준설선 건조 회사인 IHC, 주요 준설회사들로 구성된 준설협회(Central Derdegging Assosiation)를 중심으로 10년간 준설 관련 요소 기술의 개발과 실용화를 추진하여 전 세계 주요 준설분야 시장을 선점
- 최근 10년간 대심도 준설이 가능한 점보급 준설선들은 대부분 유럽에서 건조되고 있으며, 네덜란드와 벨기에의 주요 회사들이 세계의 모든 점보급 준설선을 보유
- 국내의 경우, 현대건설이 친환경적인 시공 공법인 TSHD(Trailing Suction Hopper Dredger)분야에서 세계 7위권의 준설 능력을 보유



(a) 케이스 제작 전경 및 이동 및 부상

(b) 준설선 현황 – 커터펌프 준설선(좌), 그레브 준설선(우)

(c) 샌드키 Deep Compaction 작업(좌), 테레일러 펌프 준설선(TSHD)

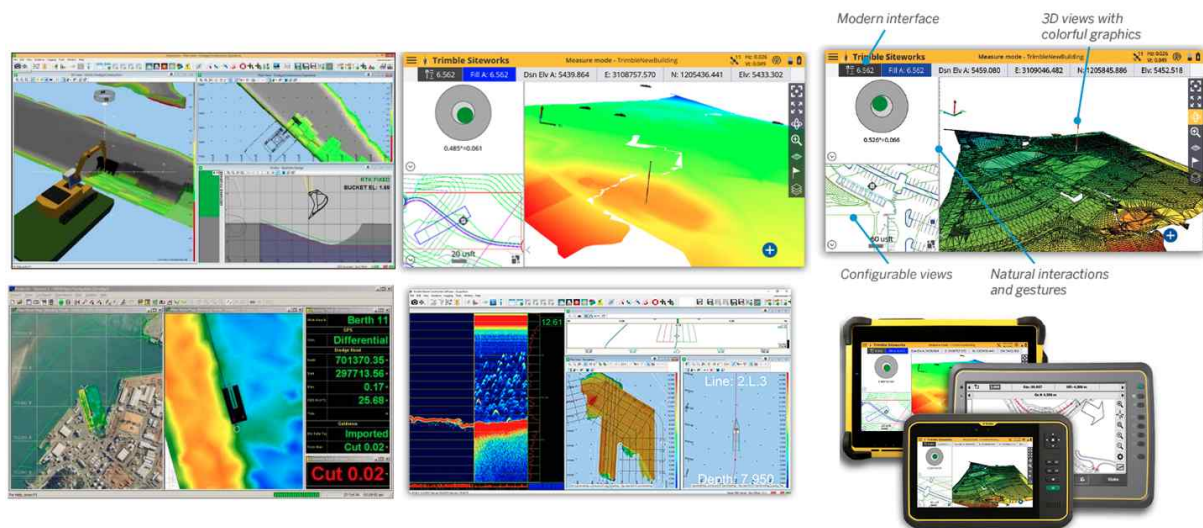
[그림 4.41] 준설작업의 대형화 장비

□ 고정확도의 시공 결과가 요구됨에 따라 준설매립지반 모니터링 및 3D 시뮬레이터 개발

- 미국의 Trimble社は GNSS 기반의 고성능 위치기반을 통해 정확한 위치에 준설, 기초공사, 측량 등의 시공이 가능하도록 함

103) 이종찬 외 3인, 싱가포르의 상전벽해, 투아스 핑거원 매립공사, 한국토목학회지 65(12), 2017.12

- 또한, 실시간 3D 시각화를 통해 생산성 향상 및 재작업 등의 시공오차를 줄이고, 미국 육군 공병대(USACE) 준설 품질관리 시스템(DQM)에 지원¹⁰⁴⁾
- 서울대학교와 한국해양과학기술원에서는 GIS기반 준설토 DB구축 및 지반특성에 따른 준설토 물량 산출 자동화 시스템 개발과 BIM기술의 준설매립 지반 실용화 기술 개발 관련 연구 수행
- 또한, 준설매립의 다차원 유동 및 침강-압밀 세뮬레이터 개발¹⁰⁵⁾



[그림 4.42] 미국 Trimble사의 3D 시각화 소프트웨어

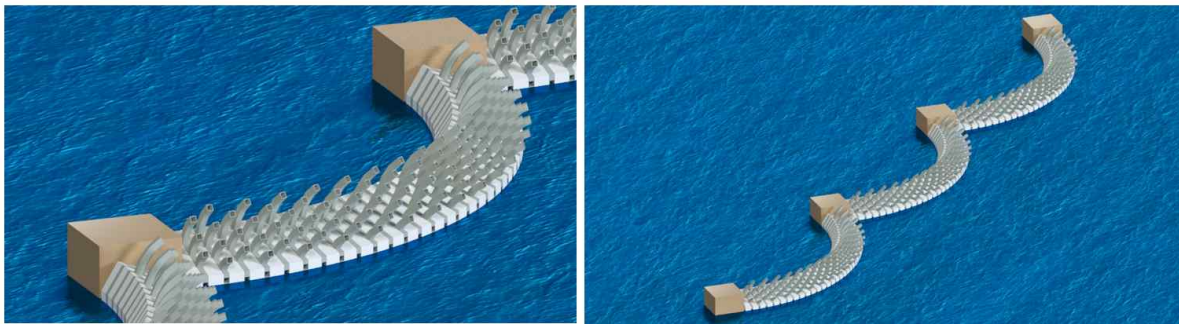
104) <https://construction.trimble.com/>

105) 국토교통부, 환경친화적 준설토 확보, 매립 및 운송거리 30km이상급 이송기술 개발 : 효율적 준설토 이송 및 운반장비 기술 개발 최종보고서 (1세부), 2018.10

4.4.2 항만/해안 구조물

□ 바람 및 파도에 의한 해안가의 피해 경감을 위한 플로팅 구조물 개념 도입

- 호주의 퀸즈랜드 대학에서는 자연재해 중에 바람과 파도 피해를 줄일 수 있는 “Floating forest”를 개발¹⁰⁶⁾
 - 바람은 해안을 침식시키고 선착장의 시설을 파괴하는 파도를 생성하기 때문에, 부유식 방파제 구조물 위에 바람막이를 설치하여 해안선을 보호해야함
 - 방파제 갑판위에 여러 개의 중공 기둥 튜브가 배열되며, 플라스틱과 콘크리트로 튜브를 만들어 바람에 강한 저항력을 제공하는 구조



[그림 4.43] 바람의 피해를 경감시킬 수 있는 플로팅 구조물 개념도

□ 해양생물 보호의식의 향상에 따라 친환경 생물공생형 해양 콘크리트 구조물의 개발 및 상용화

- 이스라엘의 EConcrete社에서는 바이오증대재료(Bio-enhancement)를 개발하여 콘크리트에 첨가하여, 어류, 산호초, 해초 등의 해양식물과 동물의 성장을 가속화하는 모듈식 프리캐스트 콘크리트 구조물을 개발¹⁰⁷⁾
 - 방파제 및 제방, 해안 및 해양 방어구조물에 적용할 수 있는 표면형상과 바위와 같은 자연 표면을 모방한 틈새와 질감으로 설계하여, 생물의 다양성을 높이면서 유체역학적으로 파압의 에너지를 완화시킬 수 있도록 설계
 - 미국의 브루클린 브릿지 공원, 홍콩 해변, 영국 등에 시공

106) <https://www.uq.edu.au/news/article/2019/05/floating-forest%E2%80%99-could-protect-vulnerable-shorelines>, 2019.05

107) <https://econcretetech.com/>

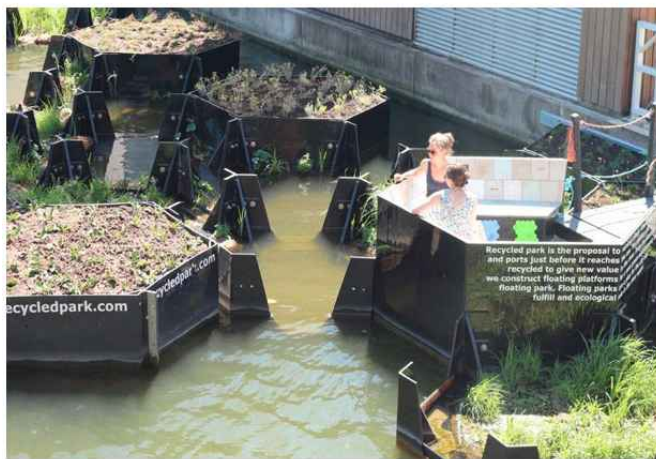
- 콘크리트 매트리스 개념을 개발하여 해안선 및 제방의 안정화, 해상 파이프라인 및 케이블을 보호할 수 있는 설치가 용이한 에코매트 등을 개발



[그림 4.44] 이스라엘 E.ONcrete社의 친환경 생물공생형 해양 콘크리트 구조물

- 폐자원 활용에 대한 의식 제고에 따른 재활용 폐 플라스틱을 이용한 부유식 공원 개발
 - 네덜란드의 로테르담에서는 Ocean Cleanup Project를 통해 항구 및 하천에서 회수된 플라스틱 폐기물을 재활용하여 6각형 블록의 부유식 공원을 설계¹⁰⁸⁾
 - 공원 내 식생 재배가 가능하고 관광객을 위한 벤치 제작을 통해 도시의 녹화 및 미세동물, 조류, 곤충, 어류의 서식지의 역할 기대

108) <https://www.recycledisland.com/>, 2018.07.

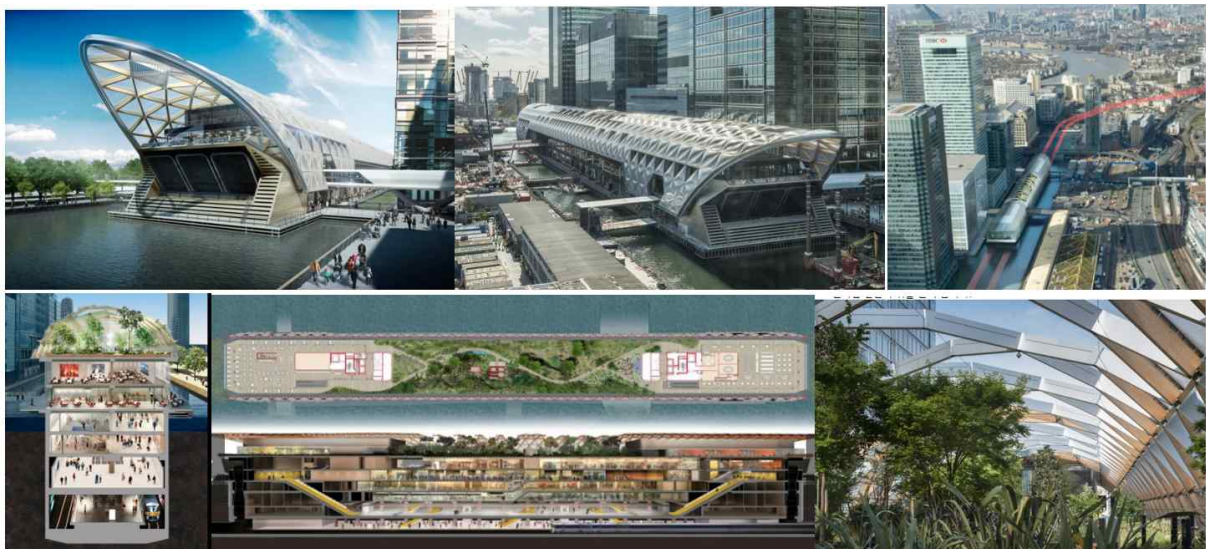


[그림 4.45] 네덜란드 로테르담의 재활용 폐플라스틱을 이용한 부유식 공원

4.4.3 인공섬

□ 지상공간의 부족을 해결하기 위해 인공섬을 활용하여 철도역사 및 쇼핑센터 개발

- 영국 crossrail 프로젝트의 일환으로 카나리와프(Canary Wharf) 북쪽 부두 근처에 수공간을 활용하여 인공섬을 형성하여 부두에 정박해 있는 배 모양으로 철도역사를 구축 중으로, '19년에 개통예정¹⁰⁹⁾
- 카나리와프 역에 설치해야 하나, 초고층 건물 등으로 인해 지상공간의 부족으로 다른 공간 활용
- 케이슨 공법을 활용하여 지하 30m 깊이의 물막이를 하여 1억 리터의 강물을 배출할 수 있는 펌프를 제작 및 작동하였으며, 콘크리트 약 38만 톤을 사용하여 철도 역사를 구축
- Crossrail place의 지상 3층, 지하 2층의 복합센터와 승강장과 대합실로 이뤄진 철도역사 공간으로 구성
 - 옥상은 유리 및 오픈된 공간으로 구성하여 나무와 식물 정원을 통해 빛을 지하에 있는 철도역사까지 받아들일 수 있도록 설계하였으며, 공기순환 또한 이뤄지도록 설계



[그림 4.46] 영국 Crossrail 인공섬을 활용한 카나리와프 철도복합역사

109) <http://www.crossrail.co.uk/route/stations/canary-wharf/>

□ 폐기물 처리와 공간 부족을 해결하는 폐기물 매립 인공섬 건설 증가

- 일본에는 폐기물을 매립하고, 매립이 완료된 인공섬을 스포츠 레저시설, 주택단지, 산업단지, 항만시설 등 다목적 활용하기 위한 Recycling Port가 추진¹¹⁰⁾
 - 시모노세키항은 준설토를 매립하여 만든 인공섬을 이용하여 항만을 건설하는 프로젝트가 진행되고 있으며, 선박의 접근이 용이한 외해에도 인공섬 항만을 조성 중
 - 일본은 항만법을 1973년에 개정하여 항만시설에 폐기물매립호안을 포함한 해상처분장 조성 및 관리를 수행하고, 각 지역의 항만시설을 Recycling port의 거점으로 활용하는 자원순환형 광역 네트워크 구축¹¹¹⁾
- 싱가포르 세마카우섬은 쓰레기매립지를 맹그로브 숲 조성을 통한 자연생태계 공원으로 조성하고 있으며, 2035년에는 7km의 거대한 가두리 형식의 제방 안으로 63백만³매립장이 모두 매립될 것으로 예상¹¹²⁾
 - 세마카우섬은 싱가포르 소각장에서 태우고 남은 재를 이용하여 매립하는 방식이며, 소각 시에 발생하는 열로 전기를 생산하여 다시 소각시설에 사용하고, 남은 전기 3%는 외부에 판매하는 방식 채택
 - 매립장 밑바닥에는 불투수성의 멤브레인과 지오펜브릭을 설치하여 방수막 처리를 하였으며, 진흙 및 침출수 발생을 대비하여 침출수 처리시설을 가동
 - 재를 이용하기 때문에 무취 및 쾌적함을 지니고 있으며, 친환경적이기 때문에 세계 각국에서 많은 관심을 받음
 - 썰물탐방, 탐조활동, 별보기 등의 다양한 레저활동 및 학습공간으로 적용

110) 국토교통부, 환경친화적 준설토 확보, 매립 및 운송거리 30km이상급 이송기술 개발 : 효율적 준설토 이송 및 운반장비 기술 개발 최종보고서 (1세부), 2018.10

111) 오명학, 권오순, 해상최종처리장 기반 인공섬 조성 기술동향, 한국환경준설학회 학술대회, 2016.04

112) <https://www.eco-business.com/news/how-will-singapore-defuse-a-16-year-waste-timebomb/>, 2019.05.

4.4.4 수중구조물

□ 해양 풍력발전에너지 시장 확대에 따른 다양한 부유식 해상풍력 플랫폼 개발¹¹³⁾

- 노르웨이 StatoilHydro社は 수심이 깊은 200~700m의 심해에 적용이 가능한 Spar타입의 부유식 해상풍력 플랫폼(HyWind)을 개발하여 세계 최초로 상업용 부유식 해상풍력발전단지를 건설
 - 모노파일 형식의 하부 부력체의 중량을 무겁게 하고 무게중심을 최대한 하부로 집중시켜 부유식 플랫폼의 모션을 저감시키고 안전성을 향상
 - 해수면에 접하는 부유식 플랫폼의 수선 단면적이 작아 파도의 영향에 민감하지 않아 파도에 의한 부유식 플랫폼의 모션에 유리한 형식
 - '09년 실패역 실증 실험 이후 해양외력에 대한 모션이 크게 발생하는 문제점을 개선한 이후, '17년 6월 노르웨이와 영국 사이의 북해에 세계 최초로 상업용 부유식 해상풍력발전단지를 건설
- ※ 과도한 모션을 개선하기 위해 하부 부유식 플랫폼 직경을 크게 변경하고 하부 중량을 증가
- 노르웨이 SwayAS社は Spar형식의 부유식 플랫폼에 1개의 Tension Leg를 결합한 부유식 해상풍력 플랫폼을 개발하여 노르웨이에 적용 예정
 - 파도에 따라 부유식 플랫폼이 상하로 움직일 수 있도록 설계되며 down-wind 타입의 풍력발전기를 적용
 - 적용 수심은 100~400m이며, 해양외력에 따른 모션은 최대 6~8°까지의 비교적 큰 모션이 발생
- 프랑스 Ideol社は 2~10MW의 풍력터빈을 탑재할 목적으로 링 모양을 갖는 바지형식의 부유식 해상풍력 플랫폼을 개발
 - 링 모양의 바지형식을 채용하여 링 내부에 가두어진 해수가 플랫폼의 모션을 흡수하는 자연적인 댐핑 효과와 슬로싱(Sloshing) 효과로 플랫폼의 모션을 저감시키고 안전성을 향상
 - 계류라인이 플랫폼 상부면에 체결되어 하부에서 잡아당기는 식이 아닌 상부면에서 누르는 효과를 적용하였으며, '17년 8월에 히타치 조선과 협력하여 제작

113) 한국건설기술연구원, 수심 100m 내외 부유식 해상풍력 플랫폼 기술개발 기획 연구, 2017.12.

- 이외에도 미국, 일본, 국내에서는 기본적인 부유식 해상풍력플랫폼 형식을 개선시키기 위한 다양한 해상풍력 플랫폼을 개발 중
 - 일본과 울산대학교는 깊은 수심을 필요로 하는 기존 Spar 형식의 문제점을 개선시켜 중수심에도 적용이 가능한 advanced spar 형식을 개발
 - 네덜란드 Gusto社에서는 기존 반잠수식의 WindFloat을 개선시킨 TriFloater 형식의 부유식 플랫폼을 개발
 - 미국 Glosten Associates에서는 기존 TLP형식을 개선시킨 Pelaster TLP 형식의 부유식 플랫폼을 개발



Statoil社의 부유식 해상풍력 플랫폼



SwayAS社의 부유식 해상풍력 플랫폼



Ideol社의 부유식 해상풍력 플랫폼

[그림 4-47] 전세계 부유식 해상풍력 플랫폼

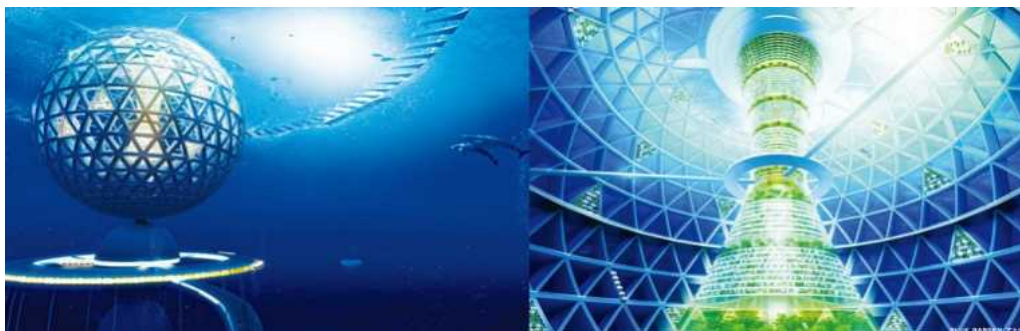
- **자원고갈과 식량부족, 환경오염 문제 대처뿐만 아니라 인류의 거주지 확보를 위해 해저 도시 개발이 진행 중이며 최근에는 관광이나 레저를 위한 해저호텔도 건설**
 - 미국 잠수함 주식회사는 피지섬 근처 수중 12m에 포세이돈 언더씨 리조트를 건설 중이며, '20년 완공 예정¹¹⁴⁾
 - 25개의 독립된 객실과 레스토랑, bar, 음식점 등 각종 시설이 들어설 예정
 - 여객 잠수함 모형으로 설계되었으며 리조트에 구조적 문제가 발생 시 각 객실은 분리되어 해상으로 떠오르도록 설계
 - 또한, 세계 유수의 아크릴 공급업체와 협력하여 두께가 1mm 미만의 아크릴 제조 및 후처리 기술을 개발하여 적용

114) 포세이돈 언더씨 리조트 홈페이지, <http://www.poseidonresorts.com/>

- 일본 시미즈(Shimizu)건설은 '17년 심해 미래도시 '오션 스파이럴(Ocean Spiral)' 프로젝트를 발표¹¹⁵⁾
 - 도쿄대·사가대·일본 해양연구개발기구(JAMSTEC) 등이 참여하는 이 프로젝트는 '30년~'50년 사이 75층 높이의 해저 건축물을 짓는 기술을 개발해 '55년까지 실제로 건설하는 것이 목표
 - 지름 500m의 원형 구조물인 '블루 가든'은 윗부분이 빙하처럼 떠 있고 그 아래는 해저 3000~4000m까지 나선형 건축물 건설
 - 5000명이 살 수 있는 주거지·호텔·연구시설과 나선형 통로 사이사이에는 발전소(메탄 제조공장, 자원 개발공장 등)와 해저에서 에너지를 발굴하는 연구시설 등이 있어 100% 에너지 자급자족 도시
 - 해저에서 사용하기 위한 재료는 콘크리트 대신 굳는 시간이 빠른 합성수지를 활용할 계획이고 아크릴판, 섬유강화 플라스틱(FRB) 등 현재 사용되고 있는 자재를 활용하고, 일부 건물은 거대한 3D 프린터로 건설 계획



[그림 4-48] 포세이돈 언더씨 리조트 개념도



[그림 4-49] 오션스파이럴 개념도

115) 아시아경제, 해저도시 건설-②호텔·군기지에서 '진짜도시'로?, 2019.08.20.

4.5 특수구조물

4.5.1 고압/극저온 구조물

□ 수소연료에 대한 관심 증대에 따른 수소 충전소 및 구축 인프라에 대한 관심 증대

- 탄소 배출량 저감에 대한 관심으로 수소전기차 보급이 확대될 것으로 전망됨에 따라 수소전기차 관련 인프라 수요가 증가¹¹⁶⁾
 - 수소충전소 인프라 구축에 대해 일본, 미국, 유럽, 중국 등에서 지속적인 투자를 진행
 - 수소충전소는 400기압으로 수소를 저장하는 수소저장 용기, 수소의 압력을 높이기 위한 압축기, 수소를 차에 충전하는 디스펜서로 구성
 - 독일의 Hofer compressor의 기술력이 뛰어나며, 최근 Linde에서 컴팩트한 고효율의 이온닉 압축기를 개발하여 상용화
 - 국내 수소충전소 건설을 전문으로 하는 효성, 광신기계, 이엠솔루션 등 다수가 있으나, 수소충전소용 장비 및 부품의 국산화율은 낮은 실정



(a) 미국 Sandia의 수소의 액상화 기술



(b) 호주 CSIRO의 암모니아 변환 장거리 수송기술



(c) 현대자동차의 수소충전소



(d) Alstom의 수소연료전지 구동 열차

[그림 4.50] 수소 충전소 확대보급을 위한 각국의 기술

116) 박진남, 수소충전소 기술 및 정책 현황, 공업화학 전망 21(3), 2018.06

- 미국은 H2USA, FirstElement Fuel社 등을 중심으로 수소충전소 구축을 지원하며, SNL(Sandia National Laboratories)에서는 수소 가스를 액체 수소로 전환하여 안전성을 확보하는 기술 및 소프트웨어 모델을 개발¹¹⁷⁾
- 호주 CSIRO(Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization)에서는 수소를 많은 소비자에게 전달시킬 수 있도록 수소를 암모니아 형태로 변환할 수 있는 금속 막을 개발하여, 장거리로 수송이 가능하도록 개발¹¹⁸⁾
 - 수소는 에너지 밀도가 낮은 매체이기 때문에 새로운 고압의 파이프라인과 특별한 저장 시스템이 필요
 - 수소를 암모니아 형태로 실온에서 보관하면서, 촉매를 통과시키면 수소와 질소가스로 방출되어 쉽게 수소로 전환 가능하도록 개발
- 일본은 수소충전소 보급을 위해 에너지, 자동차, 플랜트 엔지니어링, 수소충전소 운영의 각 기업이 HySUT를 발족시켜 공동운영
- 유럽은 FCH JU(Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking)을 중심으로 수소충전소 보급이 진행 중이며, H2Mobility를 독일, 영국, 프랑스 등으로 구성하여 수소충전소를 보급¹¹⁹⁾
 - 또한 프랑스의 다국적 기업인 Alstom社에서는 세계 최초로 수소 연료 전지 구동의 열차를 독일에서 운행

□ 극한지 하 자원 개발 및 이송을 위한 영하 40도 이하의 극한지 구조물 설계 기술 개발

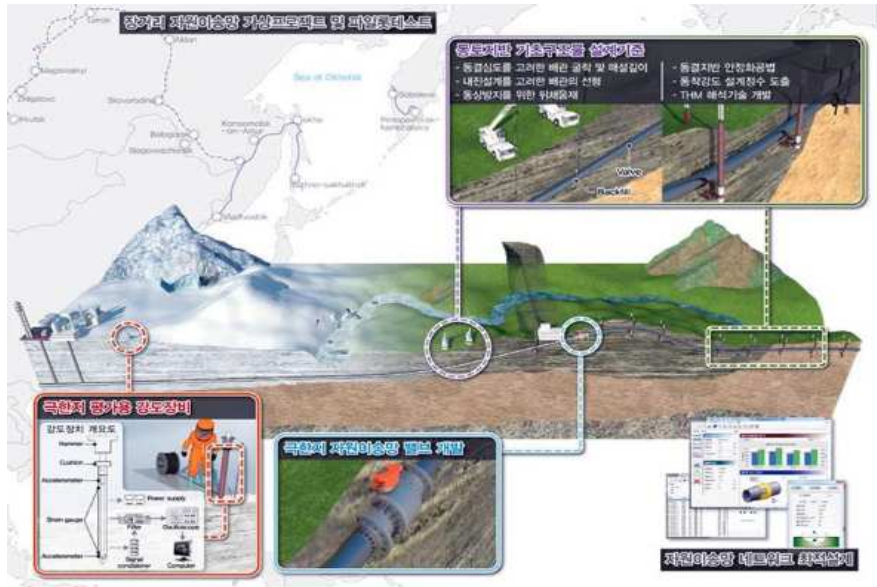
- 한국건설기술연구원은 영하 40도 이하의 극한지 온도조건을 반영한 2,000km급 장거리 자원 이송망-기반 구조물 설계 및 평가기술을 개발¹²⁰⁾
 - 미국 공병단에 의하면 영하 30도 이하에 전세계 미발견 석유 및 가스의 22%가 매장되어 있다고하며, 극한지에서 구조물은 쉽게 뒤틀리고 깨지는 특징 존재
 - 극한지 영구동토에서 특정지역의 동토특성을 조사하는 장비, 시험방법, 불연속적인 동토특성을 고려한 최적의 가스배관 경로 결정하는 S/W 및 장거리 가스배관의 볼밸브 등을 자체 개발

117) https://share-ng.sandia.gov/news/resources/news_releases/hydrogen_fueling/, 2018.10.

118) <https://www.csiro.au/en/News/News-releases/2017/Membrane-for-hydrogen-fuel-cells?featured=F29EDEB1728C4A92B579C7A5DC28BAD5>, 2017.05

119) <https://www.alstom.com/press-releases-news/2018/9/world-premiere-alstoms-hydrogen-trains-enter-passenger-service-lower>, 2018.09

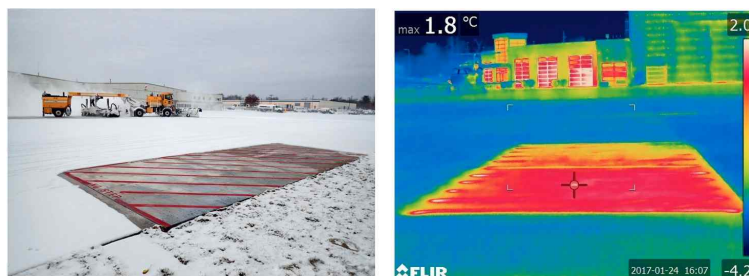
120) <https://www.edaily.co.kr/news/read?newsId=03289846622488592&mediaCodeNo=257>, 2019.05



[그림 4.51] 극한지 자원이송망-기반 구조물 설계를 위한 핵심기술 개념도

□ 도로에서 자체적으로 제설/제빙이 가능한 전기 전도성 콘크리트 개발

- 미국 Iowa State University에서는 눈과 얼음을 녹일 수 있도록 탄소섬유와 특수 혼합물을 결합하여 새로운 형태의 전기전도성 콘크리트를 개발¹²¹⁾
 - 전원 공급장치에 배선으로 연결된 전극을 통해 전류를 보내며, 소수성 코팅이 추가되어 내습에도 강하며, 현재 Des Moines International Airport에 적용
- 미국 University of Nebraska-Lincoln에서는 특수콘크리트에 미네랄 마그네타이트와 탄소입자를 20% 정도 배합한 전기전도성 콘크리트를 개발¹²²⁾
 - 제설이 가능하도록 하였으며, 이는 EMP공격에도 뛰어난 성능을 확보



[그림 4.52] 전기전도성 콘크리트에 의한 제설 테스트베드

121) <http://www.news.iastate.edu/news/2017/03/28/heatedairportpavements>, 2017.03

122) <https://news.unl.edu/newsrooms/unltoday/article/de-icing-concrete-could-improve-roadway-safety/>, 2016.01

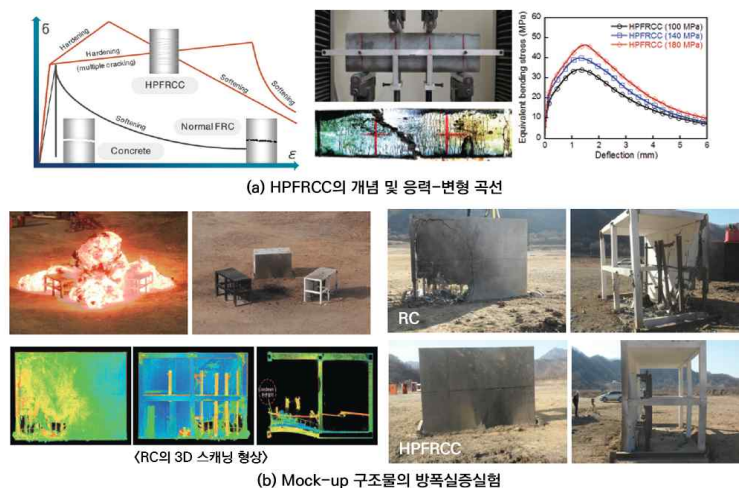
4.5.2 방호/방폭 구조물

□ 폭발파 보호 및 기존 방호벽 보강을 위한 가벼운 재질의 신소재 개발

- 미국의 University of Missouri 연구진은 폭발파에 대한 유리창의 위험성을 보완하기 위해 투명한 유리섬유로 구성된 폭발방지 얇은 유리패널을 개발
 - 폭발 이외에도 태풍 및 지진에도 보호 가능
- 미 육군 공병대 엔지니어 연구개발센터(ERDC)에서는 임시 피난처를 옮겼을 경우, 기존 벽을 빠르고 쉽게 보강할 수 있는 휴대 가능한 벽지를 개발¹²³⁾
 - 벽지는 폴리머 필름과 kevlar섬유, 접착 벽지 롤로 구성

□ HPFRCC를 활용한 방호구조물용 초고강도 콘크리트의 재료 개발

- 한국건설기술연구원에서는 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료(HPFRCC, High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composite)를 활용하여 높은 강도와 에너지 흡수능력, 연성 거동이 우수한 재료에 대한 재료 개발¹²⁴⁾
 - 이와 더불어 동적 충격 물성 시험 평가 기준 수립 및 방호성능에 대한 실험과 해석적으로 검토 수행



[그림 4.53] 방호구조물용 HPFRCC재료 및 방폭실증실험

123) http://www.army.mil/article/148786/Engineers_develop_ballistic_wallpaper_to_reinforce_temporary_shelters/, 2015.05

124) 김성욱 외 4인, 방호구조물용 HPFRCC재료 개발 및 방폭 실증 실험, 한국콘크리트학회지 31(5), 2019.09

- 첨단 의료기기, 군사시설, 주요 사회기반시설의 보호를 위한 전자파 방해율을 저감하는 첨단 유무기 복합 건설재료 연구가 활발히 진행 중¹²⁵⁾
- 미국은 탄소나노튜브를 이용한 전자파 차폐연구를 활발하게 진행하고 있으며 콘크리트에 적용하여 차폐성능을 평가하는 연구도 함께 진행
 - 탄소나노튜브 복합체를 EMI 차폐재료로서 차폐성능을 평가하였으며 기존의 알루미늄보다 높은 차폐성능을 발휘하는 것으로 분석
 - 탄소섬유에 그래핀 재료를 전기적으로 코팅함으로써 차폐성능을 향상
 - 일본은 건설회사들이 연구소 및 학교와 협력하여 차폐벽지, 차폐필름 등을 개발하여 건축물의 설계, 시공, 유지관리에 적용
 - 카지마건설은 기존의 동박과 석고보드를 이용한 차폐공법 대신 30dB정도의 차폐성능을 갖는 저비용 전자파 차폐벽지를 개발
 - 유리나 내장재 등의 표면에 일정주파수의 전파만을 반사시킬 수 있는 안테나를 특정 전파만을 선택해서 차폐할 수 있는 ‘주파수 선택 전자차폐 필름’을 개발
 - 기존 유리면이나 벽지 등에 부착 가능하도록 필름 타입으로 개발하여 기존 건축물에도 시공이 용이
 - 유럽연합에서는 NNEMP/HPM(Non-Nuclear EMP/High Power Microwave)로부터 유럽연합의 핵심기반시설에 대한 안전성 제고를 위해 여러 국가의 산학연간 컨소시엄을 구성하여 공동연구를 수행
 - 철도시스템의 전자파 공격에 대해 열차제어를 위한 신호시설, 차량제어 인프라 보호기술을 개발하는 SECRET 프로젝트 수행
 - ※ SECRET: SECurity of Railway against Electromagnetic aTtacks
 - EMP/HPM 위협에 대한 주요 인프라의 취약성을 개선하고 인프라 보호를 위한 포괄적인 제도를 개발하는 HIPOW 프로젝트 수행
 - ※ HOPOW: Protection of critical Infrastructure high power microwave threats
 - 국내에서는 전자기기의 EMI/EMC 차폐재료 기술은 '00년대 초반부터 산업계를 중심으로 개발되고 있으나, 건축물에 적용하기 위한 기술은 건설사, 건축자재 제조 회사 등의 시장접근 노력 부족으로 연구가 거의 이루어지지 않고 있는 상황

125) 국토교통과학기술진흥원, EMI, EMC, EMP, 차폐가 가능한 시설물 건설기술 개발 기획 보고서, 2017.05.

4.5.3 우주 구조물

□ 달 표면의 먼지 및 토양, 암반 재료를 기반으로 하는 달 기지 건설 기술 연구

- 유럽 우주국 ESA(European Space Agency)에서는 아폴로 프로젝트를 통해 얻은 암석 샘플 분석을 기반으로 하여 달의 인공토양 Regolith를 제작하여, 에너지를 저장할 수 있는 벽돌 개발¹²⁶⁾
 - 장기적인 달에서의 생활을 현실화하기 위하여 낮 동안 받아들인 햇빛을 보관하여 밤에 전기를 생산할 수 있는 지속가능한 에너지 저장 벽돌 개발하였으며, 내부에 저장된 에너지를 사용하기 위해 열 엔진을 연결하여 생산



[그림 4.54] 달 기지 건설을 위한 에너지 저장 인공토양 및 벽돌 개발

- 한국건설기술연구원은 미항공우주국(NASA)의 제안을 받아 달 표면 환경을 그대로 재현한 ‘지반열 진공체임버’를 제작완성¹²⁷⁾
 - 한국건설기술연구원은 $10^{-2} \sim 10^{-4}$ Torr의 진공도와 $-190 \sim 150^{\circ}\text{C}$ 의 온도 구현이 가능한 50m^3 급 규모의 지반열 진공체임버 구축
 - 우리나라의 달 건설기술 개발은 우주 강대국보다 늦게 시작하였지만, 달 표면 모의 환경구현 기술에서 빠르게 투자가 이루어지고 있으며, 달 모사토 제작 및 건설 재료 분야에서도 우주 강대국과의 기술격차를 줄이기 위한 노력 진행 중

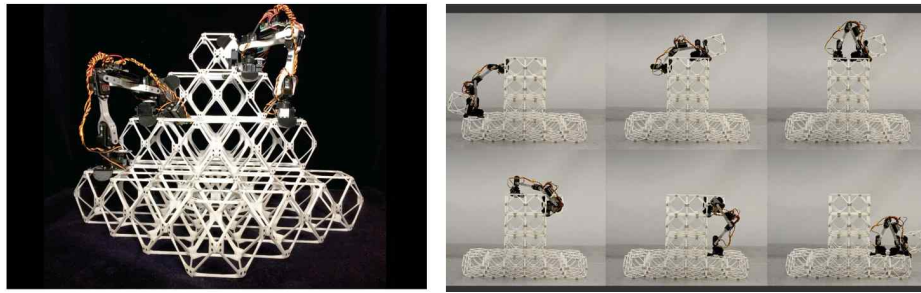
□ 소형로봇을 이용하여, 우주에서의 대형구조물 제작하는 기술 개발

- 미국 MIT에서는 달 기지 제작을 위한 BILL-E(Bipedal Isotropic Lattice Locomoting Explorer) 로봇을 개발하였으며 개발한 로봇은 항공기 제작, 교량 건설, 시설물 유지관리 및 보수에 활용이 가능¹²⁸⁾

126) https://www.esa.int/Enabling_Support/Preparing_for_the_Future/Discovery_and_Preparation/Powering_the_future_with_lunar_soil, 2019.07

127) 신휴성, 국내의 달 탐사 사업 및 달기지 건설기술동향, 한국건설기술연구원, 2018

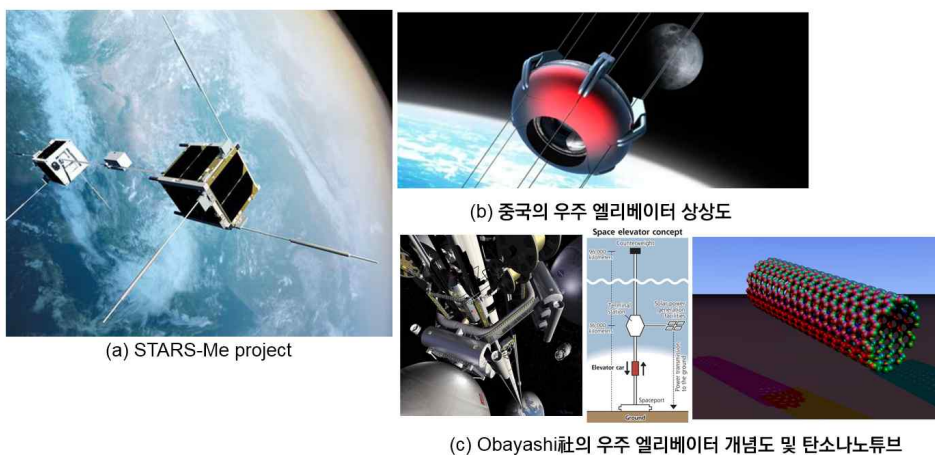
128) <https://ieeexplore.ieee.org/document/8769886>, 2019.07



[그림 4.55] 소형로봇을 이용한 달 기지 건설기술 개발

□ 우주 엘리베이터에 대한 실현 가능성 검토

- 일본 Obayashi社は 우주 엘리베이터 건설의 실현화를 위하여, 탄소나노튜브로 만들어진 케이블을 두 개의 위성에 연결하여 소형 로봇이 안정적으로 움직일 수 있는지에 대해 검토하는 STARS-Me프로젝트를 수행¹²⁹⁾
 - '50년까지의 계획을 세우고, 우주 엘리베이터 건설을 목표로 진행
- 중국 칭화대학에서는 우주 엘리베이터를 만들 수 있는 세계에서 가장 강력한 탄소나노튜브 소재의 섬유를 개발하는데 성공하였으며, 이는 현재 개발된 물질 중에서 최대의 인장강도를 지님¹³⁰⁾¹³¹⁾



[그림 4.56] 우주 엘리베이터의 개념도

129) <https://newatlas.com/space-elevator-stars-me-satellite/56482/>, 2018.09

130) <https://www.mk.co.kr/news/world/view/2018/10/668669/>, 2018.10

131) <https://newatlas.com/obayashi-space-elevator/21587/>, 2012.02

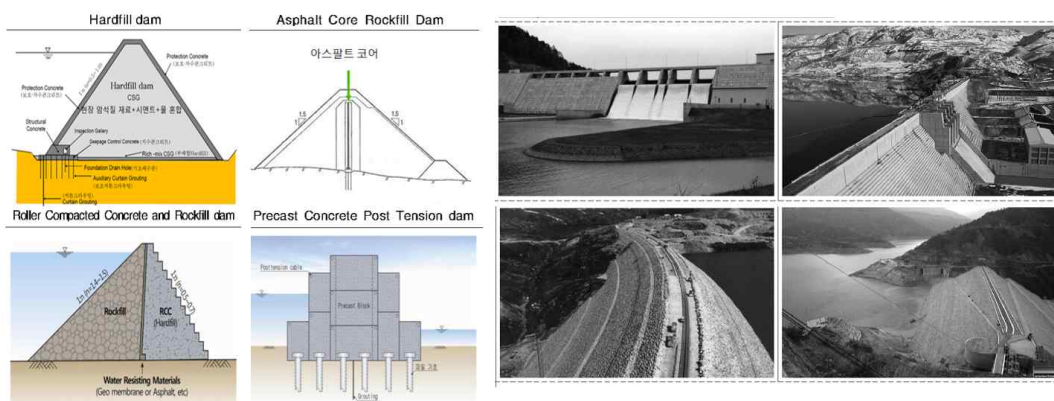
- 일본 우주항공연구개발기구(JAXA)는 달과 화성으로부터 입수한 토양만으로 건설자재를 제조하는 기술을 개발¹³²⁾
 - 달과 동일한 조성 및 입도의 모래에 마이크로파에 의한 가열 및 프레스 기계를 사용하여 압축해 물이나 혼합물을 사용하지 않고 성형하여 150MPa의 건설자재 개발
 - JAXA는 미국항공우주국(NASA)가 아폴로 계획에서 가져온 흙과 동일한 조성 및 입도를 조정한 모의 모래를 제작
 - 달에서는 물을 구하기 힘들 것으로 예상되므로 물을 이용하지 않고 마이크로파를 이용하여 가열한 후 다지는 방법을 제안
 - 달의 모래를 발열체로 감싸고 마이크로파로 1,000~1,100℃로 가열하면 모래의 표면이 녹아 서로 달라붙게 되고 이는 벽돌과 같은 15MPa 압축강도가 발현
 - 또한, 1,200℃까지 가열하게 되면 모래는 녹아 용암처럼 되고 이를 프레스 기계로 성형하게 되면 최대 150MPa 압축강도가 발현
 - 15MPa의 건설자재는 달표면 탐사기 등이 달리는 도로포장용, 150MPa의 건설자재는 로봇발사기지 등에 활용가능하며, 건설자재 제작에 필요한 마이크로파 생성에 필요한 에너지는 태양광 발전으로 처리할 계획
 - 화성의 흙은 점토 광물인 ‘벤토나이트’가 함유하고 있다고 추정되며 이를 이용하여 ‘콜드 프레스’ 방법으로 10MPa의 건설자재 개발
 - 벤토나이트와 모래를 배합하여 세 종류의 시료를 만들고 프레스 기계로 압축 성형하는 방법을 개발하였으며 압축력에 따라 최대 13MPa까지 강도가 발현
 - 현재 개발한 건설자재는 구조물에도 적용이 가능하지만 용도 확대를 위해 강도를 향상시키는 연구를 추가적으로 진행 중

132) 일경컨스트럭션, 달과 화성의 토양만으로 인프라 건설, 2018.11.02.

4.6 수공구조물

4.6.1 댐

- 선진국들은 우수한 댐 기술력을 토대로 자국 시장의 장악 및 물산업을 보호하고 있으며, 선진기술력과 공격적인 서비스전략으로 해외시장 진출이 활발
 - 댐건설에 있어 공사비 절감 및 공기단축을 위한 전세계적인 노력이 계속되어 댐 형식 및 축조공법에 있어 다양한 기술개발 성과 창출
 - Hardfill댐의 경우에는 하상골재를 재료원으로 활용하여 친환경적인 개발이 가능하여 중·소규모댐 위주로 적용되며, ACRD(Asphalt concrete core rockfill dam) 형식은 점토재료 대신 아스팔트를 코어재료로 사용하여 내진성능이 우수
 - 비암반 기초에도 건설이 가능하며, RCCR댐과 PCPT댐 등과 같이 기존 기술과 신기술을 융합한 댐 축조 형식 개발 진행
 - RCCR댐(Roller Compacted Concrete and Rockfill dam)은 RCC와 Rockfill공법을 융합한 댐
 - PCPT댐(Precast Concrete Post Tension dam)은 육상에서 PC블록을 제작 후 포스트텐션으로 현장 조립·설치
 - 국내 댐건설 기술은 일본 기술의 답습형태로 세계적인 기술개발의 새로운 패러다임을 반영하지 못하고 있으며, 타사업에 비해 댐건설 기술 개발 투자가 저조¹³³⁾

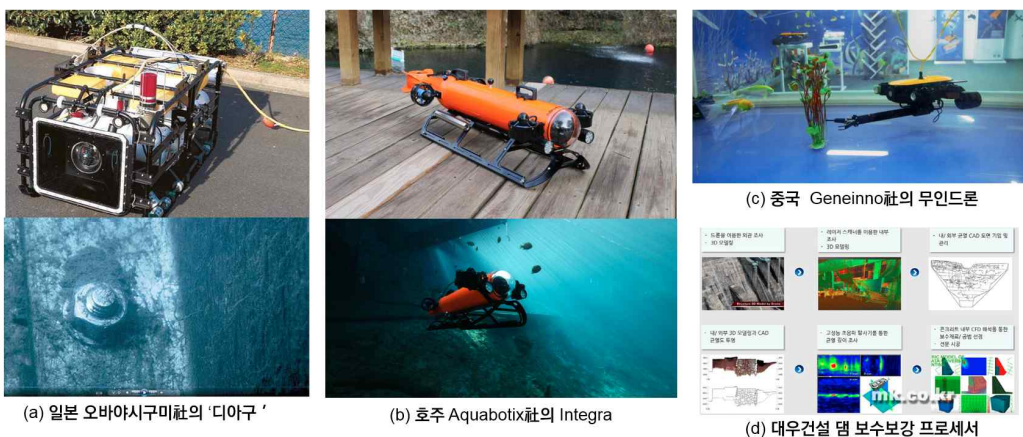


[그림 4.57] 미래핵심댐 건설기술

133) 임원창 외 2인, 미래 핵심 댐 건설기술의 소개, 유신기술회보 25호, 2019.

□ 수중 로봇 및 수중 드론을 이용한 댐 구조물의 균열보수 및 모니터링 진행

- 일본 오바야시구미社は 수중에서 선명한 영상을 촬영할 수 있는 인프라 점검 로봇 ‘디아구’를 개발¹³⁴⁾
 - 수심 100m까지 내려가 시설물 등을 점검할 수 있으며, 자이로 효과로 수류에 의한 흔들림을 보정하고, 이미지 분석 자동제거 기능을 갖춰 혼탁한 물속에서도 선명한 영상 획득이 가능
 - 이는 댐을 점검하거나, 해상풍력시설 등의 기초부 검사에 적용 가능
- 대우건설에서는 열화상카메라가 실린 드론을 띄우고, 물에 잠긴 취수탑에 수중 드론을 투입해 확보한 영상자료를 토대로 댐 상태를 모델링 하고, 실제 유실 및 균열이 발생된 구간을 보강할 수 있는 댐 관련 보수공법 프로세스를 구축 및 개발¹³⁵⁾
- 호주의 Aquabotix社は 구조물의 검사 작업이 가능한 원격작동차량(ROV)과 자율수중차량(AUV)를 하나로 통합한 Integra 수중로봇 개발¹³⁶⁾
 - 광섬유 케이블, Wifi가 탑재된 제어박스에 연결되어 외부의 모바일 장치와 실시간으로 제어가능하며 GPS기반으로 최대 수심 300m까지 들어가서 측정 가능
- 중국 Geneinno社は 수중 무인 드론에 팔을 설치하여, 제어 명령에 따라 운행이 가능하도록 개발¹³⁷⁾



[그림 4.58] 수중 로봇 및 수중 드론의 개발 현황

134) <http://www.irobotnews.com/news/articleView.html?idxno=10619>, 2017.05

135) <https://www.mk.co.kr/news/realstate/view/2019/07/525882/>, 2019.07

136) <https://www.aquabotix.com/>, 2017.12

137) <https://www.geneinno.com/titan.html>, 2019.01

4.6.2 하천시설

□ 하천을 따라 연결되는 플로팅 자전거도로 개발

- 영국의 Thames Deckway는 자전거의 이용을 활발하게 할 수 있도록 플로팅 사이클 경로를 제시¹³⁸⁾
- 미국의 Second Shore社は 시카고강을 따라 태양열 패널을 이용하여 전력공급 및 제설이 가능한 시스템으로 구성한 플로팅 자전거 도로를 제시함¹³⁹⁾
 - 프리캐스트로 제작되어 현장에서 조립되며, 강바닥으로 이어진 말뚝으로 고정하는 시스템



[그림 4.59] 시카고 하천을 따라 연결되는 플로팅 자전거 도로

□ 홍수 방지 및 친수시설을 위한 하천 재정비 사업의 증가

- 하천의 시설은 기본적으로 홍수를 방지하기 위하여, 친수시설의 목적으로 정비가 많이 되고 있는 형태이며, 이는 많은 사람들에게 접할 수 있는 조건이므로 건축학적인 형태로 적용
 - Zaha Hadid Architects社에서는 독일 함부르크의 심한 홍수를 방지하기 위하여 3층짜리 높이의 홍수방지방벽을 제작하였으며, 이는 유명한 강변 산책로 조성¹⁴⁰⁾

138) <https://newatlas.com/thames-deckway-river-cycleway-consortium/34100/>, 2014.10

139) <http://www.secondshore.com/index.php/riverride>, 2016.11

140) <https://newatlas.com/zaha-hadid-architects-niederhafen-river-promenade/61160/>, 2019.08



[그림 4.60] 독일 함부르크의 홍수방지방벽 및 산책로 조성

□ 하천의 정화를 위한 로봇시스템 및 재료 연구개발 활발

- 미국의 Kickstarter社에서는 원격제어 플로팅 수집기를 통해서 쓰레기를 제거하는 Trash Robot 기계를 제작¹⁴¹⁾
 - GPS를 통해 정확한 위치를 확인할 수 있는 로봇을 개발
- 네덜란드의 Ocean Cleanup社는 하천 및 바다의 플라스틱 폐기물을 수집하기 위해 긴 플로팅 베리어와 컨베이어 벨트를 사용하여 쓰레기를 걸러내고 물이 계속 흐르도록 하는 Interceptor를 개발¹⁴²⁾
 - 쓰레기 수거통에 내장된 센서는 적재물을 모니터링하고 비우는 시기를 운영자에게 알림해주는 기능 포함
 - 태양열에 의해 24시간 365일 작동가능하며, 하루 50톤의 쓰레기 수거 가능
 - 자카르타와 쿠알라룸푸르에 설치하여 하천에 방류된 플라스틱 쓰레기가 바다로 흘러가지 않도록 정화

141) <https://www.kickstarter.com/projects/wildmile/trash-cleaning-robot-controlled-by-you>, 2018.03

142) <https://theoceancleanup.com/>, 2019.10

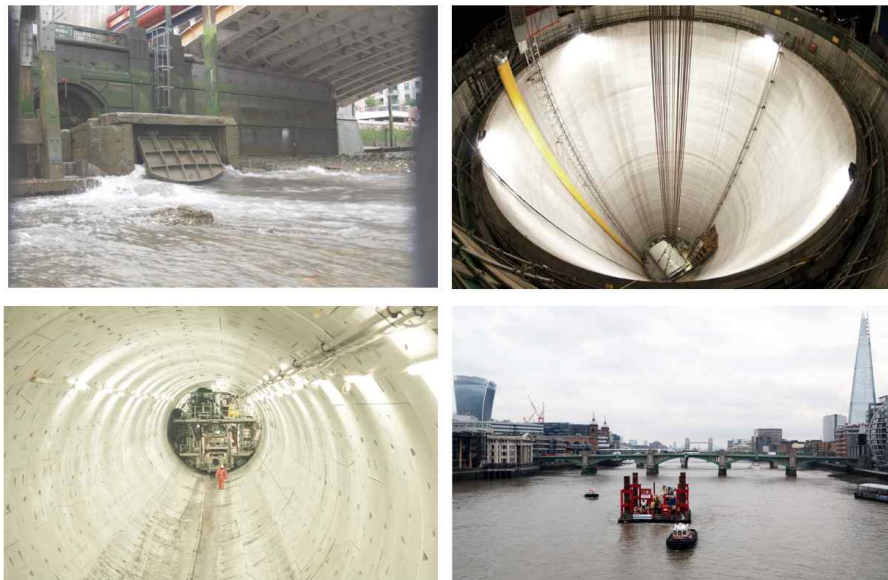
- 미국 South Dakota State University에서는 탄소강 칩을 재활용하여 오염된 강의 대장균 및 박테리아 중 대장균의 90%이상을 제거할 수 있는 재료를 개발¹⁴³⁾



[그림 4.61] 하천 정화를 위한 로봇개발

□ 하천을 따라 건설되는 “슈퍼 하수도” 건설 프로젝트

- 1860년대에 건설된 영국 런던의 하수도 시스템의 용량부족으로 인해 템스강에 방류되는 하수문제를 해결하기 위하여, 하수를 저장하는 거대한 탱크역할의 슈퍼 하수도 터널을 건설 중^{144), 145)}
- TBM이 하저에 내려갈 수 있는 수직구를 제작하고, 콘크리트 세그먼트를 설치하도록 구성하는 거대한 하수도 터널인 Thames Tideway 터널은 '23년에 완공 예정



[그림 4.62] 런던의 슈퍼하수도 건설 프로젝트인 Thames Tideway

143) <https://newatlas.com/ecoli-storm-water-steel-chips/54760/>, 2018.05

144) <https://newatlas.com/thames-tideway-tunnel/40800/>, 2015.12

145) <https://newatlas.com/thames-tideway-tunnel-blackfriars-pier/46797/>, 2016.12

5. 주요 이슈 및 시사점

- **각국에서는 인프라 재건 및 구축을 위한 승인 절차를 간소화하는 법안을 제정**
 - 미국 트럼프 대통령은 복잡한 허가절차에 의해 제한되거나 지도부의 우선순위에 따라 추진되었던 인프라 구축 및 개선 프로젝트의 문제점을 지적하고 개선하기 위해 FAST 법을 제정하고 이를 근거로 다양한 인프라 개선 프로젝트를 수행
 - 독일의 연방 교통 및 디지털 인프라부(BMVI)는 '18년 인프라 구축 및 현대화를 위한 계획·승인 절차 간소화 법안 제정
- **유럽연합 및 유럽의 국가들은 교통 분야 인프라를 구축하기 위한 계획을 다각도로 수립**
 - 유럽연합 교통부에서는 'TEN-T(Trans European Transport Network)' 추진
 - 독일의 연방 교통 및 디지털 인프라부에서는 '16년 도로, 철도, 수로 등 교통 분야에 대한 인프라 개발 계획인 'BVWP(Bundesverkehrswegeplan) 2030' 수립
 - 프랑스 교통부는 '18년 마크롱 프랑스 대통령의 정책 우선순위에 따라 철도 인프라 분야 '이용자의 일상적 요구(everyday needs of users)'에 집중할 것을 발표
- **노후화된 인프라를 효율적으로 활용하고, 인프라의 노후화로 인한 사고를 방지하기 위한 정부차원의 정책 수립**
 - 미국은 '19년 운송 시스템 개선을 위한 혁신적인 기술 도입 및 노후 인프라의 활성화 촉진을 위해 'INFRA Grants' 2차 프로젝트 추진
 - 일본의 국토교통성에서 수립한 '인프라 장수명화 기본계획'은 '30년까지 노후화로 인한 인프라 중대사고 제로를 목표로 추진
- **세계 시설물시장은 전반적으로 지속적인 성장을 보이고 있으며, 터널/지하공간, 지오텍 등의 시장이 급격히 성장**
 - 글로벌 터널 및 지하공간에 대한 시장은 연평균 7% 이상 성장할 것으로 예상되며, 글로벌 지오텍 스타일 시장 규모는 배수 및 침식 방지에 대한 수요 증가로 인해 '25년까지 연평균 12% 증가할 것으로 예상

□ 시장 및 정책의 요구에 따라 친환경과 관련된 연구 및 기술개발이 활발히 진행 중

- 환경영향을 최소화하고 경제적이고 환경 친화적인 콘크리트 재료를 활용하여 지속가능한 건설을 목표하는 세계적인 움직임이 지속적으로 증가
- 암반 노출사면의 안정적인 녹화를 위해 토양 안정화 기술을 이용한 사면 안전용 친환경 녹생토 재료 및 시공법 개발
- 최근 친환경 재활용 기술이 각광 받으면서, 준설토를 재활용하는 연구가 진행
- 기후변화 대응, 신재생에너지 확대 등 에너지 정책목표 달성을 위한 해양 풍력발전 에너지 시장 확대에 다양한 부유식 해상풍력 플랫폼 개발

□ 로봇기술의 발전에 따라 사람의 접근이 제한된 곳에서 로봇을 활용한 인프라 설치 및 유지관리 기술개발 진행 중

- 미국 하버드대학교 및 스페인 기업 등에서 육상/해상 기초분야에서 로봇을 활용한 기초 공사 관련 연구 진행
- 미국 MIT에서는 소형로봇을 이용하여 우주에서의 대형구조물(달기지 등) 제작하는 기술 개발
- 일본, 중국, 호주, 한국 등에서는 수중 로봇 및 수중 드론을 이용한 댐 구조물의 균열보수 및 모니터링 진행

□ 인류의 거주지 확보, 자원고갈 및 식량 부족 등의 문제를 해결하기 위한 우주개발과 해저도시 개발 연구가 추진 중

- 일본 시미즈(Shimizu)건설은 심해 미래도시 '오션 스파이럴(Ocean Spiral)' 프로젝트를 발표하여 '30년~'50년 사이 75층 높이의 해저 건축물을 짓는 기술을 개발
- 유럽 우주국(ESA)에서는 달의 인공토양 Regolith를 제작하여, 에너지를 저장할 수 있는 벽돌 개발
- 일본 우주항공연구개발기구(JAXA)는 달과 화성으로부터 입수한 토양만으로 건설 자재를 제조하는 기술을 개발

참고문헌

1. 국토교통부, 「제 5차 건설산업진흥기본계획(2018-2022)」, 2019.01.
2. 국토교통부, 「제 3차 해외건설진흥기본계획」, 2015.10.
3. 국토교통부, 「제6차 건설기술진흥기본계획(2018-2022)」, 2018.01.
4. 국토교통부, '18년「하천기본계획 수립지침」
5. 국토교통부, 제4차 수자원장기종합계획의 제3차 수정계획(2016-2020)
광역교통 2030, 관계부처 합동, 2019.10.
6. 2016년도 국정감사 질의서 목록[한국수자원공사], 2016
7. 국토교통부 국정브리핑, 워터저널, 2019.03.05.
8. 도널드 J. 트럼프 대통령의 AMERICAN INFRASTRUCTURE INITIATIVE
<https://www.transportation.gov/briefing-room/white-house-press-release-building-stronger-america>
9. United States Department of Transportation, TIFIA Rural Project Initiative (RPI)
<https://www.transportation.gov/buildamerica/programs-services/tifia/tifia-rural-project-initiative-rpi>
10. United States Department of Transportation, INFRA Grants program
<https://www.transportation.gov/buildamerica/infragrants>
11. United States Department of Transportation, Public-Private Partnerships(P3)
<https://www.transportation.gov/buildamerica/programs-services/p3>
12. The European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport(DG MOVE)
https://ec.europa.eu/transport/themes/infrastructure_en
한국교통연구원, 유럽 연합(European Union)의 교통정책, 2018
13. The European Commission, <https://ec.europa.eu/inea/en/connecting-europe-facility>
Kotra, 해외시장뉴스, 유럽 연결프로젝트(CEF)
14. 연방교통·디지털 인프라부: BMVI(Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur),
<https://www.bmvi.de/DE/Themen/Mobilitaet/Infrastrukturplanung-Investitionen/Bundesverkehrswegeplan-2030/bundesverkehrswegeplan-2030.html>
한국조세재정연구원, 주요국 예산안 - 독일, 2019. 02
15. 연방교통·디지털 인프라부(BMVI), Planungsbeschleunigung
16. Strategic Infrastructure Planning: International Best Practice, OECD/ITF 2017

17. Gaps and Governance Standards of Public Infrastructure in Chile, OECD 2017
18. Infrastructure and Projects Authority,
<https://www.gov.uk/government/organisations/infrastructure-and-projects-authority/about>
19. Infrastructure and Projects Authority, National Infrastructure Delivery Plan 2016-2021
20. 2017년도 재해연보, 최근 10년간 시설별 연도별 피해복구비
21. 국회입법조사처, 해외 주요 국가의 인프라 유지관리 시스템 연구, 2018. 12
22. Infrastructure and Projects Authority, Transforming Infrastructure Performance, 2017. 12
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/664920/transforming_infrastructure_performance_web.pdf
국회입법조사처, 해외 주요 국가의 인프라 유지관리 시스템 연구, 2018. 12
23. 대한건설정책연구원, 일본 노후 인프라 대응 전략 및 정책적 시사점, 2017. 11
국토교통성(国土交通省), <http://www.mlit.go.jp/index.html>
24. 대통령직속 북방경제협력위원회, 시베리아철도 이용활성화 방안 최종보고서, 2018. 10
대외경제정책연구원(KIEP), 2017년 중국의 주요 경제부처별 정책 방향, 2017. 03
25. 초장대교량사업단 한국도로공사, 케이블교량 해외 시장 진출을 위한 BIM 기반 디지털모델 활용 협업환경 구축, 2018. 04
26. 연상호, 김종수, 연춘흠, 한국지리정보학회지 22권 2호, 스마트 센서 기반의 교량 시설물 안전 모니터링 기법 연구, 2019.06
27. 안윤구, 장근영, 황순규, 한국강구조학회지 31권 4호, 강부재의 피로 균열 모니터링을 위한 수동 및 능동 레이저 통합 열화상 기법, 2019.08
28. 경갑수 외 4인, 국내외의 교량 현황조사 및 시사점, 한국강구조학회지 29(6), 2017.12
29. 조광일 외 3인, 내후성강재의 강교량 적용기술 개발, 한국강구조학회지 29(4), 2017.08
30. 박만우, 증강현실 기법을 이용한 구조물 유지관리 플랫폼 개발, 한국BIM학회, 2019.06
31. 이광명, 자기치유 콘크리트 기술 현황과 미래 전망, 2018.02
32. 김진국, 양준모, 한국콘크리트학회지 31(4), 초고강도 강연선과 프리스트레스트 콘크리트 기술 현황, 2019.07
33. 박진욱 외 3인, 대심도 복층터널 원격 자동소화 시스템 개발, 대한설비공학회 학술발표대회, 2018.06
34. 이소오, 과학기술연합대학원, 저심도 철도시스템의 시공을 위한 트렌치 쉴드 장비 설계연구, 2016.02

35. 이상필 외 2인, 터널 에너지 라이닝 시스템의 활용에 관하여, 한국터널지하공간학회지 21(1), 2019.03
36. 김영근, 세계 최장 HZMB 해저터널의 주요 기술 혁신, 한국터널지하공간학회지 21(1), 2019.03
37. 조형제 외 4인, 초장대 해저터널의 공사중 덕트 접속부의 누풍 성능 개선에 관한 연구, 한국터널 지하공간학회 논문집 19(2), 2017.03
38. 장수호, 지하공간의 특징을 고려한 도심지 대규모 지하공간의 활용과 구상 사례, 건설기술 쌍용 76, 2019
39. 장현오 외 2인, ECG기술을 활용한 사면 안정용 녹생토 재료 및 시공법 개발, 한국콘크리트학회지 31(3), 2019.05
40. 한국지질자원연구원, 도심지 지하공동 탐지 다중 채널 3차원 GPR 시스템 개발, 2017.12
41. 노영화, 이석환, 지하 굴착 후 개별탐사(GPR, MASW, 전기비저항) 결과의 복합연산에 의한 지반 이완영역 해석 연구, 대한지질학회지 55(4), 2019.08
42. 단국대학교, 3차원 지하공간통합지도 활용성 제고를 위한 지반정보 정밀도 향상 모듈 개발, 2018.06
43. 이규환, 4차 산업혁명 핵심기술로 국민생명 지킨다! : 지진으로부터 24시간 모니터링 체계 구축, 지역정보화 115, 2019.03
44. 전유정, 지진조기경보, KISTEP 기술동향브리프, 2019.12
45. 김준호, 허남태, 흙막이 가시설 공법의 최신 기술 동향, 건설기술 쌍용, 2018
46. 박기웅, 조주환, 해상풍력 발전기 석션기초 설계기준, 유신기술회보
47. 국토교통부, 환경친화적 준설토 확보, 매립 및 운송거리 30km이상급 이송기술 개발 : 효율적 준설토 이송 및 운반장비 기술 개발 최종보고서 (2세부), 2018.10
48. 이종찬 외 3인, 싱가포르의 상전벽해, 투아스 팅거원 매립공사, 한국토목학회지 65(12), 2017.12
49. 국토교통부, 환경친화적 준설토 확보, 매립 및 운송거리 30km이상급 이송기술 개발 : 효율적 준설토 이송 및 운반장비 기술 개발 최종보고서 (1세부), 2018.10
50. 오명학, 권오순, 해상최종처리장 기반 인공섬 조성 기술동향, 한국환경준설토학회 학술대회, 2016.04
51. 박광태, 해양/풍력에너지 해상풍력발전 시장 확대에 주목, NICE평가정보(주)산업테마보고서, 2019.08
52. 박진남, 수소충전소 기술 및 정책 현황, 공업화학 전망 21(3), 2018.06
53. 김성욱 외 4인, 방호구조물용 HPFRCC재료 개발 및 방폭 실증 실험, 한국콘크리트학회지 31(5), 2019.09
54. 임원창 외 2인, 미래 핵심 댐 건설기술의 소개, 유신기술회보 25호, 2019.

55. 국토교통통계누리, 도로교량 및 터널현황/철도터널현황_연도별, 2019.12.14
56. 신휴성, 국내외 달 탐사 사업 및 달기지 건설기술동향, 한국건설기술연구원, 2018
57. 국제 터널 및 지하공간 협회(ITA, International Tunnelling and Underground Space Association), WTC 2017
58. QY Research, Global Erosion Control Blankets Market Insights, Forecast to 2025
59. Grandview Research, Geotextile Market Size, Share&Trends Analysis Report By Material(PP, PE), By Product (Non-Woven, Woven), By Application(Road Construction, Erosion Prevention), By Region, And Segment Forecasts, 2019 - 2025
60. Future Market Insights(FMI), Global Dredging Market Set to Grow by 2022
61. Fact.MR, Dredging Market Forecast, Trend Analysis & Competition Tracking - Global Market insights 2017 to 2022
62. Reservoir Analysis Market by Service (Geo Modeling, & Reservoir Simulation, Data Acquisition & Monitoring, and Reservoir Sampling), Application (Onshore & Offshore), Reservoir Type (Conventional & Unconventional), and Region - Global Forecast to 2022
63. K.W.Liao, Y.T.Lee, Automation in Construction 71(2), Detection of rust defects on steel bridge coatings via digital image recognition. 2016.11
64. I.H.Kim, H.M.Jeon, S.C.Baek, W.H.Hong, H.J.Jung, Sensors 18(6), Application of Crack Identification Techniques for an Aging Concrete Bridge Inspection Using an Unmanned Aerial Vehicle. 2018.06
65. R.C. Sharma et al., Modernization of railway track with composite sleepers, Int. J. Vehicle Strucutre, 9(5), 2017.01
66. M. N Vu et al., Structural Analysis for Shallow Tunnels in Soft Soils, International Journal of Geomechanics 17(8), 2017.08
67. Q.Fang et al, Shallow tunnel construction with irregular surface topography using cross diaphragm method, Tunnelling and Underground Space Technology, 68, 2017.09.
68. A.Fenais, et al., Integrating Geographic Information Systems and Augmented Reality for Mapping Underground Utilities, Infrastructures 4(4), 2019.07
69. International Commission On Large Dams
70. U.S. Bridge Market Outlook, Transportation Builder, 2018
71. <http://www.irobotnews.com/news/articleView.html?idxno=10619>, 2017.05

72. <https://www.mk.co.kr/news/realestate/view/2019/07/525882/>, 2019.07
73. <https://www.aquabotix.com/>, 2017.12
74. <https://www.geneinno.com/titan.html>, 2019.01
75. <https://newatlas.com/thames-deckway-river-cycleway-consortium/34100/>, 2014.10
76. <http://www.secondshore.com/index.php/riverride>, 2016.11
77. <https://newatlas.com/zaha-hadid-architects-niederhafen-river-promenade/61160/>, 2019.08
78. <https://www.kickstarter.com/projects/wildmile/trash-cleaning-robot-controlled-by-you>, 2018.03
79. <https://theoceancleanup.com/>, 2019.10
80. <https://newatlas.com/ecoli-storm-water-steel-chips/54760/>, 2018.05
81. <https://newatlas.com/thames-tideway-tunnel/40800/>, 2015.12
82. <https://newatlas.com/thames-tideway-tunnel-blackfriars-pier/46797/>, 2016.12
83. <https://www.researchnester.com/press-details/europe-steel-bridge-market-analysis/1240>
84. MarketWatch, 2019
85. <https://ars.electronica.art/aeblog/en/2018/06/05/3d-printed-steel-bridge>, 2018.06
86. <https://www.shortspansteelbridges.org/>
87. <https://www.3dprintingmedia.network/ucla-1-5m-eco-friendly-3d-printed-concrete/>, 2019.08
88. <https://3dprintingindustry.com/news/dsm-royal-haskoningdhv-and-cead-design-worlds-first-lightweight-3d-printed-bridge-161154/>, 2019.09
89. <https://www.lankhorstrail.com/>
90. <http://www.newindianexpress.com/states/telangana/2019/apr/20/cable-bridge-segment-heaviest-in-country-1966566.html>, 2019.04
91. http://www.kric.go.kr/jsp/industry/knp/railCommonSenceDetail.jsp?p_id1=A010031131&p_id2=163&q_name=1&pageNo=6, 2012.02
92. <https://www.theconstructionindex.co.uk/news/view/bim-for-bridges>, 2019.07
93. <http://www.cenews.co.kr/news/articleView.html?idxno=8023>, 2019.05
94. <http://fire-protection.vsl.com/fpia/>
95. <https://coloradosun.com/2019/10/09/fire-suppression-system-colorado-eisenhower-tunnel/>, 2019.08
96. <https://news.join.com/article/23222753>, 2018.12
97. <https://www.motorgraph.com/news/articleView.html?idxno=20970>, 2018.10

98. <http://www.thegear.kr/news/articleView.html?idxno=15666>, 2018.01
99. <https://www.zdnet.co.kr/view/?no=20180524104340>, 2018.05
100. http://m.cnews.co.kr/m_home/view.jsp?idxno=201903031100001200091#cb, 2019.03
101. <https://www.geospatialworld.net/blogs/construction-firms-realize-the-benefits-of-an-integrated-bimgeospatial-full-lifecycle-approach-to-construction/>, 2019.10
102. <https://edition.cnn.com/style/article/norway-underwater-floating-tunnel-intl/index.html>, 2019.01
103. http://digitalpaper.stdaily.com/http_www.kjrb.com/kjrb/html/2019-01/29/content_413922.htm?div=-1, 2019.01
104. <http://www.ctman.kr/news/14620>, 2018.04
105. <https://www.theconstructionindex.co.uk/news/view/double-deck-road-tunnel-opens-in-seattle>, 2019.02
106. <https://tunnelingonline.com/advances-in-tunneling-overcome-challenges-in-urban-areas/>, 2019.06
107. <http://www.gmeng.co.kr/>
108. http://www.hani.co.kr/arti/economy/economy_general/897227.html, 2019.06
109. <http://sid.seoul.go.kr/>
110. <https://m.edaily.co.kr/news/Read?newsId=03909766615932200&mediaCodeNo=#forward>, 2017.05
111. <https://www.straitstimes.com/politics/masterplan-of-spores-underground-spaces-ready-by-next-year>, 2018.02
112. <http://news1.kr/articles/?3148325>, 2017.11
113. http://mbn.co.kr/pages/news/newsView.php?uagent=m&news_seq_no=3367840, 2017.10
114. <https://brdg.co/vr-room/>
115. <http://news.zum.com/articles/53372670>, 2019.06
116. <https://tunnelingonline.com/underground-data-centres-for-the-urban-spaces-of-the-future/>, 2019.09
117. <https://www.prestogeo.com/>
118. <https://www.sciencetimes.co.kr>
119. <http://www.ctman.kr/news/15613>, 2018.10

120. <http://www.economytalk.kr/news/articleView.html?idxno=129947>, 2015.12
121. <https://www.ajunews.com/view/20150422095051238>, 2015.04
122. <https://www.linkedin.com/pulse/sharing-information-location-underground-utilities-geoff-zeiss>, 2019.03
123. http://www.hani.co.kr/arti/science/science_general/766979.html, 2016.10
124. <https://wyss.harvard.edu/news/laying-the-ground-for-robotic-strategies-in-environmental-protection/>, 2019.04
125. <https://www.euroimplementos.net>
126. <http://www.etnews.com/20191021000196>, 2019.10
127. <http://www.kiost.ac.kr/kor.do>, 2017.07
128. <https://construction.trimble.com/>
129. <https://www.uq.edu.au/news/article/2019/05/floating-forest%E2%80%99-could-protect-vulnerable-shorelines>, 2019.05
130. <https://econcretetech.com/>
131. <https://www.recycledisland.com/>, 2018.07.
132. <http://www.crossrail.co.uk/route/stations/canary-wharf/>
133. <https://www.eco-business.com/news/how-will-singapore-defuse-a-16-year-waste-timebomb/>, 2019.05.
134. <https://newatlas.com/worlds-biggest-wind-turbine/14215/>, 2010.02
135. <https://www.bbc.com/news/uk-scotland-50030184>, 2019.10
136. <https://www.windpowerengineering.com/how-robots-may-change-wind-om/>, 2019.08
137. https://share-ng.sandia.gov/news/resources/news_releases/hydrogen_fueling/, 2018.10.
138. <https://www.csiro.au/en/News/News-releases/2017/Membrane-for-hydrogen-fuel-cells?featured=F29EDEB1728C4A92B579C7A5DC28BAD5>, 2017.05
139. <https://www.alstom.com/press-releases-news/2018/9/world-premiere-alstoms-hydrogen-trains-enter-passenger-service-lower>, 2018.09
140. <https://www.edaily.co.kr/news/read?newsId=03289846622488592&mediaCodeNo=257>, 2019.05
141. <http://www.news.iastate.edu/news/2017/03/28/heatedairportpavements>, 2017.03
142. <https://news.unl.edu/newsrooms/unltoday/article/de-icing-concrete-could-improve-roadway-safety/>, 2016.01

143. http://www.army.mil/article/148786/Engineers_develop_ballistic_wallpaper_to_reinforce_temporary_shelters/, 2015.05
144. https://www.esa.int/Enabling_Support/Preparing_for_the_Future/Discovery_and_Preparation/Powering_the_future_with_lunar_soil, 2019.07
145. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8769886>, 2019.07
146. <https://newatlas.com/space-elevator-stars-me-satellite/56482/>, 2018.09
147. <https://www.mk.co.kr/news/world/view/2018/10/668669/>, 2018.10
148. <https://newatlas.com/obayashi-space-elevator/21587/>, 2012.02

발간등록번호	11-B552989-000002-11
ISBN	978-89-94071-99-2

2019 국토교통 R&D 동향조사

플랜트 분야

목 차

국내외 동향 요약	1
제1장 개요	1
1. 정의 및 분야	1
2. 연구의 필요성	4
제2장 정책동향	7
1. 미국	7
2. EU	9
3. 독일	12
4. 영국	15
5. 프랑스	17
6. 일본	19
7. 중국	23
8. 한국	28
제3장 시장 동향	31
1. 발전 플랜트	31
1-1 국외 시장 동향	31
1-2 국내 시장 동향	34
2. 자원개발 플랜트	36
2-1 국외 시장 동향	36
2-2 국내 시장 동향	40
3. 신재생에너지플랜트	43
3-1 국외 시장 동향	43

3-2 국내 시장 동향	49
4. 환경플랜트	53
4-1 국외 시장 동향	53
4-2 국내 시장 동향	56
제4장 기술동향	59
4.1 발전플랜트	59
1-1 화력발전	59
1-2 수력발전	62
1-3 원자력발전	64
4.2 자원개발플랜트	68
2-1 합성가스	68
2-2 오일샌드/셰일가스 추출	70
2-3 극한지역 자원개발	73
2-4 자원이송	76
2-5 천연가스	79
4.3 신재생에너지플랜트	82
3-1 풍력	82
3-2 해양	84
3-3 바이오	88
3-4 폐기물	90
3-5 태양	92
3-6 지열	94
3-7 수소생산/인프라	96

4.4 환경플랜트	99
4-1 해수담수화	99
4-2 수처리	102
4-3 대기오염 방지	105
4-4 이산화탄소 저감	109
5. 주요 이슈 및 시사점	115
참고문헌	117

표 목차

〈표 1.1〉 플랜트 분야 중분류 기술 정의 및 범위	4
〈표 2.1〉 미국 「청정전력계획」에 따른 주별 온실가스 감축목표	8
〈표 2.2〉 미 캘리포니아주의 신재생에너지 발전 의무 할당 목표	9
〈표 2.3〉 '50년까지 탄소중립을 위한 「유럽그린딜」의 분야별 목표	11
〈표 2.4〉 독일 에너지전환 원칙	12
〈표 2.5〉 독일의 에너지전환 정책 목표	13
〈표 2.6〉 영국 「청정성장전략」에 따른 R&D 투자계획('15~'21년)	16
〈표 2.7〉 프랑스 에너지전환법 상 중장기 정책목표	18
〈표 2.8〉 일본 2030 에너지믹스 개선 목표	19
〈표 2.9〉 일본 「수소기본전략」의 단계별 목표	21
〈표 2.10〉 전력부문 13.5계획(2016~2020년) 목표	24
〈표 2.11〉 중국 주요지역의 기풍률·기광률·기수율 목표치	26
〈표 2.12〉 5대 중점과제 및 주요 목표와 과제	28
〈표 3.1〉 국내 화력발전소 건설 현황	34
〈표 3.2〉 국내 건설 예정 화력발전소 현황	34
〈표 3.3〉 오일샌드 시장 전망	37
〈표 3.4〉 분야별 해외플랜트 수주 실적	40
〈표 3.5〉 국내 폐기물/바이오매스 합성가스의 분산전원 활용 잠재시장 추정	40
〈표 3.6〉 국토교통부 플랜트R&D 투자 동향(2013~2018년)	41
〈표 3.7〉 국내 장기 천연가스 수요 전망	42
〈표 3.8〉 풍력발전 부품별 국내 시장 규모('18~'23)	49
〈표 3.9〉 국내 태양에너지 현황('17)	52
〈표 3.10〉 해수담수화용 역삼투막 국내외 시장 전망	56
〈표 3.11〉 수처리 소재 및 공정분야 국내시장 현황 및 전망	57
〈표 3.12〉 국내 CCS 시장 전망	58
〈표 4.1〉 액체수소 공정기술 관련 주요 기업	96

그림목차

[그림 2.1] 독일의 탈석탄플랜트 목표('17~'38)	15
[그림 2.2] 영국의 탄소 예산제	15
[그림 2.3] 일본 수소연료전지 전략로드맵	22
[그림 3.1] 석탄화력 발전 투자 전망('20~'25)	31
[그림 3.2] 수력 발전 시장 전망	32
[그림 3.3] 수력 터빈 시장 전망	32
[그림 3.4] 원자력 발전 및 장비 시장 전망('20~'25)	33
[그림 3.5] 원전해체 시장규모 전망	33
[그림 3.6] 글로벌 합성가스 관련 시장 전망	36
[그림 3.7] 세일가스 생산 현황	37
[그림 3.8] 극한지 에너지 부존지역 현황	38
[그림 3.9] 권역별 파이프라인 네트워크 시장 전망	39
[그림 3.10] 전 세계 액화 천연가스(LNG) 시장 현황 및 전망	39
[그림 3.11] 세계 풍력발전 시장 전망	43
[그림 3.12] 세계 해양발전 시장 전망	44
[그림 3.13] 세계 바이오메스 발전 시장 전망	45
[그림 3.14] 전 세계 폐기물에너지 시장 현황 및 전망	46
[그림 3.15] 전 세계 태양에너지 시장 현황 및 전망	47
[그림 3.16] 전 세계 지열발전 시장 전망	48
[그림 3.17] 전 세계 수소에너지저장 시장 전망	48
[그림 3.18] 해양플랜트 수요 현황 및 전망('18~'25)	50
[그림 3.19] 국내 바이오가스 시장 전망	51
[그림 3.20] 국내 폐기물에너지 시장 전망	51
[그림 3.21] 세계 해수담수화 시장 전망	53
[그림 3.22] 세계 수처리 및 폐수처리 시장 전망	54
[그림 3.23] 세계 대기오염 제어시스템 시장 전망	55

[그림 3.24] 세계 CCUS 시장 전망	56
[그림 3.25] 국내 대기관리 시장 전망	58
[그림 4.1] 케미컬루핑 발전기술 개념도	60
[그림 4.2] 펌프터빈 성능평가 모습	62
[그림 4.3] GE의 자산성과관리 소프트웨어 홍보영상	63
[그림 4.4] STEP 플랜트 컨셉 개념도	64
[그림 4.5] ITER 장치 개념도	65
[그림 4.6] KiloPower 시험장치 및 인공지능 기반 운전지원	66
[그림 4.7] 원자로 해체 로봇 팔	67
[그림 4.8] 고체산화물 연료전지 연구개발 성과 및 로드맵	68
[그림 4.9] 주고쿠전력 오사키발전소 부지 내 IGFC 실증사업 설비 배치도	69
[그림 4.10] IGCC 석탄가스화 기술 기반의 수소 복합 생산(Poly-Generation) 시스템	70
[그림 4.11] 오일샌드 역청을 운반하기 쉽게 만든 고체제품	72
[그림 4.12] 오일샌드 플랜트 모듈화 기술개발 연구 개요	72
[그림 4.13] 플랜트 모듈의 육로로 운송하는 모습	73
[그림 4.14] 러시아의 주요 LNG 프로젝트(좌)와 북극산 LNG 수송루트(우)	74
[그림 4.15] 알래스카 LNG 프로젝트 개요도	75
[그림 4.16] Nord Stram 1, 2 프로젝트 개요	76
[그림 4.17] Trans Mountain 파이프라인 확장 프로젝트 개요	77
[그림 4.18] 극저온 LNG 수송 파이프라인 개념도	78
[그림 4.19] 카자흐스탄 CompactGTL 플랜트의 3D 모델	79
[그림 4.20] 건설 중인 Baoyu Fuels 프로젝트의 항공사진	80
[그림 4.21] 한국화학연구원의 마이크로 GTL 연구성과	81
[그림 4.22] GE사가 개발한 Haliade-X 발전기 및 블레이드	82
[그림 4.23] Makani사 및 Altaeros사가 개발한 공중 풍력발전장치	83
[그림 4.24] 두산중공업 5.56MW 풍력설비 및 유니스 4.2MW 풍력설비	83
[그림 4.25] 고정식 조류발전장치 설치 사례	84
[그림 4.26] STP社가 개발한 부유식 조력발전장치 SR2000	85

[그림 4.27] Wello社의 Penguin와 Carnegie社의 CETO 5, 6	85
[그림 4.28] 유럽의 해수온도차발전 플랜트	86
[그림 4.29] 국내 조력발전장치 개념도	87
[그림 4.30] 미세조류 활용 바이오연료 생산시스템	88
[그림 4.31] 국내 바이오매스 연구 현황	89
[그림 4.32] 선전 동부 폐기물 에너지 플랜트(좌) 및 DynaGrate(우) 모습	90
[그림 4.33] HZI社의 75MW 폐기물 에너지 플랜트 모습	91
[그림 4.34] 페로브스카이트 소재를 이용한 태양전지	92
[그림 4.35] 페로브스카이트의 방수막 합성법 기술	92
[그림 4.36] 독일 ISFH 및 중국 Trina Solar의 실리콘 태양전지	93
[그림 4.37] 신성이엔지 및 한화큐셀의 실리콘 태양전지	93
[그림 4.38] 이산화탄소를 이용한 지열시스템(美 GreenFire Energy)	94
[그림 4.39] 현재 중단된 우리나라의 연구개발사업	95
[그림 4.40] 유천씨모텍 및 센도리의 주택용 지열 히트펌프 시스템	95
[그림 4.41] 프랑스 Cryostar의 Turbo Expander	96
[그림 4.42] 미국 Air products와 프랑스 Air Liquide의 액화수소 Coldbox	97
[그림 4.43] 상용급 액체수소 플랜트 핵심기술개발 연구 내용	98
[그림 4.44] MIDES(Microbial DESalination) Project 구조도	100
[그림 4.45] FO-RO 공정 구성도(FOHC 연구단)	100
[그림 4.46] PRO 공정 개념도(GMVP 연구단)	101
[그림 4.47] 소형 이동식 수처리 플랜트 닌자(Ninja)	103
[그림 4.48] 다양한 기름의 개발한 막 투과 전(좌)과 후(우) 모습	104
[그림 4.49] 폐수무방류처리 프로세스	105
[그림 4.50] 전극을 이용한 VOC 제거 시스템	106
[그림 4.51] 정전기 분리기술을 이용한 냉매 재활용 기술 원리	106
[그림 4.52] 미생물을 이용한 배기공기 정화시설	107
[그림 4.53] 세라믹 필터 작동 원리	108
[그림 4.54] 배기공기 필터 시스템	108

[그림 4.55] Oxy-CFB 시스템 예상 구성도 및 핵심연구용 환경시험장치	109
[그림 4.56] 니켈 기반 나노촉매의 원자 구조	110
[그림 4.57] CO ₂ 주입지점의 카보네이트를 함유한 현무암	111
[그림 4.58] CO ₂ 기반의 열가소성 폴리우레탄	111
[그림 4.59] 바나데이트 분자 클러스터 구조	112
[그림 4.60] 기존 MEA 기술과 새롭게 개발된 MAB 기술의 성능비교	113

국내외 시장 요약

1. 정책동향

구분	내용
미국	• 트럼프 행정부는 “미국의 에너지 지배(American Energy Dominance)” 시대를 선언하고, 전임 행정부의 에너지, 기후변화, 환경 관련 규제완화 및 폐지 절차를 진행 • 캘리포니아 등 일부 주에서는 탄소 배출없는 발전을 위한 청정에너지 정책을 추진 중
EU	• '19년 11월 유럽의회는 기후변화 대응 수단으로서 온실가스를 배출하지 않는 에너지원으로 원자력 지지 결의안을 채택 • '19년 12월 EU 집행위원회(European Commission)는 '50년 탄소중립 목표 달성을 위한 정책 이니셔티브인 「유럽그린딜(European Green Deal)」을 제안
독일	• '50년까지 온실가스 배출 감축, 신재생에너지 이용 확대를 목표로 한 「에너지 구상 2010」에 기초하여 에너지전환 정책을 추진 • 에너지부는 석탄화력 발전플랜트의 자발적 폐쇄 유도 방안을 포함한 탈석탄법 초안을 마련
영국	• 「기후변화법(Climate Change Act)」 제정을 하고 온실가스 감축을 위한 '탄소 예산제(Carbon budget)'를 도입 • '17년 10월 「청정성장전략(Clean Growth Strategy)」을 발표하여 저탄소 경제로의 이행을 위한 정책 방향 마련
프랑스	• 후쿠시마 원전사고 이후 원자력 비중을 감축하고, 신재생에너지 비중을 확대하는 에너지 전환 기조를 유지 • '19년 1월 프랑스는 「에너지전환법」에 따른 「제2기 중장기 에너지계획」을 발표하여 향후 10여년 간의 에너지 정책 방향을 제시
일본	• 경제산업성에서 세계적 탈 탄소화 추세 대응을 위해 에너지믹스 실현과 '50년 에너지 전환 및 탈 탄소화를 목표로 하는 「제5차 에너지 기본계획」을 발표 • 경제산업성과 신에너지산업기술종합개발원(NEDO)의 주도로 수소사회 진입을 위한 「수소 기본전략」을 수립하고 이행방안을 담은 「수소·연료전지 전략로드맵」을 발표
중국	• 국가발전개혁위원회(NDRC)와 국가에너지국은 청정에너지원 발전 전력의 소비 증대를 위해 「청정에너지 소비 행동계획(2018~2020년)」을 발표 • '18년 1월 기후변화 대응에 따른 생태환경 변화와 항로의 상업적 이용 및 북극 자원개발 기회 확보를 위해 극지 실크로드의 일환으로서 「중국 북극정책 백서」를 발표
한국	• 『제3차 에너지기본계획』을 통해 에너지 자원의 효율적 배분과 수요중심의 에너지 정책 추진 • '16년 신기후체제에 대비하기 위해 『제1차 기후변화대응 기본계획』 및 '17년 『재생에너지 3020 이행계획(안)』 수립 및 시행 • '17년부터 '31년까지 향후 15년간의 전력수급전망 및 전력설비 계획 등을 담은 『제8차 전력 수급기본계획』 확정 • 에너지 소비구조 혁신을 위한 '30년까지의 중장기 전략을 담은 『에너지효율 혁신전략』 발표 • 원전 건설·운영에 한정된 국내 원전산업 경쟁력을 후행(노후 원전해체, 폐기물 관리 등) 산업으로 확장하기 위해 『원전 해체산업 육성전략』 발표

2. 시장동향

- 전세계적으로 미세먼지 등 환경이슈와 기후변화에 따른 영향으로 석탄화력발전 분야에 대한 투자는 감소하고 있는 반면, 수력발전과 원전해체 시장은 점차 커지고 있는 상황
- 전세계적으로 온실가스 감축을 위한 탈원전-탈석탄 기조에 따라 화력발전 분야에 대한 투자액은 감소하는 반면, 수력발전과 원전해체 시장의 규모는 증가할 것으로 전망
 - 신재생에너지가 확대됨에 따라 화력발전 분야 투자액은 '18년 기준 1,250억 달러에서 '25년 900억 달러로 33% 감소할 것으로 전망¹⁾
 - 전 세계 수력발전 시장은 향후 5년간('19~'24) 연평균 4.8% 성장이 예측되며, 관련 설비 시장규모도 증가할 것으로 전망²⁾
 - 전 세계 원자력 발전 및 장비 시장은 '18~'25년간 연평균 3.7% 성장³⁾하고 원전해체 시장은 설계수명 만료원전의 증가로 해체시장은 '20년대 중반부터 확대 전망되며 '30년대에 시장이 극대화 될 전망⁴⁾
- 국내 발전플랜트 시장은 미세먼지 저감 대책으로 인해 LNG 중심의 화력발전소와 수력발전소에 대한 투자규모가 증가하고, 탈원전 정책의 영향으로 원전해체 산업에 대한 투자 규모도 커질 것으로 전망
 - '19년 현재 우리나라 건설 중 또는 건설 예정 화력발전소는 총 12기이며 LNG를 활용한 집단에너지발전소는 총 7기로 총 19기의 화력발전소 건설 예정⁵⁾
 - '18년 기준 양수 포함 국내 수력 발전설비용량은 6,490MW으로 국내 발전용량의 5.4% 수준이며, 향후 10년간 7조원의 국내외 설비투자가 이루어질 예정
 - 국내 신규 원자력발전소 6기 건설계획이 취소되고 노후 원전 10기의 수명연장이 중단됨에 따라 향후 노후 원전 증가에 따른 원전해체 산업이 형성될 것으로 전망⁶⁾
- 전세계적으로 합성가스의 소비 및 오일·가스 수요가 증가함에 따라 자원개발 플랜트 분야에 대한 전체 시장규모가 증가할 전망이며, 이에 따라 국내에서는 에너지자원 확보를 위한 자원개발 기술분야의 시장이 커질 전망

1) IEA, Energy investment by scenario, 2025-2030, 2019

2) MarketWatch, Hydropower Market 2019 Global Analysis, Opportunities and Forecast To 2026, 2019

3) Allied Market Research, Nuclear Power Plant and Equipment Market, 2018

4) 원전해체 산업 육성전략(2019, 관계부처합동)

5) 발전소 건설사업 추진 현황 (2019년도 4분기, 전력거래소)

6) 8차 전력수급 기본계획, 2017

- 전세계적으로 합성가스의 소비 및 오일·가스 수요가 증가함에 따라 자원개발 플랜트 분야에 대한 시장규모가 확대될 전망
 - '19년 합성가스 관련 시장규모는 277,507MWth로 예측되며 '24년까지 연평균 12.6% 증가하여 501,932MWth에 달할 것으로 전망⁷⁾
 - 세계 오일샌드 시장규모는 '18년 기준 260억 5천만 달러로 연평균 3.14% 성장하여 '24년에 310억 7천4백만 달러의 시장 형성 전망⁸⁾
 - 세계 셰일가스 시장은 지속 성장하여 '22년까지 2,210억 달러에 이를 것으로 예상되며 '15년~'22년 동안 연평균 14.4%의 성장률을 보일 것으로 예상⁹⁾
 - 글로벌 파이프라인 네트워크 시장규모는 '19년 85억 달러에서 연평균 7.6% 성장률(CAGR)로 성장하여 '24년까지 123억 달러로 성장 전망¹⁰⁾
 - 전 세계 액화천연가스(LNG) 시장규모는 '18년 기준 89억 2천만 달러이며, 연평균 12.45% 성장하여 '25년에 202억 8천만 달러에 이를 것으로 전망¹¹⁾
- 전 세계적으로 합성가스의 소비가 증가하고 오일·가스 공급투자액이 커짐에 따라 국내에서는 에너지자원 확보를 위해 해외 자원개발 시장을 진출하고자 자원개발 기술에 대한 투자가 지속될 것으로 전망
 - Oil & Gas 및 석유화학 분야 프로젝트 중 '19년 내 수주 예상 프로젝트 계약의 지연으로 우리나라 플랜트 수주액은 '18년 대비 큰 폭 감소¹²⁾
 - 전 세계적으로 합성가스의 소비가 증가하고 오일·가스 공급투자액이 커짐에 따라 국내 합성가스 시장규모는 '25년까지 14조 500억 원으로 추산¹³⁾
 - 국내의 경우, 에너지 자원 확보를 위해 한국석유공사가 2006년 국내에서 최초로 캐나다 오일샌드 사업에 참여, 이후 국내 기업 진출 활발히 모색 중¹⁴⁾
 - 극한지역 자원개발 및 자원이송의 경우, 국내 관련 현장 부재 및 해당 플랜트 수주현황은 없으나 핵심기술개발을 위한 투자가 지속적으로 수행

7) Market and Markets, Syngas & Derivatives Market, 2019

8) Oil Sands Market Report 2019-2029, 2019

9) 미국 셰일가스가 세계 에너지 시장 판도 바꾼다(한국경제, 2019.6)

10) Markets and Markets, Pipeline Network Market by Offering, Application, Content, End-User Industry, and Region - Global Forecast to 2024, 2019

11) 세계에너지시장인사이트, 제19-28호, 2019

12) 산업통상자원부, e-나라지표, 2019

13) 저급자원 변환 합성가스 상용화 플랜트 건설기술 개발 기획 최종보고서(고등기술연구원, 2016)

14) 2018년도 예비타당성조사 보고서 극한지 오일생산 플랜트건설 핵심기술 개발사업(KISTEP, 2018.08)

- 국내 총 LNG 수요는 '18년 3,646만 톤에서 연평균 0.81% 상승하여 '31년 4,049만 톤 규모를 형성할 전망¹⁵⁾

□ 세계 신재생에너지 확산은 주요국 투자에 의존하여 부침이 있으나 기후변화, 대기오염 저감 및 성장동력 차원에서 중장기적 대응 요구가 증가함에 따라 국내외 신재생에너지 시장의 규모는 커질 것으로 전망

○ 전 세계 신재생에너지의 발전 비중은 증가하는 추세이며, 풍력 및 태양발전의 증가세가 두드러지고 있으며 다양한 에너지원으로 확대되는 양상

- 깨끗하고 안정적이며 저렴한 전력생산 필요성이 증가하면서 풍력발전 관련 하여 경제적 지원 및 규제 완화 등의 정책을 추진함에 따라 글로벌 풍력발전 시장은 '19~'30년 동안 연평균 3.5%씩 성장할 것으로 전망¹⁶⁾
- 온실가스 배출저감을 위한 청정에너지 발전 관련 R&D 투자 증가, 정부의 재생 에너지 발전시스템에 대한 투자 증가 등으로 인해 조력, 파력 등의 해양발전 플랜트 시장은 '19년부터 '27년까지 연평균 24%로 급성장할 것으로 전망¹⁷⁾
- 청정에너지에 대한 필요성 증가, 바이오메스 에너지 생산 및 변환 기술의 혁신으로 인해 바이오메스 발전시장은 '17년부터 '22년까지 연평균 5.8% 성장할 것으로 예상¹⁸⁾
- 석유 석탄 매장량의 고갈, 각국의 정부가 폐기물 처리 및 발전 촉진을 위해 채택한 MSW(Municipal Solid Waste) 관리 프로그램 등으로 인해 전 세계 폐기물에너지 시장은 '16~'24년 동안 연간 5.7% 성장률을 보일 것으로 전망¹⁹⁾
- 환경오염의 증가와 태양전지 패널 설치에 대한 정부 인센티브 및 세금 환급 제공 등으로 인해 건물에 패널 설치 증가, 태양발전 플랜트 증가 등으로 인해 태양에너지 시장은 '18~'26년 동안 연간 20.5% 성장률을 보일 것으로 전망²⁰⁾
- 기후 변화와 관련된 엄격한 정부 규제, 지열 발전량 증가, 지열 에너지의 비용 효율성 증가, 지열 발전소의 오염 감소 등으로 인해 지열발전 시장은 '18~'26년

15) 제13차 장기 천연가스 수급계획(2018~2031)(산업자원부, 2018.04)

16) GlobalData Energy, Global wind power market expected to approach \$125bn by 2030, 2019

17) Research Nester, Wave and Tidal Energy Market Segmentation By production-Global Demand Analysis &Opportunity Outlook 2027, 2019

18) TechNavio, Global Biomass Power Generation Market 2018-2022| Advances in Technology to Encourage Growth, 2018

19) Research Nester, Waste to Energy Market By Technology-Global Industry Insights &Opportunity Assessment 2016-2024, 2019

20) Allied Market Research, Solar Energy Market by Technology, by Solar Module, by Application and End-Use: Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2019-2026, 2019.10

동안 연간 5.0% 성장률을 보일 것으로 전망²¹⁾

- 암모니아 및 메탄올 제조공정에서의 수소 사용 증가, 수소액화에 비해 기술적 난이도가 낮은 수소가스화, 수소자동차 등의 기술발전 등으로 인해 수소에너지 저장시장은 '19~'24년 동안 연간 5.8% 성장률을 보일 것으로 전망²²⁾

○ 국내 풍력발전과 태양광발전이 내수시장에 큰 영향을 미치고 있으며, 신재생에너지 비중이 커짐에 따라 국내 신재생에너지 시장도 꾸준히 성장할 것으로 전망

- 국내 풍력발전은 신재생에너지사업 매출액의 11%를 차지하고 있으며, 풍력발전의 주요 품목의 국내 시장규모는 '23년 2,859억 원에 달할 것으로 전망²³⁾
- 육상 및 해양 자원의 고갈과 개발도상국의 에너지 수요가 증가함에 따라 국내 해양플랜트 수주현황이 '15년부터 서서히 회복될 것으로 전망²⁴⁾
- 국내 바이오가스 플랜트 시공의 경우, 정부계획만을 고려하였을 때 '20년까지 총 2조 500억 원의 시장 수요가 발생하여 '20년까지 연간 2,000억 원 규모의 바이오가스화 플랜트 시장이 생성될 것으로 전망²⁵⁾
- 국내 폐기물에너지 시장은 '15년 5조 3,449억 원에서 연평균 13.2% 증가하여 '22년 5조 8,583억 원에 이를 것으로 전망²⁶⁾
- 국내 태양에너지 관련 업체는 135개로 고용인원은 1,997명, 매출액은 6조 4,525억 원, 투자액은 7,731억 원 투자²⁷⁾
- 우리나라는 포항지진으로 인해 지열발전에 대한 연구가 중단되었으며, 가동되는 발전소가 없어서 현재 우리나라 지열에너지 시장은 지열원 열펌프 보급을 위한 시장이 대부분²⁸⁾
- 국내 수소생산능력은 연간 540만 톤, 생산량은 190만 톤이나 산업용 유통량은 연간 45만 톤 수준으로 약 6,000억 원 규모²⁹⁾

21) Allied Market Research, Geothermal Power Market by Power Station Type and End Use: Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2019-2026, 2019.10.

22) Market and Markets, Hydrogen Energy Storage Market by State, Storage Technology, End-User, and Region - Global Forecast to 2024, 2019.10

23) 에너지관리공단, 신재생에너지 R&DD 전략 2030

24) KOTRA(Invest KOREA), OFFSHORE PLANTS, 2017

25) 중소기업청, 중소기업전략기술로드맵 2016~2018, 2015

26) 환경부, '17년 기준 환경산업통계조사보고서(2018) 자료 인용 및 재가공

27) 융합금융처, KOSME 산업분석 리포트(태양광·풍력을 중심으로 한 신재생에너지), 2019

28) 신재생에너지 백서, 한국에너지공단, 2018

29) 신소재경제신문, '저온형 물 전기분해 소재기술(2)-제5장 수소생산·이산화탄소 전환용 소재기술-신소재경제신문·재료연구소 공동기획 소재기술백서 2016(43)', 2018.8.28.

- 新 기후체제 출범에 따라 담수화, 수처리, 대기오염 방지 및 이산화탄소 저감에 대한 투자 및 시장규모는 높은 성장률을 보일 것으로 전망
- 新 기후체제를 앞두고 국가별 온실가스 감축 목표 달성을 위해 수처리 및 폐수처리, 대기환경시장, CCS 시장에 대한 투자가 증가할 것으로 전망
 - 전 세계 해수담수화 시장은 '19년부터 '25년까지 연평균 9.5% 성장할 것으로 전망³⁰⁾
 - 글로벌 수처리 및 폐수처리 시장은 '17년부터 '23년까지 연평균 3.3% 성장할 것으로 전망³¹⁾
 - 세계 대기오염 제어시스템 시장은 '18년부터 '25년까지 연평균 5.0% 성장할 것으로 전망³²⁾
 - 세계 CCUS 시장은 '17년부터 '26년까지 연평균 23.5% 성장할 것으로 전망³³⁾
- 안정적인 전력수급과 환경개선 효과를 달성하기 위해 미세먼지, 온실가스, 해수담수화 및 수처리 시장규모가 더욱 커질 것으로 전망
 - 해수담수화용 역삼투 분리막시장은 '16년 1,350억 원에서 연평균 9.4% 성장하여 '20년 1,930억 원에 이를 것으로 예상³⁴⁾
 - 국내 수처리 및 폐수처리 시장은 '18년 996.1억 원에서 '22년 1,170억 원 규모로 성장할 것으로 전망³⁵⁾
 - 국내 대기관리 시장은 '16년 5조 3,655억 원에서 연평균 2.8% 증가하여 '22년 6조 3,337억 원에 이를 것으로 전망³⁶⁾
 - 국내 CCS 시장은 '16년 4,200억 원 규모이며, 연평균 7.6% 성장하여 '21년에는 5,100억 원에 이를 전망³⁷⁾

30) ADROIT Market Research, Water Desalination Market by Technology, Source and Region, Global Forecasts 2018 to 2025, 2019

31) Market Reports World, GLOBAL WATER AND WASTEWATER TREATMENT MARKET 2018, FORECAST TO 2023, 2019

32) Grand View Research, Air Pollution Control Systems Market Size, Share & Trends Analysis Report, 2018

33) Research and Markets, Global Carbon Capture, Utilization & Storage Market Outlook 2017-2026

34) KISTI MARKET REPORT(Vol.5, Issue 9), 해수담수화용역삼투 분리막, 2015

35) 한국환경산업기술원, 유해화학물질 흡착제 기술동향, 2017

36) 환경부, '17년 기준 환경산업통계조사보고서(2018) 자료 인용 및 재가공

37) 연구성과실용화진흥원, 탄소저감 기술 및 시장동향, 2017.9

3. 기술동향

분야	주요 기술동향
D11.화력발전	• 미국의 에너지기업들은 에너지부(DOE)의 지원으로 친환경 화력발전 플랜트 건설을 위한 CO2 원천분리 및 배출가스 불순물 제거가 가능한 가압순산소연소시스템을 개발 • 유럽과 미국 등은 케미컬루핑연소 기술의 효율성 향상을 위해 고체입자의 산소전달량과 산소전달 반응성능, 순환유동층 연소 시스템 효율 향상 등의 연구를 추진 중 • 한전 한국전력연구원은 발전효율 증대 및 이산화탄소 저감 등을 위해 발전 핵심소재인 산소전달입자 개발에 성공하고 순산소 가압 유동층발전기술을 개발 중 • 두산중공업은 인도네시아 IRT와 자바섬 인근 지역에 1조 6,000억 원 규모의 '자와(JAWA) 9·10호기' 화력발전소 건설 EPC 계약을 수주 • 현대엔지니어링은 미국령 괌에서 5억 3,400만 불 규모의 '괌 데데도(Dededo) 200MW급 복합화력발전소'를 수주
D12.수력발전	• 친환경·신재생에너지 개발 정책에 따라 소규모 전기 생산이 가능한 소수력발전의 효율성 향상을 위해 유럽, 한국 등은 역회전 펌프 터빈(PaT, Pump as Turbine)을 개발 • GE는 스페인 수력발전소가 스마트하게 전력을 생산할 수 있도록 수력 발전 운영을 디지털화 할 수 있도록 관련 소프트웨어와 컨설팅 서비스를 제공
D13.원자력발전	• 미국, EU, 러시아, 일본, 한국, 중국, 인도 등 7개국은 핵융합발전 상용화 가능성 실증을 위한 국제공동 핵융합 원자로 개발 프로젝트인 ITER에 참여 중 • 미국은 우주항공국(NASA)과 로스앨라모스국립연구소(LANL)가 공동으로 kW급 우주탐사용 자율운전 초소형원자로(kiloPower)를 개발 중 • 영국정부는 저탄소사회 구현 정책 실현을 위해 핵융합발전에 대한 투자 중 • 일본은 후쿠시마 원전 사고 수습을 위한 다양한 원격 해체기술 및 장비 개발을 추진 중 • 우리나라는 선진국 최고기술 수준을 목표로 원자력시설 해체 전과정에서 필요한 기술을 도출하고 부처별 역할을 구분하여 미확보 기술을 개발 중
D21.합성가스	• 미국, 일본 등의 선진국은 석탄가스화복합발전(IGCC) 원천기술을 기반으로 석탄 가스화 연료전지 복합발전(IGFC) 기술을 개발하여 실증사업을 추진 중 • 국내에서는 '18년 IGCC 합성가스와 해양미생물을 활용해 연간 330톤의 수소를 생산할 수 있는 실증 플랜트 준공
D22.오일샌드·셰일가스 추출	• 알버타 주정부는 대부분 역청 형태로 생산되는 원유를 고가의 희석제를 사용하여 수송하는 단점을 해결하기 위해 '19년부터 부분개질기술 실증개발에 투자 중 • 오일샌드 파이프라인 수출 중단 및 환경문제로 캐나다 석유 수출이 둔화되는 문제를 해결하기 위해 오일샌드 생산업체는 오일샌드 역청을 고체제품으로 판매하는 새로운 기술을 개발

분야	주요 기술동향
D23.극한지역자원개발	• 러시아는 초대형 북극에너지개발 프로젝트인 아틸LNG 개발사업이 '17년에 1차 완성되어 운영 중이며 '22년 생산목표로 북극-2 LNG 프로젝트를 추진 중 • 미국 알래스카시는 주정부의 수입원을 증진하고 알래스카 주민에게 저렴한 가스를 공급하기 위해 알래스카 LNG 프로젝트를 추진 중 • 우리나라는 '18년부터 북극권 에너지자원 플랜트 현지 적용기술 개발을 위해 건설환경 정립, 사업리스크 확률분석, 현지화 플랜트 공정의 개념설계 등에 관한 연구가 진행 중
D24.자원이송	• Nord Stram AG사는 발트해 해저를 통해 러시아와 유럽을 연결하는 1,200km의 Nord Stram 2 프로젝트 추진 중 • 캐나다는 '19년 1,150km의 Trans Mountain 파이프라인 확장 프로젝트를 승인하고 '22년까지 약 980km를 새로운 파이프라인으로 교체 • 대우건설은 서호주대학, 멜버른 대학과 공동으로 -160℃의 LNG를 수송할 수 있는 극저온 해저파이프라인 원천기술 개발을 추진 중 • 포스코가 개발한 극저온용 고망간강은 '17년 국제재료 및 규격 관련 표준규인 ASTM Int'l에 표준기술로 등재되어 LNG 탱크 및 파이프라인에 적용
D25.천연가스	• CompactGTL사는 마이크로 반응기술을 적용한 소규모 모듈식 GTL 플랜트를 '18년 세계 최초로 카자흐스탄에 건설하여 상용화 • Velocys사는 세계에서 가장 컴팩트한 FT(Fischer-Tropsch) 공정기술을 개발하여 고급 바이오 연료를 생산할 수 있는 플랜트를 건설 중 • 한국화학연구원은 '15년 마이크로 GTL기술을 0.2bpd 규모의 파일럿 플랜트에서 개발하고 '20년까지 20BPD급 데모 플랜트 운영을 진행 중
D31.풍력	• 풍력발전은 민원, 발전 효율, 건설비 절감 위해 해상풍력 중심으로 대형화 추진 중이며 로터직경 220m 발전설비가 개발되어 상업 운영 예정 • 구글 자회사인 Makani Power는 300m 해상 공중에서 프로펠러식 풍력발전기 8대를 장착한 600KW급 항공기형 발전장치를 개발하고 '20년 6월 시험동행 예정 • Altaeros사는 제작비용 절감을 위해 헬륨가스를 활용한 기구를 이용한 부유식 풍력터빈을 개발하고 300m 상공에서 시험 운영 중 • 국내 풍력발전설비 업체들은 4.2MW와 5.56MW급 풍력발전설비 개발 성공하였으며 8MW급을 '22년 상용화 목표로 개발 중
D32.해양	• 영국 Atlantis사는 GE와 함께 로터직경 20m, 용량 2MW의 세계 최대 조력발전설비 AR2000의 설계를 완료하고 제작 중 • 영국 STP는 길이 60m, 지름 3.8m의 부표에 직경 16m의 로터 2개가 장착한 부유식 조력발전장치를 개발 • 프랑스 DCNS사는 카리브해 마르티니크에 16MW 규모의 부유식 OTEC플랜트 NEMO를 설치 중 • 호주의 Canegie사는 수중의 부표가 파력에 의해 상하운동을 통해 전력을 생산하는 CETO를 개발하고 시험 운영 중 • 한국해양과학기술원은 200KW급 조류발전시스템(KS200)에 성공하고 1MW급 조류발전장치를 개발 중으로 '21년까지 국제공인시험기관 인증 획득 • 한국해양플랜트연구소는 기확보된 1MW급 해수온도차발전 플랜트 기술을 국내 실증 테스트 후 '21년 키리바시공화국 해역에 설치·운영 예정 • 해양수산부는 '16년 제주도 용수리에 500KW 시험파력발전소를 구축하고 운영 중으로 '25년까지 5MW급 상업용 실증단지로 확대할 예정

분야	주요 기술동향
D33.바이오	• 바이오에너지는 식량작물을 원료로 하는 1세대와 목재류를 원료로 하는 2세대에서 미세조류를 이용하는 3세대로 구분되며 최근에는 3세대 연구가 활발 • 목질계 바이오매스 활용한 에탄올 생산기술의 생산성 향상 위해 셀룰로스 및 헤미셀룰로스 최적 추출 위한 다양한 전처리 기술 개발 연구가 진행 중 • '19년 한국과학기술연구원(KIST)은 목질계 바이오매스를 이용해 고농도의 바이오연료를 생산할 수 있는 미생물 개발
D34.폐기물	• B&W Vølund는 중국 선전시에서 하루 168MW의 에너지를 생산할 수 있는 세계 최대 규모의 폐기물 에너지 플랜트를 건설하여 '20년부터 생산 예정 • 스위스-일본 합작회사인 Hitachi Zosen Inova는 모스크바에서 '23년까지 4개의 폐기물 에너지 플랜트를 건설할 예정 • 국토교통부는 '16~'20년까지 100억원을 투자하여 기존 전기·열 에너지 사용료 대비 연간 3.3억원의 비용을 절감하는 도시자원 순환형 복합플랜트 기술을 개발
D35.태양	• 태양전지는 기존 실리콘 대비 가격은 1/3이나 발전효율은 유사한 페로브스카이트(ABX3) 소재개발로 이를 이용한 효율증대 및 안정성 연구가 활발히 진행 중 • 실리콘 활용 태양전지 기술은 발전효율의 한계로 발전효율 개선보다 생산단가 절감 및 공정설계 개선 등을 중심으로 연구가 진행 중
D36.지열	• 지열발전시스템에 적용되는 물을 이산화탄소로 대체하는 새로운 EGS 개념이 도입되면 관련 기술 실증 및 상용화 연구 추진 중 • 전 세계적으로 지구 온난화 및 환경에 대한 관심이 높아짐에 따라 청정기술인 지열 직접이용을 활용한 건축에너지 활용 기술개발이 증가 중 • 우리나라는 최신 지열시스템의 실용화를 위한 연구개발을 추진하였으나, '17년 발생한 포항지진으로 인해 관련된 연구개발이 중단된 상황
D37.수소생산/인프라	• 미래 청정에너지로 수소가 부각되면서 시장의 급성장이 전망됨에 따라 세계 각국 및 기업은 관련 기술확보를 위한 경쟁이 치열한 상황 • 우리나라는 수소사회 실현을 위해 정부부처합동으로 '19년 “수소기술개발 로드맵”을 발표하고 수소에너지 관련 핵심기술 확보를 위한 연구개발 추진 중
D41.해수담수화	• 미국, 유럽, 한국 등은 기존 해수담수화 플랜트의 한계를 극복하기 위하여 에너지 저감기술 및 분리막 소재를 개발 • 글로벌 IT 솔루션 기업들은 해수담수화 플랜트 운영비용을 줄이기 위해 다양한 역삼투압 해수담수화 플랜트 O&M 기술을 개발
D42.수처리	• 미국, 영국, 일본 등은 물 부족을 극복하기 위해 하수·폐수 처리의 효율성 향상 및 비용 절감을 위한 기술개발을 추진
D43.대기오염방지	• 미국, 영국, 일본 등 선진기업들은 플랜트에서 배출되는 유해물질을 제거하기 위해 다양한 기술들을 개발 • 미세먼지가 건강에 치명적인 영향을 미침에 따라 세계 각국은 집진기의 다양한 필터기술 혁신을 위해 기술개발을 추진 중
D44.이산화탄소 저감	• 미국, EU, 일본 등은 이산화탄소 저감을 위한 CCUS 기술로드맵을 작성하고 국가 차원의 기술개발을 추진 중이며, 한국은 CCS 사업을 통해 연구개발을 추진

제1장 개요

1. 플랜트의 정의 및 분야

- 플랜트란 발전소나 정유공장과 같이 기계와 장치를 설치하여 생산자가 목적으로 하는 원료 또는 중간재, 최종 제품을 제조할 수 있는 생산설비를 의미
- 플랜트는 복합공정을 통해서 계획된 산출물을 생산하는 통합설비를 의미
 - 통합설비(integrated facility)란 독립적인 기능을 갖도록 소재·부품·단위 기계·부분 조립체·계기·용기·배관·구조물 등을 유기적이고 체계적으로 조합한 집합체로 유틸리티·부지·노동력·자금 등의 투입 수반
- 플랜트연구사업은 플랜트 건설사업에 요구되는 핵심공정 개발, 기본설계 및 실증 기술개발 포함
- 플랜트 기술은 플랜트 건설목적에 따라 발전 플랜트, 자원개발 플랜트, 신재생에너지 플랜트, 환경플랜트 기술로 구분
- 발전플랜트 기술은 석탄 및 석유, 가스 등의 연소, 핵분열 및 핵융합에 의한 열에너지와 물의 낙차에 의한 위치에너지로 터빈 및 발전기를 구동시켜 전기에너지로 변환시키는 설비의 설계/시공/운영 및 유지관리 기술이며, 화력발전, 원자력 발전, 수력 발전으로 구분
 - 화력발전플랜트 기술은 석탄, 석유, 가스 등을 연소시켜 발생하는 고온·고압의 가스나 열에 의한 증기를 이용한 가스터빈 및 증기터빈, 또는 이를 조합한 열 에너지를 전기에너지로 변환하는 설비의 설계/시공/ 운영 및 유지관리 기술
 - 발전 시 발생하는 열을 회수하여 난방이나 냉방에 이용하는 열병합발전기술을 포함
 - 수력 발전 플랜트 기술은 물의 낙차에 의한 위치에너지로 터빈 및 발전기를 이용하여 전기에너지로 변환시키는 설비의 설계/시공/운영 및 유지관리 기술
 - 원자력 발전 플랜트 기술은 핵분열에 의해 발생한 열에너지를 이용하여 터빈과 발전기를 회전시킴으로써 전기를 생산하는 설비의 설계/시공/운영 및 유지관리 /해체기술

- 원자력 발전 플랜트는 핵융합 발전 플랜트 기술을 포함하며, 핵융합 발전 플랜트는 핵융합 시 생긴 질량결손에 의해 방출되는 에너지를 이용하여 전기를 생산하는 설비의 설계/시공/운영 및 유지관리 기술

○ 자원개발 플랜트 기술은 석유, 가스, 광물 등 각종 에너지·자원의 탐사·개발, 전처리, 변환 및 전환, 기존 유·가스 채굴방식과 다른 방식으로 채굴하기³⁸⁾ 위한 설비의 설계/시공/운영 및 유지관리 기술이며, 합성가스, 오일샌드·셰일가스 추출, 극한 지역 자원개발, 자원이송, 천연가스로 구분

- 합성가스 플랜트 기술은 석탄을 불완전 연소시켜 발생한 합성가스를 탄화수소 개질을 통해 메탄 등으로 전환하는 설비의 설계/시공/운영 및 유지관리 기술
- 오일샌드·셰일가스 추출 플랜트 기술은 지하에 매장된 오일샌드와 셰일가스를 추출하기 위한 설비의 설계/설치/운영 및 유지관리 기술
- 극한지역자원개발 플랜트 기술은 심해저에 매장되어 있는 고체상태의 메탄하이드레이트 및 천연가스를 채취, 생산·변환하여 이송하기 위한 설비의 설계/설치/운영 및 유지관리 기술
- 자원이송플랜트 기술은 원격지의 가스, 오일 등을 수요처로 이송하는 기술로서 주로 장거리 배관계통이나 중계스테이션 및 핵심설비의 설계/재료/시공/운영 및 유지관리 기술
- 천연가스 플랜트 기술은 가스전에서 채굴한 원료의 전처리, 초저온 액화, 액체 연료나 원료로 전환, 이송 및 운송, 저장 등에 관한 설비의 설계/설치/운영 및 유지관리 기술

○ 신재생에너지 플랜트 기술은 신재생에너지를 생산하거나 이용하는 설비 또는 이를 활용하여 전기를 생산하는 설비의 설계/시공/운영 및 유지관리 기술로 풍력, 해양, 바이오, 태양, 지열, 수소생산/인프라로 구분

- 풍력플랜트 기술은 공기의 유동이 가진 운동에너지의 공기역학적 특성을 이용하여 회전자를 회전시켜 기계적 에너지로 변환 후 직접 이용하거나 발전기를 구동하여 전력을 얻는 설비의 설계/시공/운영 및 유지관리 기술을 의미
- 해양플랜트 기술은 조석이 발생하는 하구, 만을 방조제로 막아 해수를 가두고 수차발전기를 설치하여 외해와 조지 내의 수위차를 이용하여 발전시키는 설비의

38) 셰일가스, 오일샌드, 석탄가스화 등 비전통에너지

설계/시공/운영 및 유지관리 기술을 의미

- 바이오플랜트 기술은 유기성 원료를 분해 시 발생하는 가스를 정제하여 메탄 등으로 전환하는 설비의 설계/시공/운영 및 유지관리 기술을 의미
 - 태양플랜트 기술은 태양으로 전달되는 복사에너지를 전기에너지로 변환하는 발전 설비와 태양으로부터 전달되는 복사열을 고온으로 집열하여 증기를 발생시키고 증기로 인한 팽창력으로 증기터빈을 구동시켜 전기를 생산하는 설비의 설계/시공/운영 및 유지관리 기술을 의미
 - 지열플랜트 기술은 지표면으로부터 수 내지 수십 미터 깊이의 흙 또는 지하수, 호수나 강물 등을 에너지원으로 하여 전력 또는 냉난방 열원으로 변환시키는 설비의 설계/시공/운영 및 유지관리 기술을 의미
 - 수소생산/인프라 플랜트 기술은 수소를 에너지원으로 사용하기 위한 수소제조, 저장, 수송과 관련된 설비기술을 의미
- 환경플랜트 기술은 대기, 수질, 폐기물 등을 다시 쓸 수 있는 자원으로 만드는 설비의 설계/시공/운영 및 유지관리 기술로 해수담수화, 수처리, 폐기물, 대기오염 방지, 이산화탄소 저감기술로 구분
- 해수담수화플랜트 기술은 해수 중에 용해되어 있는 염분을 제거하여 담수를 얻을 수 있는 제반 프로세스 및 설비의 처리/공정/설계/시공/운영 및 유지관리 기술을 의미
 - 수처리플랜트 기술은 기존의 물리적, 화학적 및 생물학적 처리 기법을 이용하여 산업 용도에 따른 초순수 제조기술, 생활 및 산업활동에서 발생하는 하수 및 폐수 처리 및 재활용 기술을 의미
 - 폐기물처리 플랜트 기술은 폐기물을 환경적으로 무해하게 안정화 처리하면서 자원화를 통해 재활용 할 수 있는 폐기물 처리 기술과 설비의 기획/설계/시공 및 유지관리 기술
 - 대기오염방지 플랜트 기술은 대기배출시설에서 배출되는 오염물질을 제거하거나 감소시키는 설비 및 CO₂ 회수 설비의 기획/설계/시공 및 유지관리 기술을 의미
 - 이산화탄소 저감플랜트 기술은 이미 발생한 이산화탄소를 포집하여³⁹⁾ 지층 또는 해저에 저장하는 설비의 설계/시공 및 유지관리 기술을 의미

39) Carbon Capture and Storage, 이산화탄소 포집 및 저장

〈표 1.1〉 플랜트 분야 중분류 기술 정의 및 범위

분야	정의 및 범위
발전플랜트	석탄 및 석유, 가스 등의 연소, 핵분열 및 핵융합에 의한 열에너지와 물의 낙차에 의한 위치에너지로 터빈 및 발전기를 구동시켜 전기에너지로 변환시키는 설비의 설계/시공/운영 및 유지관리 기술
자원개발플랜트	석유, 가스, 광물 등 각종 에너지·자원의 탐사·개발, 전처리, 변환 및 전환, 기존 유·가스 채굴방식과 다른 방식으로 채굴하기 ⁴⁰⁾ 위한 설비의 설계/시공/운영 및 유지관리 기술
신재생에너지플랜트	신재생에너지를 생산하거나 이용하는 설비 또는 이를 활용하여 전기를 생산하는 설비의 설계/시공/운영 및 유지관리 기술
환경플랜트	대기, 수질, 폐기물 등을 다시 쓸 수 있는 자원으로 만드는 설비와 이미 발생한 이산화탄소를 포집하여 지층 또는 해저에 저장하는 설비의 설계/시공/운영 및 유지관리 기술

2. 연구의 필요성

- 플랜트 산업은 다양한 분야가 포함된 종합산업으로 해외 수출 시 외화가득률이 높은 고부가가치 산업
 - 플랜트 산업은 현장에 건설·운영되는 플랜트 시설의 기획, 설계, 시공, 운영·유지관리 기술의 연구, 실증 개발 및 유지보수가 포함된 종합산업으로 산업 간 연관 효과가 매우 큰 산업⁴¹⁾
 - 플랜트 산업은 국가적 현안을 해소하고 신산업 창출과 해외수주 경쟁력 증대에 기여 하는 바가 크며, 비교적 통상마찰 및 규제가 적은 반면 외화가득률이 높은 고부가가치 산업
- 전 지구적인 기후변화 대응을 강화하기 위한 파리협정*이 체결('15.12) 발효('16.11) 되어 '21년부터 신기후체제 출범에 따라 친환경 에너지로의 전환 및 에너지원 다각화 전망⁴²⁾
 - '21년 新 기후체제를 앞두고 국가별 온실가스 감축 목표 달성을 위해 적극적인 기후기술 개발 및 보급 필요
 - 기존의 화석연료를 바탕으로 한 산업과 에너지 집약적 기술에서 탈피해, 온실가스 배출을 줄이고 기후변화에 대응할 수 있는 기술에 대한 중요성 증대

40) 셰일가스, 오일샌드, 석탄가스화 등 非전통에너지

41) 산업연관 효과는 산업과 산업과의 파급효과로 후방연관 효과는 특정 산업제품에 대한 변화가 모든 산업에 미치는 영향을, 전방연관 효과는 모든 산업제품에 대한 변화가 특정 산업의 생산에 미치는 영향을 말하며, 계수는 산업제품 1단위 발생 시 생산의 발생량과 필요량을 의미

42) '20년 만료 예정인 교토의정서('97년 채택) 체제 대체, '23년부터 5년 주기로 전 지구적 기후변화대응 이행 점검 추진

- 신재생에너지, 청정에너지, 에너지효율 및 에너지 절약 등의 탄소 저감기술을 개발하거나 이를 바탕으로 한 산업 지원 필요
- 해외 각국의 에너지 공급과 수요의 불균형이 심화되고 있는 상황에서, 기존 화석연료 등 전통적 에너지를 대체하는 비전통 방식의 자원개발 및 에너지 발전 플랜트가 확산될 것으로 전망
- '20년 이후 산유국을 포함한 15개국 이상이 비전통 가스자원의 생산을 개시할 것으로 전망
 - 세계 에너지 수요는 '17~'40년 기간 중 25% 이상 증가할 전망이며, 에너지 효율 개선이 시도되지 않을 경우, 동 기간 에너지 수요 증가율은 이의 2배(50%)에 달할 전망⁴³⁾
- 우리나라는 1차 에너지의 97% 이상을 해외 수입에 의존하고 있으며, 에너지 안보의 측면을 고려할 때 에너지원 다각화의 필요성 증가
- 폐기물과 바이오매스를 고효율과 환경친화적으로 활용할 필요성이 점차 증대되고 있으며, 동시에 CO₂ 저감을 위한 대안도 요구되는 시점
 - 폐기물, 바이오매스의 고부가가치 연료화, 원료화 및 온실가스 감축 효과 증대를 위하여 가스화 기술의 보급 정책 추진 필요
- 향후 주요 국가경쟁력 요소로 부각되는 미래 신재생에너지 및 자원개발 사업진출 기반 마련을 위한 플랜트 산업 관련 제반 기술확보 필요

43) 세계 에너지시장 인사이트 제18-43호 2018.12.10

제2장 정책동향

1. 미국

- 트럼프 행정부는 “미국의 에너지 지배(American Energy Dominance)” 시대를 선언하고, 전임 행정부의 에너지, 기후변화, 환경 관련 규제완화 및 폐지 절차를 진행
- '17년 1월 트럼프 대통령 취임 직후, 백악관은 「미국 최우선 에너지계획(American First Energy Plan)」을 발표⁴⁴⁾
 - 미국 내 에너지 자원 개발 확대, 에너지 산업에 대한 규제 철폐, 에너지정책 및 환경정책 동반 추진을 발표
 - 미국 내 매장된 셰일 및 원유가스 자원 개발과 청정 석탄 산업 부흥을 통해 OPEC 등 석유부국으로부터 원유수입의존도를 낮추고, 에너지 자립을 확보
 - 「청정전력계획(Clean Power Plan, CPP)」 혹은 수자원 관련 규제가 에너지 산업 발전에 피해를 주는 불필요한 규제라 규정하고, 폐지 계획을 천명
 - 또한 「미국 최우선 에너지계획」은 대기 및 수질환경 보호, 야생동물 서식지 보존 등 환경정책과 공조 추진
- 트럼프 대통령은 '17년 6월 파리 기후협약* 탈퇴를 선언하였으며, '19년 11월 공식적으로 유엔에 성명을 보내 파리협정 탈퇴를 통보⁴⁵⁾
 - 전임 오바마 대통령은 온실가스 감축량을 '30년까지 '05년 대비 최대 28% 감축을 공언하며, 온실가스 감축을 위해 197개국이 참가한 파리 기후협약 채택에 기여
 - 파리 기후협약은 미국 노동자와 기업, 납세자에게 과중한 부담을 부여하므로, 미국과 미국 시민을 보호하기 위해 협약 탈퇴를 결정
- 환경보호청(EPA)는 「청정전력계획」에 따른 화력발전소 규제를 완화하기 「적정 청정에너지(Affordable Clean Energy, ACE)」 규정을 발표
 - 「청정전력계획」은 미국 내 탄소 감축을 위해 각 주별로 기존 화력발전소의 온실가스 배출 감축 목표와 가이드라인을 제시⁴⁶⁾

44) The White House(2017), “An America First Energy Plan”(2017.1.20.)

45) 동아일보(2019), “美트럼프 행정부, 파리협약 공식 탈퇴”(2019.11.05.)

46) NRDC(2017), “What is the Clean Power Plan?”(2017.09.29.)

〈표 2.1〉 미국 「청정전력계획」에 따른 주별 온실가스 감축목표

감축목표	해당 주	세부 감축조치
50% 이상	워싱턴, 애리조나, 사우스캐롤라이나 (3개)	- 석탄발전소 효율 개선 - 저탄소 발전원으로 연료 전환 - 재생에너지, 원자력 확대 - 전력수요 관리
41~50%	오리건, 뉴햄프셔, 조지아, 아칸소, 뉴욕, 뉴저지, 미네소타 (7개)	
36~40%	노스캐롤라이나, 루이지애나, 테네시, 텍사스, 플로리다 등 (11개)	
31~35%	사우스다코타, 네바다, 위스콘신, 뉴멕시코, 일리노이 등 (9개)	
21~30%	코네티컷, 오하이오, 유타, 앨라배마, 네브라스카 등 (11개)	
10~20%	웨스트버지니아, 와이오밍, 켄터키, 아이오와, 하와이 등 (8개)	

※ 자료: 에너지경제연구원(2014), “미국 청정전력계획 내용과 향후 전망”, 「세계 에너지시장 인사이트」 제14-24호를 재가공

- 트럼프는 경제성장 및 규제완화를 이유로 「청정전력계획」을 대체하기 위한 「적정 청정에너지 규정」을 제정하고 '19년 6월 확정 발표⁴⁷⁾

- 기존 발전소로부터 배출되는 온실가스 최적 배출량 감축 체제의 개념을 발전소 현장의 열소비율 효율성 개선으로 한정
- 「청정전력계획」에서 제시한 각 주별 온실가스 감축목표 수치를 삭제하고, 각주가 재량으로 감축목표를 설정할 수 있도록 개정

○ 환경보호청은 신규 오염배출시설 중 화력발전소의 이산화탄소 배출기준을 완화하고, 석유 및 가스 생산시설의 메탄가스 등의 배출완화 규정을 추가 발표

- 신규 건설된 화력발전소의 배출시설 감소시스템으로 이산화탄소 및 포집저장기술(CCS)을 요구한 기존 법조항을 완화하여 화력발전소를 포함한 경제적 발전 인프라 건설이 가능⁴⁸⁾

- 석유 및 가스자원 개발 확대를 위해 기존 환경보호청과 주 정부 사이의 의무규사항을 조정하고, 유정과 압축기지에서의 누출에 대한 모니터링 횟수 조정, 석유 가스 산업계에 누출 모니터링 관련 최신기술 적용에 대한 제약조건을 완화⁴⁹⁾

□ 캘리포니아 등 일부 주에서는 탄소배출 없는 발전을 위한 청정에너지 정책을 추진 중

○ 캘리포니아 주정부는 '45년까지 주 전력수요의 100%를 청정에너지로 충당하기 위한 「SB100(The 100 Percent Clean Act)」 법안을 마련

47) 중앙일보(2018), “트럼프, ‘청정전력계획’ 규제 완화... 또다름 ‘오바마 지우기’”(2018.08.22.)

48) Environmental Protection Agency(2018), “Review of standards of performance for greenhouse emissions from new, modified, and reconstructed stationary sources: electric utility generating units”(2018.12.20.)

49) Environmental Protection Agency(2018), “Oil and natural gas sector: emission standards for new, reconstructed, and modified sources reconsideration”(2018.10.15.)

- 캘리포니아는 미국 내 재생에너지원 비중이 가장 높은 주로서 그간 자체적으로 에너지·기후변화 대응 정책을 추진⁵⁰⁾
 - 캘리포니아는 독자적으로 '50년까지 1990년 수준의 최대 80%로 온실가스를 감축하기 위한 목표를 수립하고, 주기적으로 기후변화평가를 실시
 - '12년부터 저비용 및 시장기능에 의한 온실가스 감축 수단으로 배출권거래제를 도입하고 '13년부터 이를 의무화
- '18년 9월 제리 브라운 주지사는 '45년까지 주 내 전력수요의 100%를 재생에너지 및 원자력 등 탄소제로 에너지원으로 충당이라는 목표를 담은 SB100법안에 서명⁵¹⁾
 - 동 법안은 '30년까지 캘리포니아 주 전력발전의 50%를 청정에너지로 대체하기 위해 '15년 10월 발효된 「SB350(Clean Energy and Pollution Reduction Act)」의 개정안
 - 에너지 생산량 중 일정 비율을 신재생에너지로 충당할 것을 의무화한 「신재생 에너지 발전 의무 할당제」의 충당목표를 통해 100% 청정에너지 전력발전을 실현할 계획

〈표 2.2〉 미 캘리포니아주의 신재생에너지 발전 의무 할당 목표

2024	2026	2027	2030	2045
31%	50%	52%	60%	100%

※ 자료: KOTRA(2018), “미 캘리포니아주, 2045년까지 100% 청정에너지 전력 공급 계획”(2018.09.22.)

- '19년 7월 뉴욕 주는 '50년까지 온실가스 배출 제로를 목표로 하는 「기후 리더십 및 지역사회 보호법(Climate Leadership and Community Protection Act)」을 통과⁵²⁾
 - 뉴욕주에서 공급되는 전력 중 풍력·태양광 등 재생에너지 발전 비중을 '30년 70%, '40년 100%로 확대하여 '50년까지 온실가스 배출량 제로 달성
 - 이를 위해 해상풍력발전 증설, 지붕형 태양광 프로그램 확대, 재생에너지의 효율적 이용을 위한 대규모 저장설비 구축 등을 추진 예정

2. EU

- '18년 6월 EU는 '30년까지 최종에너지 소비 중 재생에너지 비중을 32%로 확대하는데 합의

50) 에너지경제연구원(2019), “미국 캘리포니아주의 청정에너지전원 확충계획(I)”, 「세계 에너지시장 인사이트」 제19-2호.(2019.01.14.)

51) KOTRA(2018), “미 캘리포니아주, 2045년까지 100% 청정에너지 전력 공급 계획”(2018.09.22.)

52) 전기신문(2019), “뉴욕, 2050년까지 ‘온실가스 배출 제로’ 목표한 법안 통과”(2019.07.11.)

- '16년 EU 집행위원회는 파리 기후협약을 위한 중장기 전략인 'Clean Energy for All European Package'를 발표하여 '30년까지 최종에너지 소비 중 재생에너지 비중 목표치를 27%로 설정
- '18년 EU 집행위원회, 유럽의회, EU 이사회는 「재생에너지 지침 개정(revised Renewable Energy Directive)」를 위한 3자 협상을 통해 최종에너지 소비 중 재생에너지 비중 목표치를 32%로 확대⁵³⁾
 - '23년 이행방안 중간점검을 통해 '30년까지 재생에너지 목표치를 상향 조정할 수 있음을 명시
- '30년까지 재생에너지 비중을 최소 32%로 달성하여, 기후변화 및 신재생에너지 분야에서 유럽의 글로벌 리더십을 강화하기 위한 전략을 제시⁵⁴⁾
 - **(에너지 효율)** '30년까지 재생에너지 비중 32% 달성을 위해 신재생에너지 효율을 강화하고, 스마트 그린 빌딩 등을 통해 에너지 효율을 극대화
 - **(재생에너지)** 유럽연합의 글로벌 리더십을 유지할 수 있도록 신재생에너지 분야의 공공 및 민간 투자 확대
 - **(거버넌스)** '국가 에너지 및 기후변화 계획(National Energy and Climate)'에 따라 개별 회원국이 목표를 달성할 수 있도록 '21~'30년의 계획을 제시
 - **(소비자 권리)** 개별 소비자의 에너지 생산, 저장 및 판매가 용이하고 에너지 거래에 대한 투명성을 높일 수 있도록 소비자 권리 확보
 - **(전기시장)** 새로운 법안은 재생에너지를 그리드에 통합하고 리스크 관리 및 국경 간 협력을 개선함으로써 전력 공급에 대한 보안을 강화
- '19년 11월 유럽의회는 기후변화 대응 수단으로서 온실가스를 배출하지 않는 에너지원으로 원자력 지지 결의안을 채택⁵⁵⁾
- 제25차 유엔기후변화협약 당사국 총회에 앞서 유럽의회는 온실가스를 배출하지 않는 에너지원으로서 원자력이 기후변화 대응에 기여할 수 있다는 COP 25 결의안 채택
 - 유럽 전력생산에서 높은 비중을 차지하고 있는 원자력을 온실가스 배출 저감을

53) European Commission(2018), "The Revised Renewable Energy Directive"

54) European Union(2019), "Clean energy for all Europeans package completed: good for consumers, good for growth and jobs, and good for the planet"(2019.05.22.)

55) 전기신문(2019), "유럽의회 기후변화 대응 수단으로 원자력지지 결의안 채택"(2019.12.05.)

통한 기후변화 대응에 기여할 수 있는 ‘친환경에너지’로 재분류

- '50년까지 유럽의 온실가스 감축목표를 담은 「유럽그린딜(European Green Deal)」 정책패키지에 원자력 지지안을 반영할 것을 촉구
- '19년 12월 EU 집행위원회(European Commission)는 '50년 탄소중립 목표 달성을 위한 정책 이니셔티브인 「유럽그린딜(European Green Deal)」을 제안⁵⁶⁾
- '50년까지 탄소 순배출량 제로, 즉 '탄소중립' 목표를 수립한 유럽그린딜을 발표
 - 탄소중립이란, 경제활동 과정에서 발생하는 탄소 배출량만큼 신재생에너지의 발전·조립·탄소배출권 구입 등 탄소 감축활동을 통해 탄소 배출량 상쇄하는 것을 의미
 - 철강, 시멘트, ICT, 섬유, 화학 등을 포함하는 산업, 교통, 에너지, 농업, 건물 등 다양한 경제 영역에서 탄소 중립을 위한 목표를 포괄적으로 제시

〈표 2.3〉 '50년까지 탄소중립을 위한 「유럽그린딜」의 분야별 목표

분야	탄소중립 목표
에너지	유럽 온실가스 배출의 75% 이상을 차지하는 에너지 생산 및 사용분야의 탈탄소화
건물	에너지소비의 40%를 차지하는 건축물 개보수를 통해 에너지 사용 절감
교통	온실가스 배출의 25%를 차지하는 수송 분야를 더 깨끗하고 경제적이며 건강한 방법으로 개선

- 「유럽그린딜」의 에너지 분야는 기후법 제정, 온실가스 감축목표 상향, EU-ETS 확대, 건물부문 에너지효율 향상, 수송부문 탄소배출 저감, 탄소정책 격차 해소 등으로 구성⁵⁷⁾
 - (기후법 제정) '20년 3월, 탄소중립 목표 달성을 위한 기후법을 발의
 - (온실가스 감축목표 상향조정) 기존 온실가스감축 목표를 '20년 여름까지 55%로 상향조정하여 조정된 목표 달성을 위해 '21년 6월까지 기후 관련 정책을 점진하고, 실제 감축량을 '30년까지 최소 50% 이상 달성하기 위한 계획 제시
 - (EU-ETS의 강화·확대) 배출권거래제 적용 범위를 선박 부문에서 시작해 향후 수송·건설 부문까지 확대하고, 항공부문의 무상할당 배출권을 축소

56) European Commission(2019), "The European Green Deal sets out how to make Europe the first climate-neutral continent by 2050, boosting the economy, improving people's health and quality of life, caring for nature, and leaving no one behind"(2019.12.11.); European Commission(2019), "Turning challenge into opportunity on the course to becoming the first climate-neutral continent"(2019.12.13.)

57) Euractiv, 2019.12.11.

- (건물부문 에너지효율 향상) 건물 개·보수를 통해 에너지효율을 향상하는 ‘레노베이션 웨이브(renovation wave)’ 실시
 - ’20년부터 각국의 건물 개·보수 계획을 평가하고, 다양한 이해 관계자가 건물 개·보수에 참여하는 이니셔티브를 구축
 - 현행 ‘건물효율지침(Energy Performance of Buildings Directive)’에 따라 평가
- (수송 부문 탄소배출 저감) 화물수송, 교통체계 및 EU-ETS 개편, 저탄소 차량 확대 등 수송 부문 전 분야에 걸쳐 탄소 및 오염물질 배출 저감
 - 도로수송 화물의 상당량을 철도 및 내륙수로(inland waterway) 수송으로 전환하기 위해 인프라 증설(’21년 계획 발표)
 - ’25년까지 공공 충전소 백만 개, 저탄소차량 1,300만 대 보급 목표를 달성하기 위해 정책·재정적으로 지원 방안을 마련
- (탄소정책 격차 완화) 국가 간 탄소정책 및 온실가스 규제 강도의 차이를 좁히고 탄소 누출(carbon leakage)을 막기 위해 탄소국경세(carbon border tax) 도입을 고려

3. 독일

- 독일은 ’50년까지 온실가스 배출 감축, 신재생에너지 이용 확대를 목표로 한 「에너지구상 2010」에 기초하여 에너지전환 정책을 추진
- ’09년 이래로 집권 중인 메르켈 정부는 ’50년까지 화석에너지 의존도 감소, 신재생에너지원 확대를 통해 궁극적으로 원전을 폐쇄한다는 에너지 전환정책 시행 중
 - 신재생에너지 확대와 에너지 효율성 제고를 두 축으로 ’50년까지 온실가스 감축, 신재생에너지 확대, 에너지 소비량 감축을 위한 정책 방향 제시

〈표 2.4〉 독일 에너지전환 원칙

신재생에너지 확대	에너지 효율성 제고
- 화력 발전소의 구조조정 - 신재생에너지 확대 및 기존 에너지 시스템으로의 통합가속화 - 풍력을 중심 에너지원으로 설정 - 전력망 확대	- 스마트그리드 및 저장장치 - 에너지 고효율 빌딩 확대 - 에너지 효율성 제고를 위한 유럽 계획안 마련 - 효율적 조달 - 비용 효율성 제고

※ 자료: 한국경제연구원(2016), “독일 에너지전환 정책의 추이와 시사점”

- '50년까지 온실가스 배출 감축, 재생에너지 이용 확대, 에너지 소비 감축 등을 주요 장기 정책목표로 설정
 - (온실가스 배출 감축) 기후변화 대응을 위해 온실가스 배출량을 '50년까지 1990년 대비 80~95% 감축을 핵심 정책 목표로 설정
 - (재생에너지 이용 확대) 에너지 수요 증가를 억제하는 한편, 에너지 공급 구조를 청정에너지 체제로 전환하기 위한 신재생에너지를 보급·확대
 - (에너지 소비 감축) '50년까지 1차 에너지 수요를 '08년 대비 50% 수준으로 감축하기 위해 에너지 생산성을 연평균 2.1% 개선하고, '50년까지 전력수요 25% 감축, 건물부문 에너지 수요 80% 감축을 세부 목표로 수립

〈표 2.5〉 독일의 에너지전환 정책 목표

구분	온실가스 배출	재생에너지 비중		1차 에너지 소비	원자력
		최종에너지	발전량		
기준년도	'90년	-	-	'08년	'10년
'20	△40%	10%	35%	△20%	-
'22	-	-	-	-	△100%
'30	△55%	30%	65%	-	-
'50	△80~△95%	60%	80%	△50%	-

- '18년 2월 메르켈 연립정부는 그간의 에너지 전환 정책기조를 승계하여, 부문별 세부 정책목표를 점검하고 정책 추진방향에 대한 협정(Coalition Treaty)에 합의⁵⁸⁾
- 메르켈 4기 기민·기사연합-사민당은 기존의 독일, EU, 파리 기후협약에서 제시한 '20~'50년 기후변화 대응목표를 승계하여 세부 정책 목표 및 방향에 대해 합의
 - (온실가스 감축) '50년까지 온실가스 중립 달성을 추구하며, 이를 위해 'Climate Action Programme 2020', 'Climate Action Plan 2050'을 실시
 - 1990년 대비 '20년까지 탄소배출량 40% 감축, '30년까지 55% 감축이 목표
 - '19년까지 기후변화 대응 목표 달성을 위한 관련 법제도 정비를 합의
 - (탄소가격제 도입) 유럽 탄소거래제(EU-ETS)의 탄소가격 결정원칙을 준용하고, 거래제 강화를 지속적으로 추진

58) Clean Energy Wire(2018), "Climate, energy and transport in Germany's coalition treaty"(2018.02.07.)

- **(탈탄소화 산업지원)** 파리 기후협약 이행을 위해 독일 산업계에 ‘탈탄소 지원 프로그램’을 도입하여 기후변화 대응 이후에도 독일 산업경쟁력 강화를 지원
- **(탈석탄 정책)** '30년까지 탈석탄화가 가능하도록 석탄화력발전소의 단계별 폐쇄 및 퇴출 이행계획 수립, 발전소 폐쇄로 인한 경제적 피해 최소화를 위한 정책 조치를 마련
- **(신재생에너지 확대)** '30년까지 전력소비에서 재생에너지 비중을 65%로 확대하는 목표를 설정하고 육상 및 해상풍력 발전소 확대를 위한 프로젝트를 추진
- **(탈원전)** 독일이 해외에 보유하고 있는 원전프로젝트의 정부지분에 대한 처분을 추진하고, 원전폐기물 최종 폐기장을 '31년까지 확정하기로 합의

□ 에너지부는 석탄화력 발전플랜트의 자발적 폐쇄 유도 방안을 포함한 탈석탄법 초안을 마련⁵⁹⁾

○ '19년 초 독일 탈석탄위원회는 '38년까지 독일의 석탄 화력발전플랜트의 폐쇄를 권고하고, 석탄플랜트 용량의 단계별 감축방안, 갈탄 플랜트 운영자에 대한 보상 방안 등에 대한 이행 절차를 제시

- 탈석탄위원회는 의회, 연방정부, 환경단체 및 산업계의 대표로 구성되어 석탄화력 발전의 전면폐지 계획을 발표

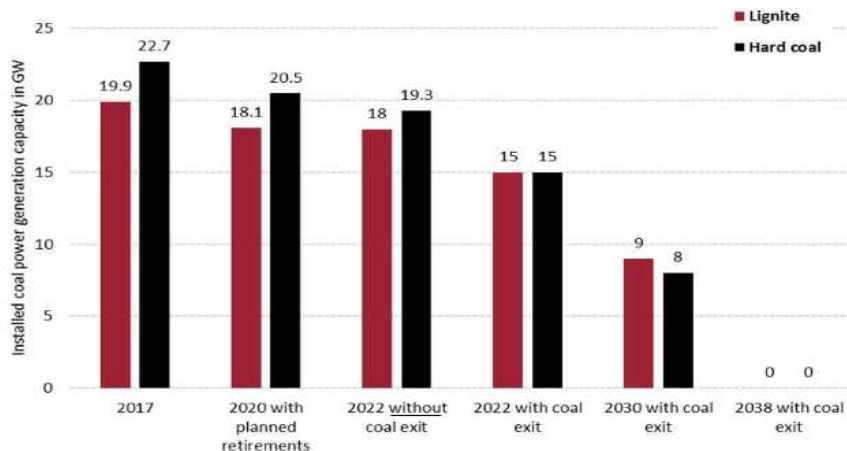
○ 에너지부는 탈석탄위원회의 권고안에 근거하여 무연탄화력발전소의 자발적 폐쇄를 유도하는 내용을 포함한 탈석탄법 초안을 발표하고 입법절차 중

- '20~'26년간 경매제도*를 활용한 자발적 폐쇄기간을 거쳐, '27년부터는 오래된 순서로 석탄화력발전소를 폐쇄하여 궁극적으로는 '38년까지 탈석탄화를 실현

* 석탄화력발전 플랜트의 폐쇄를 위해 폐쇄예정인 발전소의 단위용량(MW) 당 최저보상비용을 제시하는 발전사업자가 보상금을 낙찰

- 1차 경매제도는 '20년 6월 실시될 계획으로, 발전용량 4GW에 대해 시범적으로 적용할 예정

59) Clean Energy Wire(2019), "Spelling out the coal phase-out-Germany's exit law draft", 2019.11.12.

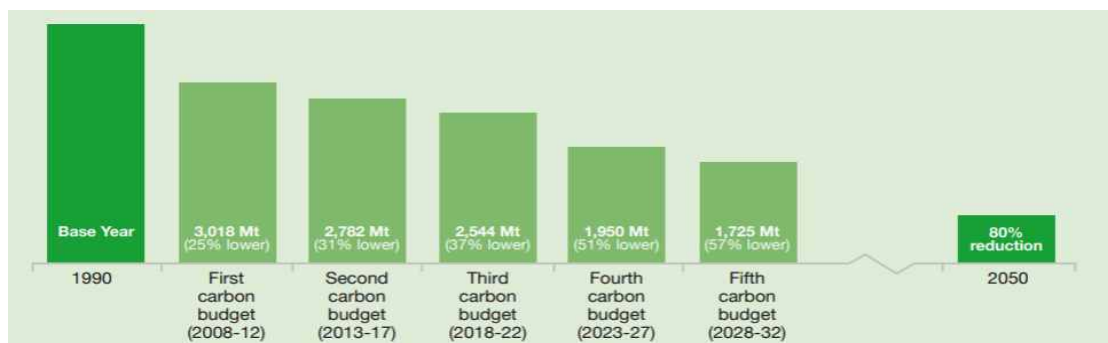


※ 자료: Clean Energy Wire(2019), “Spelling out the coal phase-out-Germany’s exit law draft”, 2019.11.12.

[그림 2.1] 독일의 탈석탄플랜트 목표('17~'38)

4. 영국

- 「기후변화법(Climate Change Act)」 제정을 하고 온실가스 감축을 위한 ‘탄소 예산제(Carbon budget)’를 도입
- 영국은 '08년 「기후변화법」을 제정하여 '50년까지 온실가스 배출량을 최소 80% 감축 하겠다는 목표를 수립하고, 에너지 정책을 추진
- 온실가스 감축 목표달성을 위해 5년 단위로 영국 내 온실가스 배출 상한선을 규정한 ‘탄소 예산제(Carbon budget)’을 도입하여 운영
 - '16년 7월 제5기('28~'32년) 탄소 예산을 1990년 기준연도 대비 약 52% 온실가스 배출 감축으로 설정



※ 자료: UK Government(2017), 「The Clean Growth Strategy: Leading the way to a low carbon future」.

[그림 2.2] 영국의 탄소 예산제

- '17년 10월 「청정성장전략(Clean Growth Strategy)」를 발표하여 저탄소 경제로의 이행을 위한 정책 방향 마련⁶⁰⁾
- 영국은 저탄소 경제체제로 전환하는 한편 저탄소 산업 선도국으로서 지위를 유지하기 위해 「청정성장전략」을 수립
 - 영국 일반 납세자 및 소비자, 기업들의 기회비용을 최소화하는 한편, 기후변화 대응을 추구
 - 청정에너지로의 전환 과정에서 영국의 사회적·경제적 이익을 극대화
- 동 에너지효율 및 저탄소 기술 혁신을 위한 R&D 투자강화, 투자와 혁신 유발을 위한 환경 조성, 녹색성장 금융산업 활성화를 통한 재원조달 체계 전환을 강조
 - 특히 '15~'21년 기간 동안 청정에너지 기술 분야 R&D에 약 25억 76백만 파운드를 투자하여 청정성장을 기술적으로 지원

〈표 2.6〉 영국 「청정성장전략」에 따른 R&D 투자계획('15~'21년)

(단위: 백만 파운드)

구분	기초·응용연구	개발연구	실증연구	합계
에너지 저장시스템	175	43	47	265
신재생에너지	209	276	154	638
에너지효율 향상	100	31	53	184
전기차배터리 등 친환경 수송	296	413	132	841
이산화탄소 포집·활용·저장 기술(CCUS)	57	47	58	162
자원개발	69	30	0	99
청정 융합기술	234	62	91	387
합계	1,140	902	534	2,576

※ 자료: UK Government(2017), 「The Clean Growth Strategy: Leading the way to a low carbon future」.

- 영국은 '25년 탈석탄을 달성한 뒤 최종적으로 '50년에 1990년 대비 온실가스 배출량 80% 감축을 기후변화 대응 목표로 제시
- 현재 7개의 석탄화력발전소(총 12GW 규모)가 있으나, 시설의 노후화 및 온실가스 배출기준 강화에 따른 발전비용 상승 등을 이유로 '25년까지 순차 폐지 예정
- 영국은 무(無)석탄발전 기록을 측정하는 coal-free run을 시행하고 있으며, 그 일환으로 2주간 Coal-Free Fortnight 진행⁶¹⁾

60) UK Government(2017), 「The Clean Growth Strategy: Leading the way to a low carbon future」

61) National Grid Electricity System Operator Britain 공식 트위터, https://twitter.com/ng_eso

- '19년 5월 17일 15시 12분 이후 영국 내 모든 석탄발전소의 가동을 정지한 후 18일(438시간)이 지난 '19년 6월 5일 21시 20분까지 석탄발전 없이 천연가스, 원자력, 재생에너지 등으로 전력을 공급
- 영국은 탈석탄에 따른 발전용량 확보를 위해 풍부한 해상풍력자원을 중심으로 재생 에너지를 확대하고 있으며, 태양광발전 부문에도 지속적으로 투자

5. 프랑스

- 프랑스는 후쿠시마 원전사고 이후 원자력 비중을 감축하고, 신재생에너지 비중을 확대 하는 에너지 전환 기조를 유지
- 마크롱 대통령은 '17년 취임 이후부터 온실가스 감축 및 탈화석 연료 정책에 우선 순위를 부여하여 에너지 정책을 추진
- '17년 12월 세계 최초로 '40년부터 석유 및 천연가스 자원의 탐사 및 생산을 전면 금지하는 「탄화수소자원 신규탐사 전면 금지법」을 제정하는 등 탈석탄화 추진⁶²⁾
 - 파리 기후협약으로부터 지구온난화를 억제하기 위해 동 법의 발효 이후 프랑스 및 해외영토에서의 석유 및 천연가스 시추권의 신규 허가 및 갱신이 불가
 - 또한 '21년까지 석탄화력발전소의 전면폐쇄를 추진⁶³⁾
- '19년 1월 프랑스는 「에너지전환법」에 따른 「제2기 중장기 에너지계획」을 발표하여 향후 10여년 간의 에너지 정책 방향을 제시⁶⁴⁾
- 프랑스는 EU의 기후·에너지 정책 방향과 기조를 맞추어 에너지 전환 및 기후변화 대응을 위한 「에너지전환법」을 수립
 - 온실가스 감축, 에너지 소비 감축, 재생에너지 개발, 전력생산 발전원의 다양화, 원자력 발전용량 유지 등에 대한 중장기적인 정책 목표를 제시

62) Independent(2017), "France to ban all oil and gas production from 2040"(2017.12.20.)

63) Independent(2018), "France to shut all coal-fired power stations by 2021, Macron declares"(2018.01.25.)

64) Ministère de la Transition Écologique et Solidaire(2019), "French Strategy for Energy and Climate: Multi Annual Energy Plan"

〈표 2.7〉 프랑스 에너지전환법 상 중장기 정책목표

분야	중장기 목표
온실가스 배출량	1990년 대비 2030년까지 40%, 2050년까지 75% 감축
최종에너지 소비량	2012년 대비 2030년까지 20%, 2050년까지 50% 감축
1차에너지 소비 중 화석연료 비중	2012년 대비 2030년까지 30% 감축
재생에너지 비중	2020년 기준 최종에너지 소비 중 재생에너지 비중 23%로 확대 2030년 기준 최종에너지 소비 중 재생에너지 비중 32%로 확대
전력생산 발전원 다양화	2025년 기준 전력생산에서 원자력 비중 50%로 축소
원자력 발전용량 유지	원자력 설비용량을 현재 수준인 63.2GW로 제한

※ 자료: 원자력정책연구센터(2018), “프랑스의 에너지전환법 제정과 향후 전망”, 「원자력정책 Brief Report」 2018-1호(통권 44호).

- 「에너지전환법」 제176조에 따라, '19년 1월 중장기 정책목표 실현의 구체적인 실천계획을 담은 「제2기 중장기 에너지계획」을 발표
 - 「제2기 중장기 에너지계획」은 기후변화 대응을 위한 국제적인 정책 프레임워크, 유럽의 정책기조 및 자국의 「에너지전환법」의 추진방향을 충족
- 동 계획은 '30년까지 에너지소비 40% 감축, 전력가격 안정화, 에너지믹스 변화, 에너지소비세 개정 등의 주요 목표를 포함하고 있으며, 세부 실행계획 제시
 - **(화석연료 사용 절감)** '50년까지 탄소 중립달성을 위해 '30년, '12년 대비 화석연료 사용의 소비를 40% 절감할 것을 목표로 설정
 - '22년까지 석탄화력발전소 폐쇄
 - '30년까지 풍력발전을 3배, 태양광 발전을 5배 이상 확충하는 등 신재생에너지 발전 비중을 40%로 확대
 - **(재생에너지원 투자 확대)** 해상풍력 및 태양광발전 등 가격 경쟁력 있는 재생에너지원 개발에 대한 투자를 확대
 - 재생에너지에 대한 투자를 '28년까지 연간 50억 유로에서 80억 유로로 확대
 - 향후 10년간 전기, 바이오가스 등 재생에너지에 대한 지원에 총 710억 유로를 지원할 예정
 - **(에너지 다각화)** '35년까지 에너지믹스를 다각화하고, 원자력 발전 비중을 축소
 - 원자력에너지 의존도 축소(75%→50%) 기한을 '25년에서 '35년으로 연장하여, 현재 가동 중인 14개 원자로의 약 1/4를 '35년까지 폐쇄할 예정
 - 정부는 '20년 초까지 Fessenheim 1, 2호기를 폐쇄하고, '35년까지 900MWe 규모의 총 14기의 원자로를 단계적으로 폐쇄할 계획

6. 일본

□ 경제산업성은 세계적 탈 탄소화 추세 대응을 위해 에너지믹스 실현과 '50년 에너지 전환 및 탈 탄소화를 목표로 하는 「제5차 에너지 기본계획」을 발표⁶⁵⁾

○ '11년 후쿠시마 사태 이후 급격한 에너지 가격변동 및 에너지 자립도 저하를 경험 후 에너지 공급 안정성, 친환경성, 에너지 안전 제고 등을 정책의 최우선 목표로 설정⁶⁶⁾

○ '14년 4월 발표된 「제4차 에너지 기본계획」은 원자력에 대한 신뢰성 회복 및 에너지 인프라의 안전성 확보라는 사회적 수요를 반영하여 “3E+S”^{*}를 에너지 정책의 핵심 목표로 수립

* 3E+S: 에너지의 안정적 공급(Energy Security), 에너지 효율 증진(Economic Efficiency), 친환경 에너지(Environment) + 안전성 제고(Security)

- 2030년까지 에너지 자급률을 약 24%로 향상하고, 원자력 및 재생에너지원 중심의 전원개편 목표로 하는 에너지믹스를 발표

〈표 2.8〉 일본 2030 에너지믹스 개선 목표

구분	에너지믹스(1차 에너지 기준, %)			전원믹스(발전량 기준, %)		
	2013	2030	증감(%p)	2013	2030	증감(%p)
석유	45.5	30.0	△15.5	14.5	3.0	△11.5
석탄	24.1	25.0	0.9	32.9	26.0	△6.9
천연가스	22.1	18.0	△4.1	40.8	27.0	△13.8
재생에너지	4.9	13~14	8.1~8.1	10.8	22~24	11.2~13.2
수력	3.1	-	△3.1	7.3	8.8~9.2	1.5~1.9
태양광	-	-	-	1.2	7.0	5.8
풍력	-	-	-	0.5	1.	1.2
바이오매스	-	-	-	1.6	3.7~4.6	2.1~3.0
지열	-	-	-	0.2	1.0~1.1	0.8~0.9
원자력	0.4	10~11	9.6~10.6	0.9	20~22	19.1~21.1
LNG	-	-	-	-	-	-
에너지자급률	6.1	24.3	18.2	-	-	-

※ 자료: 에너지경제연구원(2018). “일본 에너지정책 방향 전환 모색과 시사점”, 세계 에너지시장 인사이트 제18-21호, 2018.6.11..를 참고하여 재가공

65) 경제산업성(2018), 「에너지기본계획」, (<https://www.meti.go.jp/press/2018/07/20180703001/20180703001-1.pdf>)

66) 에너지경제연구원(2018). “일본 에너지정책 방향 전환 모색과 시사점”, 세계 에너지시장 인사이트 제18-21호, 2018.6.11..

○ '18년 7월 경제산업성은 「제5차 에너지 기본계획」을 발표하고, ①에너지효율 증진, ②재생에너지 역할 확대, ③적정 원자력 역할 설정을 통한 경제의 선순환 및 친환경 체계 구축을 도모⁶⁷⁾

- 「제4차 에너지 기본계획」의 3S+E 정책과 2030 에너지믹스를 승계

- **(에너지효율 증진)** '30년까지 화석에너지의 의존도를 축소*하는 한편, 에너지 공급도를 개선하여 에너지 효율을 증진

* 석탄화력 전원 비중 목표는 26.0%로 '13년 대비 6.9%p 감축하고, LNG 전원비중은 26.0%로 수립하여('13년 대비 13.8%p 감축)하여 발전부문의 화석연료 의존도 감소 및 전력생산의 비용구조 개선

- **(신재생에너지원 주력 전원화)** 태양·풍력, 바이오매스, 지열, 중소수력 등 신재생 에너지의 전원 비중 목표를 22~24%로 설정하고, 이를 위한 재생에너지 주력 전원화 구상을 설계

- **(적정 원자력 활용)** 탈탄소화를 위한 중요한 기저 전원으로서 원전을 인식하고, '30년 약 20~22% 수준으로 전원비중을 설정하여 원전 비중 확대**

** '18년 원전 전원비중은 6%로 '30년까지 목표 전원비중에 도달하기 위해서는 원전 설비개체 및 신·증설에 대한 논의가 필수적이나, 구체적인 계획 미제시

○ 동 계획에서는 '50년까지 에너지절약 사회 실현을 위한 해결과제를 제시

- **(신재생에너지)** 글로벌 수준으로 생산 단가를 낮추고, 기존 송전망을 적극적으로 개방

- **(원자력)** 원전 안전성을 향상하여 사고 위험을 절감, 폐로·폐기물 처리에 대한 시민의 불안을 낮추어 원전이용에 대한 사회적 신뢰도를 제고

- **(화력)** 비효율적인 석탄 활용을 단계적으로 감축하고, CCS 및 수소전환 등을 통해 화석연료의 탈탄소화를 추진

- **(열수송시스템)** 분산에너지를 적극 활용하여 차량의 전기화 및 수소화 등 에너지원 이용 용도 확대 추세에 부합할 수 있도록 노력

- **(에너지 절약·분산형 에너지 시스템)** 재생에너지 소형화 및 고효율화, 축전지 및 연료전지 시스템 혁신 등 스마트그리드 기술 개발 고도화

67) 에너지경제연구원(2019), “일본 2018년 에너지수급 변화 및 2019년 정책 현안”, 세계 에너지시장 인사이트 제19-7호, 2019.2.25.

- 경제산업성과 신에너지산업기술종합개발원(NEDO)의 주도로 수소사회 진입을 위한 「수소기본전략」을 수립하고 이행방안을 담은 「수소연료전지 전략로드맵」을 발표
- “3E+S” 정책에 따라 '50년까지 일본사회가 수소사회실현을 위해 민관이 공유해야할 정책목표와 방향을 제시한 「수소기본전략」을 발표('17.12)⁶⁸⁾
 - 수소의 생산, 저장, 수송, 최종 소비에 이르는 수소 에너지의 생산·공급·이용 체계 구축을 목표로 '30년까지 상용 수소 공급망을 통해 30만톤 규모의 수소를 공급을 위한 추진방향을 제시

〈표 2.9〉 일본 「수소기본전략」의 단계별 목표

1단계(현재~) 수소이용의 비약적 확대	2단계(~2020년대 후반) 대규모 공급시스템 확립	3단계(2040년 경) CO ₂ -free 수소공급시스템 확립
고정용 연료전지 및 FCV 이용 확대하여 일본의 선도적 위상 확립	수소에너지 공급체제에서 미이용 에너지원 확대 및 기존 전력 및 열 중심의 최종에너지 소비구조에서 수소를 새로운 에너지 원으로 정립	CCS 결합 수소제조 공정 및 재생에너지원 활용 CO ₂ 무배출 수소공급시스템 확립

- (저비용 수소 공급체계 구축) 저렴한 해외 미이용 에너지와 CCS의 결합, 재생 에너지원 기반의 대규모 수소 생산공급체계구축 등 수소비용 감축을 통해 수소 공급비용의 현실화
- (국제 수소 생산·공급망 개발) 해외 에너지원을 확보하여 기술, 안전, 환경적 과제를 선결하고, 수소화탈수소화 플랜트 및 수송용 선박 등 인프라 정비를 추진
- (수소 수송·저장을 위한 에너지 캐리어 개발) 수소 수송과 저장을 위한 액화수소, MCH(Methylcyclohexane), 암모니아, 메탄의 활용방안 검토하고 수소공급 파이프라인망 구축
- (재생에너지원 전력의 수소화 기술개발) 5만엔/kW 수준의 비용감축을 목표로 계절적 영향없이 장기적인 전력 저장을 가능케 하는 Power-to-Gas 기술을 개발하여 '20년 이후 상용화 예정
- (지역 자원 및 미이용 에너지원 활용 제고) 수소 제조원으로서 재생에너지, 플라스틱 폐기물, 하수, 부생수소 등 미이용 지역자원을 검토하고, 활용제고를 위한 정책적 방향 모색

68) 에너지경제연구원(2018), “일본 수소기본전략 추진 배경과 핵심내용 분석(I)” 세계 에너지시장 인사이트 제18호-44호, 2018.12.17.; 에너지경제연구원(2018), “일본 수소기본전략 추진 배경과 핵심내용 분석(II)” 세계 에너지 시장 인사이트 제18호-45호, 2018.12.24.

- (발전부문 수소 이용 확대) 수소의 천연가스 혼합 연소 특성을 고려하여 소규모 열병합 시스템에 수소·천연가스 혼합연소의 도입확대를 계획하고 기존 화력발전 설비 연소기를 수소혼합연소발전으로 전환하기 위한 R&D와 실증 추진
- (모빌리티 수소 이용 확대) 수소자동차, 연료전지버스, 산업용 FC지게차, 연료전지 선박의 보급 확대 및 고압력 수소충전소 기술개발 등 수소연료를 활용한 운송 확대
- (국제 표준화) UN 국제기술표준 개정 과정(ISO/TC197)에서 자국의 수소 및 연료 전지 관련 기술표준이 적용될 수 있도록 국제표준 설정을 주도하고, 수소충전소 및 FCV에 관련된 일본 내 기준 표준 정비
- (혁신기술 개발) 고효율 수전해 및 인공광합성 기술, 수소 고순도화 투과막 공정 기술, 고효율 수소액화 기술 및 장기 액화수소유지를 위한 소재개발 등 수소의 제조, 수송, 저장, 최종연소기기 등에 대한 핵심기술 개발
- (산업부문에서 CO₂-free 수소활용) 제철 및 정제산업 등에서 연료로 사용되는 천연 가스를 재생에너지원 수소로 전환하여 이산화탄소 배출을 감축하는 등 산업부문 연료 청정화를 위한 수소 활용 확대

○ '19년 3월 「수소기본전략」과 「제5차 에너지기본계획」을 근간으로 필요한 요소기술의 스펙, 가격, 실행방안 등을 포함한 「수소·연료전지 전략로드맵」을 새롭게 발표⁶⁹⁾

기본전략에서의 목표		목표 설정		목표달성을 위한 정책	
이동	모빌리티	FCV 20만대@2025 80만대@2030	2025년	● FCV와 HV가격차 (300만엔→70만엔) ● FCV 주요시스템 가격 (연료전지 약 2만엔/kW→0.5만엔/kW) (수소판대 약 70만엔→30만엔)	● 철저한 규제개혁 및 기술개발
		충전소 320 곳@2025 900곳 @2030	2025년	● 정비·운영비 (정비비 3.5억엔→2억엔) (운영비 3.4천만엔→1.5천만엔) ● 충전소 구성기기 가격 (압축기 0.9억엔→0.5억엔) (충압기 0.5억엔→0.1억엔)	● 전국적 ST 네트워크, 주말 영업 확대 ● 주유소/편의점 병설ST 확대
		버스1200대 @2030	20년대초반	● FC 버스차량 가격 (1억500만엔→5250만엔) * 트럭, 선박, 철도분야에서 수소이용확대를 위해 지침 수립 및 기술개발 등 추진	● 버스 대응 충전소(ST) 확대
	발전	상용화@2030	2020년	● 수소 단일발전 발전효율 (26%→27%) ×1MW급 가스터빈	● 고효율 연소기 등 개발
에너지	FC	그리드 패리티 빠른 실현	2025년	● 업무·산업용 연료전지의 그리드 패리티 실현	● 셀 스택 기술개발
	화학+CCS	수소비용 30엔/Nm3@2030 20엔/Nm3@미래	20년대초반	● 제조: 갈탄가스화에 의한 제조비용 (수백엔/Nm3→120엔/Nm3) ● 판매·수송: 액화수소탱크 규모 (수천 m³→5만 m³) 수소액화효율 (13.6kWh/kg→6kWh/kg)	● 갈탄가스화로 대형화·고효율화 ● 액화수소탱크 단열성 향상 대형화
	수전해	물 전기분해 시스템 비용 5만엔/kW@미래	2030년	● 물 전기분해장치 가격 (20만엔/kW→5만엔/kW) ● 물 전기분해 효율 (5kWh/Nm3→4.3kWh/Nm3)	● 나미에고지역 실증 성과를 활용한 모델지역 실증사업추진 ● 물 전기분해 장치 고효율화·내구성 향상 ● 지역자원을 활용한 수소공급망 구축

※ 자료: 글로벌 과학기술정책정보 서비스(2019), "일본, 수소연료 전략 로드맵 발표". <https://now.k2base.re.kr/portal/trend/mainTrend/view.do?poliTrndId=TRND0000000000036163&menuNo=200004>

[그림 2.3] 일본 수소연료전지 전략로드맵

69) 수소연료전지 전략 협의체(2019), 「수소연료전지 전략 로드맵」, <https://www.meti.go.jp/press/2018/03/20190312001/20190312001-1.pdf>

7. 중국

- 중국은 「제13차 5개년 계획」을 발표하고, 향후 5년간 현대적 자원 시스템 건설·운영 및 자원절약형 친환경 시스템 구축을 추진⁷⁰⁾
- 「중국 국민경제 및 사회발전 제13차 5개년 계획 강요」(이하 13차 5년 계획)는 '16~'20년 간 중국의 기본경제 및 사회발전 정책의 지침서 역할을 수행
 - 중국의 중고속 성장, 혁신형 경제 도약을 위한 성장동력 육성, 중층적 지역특화 발전, 높은 수준의 국내-해외 연계형 개방경제 도입, 동반성장을 목표로 설정
- 혁신경제 추진을 위해 현대적 인프라 네트워크 구축 전략을 수립하고, 현대적 자원 시스템 건설방안을 제시
 - 에너지 생산 및 이용방식 혁명을 추진하기 위해 에너지 공급구조를 특화하여 효율성을 제고하고, 청정한 저탄소·안전 고효율 에너지 시스템 건설 및 에너지 안전성 확보가 주 목적
 - 에너지 구조 특화를 위해 9개 추진방향 제시
 - 수력발전 활성화 및 생태보호
 - 풍력발전 및 광복사 발전의 지속 추진
 - 연해지역의 핵발전벨트를 중심으로 독자적인 핵발전 시범공정 구축
 - 생명물질 에너지, 지열에너지 개발을 가속화하고 연해지역 조수를 이용한 발전 적극 추진
 - 풍력, 태양에너지, 바이오매스 이용 발전 추진
 - 국가 종합 에너지기지 건설을 특화하여 석탄의 청정 및 효율적 이용 추진
 - 동부 제한, 중부 및 동북 통제, 서부지역의 석탄자원의 특화 이용 추진
 - 육상 및 해상에너지 탐사를 강화하고 과안권을 점진적으로 개방하며, 천연가스와 석탄가스, 셰일가스의 적극적 개발
 - 현대적 에너지 저장네트워크 및 스마트 에너지원 시스템 구축을 강조
- 생태 및 환경친화적 성장전략의 일환으로 자원의 절약 및 집약적 이용을 강조

70) KOTRA 중국사업단(2016), 「중국의 '13차 5개년 계획' 경제 분야 정책 내용과 시사점」(2016.6.)

- 자원의 절약 및 집약적 순환 이용을 위해 에너지 절약 행동계획, 절수 행동계획을 수립하고, 건설용지의 절약 및 이용, 녹색광산 발전 시범지역 건설, 순환형 발전을 유도
 - 특히 국가급 단지의 75%와 성급 단지의 50%를 순환형 개조를 추진하고, 100개 이상의 도시에서 자원 순환시범 기지를 건설하여 도시 폐기물 온라인 회수단지, 자원 및 폐기물 관리의 플랫폼 역할을 수행
- 전력공급 능력 확보, 전원구성 개선, 전력망 개발, 종합적 조정 능력, 에너지 절약 및 오염물 배출 저감, 국민 전력사용 보장을 추진하기 위해 ‘전력부문 13.5 계획’을 발표⁷¹⁾
- 국가발전개혁위원회 산하 국가에너지국은 제13차 5개년 계획에 근거하여 전력 발전의 행동강령을 담은 「전력부문 13.5계획(2016~2020년)」을 수립
- '01년 이후 15년만에 발표된 문건으로 '20년까지 중국의 각 발전원별 목표를 제시
- 전력 공급능력의 확보, 발전원별 전원구성 개선, 전력망 개발, 전력수급 조절 능력 강화, 에너지 절약 및 에너지 배출 저감, 전력화율 제고를 통한 국민생활 보장을 기본 추진방향으로 설정
- (전력공급 능력 확보) '20년까지 중국 전체 전력수요에 대비하기 위해 발전설비 규모를 총 20억kW로 확대 추진하고, 1인당 설비용량 및 전력소비량을 중진국 수준에 도달하는 것을 목표
 - (발전원별 전원구성 개선) 1차 에너지 소비에서 비화석 에너지 비중을 15%까지 확대하여 전원믹스에서 비화석 에너지의 기여도를 확대

〈표 2.10〉 전력부문 13.5계획(2016~2020년) 목표

유형	지표	2015	2020	변화율(%)
전력부문	총 발전설비용량(억kW)	15.3	20	5.5
	서전동송(억kW)	1.4	2.7	14.0
	총 전력수요(억kW)	5.69	6.8~7.2	3.6~4.8
	최종에너지 소비전력 비중(%)	25.8	27.0	[1.2%p]
	1인당 설비용량(kW)	1.11	1.4	4.8
	1인당 전력소비량(kWh)	4,142	4,860~5,140	3.2~4.4
전원구조	비화석에너지 소비비중(%)	12	15	[3%p]
	비화석에너지 발전설비용량 비중(%)	35.0	39.0	[4%p]
	- 전통 수력발전(억kW)	2.97	3.4	2.8
	- 양수발전(만kW)	2,303	4,000	11.7
	- 원자력발전(억kW)	0.27	0.58	16.5
	- 풍력발전(억kW)	1.31	2.1	9.9
	- 태양에너지발전(억kW)	0.42	1.1	21.2

71) 에너지경제연구원(2017), “중국의 전력부문 13.5계획(2016~2020년)”, 세계 에너지시장 인사이트 제17-1호, 2017.01.16.

유형	지표	2015	2020	변화율(%)
	화석에너지 발전설비용량 비중(%)	65.0	61.0	[-4%p]
	화력발전 설비용량 비중	59.0	55.0	[-4%p]
	- 석탄발전(억kW)	9	<11	4.1%
	- 가스발전(억kW)	0.66	1.1	10.8%
배출감축 및 송배전 손실	신규 석탄발전소의 평균 석탄 소모량(gce/kWh)	-	300	-
	기존 석탄발전소의 평균 석탄 소모량(gce/kWh)	318	<310	[-8]
	송전손실률(%)	6.64	<6.50	-
공급기반 및 대체	충전 인프라 건설	전기차 500만대 분량 충전시설		
	대체 전기에너지 사용량(억kWh)	-	4,500	-

※자료: 에너지경제연구원(2017), “중국의 전력부문 13.5계획(2016~2020년)”, 세계 에너지시장 인사이트 제17-1호, 2017.01.16.

- (전력망 개발) 서전동송(西電東送) 송전망을 구축하여 송전능력을 2억 7,000만 kW로 확대하고, 주 전력망의 운영구조를 최적화

- (전력수급 조절능력 강화) '20년까지 전력공급 안정성 제고를 위해 양수발전 및 가스발전설비를 확충하고, 기풍률과 기광률*을 합리적인 수준으로 제어

* 기풍 및 기광현상은 송전망의 접속능력 부족, 전력공급의 불안정성 등으로 생산된 전력의 일부가 전력망으로 연계되지 못해 풍력 및 태양에너지가 낭비되는 현상을 지칭

- (에너지 절약 및 오염물질 저감) 석탄발전소의 kWh 당 석탄소모량을 310gce 이하로 줄이고, 화력발전소의 이산화탄소 및 질산화합물 배출량을 50% 이상 감축 및 폐수배출 기준을 100% 달성하는 등 발전에 의한 온실가스 배출 저감

○ 중국은 「전력부문 13.5계획 중기평가 및 조정 추진에 대한 통지」를 발표하고, 전력 부문 계획의 중간평가 후 이를 수정할 계획⁷²⁾

- 에너지국은 에너지관리감독기관의 '18년 상반기 13.5계획 이행 현황 평가서를 바탕으로 전력부문의 계획을 수정할 예정

※ 제13차 5개년계획에서는 풍력·태양광 발전의 신규 설비용량을 79GW, 68GW 이상 확대해 누적 설비용량을 해상풍력 5GW, 풍력 210GW, 분산형 60GW, 태양열 5GW를 포함해 태양광을 110GW 확대를 목표로 하고 있으나, '18년 6월 기준 목표치를 달성⁷³⁾

- 화동, 화북, 화중, 동북, 서북, 남부로 진행된 지역별 평가결과는 각 성·시의 에너지 주관부서, 관련기업의 의견을 종합적으로 반영하여 에너지국에 보고 완료

□ 국가발전개혁위원회(NDRC)와 국가에너지국은 청정에너지원 발전 전력의 소비 증대를 위해 「청정에너지 소비 행동계획(2018~2020년)」을 발표⁷⁴⁾

72) 에너지경제연구원(2019), “2019년 세계 주요 국가의 에너지·기후변화 정책 현안”, 세계 에너지시장 인사이트 제19-01호, 2019.01.07.

73) 인터스트리뉴스(2019), “2019년 중국 에너지 정책, 태양광·풍력 등 청정에너지 비중 확대 지속”(2019.01.07.)

- '18년 12월, 국가발전개혁위원회와 국가에너지국은 청정에너지 소비문제를 효과적으로 해결하고 청정에너지 소비의 장기효과 메커니즘 구축을 목표로 「청정에너지 소비 행동계획」을 발표
 - '18부터 청정에너지 소비와 관련해 가시적 성과를 창출하고, '20년에는 청정에너지 소비문제를 기본적으로 해결하기 위해 청정에너지 관련 구체적인 소비 지표를 확정
- '20년까지 전국의 평균 기풍률, 기광률, 기수율을 선진구구 수준인 5% 이내로 낮추어 신재생에너지 발전 전력의 이용률을 제고하여, 원전에 의한 전력공급을 안정적으로 유지

〈표 2.11〉 중국 주요지역의 기풍률·기광률·기수율 목표치

(단위: %)

구분	기풍률						기광률		기수율		
	신장	간쑤	헤이룽장	네이멍구	지린	허베이	신장	간쑤	쓰촨	위난	광시
2018	25	23	10	12	15	6	15	10	10	10	5
2019	20	20	8	10	12	5	10	10	8	8	5
2020	15	15	6	8	10	5	10	10	5	5	5

※ 자료: 에너지경제연구원, “2019년 세계 주요 국가의 에너지기후변화 정책 현안”, 세계 에너지시장 인사이트 제19-01호, 2019.01.07.

- 청정에너지원으로 생산된 전력 소비 촉진을 위해 전력 소비시장 확보, 석탄화력의 청정화, 청정에너지 전력의 역외 거래 확대 등을 추진
 - **(전력 소비시장 확보)** 각 지방정부는 신규 청정에너지 프로젝트 규모를 확정하고, 풍력·태양광 발전 투자 규정 위반 프로젝트에 대한 건설 제한 등의 조치
 - **(석탄화력 청정화)** 석탄화력 리스크 예비경보 시스템을 통해 석탄화력 플랜트의 신설을 억제하고, 낙후 석탄화력 발전설비의 폐지 및 오염물질 초배출형/에너지 절감형 발전설비로의 개전을 통해 석탄화력의 고효율화 적극 추진
 - **(역외거래 확대)** 청정에너지 전력 송전협약 체결로, 청정에너지 역외 거래를 적극 추진하고, 원자력 발전 소비범위를 확대해 역외 송전 거래를 독려
 - **(청정에너지 우선매입제도)** 각 지방정부는 시장 거래 전력량 규모 및 화력발전 설비 발전계획 수립시 청정에너지 전력이 우선적으로 공급될 수 있도록 하며, 석탄화력 발전량을 점진적으로 축소

74) 에너지경제연구원, “2019년 세계 주요 국가의 에너지기후변화 정책 현안”, 세계 에너지시장 인사이트 제19-01호, 2019.01.07.; 글로벌 과학기술정책정보 서비스(2018), “〈청정에너지 소비 행동계획(2018-2020년)〉 발표”(2018.12.04.)

- '18년 1월 기후변화 대응에 따른 생태환경 변화와 항로의 상업적 이용 및 북극 자원 개발 기회 확보를 위해 극지 실크로드의 일환으로서 「중국 북극정책 백서」를 발표⁷⁵⁾
- 중국은 북극의 자연환경 및 기후변화의 영향을 크게 받는 '近북극국'으로 규정하고, 북극의 지속가능한 발전 촉진을 위한 북극의 지배, 이해, 보호, 개발 및 참여 원칙을 천명한 「중국 북극정책 백서」를 발간
- 북극탐사 이해의 심화, 생태환경 보호 및 기후변화 대응, 적법한 방식의 자원개발, 북극 관리체계 및 국제협력에 적극적 참여, 북극의 평화 및 안정증진에 대한 중국 정부의 정책적 입장을 제시
 - (북극탐사 이해의 심화) 북극 관할구역 내 합법적 과학연구 수행 및 북극해 공해 내 과학연구의 권리와 자유를 강조
 - (생태환경 보호 및 기후변화 대응) 환경보호 및 생물자원보존 관련 국제법을 준수하고 북극의 환경 및 기후변화 대응 문제에 적극 동참
 - (적법한 방식의 자원개발) 북극항로 개발을 통한 극지 실크로드(polar silkroad)를 건설하고, 석유, 가스, 광물, 무생물 및 수산자원 등의 보존 및 활용
 - 극지 실크로드 건설을 위해 신규 항로 개발 및 인프라 구축
 - 관할권 내 석유, 가스 및 광물자원에 대한 주권을 존중하고, 석유, 가스 및 광물자원과 지열, 바람 등 청정에너지 자원개발을 위한 기술인적 교류를 확대하여 청정에너지 및 저탄소 개발을 추구
 - 풍부한 수산자원을 활용하는 한편 북극 생물 다양성을 보존하기 위한 적법한 조치를 수행하고, 투명하고 합리적인 북극 유전 자원탐사 및 활용을 도모
 - (북극관리체계 및 국제협력에 적극적 참여) 유엔헌장과 UNCLS 중심의 현행 북극 거버넌스 체제 하에서 일대일로를 통한 국제협력 강화
 - 기후변화 대응, 북극 탐사, 환경보호, 자원발굴 및 운송경로 개발, 해저 광섬유 케이블 구축 등과 관련하여 국가 간 실질적인 협력을 장려
 - (북극의 평화 및 안정 증진) 북극 내 자산 및 생명보호와 북극 해양 무역·운영·운송의 안전 보장을 강조

75) Artic Portal(2018), China's Artic Policy, China Daily(2018.01.26.)

8. 한국

□ 에너지 관련 최상위 정책인 『제3차 에너지기본계획』을 통해 에너지 자원의 효율적 배분과 수요중심의 에너지 정책 추진⁷⁶⁾

○ 제3차 에너지기본계획은 에너지원별, 부문별 에너지 관련 계획에 대해 원칙과 방향을 제시하는 성격의 최상위 계획으로 5대 중점 추진과제를 제시

- 주요 과제로 에너지정책 패러다임을 소비구조 혁신 중심으로 전환, 깨끗하고 안전한 에너지믹스로 전환, 분산형·참여형 에너지 시스템 확대, 에너지산업의 글로벌 경쟁력 강화, 에너지전환을 위한 기반확충 추진

〈표 2.12〉 5대 중점과제 및 주요 목표와 과제

중점과제	주요목표	주요과제
에너지정책 패러다임을 소비구조 혁신 중심으로 전환	소비효율 38% 개선('17년 대비) 수요 18.6% 감축('40, BAU 대비)	부문별 수요관리 강화, 수요관리 시장 활성화
깨끗하고 안전한 에너지믹스로 전환	재생에너지 발전비중 30~35%('40)로 확대	미세먼지를 저감하고 2030 온실가스 감축로드맵 이행
분산형·참여형 에너지 시스템 확대	분산형 전원 확대, 계통체계 정비	전력 프로슈머 확대, 지자체 역할·책임 강화
에너지산업의 글로벌 경쟁력 강화	재생에너지, 수소, 효율연계 산업 등 미래 에너지산업 육성	전통에너지산업 고부가가치화, 원전산업 핵심생태계 유지
에너지전환을 위한 기반확충	전력·가스·열 시장제도 개선, 에너지 빅데이터 플랫폼 구축	에너지 시장제도 개선, 에너지 기술개발 및 인력양성, 에너지 데이터 플랫폼 구축

□ '16년 신기후체제에 대비하기 위해 국무회의에서 『제1차 기후변화대응 기본계획』 확정

※ '신기후체제'란 '20년 만료되는 교토체제를 대체하여 '16년 11월부터 발효된 새로운 국제 체제

○ 『제1차 기후변화대응 기본계획』은 신기후체제에 대응하기 위한 우리나라의 중장기 기후변화전략과 구체적인 액션플랜을 담은 첫 번째 종합대책으로, '온실가스 감축', '기후변화 적응', '국제협력'이라는 3가지 핵심내용을 제시

- 이 중 '온실가스 감축'을 위한 로드맵으로서 『제1차 기후변화 대응 기본계획』과 함께 『2030 국가온실가스감축 기본로드맵('16.12.06.)』 발표

76) 제3차 에너지기본계획, 산업통상자원부, 2019.6

- 『2030 온실가스감축 기본로드맵』은 '30년 국가온실가스 감축목표(배출전망치 대비 37% 감축)를 효율적으로 달성하기 위한 체계적인 이행 방안
- 『제1차 기후변화대응 기본계획』은 기후 변화에 대응하기 위한 국가전략으로 '온실가스 감축', '기후변화 적응', '국제협력'이라는 측면으로 세분화하여 각각의 방향 제시
- 이 일부로서 『2030 국가온실가스감축 기본로드맵』은 산업, 건물, 수송 등 각 배출원에서 목표, 온실가스 감축목표 이행을 위한 구체적 정책 방향 제시
 - 에너지 수요관리 강화, 저탄소 사업 육성 등을 통해 '30년까지 배출전망치 대비 37%(315백만 톤)의 온실가스를 감축할 예정이며, 그 중 32.5%는 국내에서, 4.5%는 국외에서 시행될 예정

□ 산업통상자원부는 '17년 『재생에너지 3020 이행계획(안)』 수립 및 시행

- 『재생에너지 3020 이행계획(안)』은 전력계통 안정성, 국내기업의 보급여건, 잠재량 등을 고려하여 '30년까지 재생에너지 발전량 비중 20%를 목표로 설정(8차 수급 계획 기준)
 - 목표이행 방안으로 국민 참여 확대, 지자체 주도의 계획입지 도입, 대규모 프로젝트 추진, 재생에너지 확대를 위한 보급여건 개선 등 크게 9가지의 세부 전략 수립
 - 자가용 설비(2.4GW), 협동조합 등 소규모 사업(7.5GW), 농가 태양광(10GW) 등 국민 참여형 발전사업 및 대규모 프로젝트(28.8GW) 수행
 - ※ '30년 재생에너지 누적 설비용량 목표는 63.8GW이며, 그 중 태양광은 57%인 36.5GW를 차지

□ '17년부터 '31년까지 향후 15년간의 전력수급전망 및 전력설비 계획 등을 담은『제8차 전력수급기본계획』 확정

- 안전(원전, 지진), 환경(미세먼지, 온실가스, 석탄화력 발전소)를 중심으로 원별 발전 비중 목표를 『제8차 전력수급기본계획』을 통해 구체화
 - 신재생과 LNG의 설비용량과 발전량을 점진적으로 확대하면서, 안정적인 전력 수급과 환경개선 효과 달성
 - 미세먼지는 '22년 44%, '30년 62%씩 대폭 감축하고, '30년 온실가스 배출량은 BAU 대비 26.4%를 감축한 2억 3,700만 톤 수준으로 전망

□ 에너지 소비구조 혁신을 위한 '30년까지의 중장기 전략을 담은 『에너지효율 혁신전략』 발표⁷⁷⁾

- 경제성장과 에너지 소비의 탈동조화에 성공한 선진국형 에너지 소비구조로의 전환을 목표로, 산업, 건물, 수송 전 부문의 효율 혁신을 바탕으로 시스템 공동체 단위까지 에너지 소비를 최적화
 - 적극적 수요관리와 함께 연관산업 육성을 통한 양질의 일자리 창출을 도모하는 효율 정책의 새로운 패러다임을 제시
 - 규제 인센티브 조화를 통해 산업 건물 수송 부문별 효율혁신
 - 개별 기기를 넘어 시스템/공동체 단위 에너지소비 최적화
 - 에너지효율 혁신을 뒷받침하는 인프라 확충
 - 수요관리에서 연관산업 육성병행으로 정책 패러다임 전환
- 원전 건설·운영에 한정된 국내 원전산업 경쟁력을 후행(노후 원전해체, 폐기물 관리 등) 산업으로 확장하기 위해 『원전 해체산업 육성전략』 발표⁷⁸⁾
- 국내외 노후 원전 확대로 원전해체 시장 확대 전망, 원전해체연구소 설립 등 선제적 육성을 통해 원전해체 산업 선진국으로 도약이 목표
 - 산업부는 아직 원전해체가 본격화되지 않은 상태에서 국내외 해체시장 확대에 대비하여 생태계 창출 및 산업역량 확충이 필요하다고 보고 초기시장 창출 및 인프라 구축, 원전해체 전문 강소기업 육성, 단계적 글로벌 시장진출 지원, 제도 기반 구축 등 4대 중점전략을 추진

77) 경제활력대책회의, 2019.08.21.

78) '19년 제13차 경제활력대책회의

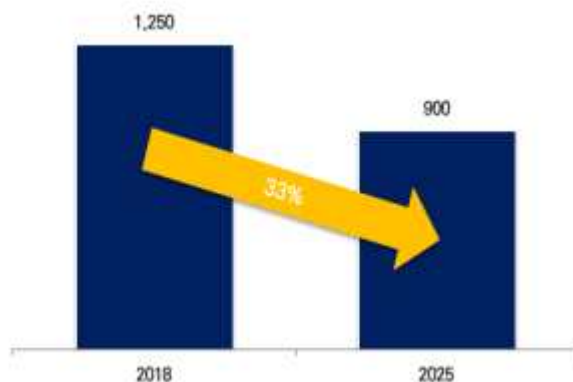
제3장 시장 동향

1. 발전 플랜트

1-1. 세계 시장 동향

- 국제에너지기구(International Energy Agency, IEA)는 '25~'30년에 전 세계의 화력 발전 분야 투자액이 33% 감소할 것으로 전망
- 신재생에너지 발전이 확대됨에 따라 화력발전 분야 투자액은 '18년 기준 1,250억 달러에서 '25년 900억 달러로 감소할 것으로 전망
 - 세계 석탄 생산·공급 능력 확충을 위한 투자는 '12년 최고조에 달한 이후 크게 줄어 '17년 투자규모는 50% 수준으로 위축

(단위: USD billion)

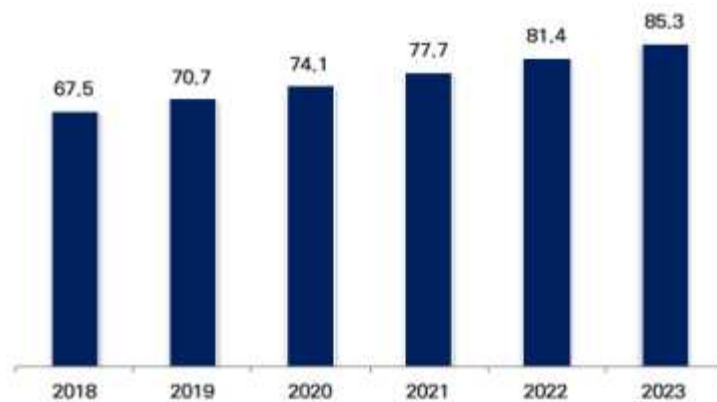


출처: IEA, Energy investment by scenario, 2025-2030, 2019

[그림 3.1] 석탄화력 발전 투자 전망('20~'25)

- 수력발전 시장은 향후 5년간('19~'24) 연평균 4.8% 성장이 예측되며, 관련 설비 시장 규모도 증가할 것으로 전망
- '18년 기준 전 세계 수력 발전 시장은 67.5억 달러 규모이며, '23년 85.3억 달러에 이를 것으로 전망
 - 수력 발전은 '23년까지 전 세계 전력수요의 16%를 충족할 것으로 예상

(단위: USD billion)

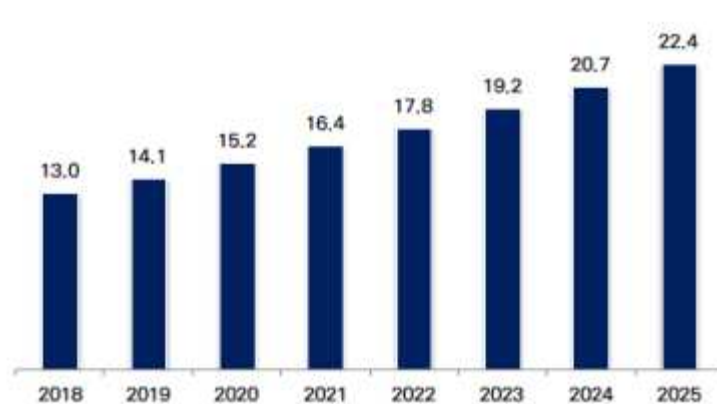


출처: MarketWatch, Hydropower Market 2019 Global Analysis, Opportunities and Forecast To 2026, 2019

[그림 3.2] 수력 발전 시장 전망

- 전 세계 수력터빈 시장은 '18년 기준 130억 달러 규모이며, 연평균 8.1% 성장하여 '25년에는 200억 달러에 달할 것으로 전망

(단위: USD billion)

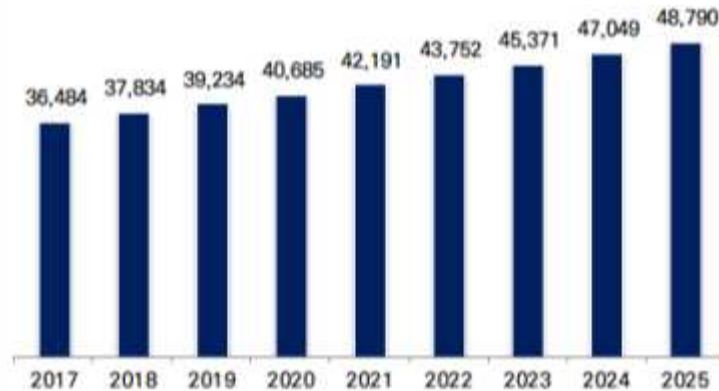


출처: Global Market Insights, 2018

[그림 3.3] 수력 터빈 시장 전망

- 전 세계 원자력 발전 및 장비 시장은 '18~'25년간 연평균 3.7% 성장하고 원전해체 시장은 '51년 이후 222조 원의 시장을 형성할 것으로 예측
- 원자력 발전 및 장비 시장은 '17년 기준 364억 달러의 매출을 기록했으며 '25년까지 487억 달러의 매출을 올릴 것으로 예상

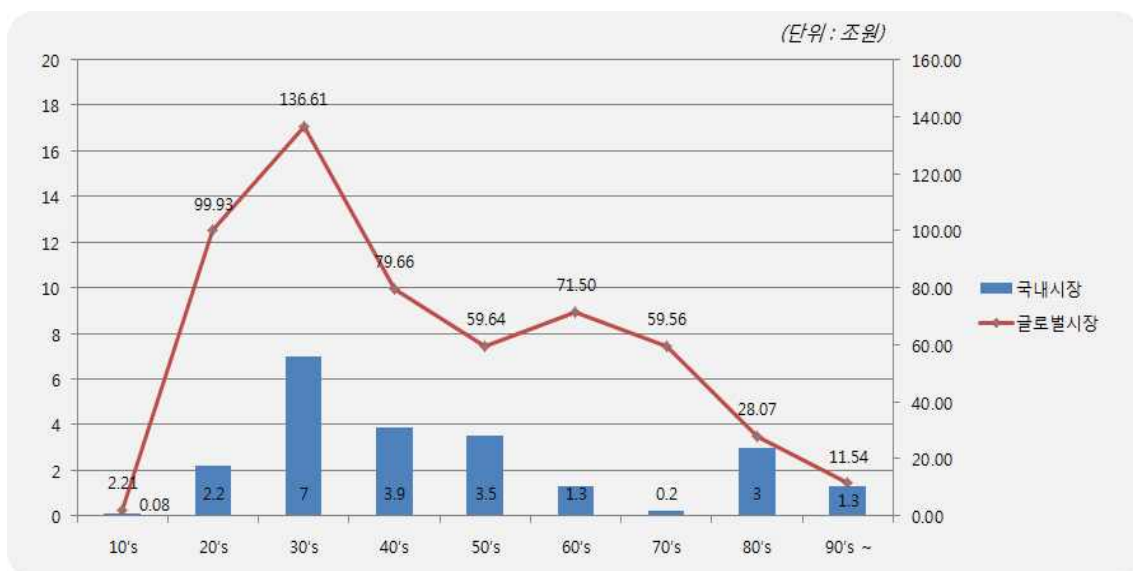
(단위: USD million)



출처: Allied Market Research, Nuclear Power Plant and Equipment Market, 2018

[그림 3.4] 원자력 발전 및 장비 시장 전망('20~'25)

- 베이즈화이트컨설팅은 세계 원전해체 시장 규모를 2116년까지 누적 규모 546조 원으로 예측하고 '20년대 중반부터 본격적으로 시장이 확대될 것으로 전망
- 설계수명 만료원전의 증가로 해체시장은 '20년대 중반부터 확대 전망되며 '30년대에 시장이 극대화 될 전망
- 미국이 83조 원으로 가장 큰 시장을 형성할 것으로 예상되며 '30년경부터는 체코, 대만 등 원전 도입 후발국의 원전이 만료되면서 시장이 확대될 전망



출처: 원전해체 산업 육성전략(2019, 관계부처합동)

[그림 3.5] 원전해체 시장규모 전망

1-2. 국내 시장 동향

□ '19년 현재 우리나라 건설 중 또는 건설예정 화력발전소는 총 12기이며 LNG를 활용한 집단에너지발전소는 총 7기로 총 19기의 화력발전소 건설 예정⁷⁹⁾

○ 화력발전소의 경우, 석탄 7기, 유연탄 및 바이오매스 1기, LNG를 활용하는 복합발전소는 3기가 건설 중이며 총 건설비는 19조 5천억 원 투입 예정

〈표 3.1〉 국내 화력발전소 건설 현황

(단위: MW, 억원)

발전소명	용량	공사비	연료	완공시기
신서천화력	1,000	16,138	석탄	21.03
고성하이화력 1,2호기	1,040× 2기	51,960	석탄	21.10
강릉안인화력 1,2호기	1,040×2기	56,000	석탄	'23.03
삼척화력 1,2호기	1,050×2기	49,124	유연탄 및 바이오매스	'24.04
남제주복합	173, 150	3,821	LNG	'20.06
여주천연가스발전소	1,004(각15℃, 35℃)	9,710	LNG	'22.07
안양 열병합	481×2기	8,782	LNG	'21.12

자료: 발전소 건설사업 추진 현황 (2019년도 4분기, 전력거래소)

○ 향후 국내 건설예정인 화력발전소는 심각해지는 미세먼지 등의 영향으로 LNG 중심의 화력플랜트로 계획하여 추진 중

- '24년까지 총 9개의 복합발전플랜트가 추진 예정이며 공사비가 미정인 2개를 제외하고 약 3조 1천억 원의 공사비가 투입될 예정

〈표 3.2〉 국내 건설 예정 화력발전소 현황

(단위: MW, 억원)

발전소명	용량	공사비	연료	완공시기
통영복합	920	14,000	LNG	24. 12
울산지피에스복합	1,122×1기	10,522	LNG·LPG	'24. 12
음성그린에너지	1,122×1기	12,000	LNG	'24. 12
신세종복합	585+320Gcal/h	5,599	LNG	'23. 11
내포그린에너지	495×1기	미정	LNG	'22. 12
여수그린에너지	125×2기	6,000	유연탄 및 바이오매스	'24. 02
양산 집단에너지시설	118.9	1,558	LNG	'23. 04
마곡열병합	285	미정	LNG	23. 06
김포열병합	510+281Gcal/h	6,032	LNG	'22. 12

자료: 발전소 건설사업 추진 현황 (2019년도 4분기, 전력거래소)

79) 발전소 건설사업 추진 현황 (2019년도 4분기, 전력거래소)

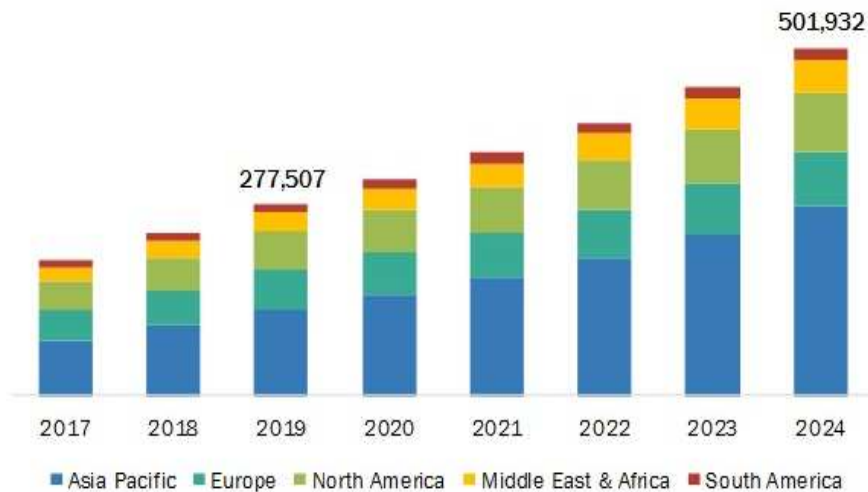
- '18년 기준 양수 포함 국내 수력 발전설비용량은 6,490MW으로 국내 발전용량의 5.4% 수준이며, 향후 10년간 7조원의 국내외 설비투자가 이루어질 예정
- 한국수력원자력(주)는 설비현대화 1조 원, 신규 양수건설 3조 원 등 약 4조 원 규모의 국내 설비에 투자할 예정이며 해외수력사업도 3조원 투자 예정⁸⁰⁾
 - 신규 양수발전소 3곳의 건설계획을 발표하고 해당 부지로 포천, 영동, 홍천을 선정하여 각각 '29년부터 '30년까지 순차적으로 준공할 예정
 - 30년 이상된 수력설비 교체시기가 도래함에 따라 화천, 청평 등을 시설현대화를 추진하였으며 향후 확대될 전망
- 국내 신규 원자력발전소 6기 건설계획이 취소되고 노후 원전 10기의 수명연장이 중단됨에 따라 향후 노후 원전 증가에 따른 원전 해체 산업이 형성될 것으로 전망
- 8차 전력수급 기본계획에 따라 신한울 3,4호기와 천지1,2호기 등 총 6기의 신규건설 계획이 취소되고 현재 신한울 1,2호기와 신고리 5,6호기 건설 중
 - 신한울 1, 2호기는 7조 9,823억 원을 투입하여 '21년 완공예정이며 신고리 5, 6호기는 8조 6,254억 원이 투입되어 '24년 완공예정
- 국내 원전해체 시장은 고리 1호기 영구정지('17년) 이후 해체 준비 과정에서 본격 확대될 것으로 전망
 - 22.5조 원+ α (30기 기준)로 추산되며 '20년대 후반부터 본격 확대될 정망

80) 한국수력원자력(주) 홈페이지

2. 자원개발 플랜트

2-1. 세계 시장 동향

- '19년 합성가스 관련 시장은 277,507MWth로 예측되며 '24년까지 연평균 12.6% 증가하여 501,932MWth로 성장이 전망
- 아시아 지역의 성장세가 가장 높으며 중국, 일본, 인도 등에서 합성가스 및 관련 시장에 대한 수요가 증가할 전망



출처: Market and Markets, Syngas & Derivatives Market, 2019

[그림 3.6] 글로벌 합성가스 관련 시장 전망

- 세계 오일샌드 시장규모는 '18년 기준 260억 5천만 달러로 연평균 3.14% 성장률로 성장하여 '24년에 310억 7천4백만 달러의 시장 형성 전망
- '18년 기준 세부내역별로는 Mining 비중이 가장 크며(52.3%), In Situ(36.2%), Upgraders(11.5%) 순으로 시장 비중이 형성
 - 연평균 성장률에서는 In Situ분야의 성장률이 연평균 4.0%로 가장 빠르게 시장이 성장하고 있으며 Mining 분야 3.5% 순
 - Upgraders 분야는 최근 기술개발로 인해 유전 현장에 업그레이드 설비가 불필요하게 됨에 따라 시장 증가세는 둔화되어 '23년에는 마이너스 성장이 전망

〈표 3.3〉 오일샌드 시장 전망

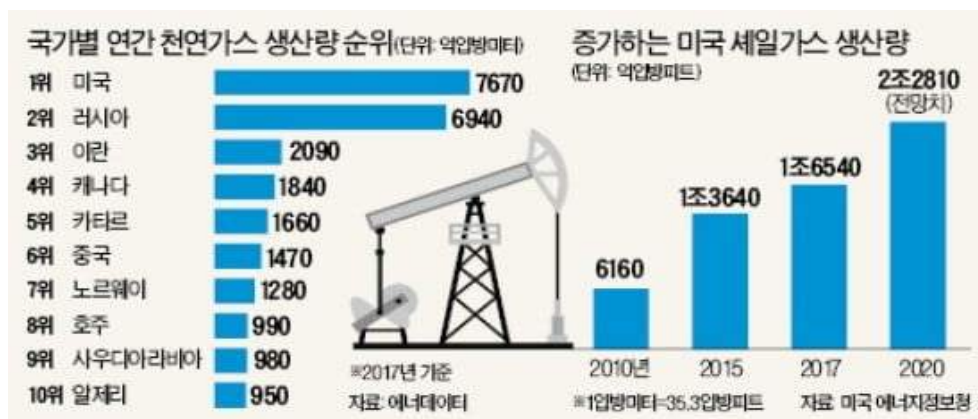
(단위: US\$bn, AGR %, CAGR %, Cumulative)

Sales	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
In Situ	9.43	9.90	10.35	10.79	11.21	11.57	11.91
AGR(%)	-	4.97	4.54	4.24	3.86	3.24	2.92
Mining	13.62	14.24	41.82	15.38	15.91	16.35	16.75
AGR(%)	-	4.51	4.08	3.78	3.41	2.79	2.47
Upgraders	2.99	3.04	3.08	3.10	3.11	3.10	3.08
AGR(%)	-	1.66	1.15	0.77	0.32	-0.38	-0.80
Total Row	26.05	27.18	28.25	29.27	30.22	31.02	31.74
AGR(%)	-	4.35	3.92	3.62	3.25	2.63	2.31
CAGR '19~'24(%)	3.14						

자료: Oil Sands Market Report 2019-2029, 2019

○ 셰일가스 시장은 지속 성장하여 '22년까지 2,210억 달러에 이를 것으로 예상되며 '15년과 '22년 사이 연평균 14.4%의 성장률을 보일 것으로 예상⁸¹⁾

- 일부 지역에 집중되어 있는 전통가스와 달리 셰일가스는 전 세계에 고르게 분포돼 있어 '30년부터 세계 에너지원에서 석유 다음으로 2위를 차지할 것으로 전망
- 셰일가스는 미국의 천연가스 생산량 중 셰일가스 비중이 '10년 23%에서 '35년 49%까지 확대될 것으로 예상
- 셰일가스 확인 매장량은 31개국 대상 187조4,000억㎥이며 세계 잠재 매장량은 635조㎥로 추정되어 약 200년간 사용가능할 것으로 예측⁸²⁾



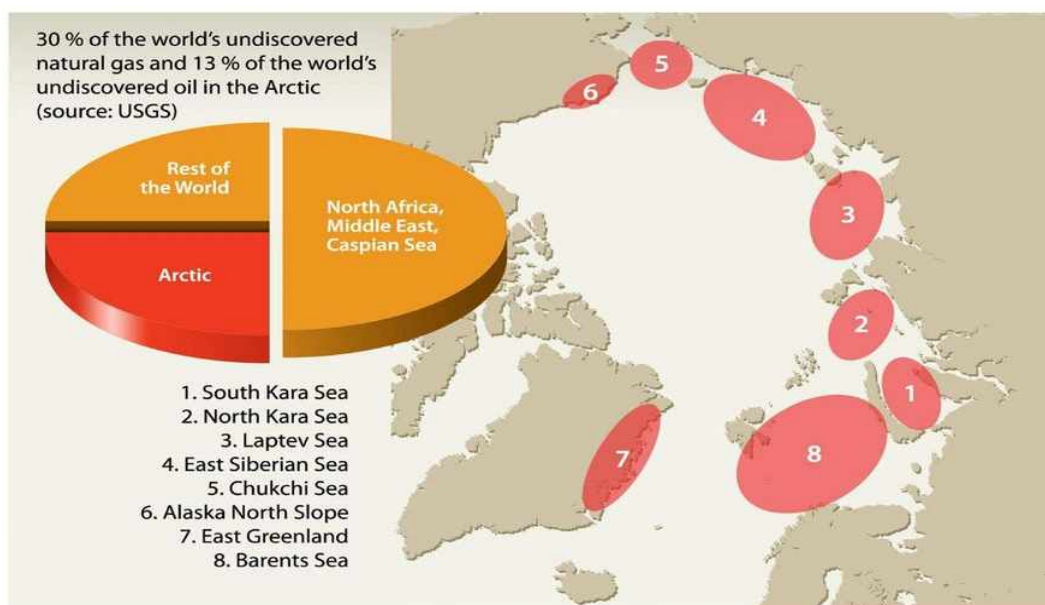
출처: 미국 셰일가스가 세계 에너지 시장 판도 바꾼다(한국경제, 2019.60)

[그림 3.7] 셰일가스 생산 현황

81)Alliedmarketresearch, Global Shale gas Market

82)셰일가스와 LPG산업의 현재와 미래(투데이에너지, 2019.09)

- 북극권은 지구 표면적의 6%에 불과하나 가채량 기준 약 22%의 미발견 전통 석유, 가스자원이 존재하는 것으로 추정⁸³⁾
- 북극해는 약 900억 배럴의 석유, 1,670Tcf의 천연가스 및 인회석, 니켈, 구리, 인산염, 티타늄 등 다양한 광물자원이 대량 부존되어 있는 것으로 추정
 - 총 61개 발견 유전 중 15개는 미생산 중으로 11개가 캐나다 북서영토, 2개가 러시아에, 2개가 알래스카 북극에 존재



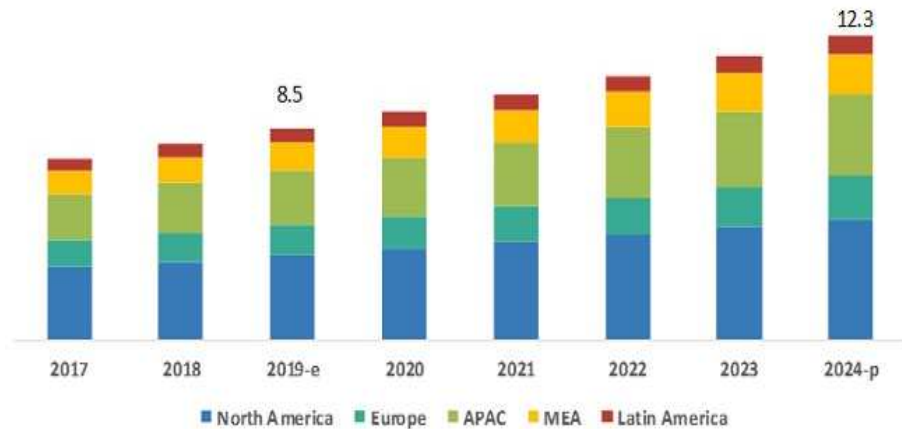
출처: Unis, Longyearbyen, "Arctic Oil & Gas-Challenges and Opportunities", 2016

[그림 3.8] 극한지 에너지 부존지역 현황

- 글로벌 파이프라인 네트워크 시장규모는 '19년 85억 달러에서 연평균 7.6% 성장률 (CAGR)로 성장하여 '24년까지 123억 달러로 성장 전망⁸⁴⁾
- 미국과 캐나다에서 파이프라인 수가 증가함에 따라 북미지역의 시장이 지속될 것으로 예측되며 아시아-태평양지역의 성장세도 확대될 전망
 - 셰일가스 및 극한지 자원개발로 인한 북미지역의 자원이송 수요가 증가할 것으로 전망되며 빅데이터를 활용한 네트워크 솔루션에 대한 수요도 증가할 전망

83) 2018년도 예비타당성조사 보고서 극한지 오일생산 플랜트건설 핵심기술 개발사업(KISTEP, 2018.08)

84) Market sand Markets, Pipeline Network Market by Offering (Solution and Services), Application (Pipeline Monitoring and Pipeline Operation Optimization), Content, End-User Industry (Crude & Refined Petroleum, Water & Wastewater), and Region - Global Forecast to 2024, 2019

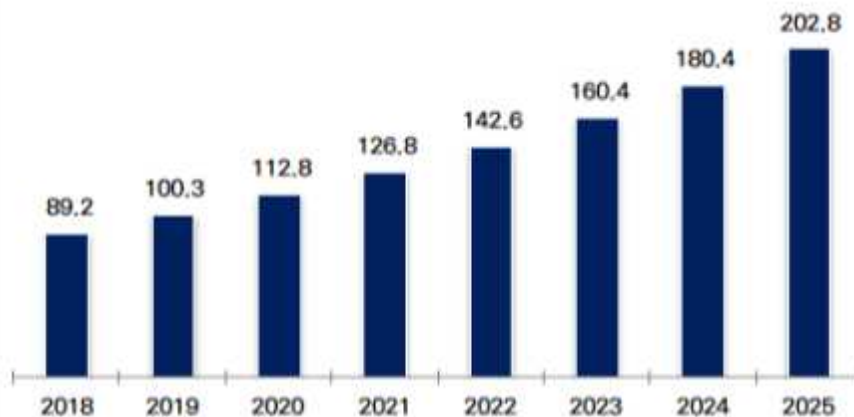


자료: Markets and Markets, Pipeline Network Market by Offering (Solution and Services), Application (Pipeline Monitoring and Pipeline Operation Optimization), Content, End-User Industry (Crude & Refined Petroleum, Water & Wastewater), and Region - Global Forecast to 2024, 2019

[그림 3.9] 권역별 파이프라인 네트워크 시장 전망

- 세계 액화 천연가스(LNG) 시장규모는 '18년 기준 89억 2천만 달러이며, 연평균 12.45% 성장하여 '25년에 202억 8천만 달러 규모 시장을 형성할 것으로 예측
- 천연가스 시장은 LNG 공급능력 확대로 구매자 우위시장으로 변화함에 따라 가격은 현재 수준에서 소폭 상승하는 수준에서 유지될 전망

(단위: 억 달러)



자료: 세계에너지시장인사이트, 제19-28호, 2019

[그림 3.10] 전 세계 액화 천연가스(LNG) 시장 현황 및 전망

2-2. 국내 시장 동향

□ Oil & Gas 및 석유화학 분야 프로젝트 중 '19년 내 수주 예상 프로젝트 계약의 지연으로 우리나라 플랜트 수주액은 '18년 대비 큰 폭 감소⁸⁵⁾

○ '19년 전체 플랜트 수주 실적은 17,208 백만 달러로 전년 대비 20.7% 감소하여 '10년 이후 최저 수준의 수주 실적 기록

〈표 3.4〉 분야별 해외플랜트 수주 실적

(단위: 백만 달러, %)

구분	2018		2019		증감율(%)
	실적(백만불)	점유율(%)	실적(백만불)	점유율(%)	
소계	21,689	100.0	17,208	100.0	△ 20.7
Oil & Gas(육상)	7,505	34.6	5,712	33.3	△ 23.9
산업시설	4,086	18.8	3,592	20.9	△ 12.1
발전&담수	1,794	8.3	3,477	20.2	93.8
석유화학	7,612	35.1	1,976	11.5	△ 74.0
해양	506	2.3	1,277	7.4	152.4
기타재	203	0.9	174	6.8	531.2

자료: 산업통산자원부, e-나라지표, 2019

□ 전 세계적으로 합성가스의 소비가 증가하고 오일가스 공급투자액이 커짐에 따라 국내 합성가스 시장규모는 '25년까지 14조 500억 원으로 추산⁸⁶⁾

○ 국내 폐기물·바이오매스 활용 합성가스 플랜트 환산(잠재) 시장은 '25년까지 연간 2조 8,000억 원으로 추산

〈표 3.5〉 국내 폐기물/바이오매스 합성가스의 분산전원 활용 잠재시장 추정

구분	단위	2017년	2020년	2025년	2030년
가연성폐기물 전체량	TOE/년	11,866,09	12,632,963	13,670,868	14,708,773
	톤/년	36,953,647	39,341,837	42,574,102	45,806,368
폐기물 가스화 보급량	TOE/년	206,244	238,632	315,619	392,605
	톤/년	642,291	743,153	982,906	1,222,659
	톤일	2,141	2,477	3,276	4,076

자료: 저급자원 변환 합성가스 상용화 플랜트 건설기술 개발 기획 최종보고서(고등기술연구원, 2016)

85) 산업통산자원부, e-나라지표, 2019

86) 저급자원 변환 합성가스 상용화 플랜트 건설기술 개발 기획 최종보고서(고등기술연구원, 2016)

- 국내 청정연료가스의 합성가스 플랜트 환산(잠재) 시장은 '25년까지 11조 2,500억 원으로 추산
 - 소성로, 유리용해로 등에서 연료로 사용하고 있는 LNG와 중유를 저가의 청정 합성연료가스로 대체시장이 형성되기 시작
 - 도시가스용 및 발전용 LNG의 경우, 가격변동성으로 인해 합성가스 대체가 대안으로 부각 중으로 LNG를 대체시 관련시장이 11조 2,500억원으로 확대
- 국내의 경우, 에너지 자원 확보를 위해 한국석유공사가 2006년 국내에서 최초로 캐나다 오일샌드 사업에 참여한 후 국내 기업들의 진출이 활발히 모색 중⁸⁷⁾
 - ※ 국내에는 오일샌드 관련 현장이 없어 해외 수주금액으로 대체
- 한국석유공사는 미국 Newmont사가 보유한 캐나다 앨버타주 소재 2.5억 배럴 규모의 블랙골드(Blackgold) 오일샌드 광구지분 100%를 2.7억 달러에 매입
- GS건설은 캐나다 캘거리 소재의 하베스트(Harvest, 한국석유공사 자회사)와의 3억 1,000만 캐나다 달러 규모의 오일샌드 프로젝트 계약을 수행
- SK건설은 '14년에 캐나다의 25억 5000만 달러(약 2조6000억 원) 규모의 포트힐스(Fort Hills) 오일샌드 프로젝트를 단독 수주
- 극한지역자원개발 및 자원이송의 경우, 국내 관련 현장 부재 및 해당 플랜트 수주 현황은 없으나 핵심기술개발을 위한 투자가 지속적으로 수행
- 극한지역자원개발 및 자원이송 관련 핵심기술을 지속적으로 투자하고 있으며 북극권 관련 선행기술개발 연구도 추진 중

〈표 3.6〉 국토교통부 플랜트R&D 투자 동향(2013~2018년)

(단위: 백만원)

분야	'13년	'14년	'15년	'16년	'17년	'18년	'19년	'20년	'21년	'21년 이후
동토지역 자원이송망	2,500	4,419	3,671	3,270	4,120	-	-	-	-	-
오일샌드플랜트	-	1,442	2,884	2,835	3,649	4,590	5,657	-	-	-
해틱기반플랜트	-	481	962	842	1,581	2,220	-	-	-	-
플랜트 건설협업 기술	-	961	2,885	2,092	1,974	2,199	3,007	-	-	-
북극권 에너지자원 플랜트	-	-	-	-	-	478	478	956	956	2,391

자료: 2018년도 예비타당성조사 보고서 극한지 오일생산 플랜트건설 핵심기술 개발사업(KISTEP, 2018.08)

87) 2018년도 예비타당성조사 보고서 극한지 오일생산 플랜트건설 핵심기술 개발사업(KISTEP, 2018.08)

- 국내 총 LNG 수요는 '18년 3,646만 톤에서 연평균 0.81% 상승하여 '31년 4,049만 톤 규모를 형성할 전망⁸⁸⁾
- 도시가스용 LNG는 '18년 1,994만 톤에서 '31년 2,340만 톤으로 연평균 1.24% 증가 전망되며 가정·일반용은 증가세 둔화되고 있으나 산업용은 지속 증가 중
- 발전용 LNG는 '18년 1,652만 톤에서 '31년 1,709만 톤으로 연평균 0.26% 증가가 전망되며 “제8차 전력수급 기본계획”에 따른 목표치를 설정
 - 제12차 장기 천연가스 수급계획에서는 '29년 발전용 수요를 948만 톤으로 전망하여 설정

〈표 3.7〉 국내 장기 천연가스 수요 전망

(단위: 만톤)

구분	도시가스용 (A)			발전용 (B)	합 계 (A+B)
	가정·일반용	산업용	소계		
'18년	1,185	809	1,994	1,652	3,646
'24년	1,231	886	2,117	1,294	3,411
'31년	1,329	1,011	2,340	1,709	4,049
연평균증가율	0.89%	1.73%	1.24%	0.26%	0.81%

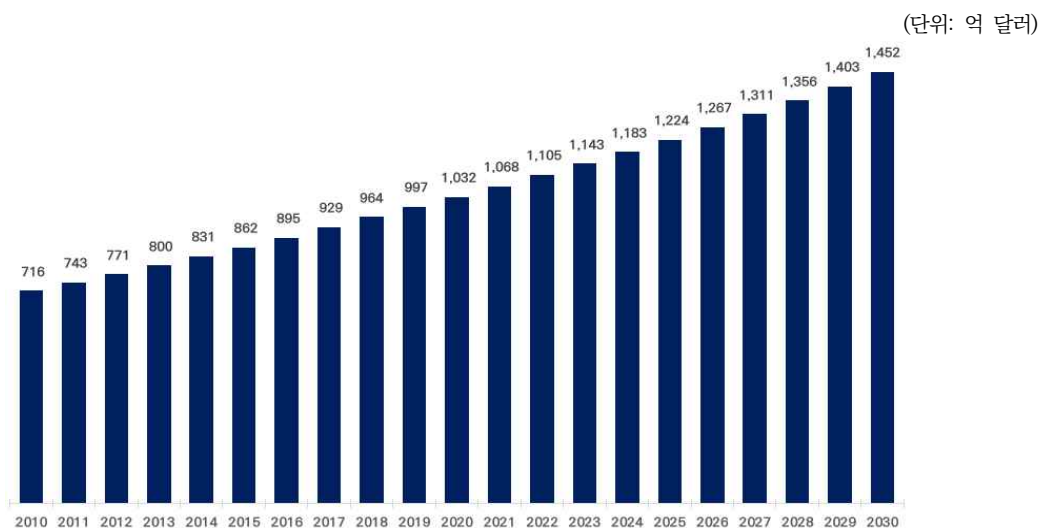
자료: 제13차 장기 천연가스 수급계획(2018~2031)(산업자원부, 2018.04)

88) 제13차 장기 천연가스 수급계획(2018~2031)(산업자원부, 2018.04)

3. 신재생에너지 플랜트

3-1. 세계 시장 동향

- 글로벌 풍력발전 시장은 '10~18년 동안 연평균 3.8% 성장하였으며 '19년부터 '30년까지 연평균 3.5% 성장할 것으로 전망
- 풍력발전 시장은 '18년 964억 달러에서 연평균 3.5% 증가하여 '30년에는 1,452억 달러에 이를 것으로 예상
 - 깨끗하고 안정적이며 저렴한 전력생산의 필요성이 증가하면서 각국의 정부는 풍력발전과 관련하여 경제적 지원 및 규제 완화 등의 정책을 추진하여 풍력발전 시장은 지속적으로 성장할 것으로 전망
- '19~'30년 동안 아시아 태평양지역 및 중국은 풍력발전 시장에서 가장 큰 비중을 차지할 것으로 예상
 - 아시아 태평양 지역은 '18년 누적 설치 풍력발전 용량은 262.2GW으로 가장 큰 시장이며 향후 중국, 인도 등의 성장으로 가장 크게 성장할 것으로 전망
 - 중국은 국제적으로 배출량 감축 압력이 가해지면서 매년 약 20GW의 큰 풍력 용량을 계속 추가하여 '30년에는 447GW에 이를 것으로 예측



출처: GlobalData Energy, Global wind power market expected to approach \$125bn by 2030, 2019.11.12.

[그림 3.11] 세계 풍력발전 시장 전망

□ 세계 해양발전 시장은 '19년부터 '27년까지 연평균 24%로 급성장할 것으로 전망

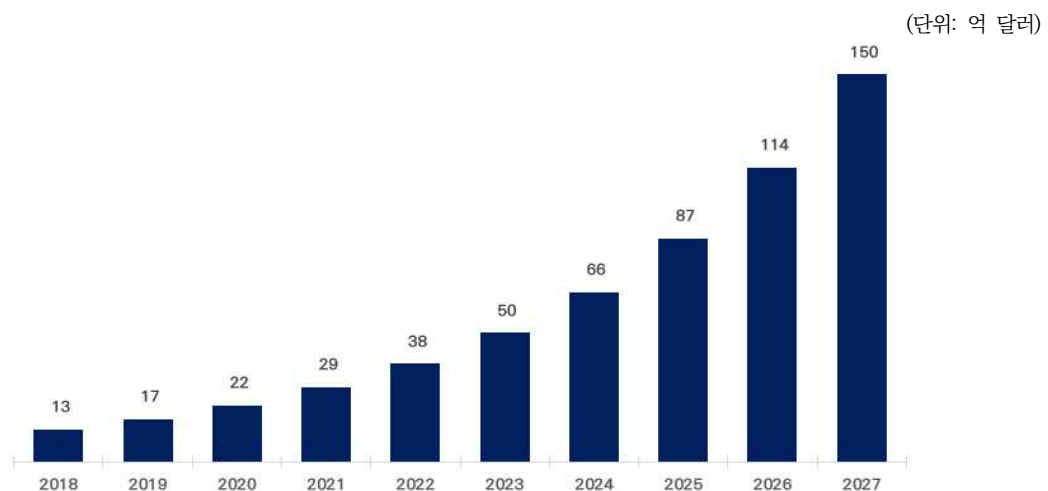
○ 해양발전 시장은 '18년 13억 달러에서 연평균 24% 증가하여 '27년에는 150억 달러에 이를 것으로 예상

- 온실가스 배출저감을 위한 청정에너지 발전 관련 R&D 투자 증가, 정부의 재생 에너지 발전시스템에 대한 투자 증가 등으로 인해 조력, 파력 등의 해양발전 플랜트 시장은 지속적으로 성장할 것으로 전망

○ 유럽지역은 해양발전 시장에서 가장 큰 비중을 차지하고 있으며 아시아 태평양 지역은 가장 빠르게 성장할 것으로 예상

- 영국, 프랑스, 이탈리아 등의 유럽지역은 CO₂ 가스 배출에 대한 규제가 강화되면서 신재생에너지에 대한 투자가 확대되고 있는 상황

- 아시아 태평양 지역은 화석 연료 소비와 관련된 안전 및 환경 문제에 대한 인식이 높아짐에 따라 파도 및 조력 에너지 시장이 크게 성장할 것으로 예상



출처: Research Nester, Wave and Tidal Energy Market Segmentation By production (Wave Energy and Tidal Energy); By End-User Industry (Automotive, Marine, Industrial, Power and Others) - Global Demand Analysis & Opportunity Outlook 2027, 2019.9

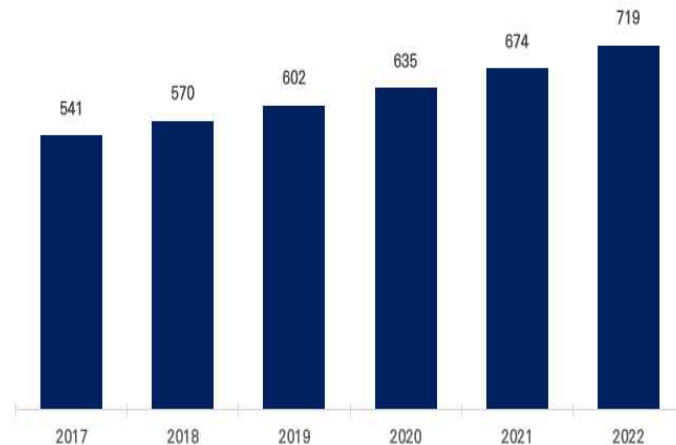
[그림 3.12] 세계 해양발전 시장 전망

□ 세계 바이오메스 발전시장은 '17년부터 '22년까지 연평균 5.8% 성장할 것으로 예상

○ 바이오메스 발전시장은 '17년 541억 달러에서 연평균 5.8% 증가하여 '22년에는 719억 달러에 이를 것으로 예상

- 청정에너지에 대한 필요성 증가, 바이오메스 에너지 생산 및 변환 기술의 혁신으로 인해 바이오메스 발전시장은 급격히 성장할 것으로 전망
- 바이오메스 발전시장은 중동 및 동남아시아(36% 성장), 아시아 태평양(34% 성장), 북미 지역(30% 성장)의 성장으로 인해 크게 증가할 것으로 예상

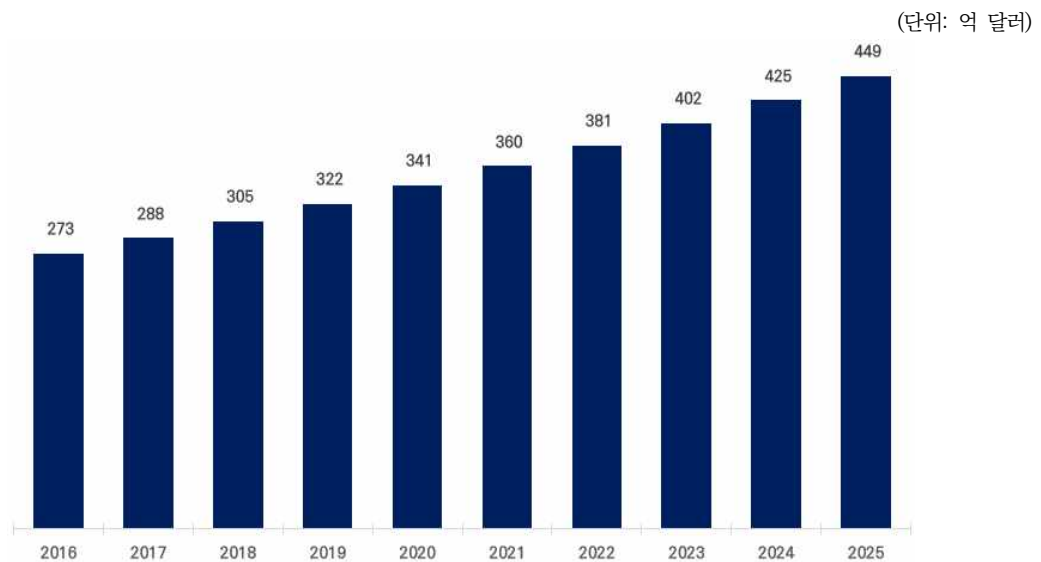
(단위: 억 달러)



출처: TechNavio, Global Biomass Power Generation Market 2018-2022| Advances in Technology to Encourage Growth, 2018.8.31.

[그림 3.13] 세계 바이오메스 발전 시장 전망

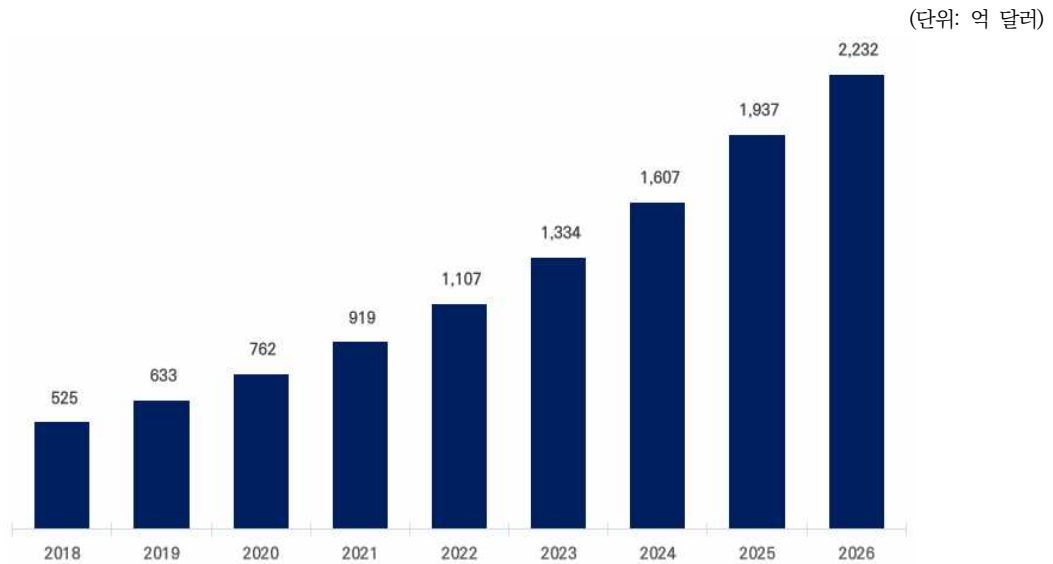
- 전 세계 폐기물에너지 시장은 '16~'24년 동안 연간 5.7% 성장률을 보일 것으로 전망
- 폐기물에너지 시장은 '16년 273억 달러에서 연평균 5.7% 성장하여 '24년 449억 달러에 이를 것으로 전망
 - 석유 석탄 매장량의 고갈, 각국의 정부가 폐기물 처리 및 발전 촉진을 위해 채택한 MSW(Municipal Solid Waste) 관리 프로그램 등으로 인해 전 세계 폐기물에너지 시장은 지속적으로 성장할 것으로 예측
- 아시아 태평양 지역은 폐기물에너지 시장에서 가장 큰 비중을 차지하는 시장이며, 유럽은 기술력을 바탕으로 가장 빠르게 성장하는 시장
 - 유럽 폐기물에너지 시장은 '16~'24년 동안 연평균 5.9% 증가하여 '24년에는 154억 달러를 넘을 것으로 예상
 - 아시아 태평양 지역은 '24년 말까지 전체 시장의 50%를 차지함으로써 세계 폐기물에너지 시장 확대에 크게 기여



출처: Research Nester, Waste to Energy Market By Technology (Thermal, Biological and Others) - Global Industry Insights & Opportunity Assessment 2016-2024, 2019.9.

[그림 3.14] 전 세계 폐기물에너지 시장 현황 및 전망

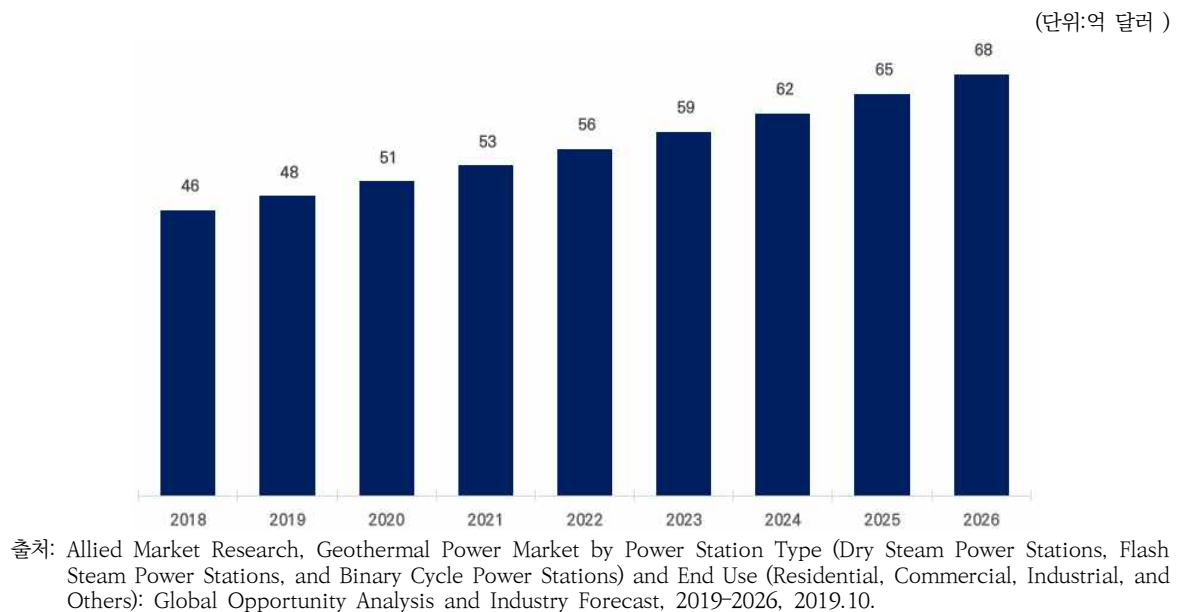
- 전 세계 태양에너지 시장은 '18~'26년 동안 연간 20.5% 성장률을 보일 것으로 전망
- 태양에너지 시장은 '18년 525억 달러에서 연평균 20.5% 성장하여 '26년 2,232억 달러에 이를 것으로 전망
 - 환경오염의 증가와 태양전지 패널 설치에 대한 정부 인센티브 및 세금 환급 제공 등으로 인해 건물에 패널 설치 증가, 태양발전 플랜트 증가 등으로 인해 태양에너지 시장은 급격히 성장할 것으로 예상
- 아시아 태평양 지역과 북미와 유럽 지역은 기술개발 및 인수합병으로 태양에너지 시장의 시장점유율을 확대해가는 추세
 - 중국 및 일본은 정부 관세 및 현지 제조업체의 인수 합병으로 태양광 패널 생산 기술과 능력을 향상시켜 시장점유율을 확대
 - 유럽과 북미 지역은 태양의 발전 효율 향상을 위한 연구를 중점적으로 수행하고 있으며 중동과 아프리카는 건축 및 농업 분야에 태양에너지를 응용하는 것에 집중하여 시장점유율을 확대



출처: Allied Market Research, Solar Energy Market by Technology (Photovoltaic Systems and Concentrated Solar Power Systems), by Solar Module (Monocrystalline, Polycrystalline, Cadmium Telluride, Amorphous Silicon Cells, and Others), by Application (Residential, Commercial and Industrial) and End-Use (Electricity Generation, Heating, Charging and Lighting): Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2019-2026, 2019.10

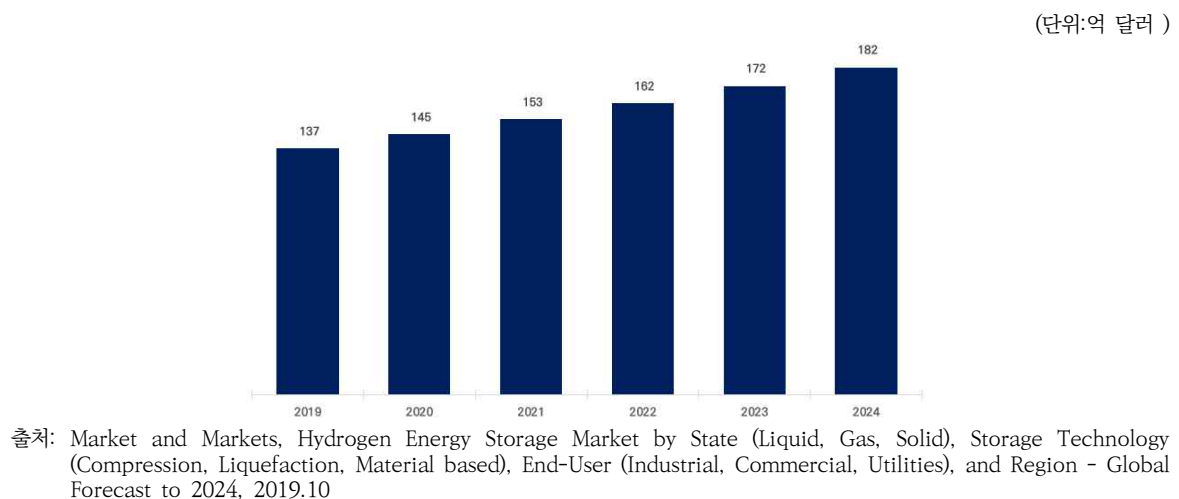
[그림 3.15] 전 세계 태양에너지 시장 현황 및 전망

- 전 세계 지열발전 시장은 '18~'26년 동안 연간 5.0% 성장률을 보일 것으로 전망
- 지열발전 시장은 '18년 46억 달러에서 연평균 5.0% 증가하여 '26년 68억 달러에 이를 것으로 전망
 - 기후 변화와 관련된 엄격한 정부 규제, 지열 발전량 증가, 지열 에너지의 비용 효율성 증가, 지열 발전소의 오염 감소 등으로 인해 지열발전 시장은 지속적으로 성장할 것으로 예상
- 아시아 태평양 및 북미 지역의 총 시장점유율은 약 68.6%
 - 아시아 태평양 지역은 '18년에 가장 많은 지열발전 플랜트가 지어진 지역으로, 시장은 연평균 5.8%로 성장할 것으로 예상



[그림 3.16] 전 세계 지열발전 시장 전망

- 세계 수소에너지 저장시장은 '19~'24년 동안 연간 5.8% 성장률을 보일 것으로 전망
- 수소에너지 저장시장은 '19년 137억 달러에서 연평균 5.8% 증가하여 '24년 182억 달러에 이를 것으로 전망
 - 암모니아 및 메탄올 제조공정에서의 수소 사용 증가, 수소액화에 비해 기술적 난이도가 낮은 수소가스화, 수소자동차 등의 기술발전 등으로 인해 수소에너지 저장시장은 지속적으로 성장할 것으로 예상



[그림 3.17] 전 세계 수소에너지저장 시장 전망

3-2. 국내 시장 동향

- 국내 풍력발전은 신재생에너지사업 매출액의 11%를 차지하고 있으며, 풍력발전의 주요 품목의 국내 시장규모는 '23년 2,859억 원에 달할 것으로 전망
- 중형 풍력발전기, 소형 풍력발전기 및 중소형풍력발전기 부품등 주요 품목의 국내 시장 규모는 '18년 1,178억 원에서 '23년 2,859억 원 규모로 성장할 것으로 전망
 - 중소형 풍력시장 전망은 중소형 풍력시스템 부품(블레이드, 발전기, 구동제어계, 지지구조타워), 중형 풍력발전시스템 및 소형 풍력발전기로 구분하여 '17년도에 각각 251억 원, 720억 원 및 16억 원으로 추정

〈표 3.8〉 풍력발전 부품별 국내 시장 규모('18~'23)

(단위: 억 원)

품목	2018	2019	2020	2021	2022	2023	CAGR
소형풍력발전기	20.3	26.4	34.3	44.5	57.9	75.3	30%
중형풍력발전시스템	895.8	1,075	1,289.9	1,547.9	1,857.5	2,229.0	20%
블레이드	89.6	107.5	129.0	154.8	185.8	222.9	20%
발전기	59.7	71.7	86.0	103.2	123.8	148.6	20%
구동제어계	44.8	53.7	64.5	77.4	92.9	111.5	20%
지지구조타워	104.5	125.4	150.5	180.6	216.7	260.1	20%

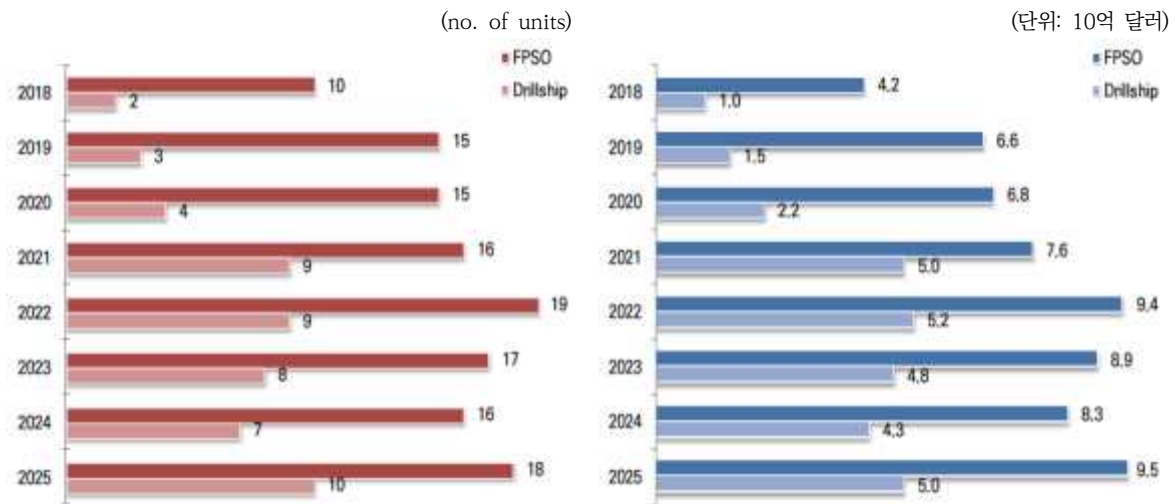
자료: 에너지관리공단, 신재생에너지 R&DD 전략 2030

- '17년 기준, 국내 신재생에너지 산업의 매출액은 9조 5,463억 원으로 나타났으며, 그 중 풍력발전 매출액이 10,957억 원으로 11% 차지
 - ※ 내수 4조 608억 원/ 수출 4조 3,161억 원/ 해외 매출 1조 1,694억 원
 - 육상풍력의 경우 터빈·기자재에 4조 4,000억 원, 건설·시공에 4조 8,000억 원의 경제적 효과가 기대되며, 해상풍력은 터빈·기자재 24조 원, 건설·시공 분야에 30조 원의 효과를 거둘 것으로 예상
 - 정부의 에너지 전환 정책에 따라 오는 '30년까지 육상 4GW, 해상 12GW 등 총 16GW의 설치가 이뤄질 전망이며, 이에 연간 신규설치 용량 1.5GW 시장이 형성될 것으로 예측
- 육상 및 해양 자원의 고갈과 개발도상국의 에너지 수요가 증가함에 따라 국내 해양 플랜트 수주현황이 '15년부터 서서히 회복될 것으로 전망

○ 국내 Drillship과 FPSO에 대한 수요는 기존 시추 장치 주문에 대한 후속 조치로 인해 크게 증가 할 것으로 예상

- FPSO의 수주액이 '25년에 95억 달러에 달할 것으로 예측

- Drillship의 수요가 '25년에 50억 달러에 달할 것으로 예측



출처: KOTRA(Invest KOREA), OFFSHORE PLANTS, 2017

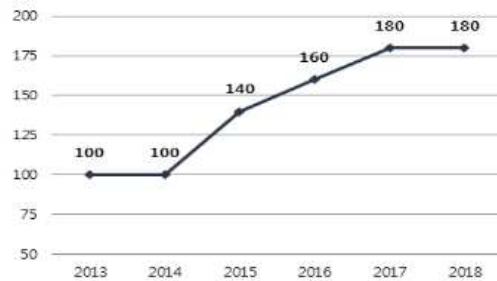
[그림 3.18] 해양플랜트 수요 현황 및 전망('18~'25)

□ 국내 바이오가스 플랜트 시공의 경우 정부계획만을 고려하였을 때 '20년까지 총 2조 500억 원의 시장 수요가 발생하여 '20년까지 연간 2,000억 원 규모의 바이오가스화 플랜트 시장이 생성될 것으로 전망

○ '12년 가축분뇨와 하수슬러지 및 '13년 음폐수의 해양배출이 금지되어 '20년까지 유기성 폐자원을 전량 에너지화할 계획이므로 향후 바이오가스 관련 시장은 확대 될 것으로 예상

- 관련 기술 중 상당수는 해외 기술 도입에 의존하는 실정이므로 기존 상용화 문제를 해결하여 국내 기술력 확보를 통해 해외시장에 진출할 수 있는 폐자원 에너지화 연구개발 추진 필요

(단위:백만 달러)



출처: 중소기업청, 중소기업전략기술로드맵 2016~2018, 2015

[그림 3.19] 국내 바이오가스 시장 전망

□ 국내 폐기물에너지 시장은 '15년 5조 3,449억 원에서 연평균 13.2% 증가하여 '22년 5조 8,583억 원에 이를 것으로 전망

※ 폐기물에너지 시장은 환경부 '17년 환경산업통계조사보고서의 자원순환관리 중 폐자원에너지화 기기 제조, 폐자원에너지화 관련 시설 건설, 폐자원에너지화 관련 서비스 분야로 추정

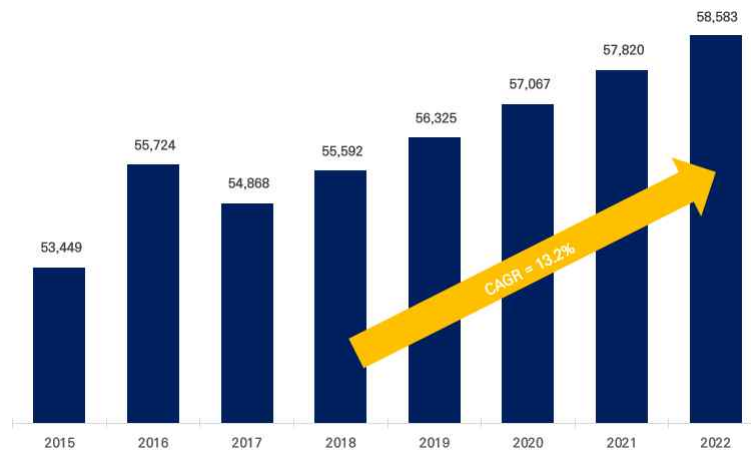
※ 환경부 '17년 환경산업통계조사보고서의 '15~'17년 자원순환관리 분야 매출액의 증가율 13.2%로 '22년까지 증가한다고 가정하여 폐기물에너지 시장을 추정

○ 국내 폐기물에너지 분야 매출액은 '17년 5조 4,868억 원으로 전년대비 1.5% 감소

- 폐자원에너지화 관련 서비스 분야의 매출은 '17년 3조 4,031억 원 규모로 전체 폐기물에너지 분야의 62.0%를 차지

- 폐기물에너지 분야 매출액 구성비는 폐자원에너지화 관련 서비스(62.0%), 폐자원에너지화 관련 시설 건설(20.3%), 폐자원에너지화 기기 제조(17.7%) 순

(단위: 억 원)



출처: 환경부, '17년 기준 환경산업통계조사보고서(2018) 자료 인용 및 재가공

[그림 3.20] 국내 폐기물에너지 시장 전망

- 국내 태양에너지 관련 업체는 135개 존재하며, 고용인원은 1,997명, 매출액은 6조 4,525억 원, 투자액은 7,731억 원 투자
- '17년 기준, 국내 신재생에너지 산업의 매출액은 9조 5,463억 원으로 나타났으며, 그 중 태양광 산업이 64,358억 원으로 67% 차지
 - '17년 기준, 국내 신재생에너지 산업의 기업체 수는 438개이며, 그 중 태양광 에너지는 118개로 26% 차지
- 투자액은 8,097억 원을 기록하였으며, 태양광이 7,731억 원(96%)로 타 에너지원 대비 월등히 높은 수준

〈표 3.9〉 국내 태양에너지 현황('17)

(단위: 억 원)

구분	기업체수		고용인원		매출액		투자액	
신재생에너지	454	100.0%	13,927	100.0%	95,465	100.0%	-	-
태양에너지	135	29.75	1,997	14.3%	64,525	67.6%	7,731	95.7%
태양광	118	26.0%	1,662	11.9%	64,358	67.4%	7,731	95.7%
태양열	17	3.7%	335	2.4%	167	0.2%	-	-

자료: 융합금융처, KOSME 산업분석 리포트(태양광·풍력을 중심으로 한 신재생에너지), 2019

- 우리나라에는 포항지진으로 인해 지열발전에 대한 연구가 중단되었으며, 가동되는 발전소가 없어서 현재 우리나라 지열에너지 시장은 지열원 열펌프 보급을 위한 시장이 대부분⁸⁹⁾
- 지열원 열펌프 시장은 정부의 강력한 공공의무화 제도 시행과 다양한 보급 보조금 제도의 시행에 힘입어 매년 100MW이상의 신규 설비가 보급되고 있으며 연간 1,000억 원 이상의 시장이 형성
 - ※ '17년 말 기준 총 설비용량은 1,036,654 kW
 - 다만 일부 기업에서 해외의 지열발전 플랜트 시공에 참여하고 있으며 여타 기업의 경우 외국의 개발 프로젝트에 참여를 검토하는 수준
- 국내 수소생산능력은 연간 540만 톤, 생산량은 190만 톤이나 산업용 유통량은 연간 45만 톤 수준으로 약 6,000억 원 규모⁹⁰⁾
- 향후 시장규모는 '30년~'50년간 누적 137조를 달성할 것으로 예상

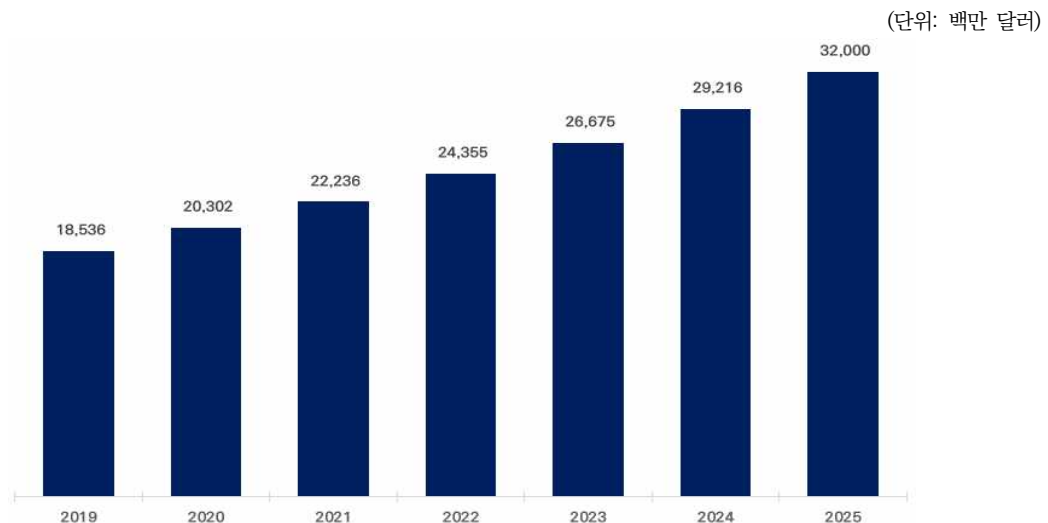
89) 신재생에너지 백서, 한국에너지공단, 2018

90) 신소재경제신문, '저온형 물 전기분해 소재기술(2)-제5장 수소생산·이산화탄소 전환용 소재기술-신소재경제신문·재료연구소 공동기획 소재기술백서 2016(43)', 2018.8.28.

4. 환경플랜트

4-1. 세계시장동향

- 전 세계 해수담수화 시장은 '19년부터 '25년까지 연평균 9.5% 성장할 것으로 전망
- 해수담수화 시장은 '19년 185.4억 달러에서 연평균 9.5% 증가하여 '25년 320억 달러에 이를 것으로 예상
 - 세계 인구 증가, 산업의 성장으로 인한 산업용수 수요 증가 등 물 수요의 증가와 물 부족의 증가 등으로 인해 해수담수화 시장은 지속적으로 성장할 것으로 예측
- 중동 및 아프리카 지역은 전 세계 담수량의 1%밖에 없는 건조지역으로 해수담수화 시장이 가장 급격하게 성장할 것으로 예상

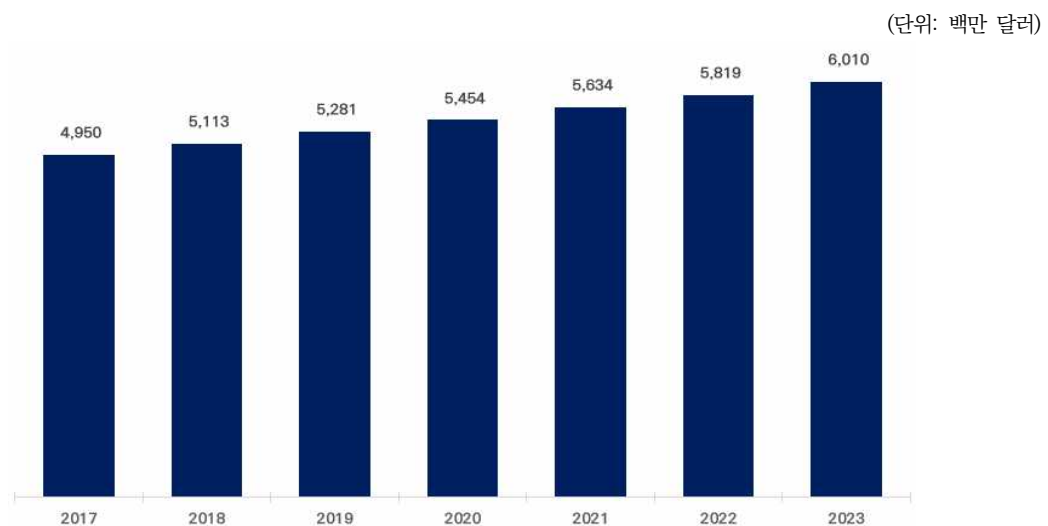


출처: ADROIT Market Research, Water Desalination Market by Technology (Reverse Osmosis, Multi-stage Flash Distillation, Multi Effect Distillation, Hybrid, Electrodialysis), Source (Seawater, Brackish Water) and Region, Global Forecasts 2018 to 2025, 2019.10.17.

[그림 3.21] 세계 해수담수화 시장 전망

- 글로벌 수처리 및 폐수처리 시장은 '17년부터 '23년까지 연평균 3.3% 성장할 것으로 전망
- 수처리 및 폐수처리 시장은 '17년 49.5억 달러에서 연평균 3.3% 증가하여 '23년 60.1억 달러에 이를 것으로 예상

- 산업 활동의 증가, 수자원 오염 증가, 환경오염에 대한 사람들의 인식 변화 등 수처리 및 폐수처리에 대한 수요가 증가로 인해 수처리 및 폐수처리 시장은 지속적으로 성장할 것으로 전망
- 아시아 태평양의 폐수 처리 장비 시장은 이 지역의 식수 수요 증가로 인해 예측 기간 동안 가장 높은 CAGR에서 성장할 것으로 예상
- 중동은 인구 증가, 가처분 소득 증가 및 인프라 가용성으로 인해 연평균 4.7%의 성장률을 보일 것으로 추정

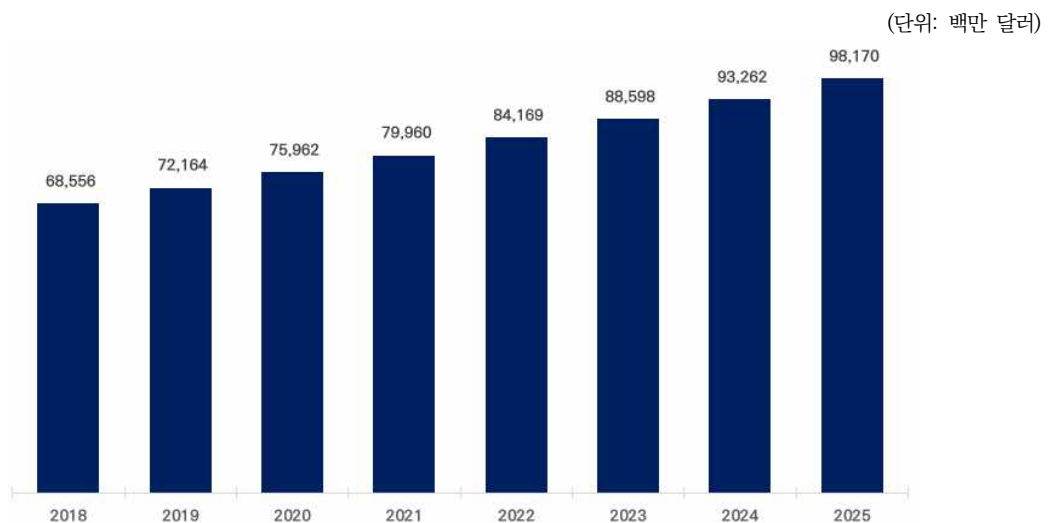


출처: Market Reports World, GLOBAL (NORTH AMERICA, EUROPE, ASIA-PACIFIC, SOUTH AMERICA, MIDDLE EAST AND AFRICA) WATER AND WASTEWATER TREATMENT MARKET 2018, FORECAST TO 2023, 2019.2.02.

[그림 3.22] 세계 수처리 및 폐수처리 시장 전망

- 세계 대기오염 제어시스템 시장은 '18년부터 '25년까지 연평균 5.0% 성장할 것으로 전망
- 대기오염 제어시스템 시장은 '18년 685.6억 달러에서 연평균 5.0% 증가하여 '25년 981.7억 달러에 이를 것으로 예상
- 광업 및 건설 부문의 오염가스 배출 증가, 세계 각국의 화석연료 사용금지 규정 발표, 대기오염에 대한 사람들의 인식 변화 등으로 인해 배기가스로 방출되는 유해 및 오염물질을 처리하는 대기오염 제어시스템 시장은 지속적으로 성장할 것으로 전망

- 미국, 영국, 중국 등은 정부의 강력한 규제 및 친환경 정책으로 빠르게 성장할 것으로 예상
 - 미국의 대기오염 제어시스템 시장은 대기오염 방지를 위한 경제적, 정책적 혜택으로 인해 연평균 3.9% 성장할 것으로 전망
 - 영국은 환경 식품 농촌 담당국은 지속적으로 대기오염 물질 및 유해가스를 모니터링하여 규제하는 등 정부차원의 대기오염 방지기술을 도입하고 있어 영국 시장은 지속적으로 성장할 것으로 예상
 - 중국은 아시아 태평양 지역에서 가장 큰 시장으로 현재 388개 도시 중 84개만 국가 대기질 표준을 달성한 상태로, 향후 대기오염 제어시스템 시장은 지속적으로 성장할 것으로 예측

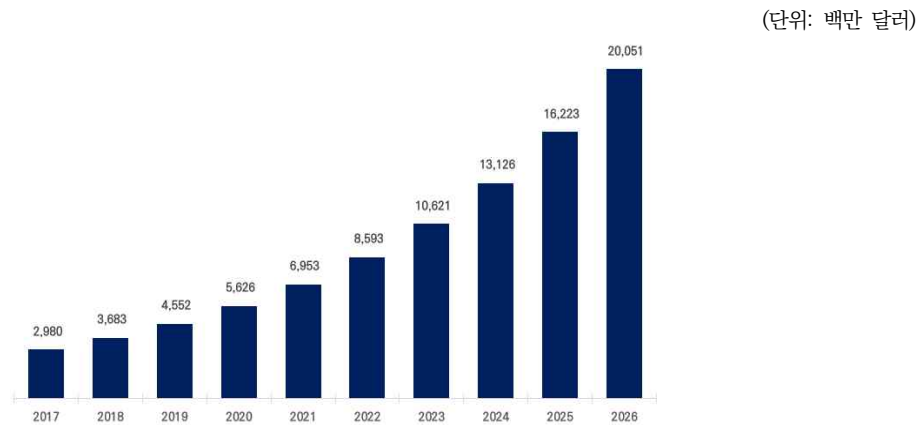


출처: Grand View Research, Air Pollution Control Systems Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Scrubbers, Catalytic Converters, Thermal Oxidizers, Electrostatic Precipitators), By Application, And Segment Forecasts, 2018 - 2025, 2018.8.

[그림 3.23] 세계 대기오염 제어시스템 시장 전망

- 세계 CCUS 시장은 '17년부터 '26년까지 연평균 23.5% 성장할 것으로 전망
- CCUS 시장은 '17년 29.8억 달러에서 연평균 23.5% 증가하여 '26년 200.5억 달러에 이를 것으로 예상
 - 이산화탄소 배출 증가, 비전력 부문의 환경 문제 증가, 탄소포집 및 활용 기술 발전 등으로 인해 CCUS 시장은 지속적으로 성장할 것으로 예상

- 세부 기술별로는 포집기술이 71%, 수송·저장기술이 29%의 시장을 형성하고, 북미 및 유럽에서 전체 시장의 50% 이상을 차지할 전망



출처: Research and Markets, Global Carbon Capture, Utilization & Storage Market Outlook 2017-2026: Market Accounted for \$2.98 Billion in 2017 and is Expected to Reach \$20.05 Billion by 2026, 2019.2.5.

[그림 3.24] 세계 CCUS 시장 전망

4-2. 국내 시장 동향

- 해수담수화용 역삼투 분리막시장은 '16년 1,350억 원에서 연평균 9.4% 성장하여 '20년 1,930억 원에 이를 것으로 예상

- 해수담수화용 역삼투 분리막시장은 고에너지 소모형 증발법이 점점 퇴조하면서 에너지 저감공정에 대한 필요로 인해, 시장규모가 증가할 것으로 전망

※ '10년부터 시행된 WPM 3세부 “저에너지 고효율 담수용 멤브레인 소재개발” 과제를 통해 얻어진 국내 담수용 분리막 시장규모를 통해 간접적으로 해수담수화용 분리막 시장 추산

〈표 3.10〉 해수담수화용 역삼투막 국내외 시장 전망

(단위: 억 원)

구분	2016	2017	2018	2019	2020	CAGR(%)
세계시장	17,550	19,660	22,010	24,660	27,610	12.0
국내시장	1,350	1,470	1,610	1,770	1,930	9.4

자료: KISTI MARKET REPORT(Vol.5, Issue 9), 해수담수화용역삼투 분리막, 2015

- 국내 수처리 및 폐수처리 시장은 '18년 996.1억 원에서 '22년 1,170.1억 원 규모로 성장할 것으로 전망

- 수중에 존재하는 환경호르몬 물질과 의약 관련 물질을 제거하기 위한 응집제 관련 시장 성장률은 연간 4.1%로 국내 시장은 연간 1,000억 원 규모로 추정
 - 국내 수처리제 시장은 연평균 4.1% 성장하고 있는 것으로 파악되며, 특히 파우더와 액상형 시장 위주로 성장하고 있는 추세

〈표 3.11〉 수처리 소재 및 공정분야 국내시장 현황 및 전망

(단위: 억 원)

구분	2018	2019	2020	2021	2022	CARG(%)
흡착제	6.1	6.4	6.8	7.1	7.5	5.0
응집제	985.1	1,025.5	1,067.6	1,111.3	1,156.9	4.1
분리막	4.9	5.1	5.3	5.5	5.7	4.1
합계	996.1	1,037	1,079.7	1,123.9	1,170.1	4.1

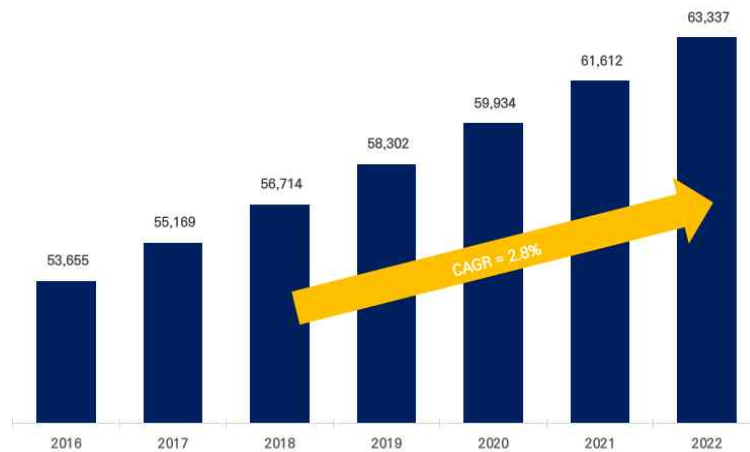
자료: 한국환경산업기술원, 유해화학물질 흡착제 기술동향, 2017

- 국내 대기관리 시장은 '16년 5조 3,655억 원에서 연평균 2.8% 증가하여 '22년 6조 3,337억 원에 이를 것으로 전망

※ 환경부 '17년 환경산업통계조사보고서의 '16, '17년 대기관리 분야 매출액의 증가율 2.8%로 '22년까지 증가한다고 가정하여 대기관리 시장을 추정

- 국내 대기 환경 분야 매출액은 '17년 기준 5조 5,169억 원으로, 전년대비 2.8% 증가
 - 대기오염방지 기기 제조 분야의 매출은 '17년 4조 2,291억 원 규모로 전체 대기 관리 분야의 76.7%를 차지
 - 대기오염 통제 관련 건설은 전체 매출액의 11.7%, 실내공기질 통제 기기 제조 6.1%, 분석, 자료수집 및 평가 서비스 2.1%, 실내 공기질 통제 서비스 2.0%의 순으로 전체 매출액 비중을 차지
 - 또한, 대기오염방지 기기제조 매출액 증감률은 3.1%로 대기관리 매출액 전체 증감률인 2.8%와 유사한 수준

(단위: 억 원)



출처: 환경부, '17년 기준 환경산업통계조사보고서(2018) 자료 인용 및 재가공

[그림 3.25] 국내 대기관리 시장 전망

- 국내 CCS 시장은 '16년 4,200억 원 규모이며, 연평균 7.6% 성장하여 '21년에는 5,100억 원에 이를 전망
- 국내 온실가스 배출량의 95%를 에너지(83%)와 산업공정(12%)이 차지하고 있어 CCS 기술 도입이 시급한 상황이나, 국내에는 CO₂ 대규모 저장소 존재 여부가 불확실하고, 기술성·경제성이 부족하여 시장 형성 및 성장에 어려움

〈표 3.12〉 국내 CCS 시장 전망

(단위: 억 달러)

구분	2016	2017	2018	2019	2020	2021
시장규모	3.5	3.8	4.1	4.4	4.7	5.1

출처: 연구성과실용화진흥원, 탄소저감 기술 및 시장동향, 2017.9.

제4장 기술동향

1. 발전플랜트

1-1 화력발전

- 미국의 에너지기업들은 에너지부는(DOE)의 지원으로 친환경 화력발전 플랜트 건설을 위한 CO₂ 원천분리 및 배가스 불순 제거할 수 있는 가압순산소연소시스템을 개발

※ 가압순산소연소시스템은 10~20bar의 고압에서 PC나 순환유동층(CFB: Circulating Fluidized Bed)을 이용한 연소시스템으로 상압순산소연소에 비해 대류열 전달 효율 향상, CO₂ 감소, CO₂ 분리효율 향상, 설비비 감소가 가능

- 미국 Aerojet Rocketdyne社は 가압 유동층 순산소연소시스템(Oxy-PFBC: Oxy-fired Pressurized Fluidized Bed Combustion)을 캐나다 CANMET 설비에서 시험 중

- 가압 유동층 순산소연소시스템은 순환유동층 공정과 기포유동층 공정의 장점을 조합하여 넓은 범위의 유량에 대한 거동 예측 및 균일한 온도 분포가 가능
- 파일럿 설비 규모는 1MW_{th}로 '17년 설치 및 운전을 완료하였으며, 50MW_{th} 규모의 파일럿 시험 후 '25년까지 상용규모 실증을 마칠 계획

- 미국 Net Power社は 초임계 CO₂ 발전에 가스 순산소연소를 사용하는 기술을 개발하여 파일럿 설비에서 실험 중

- 고온 고압에 따른 설비비용 절감을 위해 공정을 소형화한 친환경 화력발전 플랜트 건설을 위해 고효율 및 저배출 시스템을 개발

- 유럽과 미국 등은 케미컬 루핑 연소 기술의 효율성 향상을 위해 고체입자의 산소 전달량과 산소전달 반응성능, 순환유동층 연소시스템 효율 향상 등의 연구를 추진 중

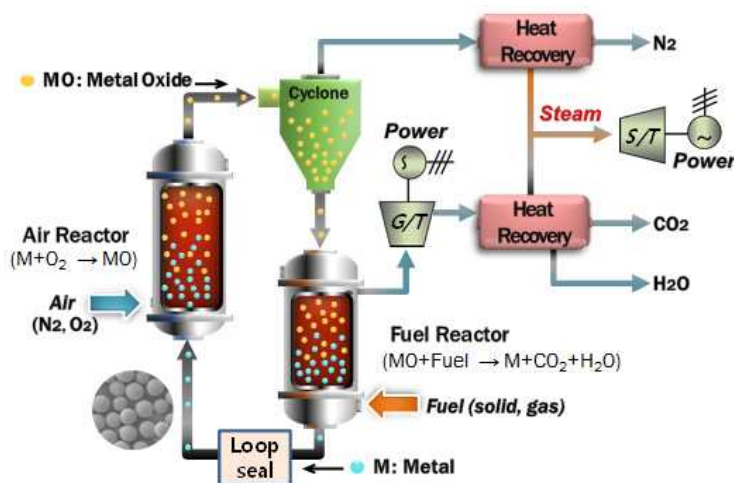
※ 케미컬루핑연소기술은 산소전달입자라는 고체 입자가 공기로부터 산소를 얻어 연료로 전달하면서 연료를 연소시키는 기술로 별도의 공기분리기 없이 산소분리가 가능하고 연료연소 중에 CO₂가 원천분리되어 CO₂ 포집설비가 필요없는 기술

- EU는 ENCAP, ECLAIR, ACCLAIM 프로젝트를 통해 석탄 케미컬루핑 연소를 위해 저가인 철계 천연광물인 ilmenite (iron titanium oxide, FeTiO₃/(Fe₂TiO₅+TiO₂))를 산소전달입자로 사용하여 고체연료인 석탄을 직접 연소하는 기술을 개발 중

- 100kW_{th} 공정을 Chalmers 대학에 설치하여 1MW_{th} 공정 개발과 산소전달

입자 개발에 활용하고 있으며, 상용규모(450MWe) CLC 공정 개발을 위한 설계 자료 도출을 위해 Alstom社は 1MW_{th}공정을 Tech. Univ. of Darmstadt에 설치하여 현재 운전 중

- Alstom社は 미국 에너지부의 지원으로 CaSO₄를 산소전달입자로 이용하는 Limestone Chemical Looping Combustion(LCL-CTM) 석탄 연소기술을 개발 중
 - 65kW_{th}급 CLC 공정 개발을 완료하고 현재 1MWe급 설비를 Connecticut에 설치하여 운전 중이며 외부열원의 추가 공급 없이 연료로 석탄만을 공급한 상태로 40시간 운전에 성공하였으며 최대 CO₂ 포집율 96%를 달성
- 미국 B&W사는 철산화물을 산소전달입자로 사용하여 가압석탄합성가스를 이용한 케미컬루핑 수소생산 기술을 개발 중
 - Ohio State Univ.와 공동으로 미국 에너지부의 지원으로 알라바마주 Wilsonville에 소재한 미국남부발전의 National Carbon Capture Center에 250kW_{th} 설비를 구축하고 운영 중



※ 자료: 한국전력 전력연구원, 이산화탄소 포집기술 국외 기술개발동향, 2016

[그림 4.1] 케미컬루핑 발전기술 개념도

- 한전 한국전력연구원은 발전효율 증대 및 이산화탄소 저감 등을 위해 발전 핵심소재인 산소전달입자 개발에 성공하고 순산소 가압유동층발전기술을 개발 중
- 한전 전력연구원은 '16년 케미컬 루핑 연소를 이용한 CO₂ 원천분리연소의 핵심물질인 고성능의 Ni계와 저가 산소전달입자를 개발에 성공⁹¹⁾

- Ni계 산소전달입자의 산소전달량은 약 12wt%로서, 기존 유럽연합에서 개발한 세계 최고 성능의 입자인 8wt%에 비해 40% 이상 높고, 마모손실을 또한 기존 20% 정도에서 10% 이하로 낮춰 충분한 강도를 확보
- '19년 미세먼지와 이산화탄소 배출이 없는 친환경발전기술인 '순산소 가압유동층 발전' 기술 개발을 위해 미국의 가스기술연구소(GTI)와 공동기술개발 착수⁹²⁾
 - '순산소 가압유동층 발전' 기술은 높은 압력의 유동층에서 공기 대신 산소만을 사용해 연료 연소시켜 CO₂만 배출되어 별도의 CO₂ 분리가 필요 없는 친환경 고효율 발전기술
- 두산중공업은 인도네시아 IRT와 자바섬 인근 지역에 1조 6,000억 원 규모의 '자와(JAWA) 9·10호기' 화력발전소 건설 EPC 계약을 수주⁹³⁾
- EPC는 설계, 기자재 조달, 시공을 일괄 수행하는 계약 방식으로 두산중공업은 화력발전소 2기를 '24년까지 완공할 계획
 - 두산중공업이 인도네시아 국영 건설사인 HK와 컨소시엄을 구성해 거둔 성과로 총 공사비는 1조9,000억 원이며 이 중 두산중공업 수주 규모만 1조6,000억 원
 - 자와(JAWA) 9·10호기는 인도네시아 수도 자카르타에서 약 120km 떨어진 자바섬 서부의 칠레곤 지역에 건설되며, 세계 환경 기준인 'IFC 가이드라인'에 부합하는 초초임계압(USC) 방식으로 1,000MW급 2기를 제작해 공급할 예정
- 현대엔지니어링은 미국령 괌에서 5억 3,400만 불 규모의 괌 데데도(Dededo) 200MW급 복합화력발전소를 수주⁹⁴⁾
- 괌 앤토니오 B. 원 팻 국제공항에서 북서쪽으로 약 5km 떨어진 곳에 위치한 데데도 지역 인근에 발전용량 200MW급 복합화력발전소 건설프로젝트
 - 198MW 복합화력발전소, 25MW 에너지저장장치 및 65MW 디젤엔진을 함께 건설하는 BOT(Build Operate Transfer) 방식으로 진행

91) 매일건설신문(2019), "전력연구, '순산소 가압유동층 발전' 기술개발 착수"(2019.07.11)

92) 에너지경제(2016), "한전 전력연구원, 세계 최고성능 CO₂ 원천분리연소 핵심소재 개발"(2016.09.07)

93) 매일경제(2019), "두산중공업, 1.6조원 규모 인도네시아 발전사업 수주"(2019.03.20.)

94) 한국건설신문(2019), "현대 ENG, 괌 데데도 200급 복합화력발전소 수주"(2019.07.29.)

1-2 수력발전

- 친환경·신재생에너지 개발 정책에 따라 소규모 전기 생산이 가능한 소수력발전의 효율성 향상을 위해 유럽, 한국 등은 역회전 펌프터빈(PaT, Pump as Turbine)을 개발⁹⁵⁾
- 아일랜드 Trinity College Dublin은 기존 원심펌프(Pass as Turbine)과 반대로 회전하는 역회전 펌프터빈을 개발하고 성능을 평가
 - 펌프터빈은 유도모터를 이용하여 에너지를 생성할 수 있으며 기존 원심펌프에 비해서 4~5배 저렴
 - 펌프터빈은 소형으로 상수도관에 설치하여 전력을 생산할 수 있으며 M425 디지털 토크 센서로 측정한 결과 효율성이 71% 향상된 것으로 확인



※ 자료: Trinity College Dublin, Field demonstration of Pumps as Turbines for Micro-Hydropower, 2019.11.14.

[그림 4.2] 펌프터빈 성능평가 모습

- 한국생산기술연구원은 '15년에 독립형 자가발전시스템의 핵심기술인 엠티회전 펌프수차를 개발하여 '17년 사업화 추진 중⁹⁶⁾
 - ※ 엠티회전 펌프수차는 두 회전체 모듈을 엠티회전이 가능한 단일 축계에 장착해서 구동하는 시스템으로 작동 목적에 따라 펌프 및 터빈 모드로 제어 가능한 신개념 유닛
 - 엠티회전 펌프수차를 측류형 타입에 적용하여 낙차가 작은 곳에서도 사용이 가능하고 소형화시킬 수 있다는 것이 장점이며, 기포에 의한 부식방지가 가능
 - 낮 시간에는 태양광을 이용해 전기를 생산하고 남은 전기는 펌프를 이용해 물을 끌어올려 밤에는 수력 발전하는 융복합 자가발전시스템에 적용이 가능하여 에코아일랜드 사업에 적용 예정

95) Trinity College Dublin, Field demonstration of Pumps as Turbines for Micro-Hydropower, 2019.11.14.

96) 한국생산기술연구원, ICT 융복합 지능형 자가발전시스템 기술개발, 2015

- GE는 스페인 수력발전소가 스마트하게 전력을 생산할 수 있도록 수력발전 운영을 디지털화하여 관련 소프트웨어와 컨설팅 서비스를 제공
- '19년 6월 GE 리뉴어블에너지 사업부는 스페인에서 수력발전소를 운영하고 있는 에넬그린파워(EGP)와 3년 계약을 체결하여 3.2GW의 수력발전 전력을 모니터링하고 관련 소프트웨어와 컨설팅 서비스를 제공
 - EGP가 운영비용 절감, 가동 중단 시간 단축, 댐의 운영 효율성 강화할 수 있도록 데이터 기반의 운영 소프트웨어 및 컨설팅 서비스를 제공
 - GE와 EGP는 스페인에서 EGP가 운영 중인 여러 수력 발전소의 데이터를 모아 놓는 중앙 데이터 은행을 만들고, 각 발전소에 설치된 수백만 개의 센서로부터 생성되는 데이터를 수집하고 분석하기 위해 협력 중
- GE가 개발한 소프트웨어를 활용해 EGP의 엔지니어들은 가장 작은 댐의 시간당 발전량에서부터 EGP가 운영하고 있는 모든 수력 발전소의 가용성에 이르기까지, 발전소와 관련된 모든 미래의 운영 사항을 예측하고 최적화
 - GE의 자산성과관리(APM) 소프트웨어의 일부인 신뢰성 관리 분석 모듈을 사용하면, 터빈의 동작을 완벽하게 학습해 새로운 운영 방식을 생성하고, 이를 통해 안전 문제없이 기계의 생산 능력을 증가가 가능
 - 수력 발전소의 가동 중단율을 최대 50%까지 낮출 수 있으며, 불필요한 수리는 방지하고 고장 난 부품의 조기 발견을 통해 유지 보수비용을 10% 절감



※ 자료: GE리포트코리아, 스페인의 수력발전소를 디지털로 업그레이드 하다, 2019.07.24.

[그림 4.3] GE의 자산성과관리 소프트웨어 홍보영상

1-3 원자력발전

- 영국은 '19년 6월 G7 국가 중 최초로 '50년까지 탄소중립 목표를 법제화하고, 이를 달성하기 위한 저탄소사회 구현 정책의 일환으로 핵융합 발전을 추진 중
- '40년까지 상업가동 가능한 핵융합반응로 토카막(Tokamak)의 컨셉 디자인을 설계하는 STEP(Spherical Tokamak for Energy Production) 프로젝트 투자를 발표하고 2억 2,000만 파운드를 투자할 예정⁹⁷⁾
 - 토카막은 핵융합 과정에서 발생하는 플라즈마를 생성하여 저장하기 위한 장치로, 핵융합원료를 토카막에 주입시 전기장 발생으로 가속되어 플라즈마 상태로 전환
 - 원자력에너지청과 산업계는 '24년까지 원자로 개념도 완성을 목표로 옥스퍼드셔이어(Oxfordshire)에 위치한 원자력에너지청 소속 컬햄연구소(Culham Science Centre)에서 연구개발을 진행할 계획



※ 자료: Department for Business, Energy & Industrial Strategy(2019), "UK to take big 'STEP' to fusion electricity"(2019.10.03.)

[그림 4.4] STEP 플랜트 컨셉 개념도

- 원자력에너지청은 로더럼(Rotherham)에 2억 2,000만 파운드를 투입해 신규 핵융합발전 시설 건설 후 셰필드 대학과 연계해 차세대 핵융합발전 재료개발 연구를 진행 예정⁹⁸⁾

97) ZME Science(2019), "UK wants to build world's first fusion power plant 20 years from now"(2019.10.22.); Department for Business, Energy & Industrial Strategy(2019), "UK to take big 'STEP' to fusion electricity"(2019.10.03.)

98) 에너지경제연구원(2019), 주요단신, 세계 에너지시장 인사이트 제19-36호(2019.10.21.)

□ 미국, EU, 러시아, 일본, 한국, 중국, 인도 등 7개국은 핵융합발전 상용화 가능성 실증을 위한 국제공동 핵융합 원자로 개발 프로젝트인 ITER에 참여 중⁹⁹⁾

※ ITER은 'International Thermonuclear Experimental Reactor'의 약자로 핵융합에너지 개발이라는 인류의 미래가 달린 절체절명의 목표를 위하여 전 세계 7개국이 힘을 합치는 사상 최대의 국제공동 연구개발 사업

○ ITER 프로젝트는 현재 프랑스 남부 카다라슈(Cadarache)에서 진행 중으로, EU 집행위원회는 '21~'27년간 60억 7,000만 유로를 투자 예정

- ITER 장치는 중수소와 삼중수소를 연료로 사용하여 초고온의 플라즈마를 만들고, 자체 연소에 의해 장시간 핵융합 반응을 유지하도록 설계 및 제작하는 세계 최초의 핵융합 실험로

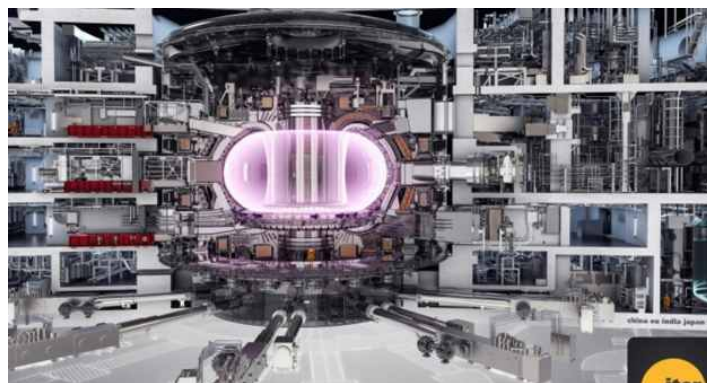
· 총 무게는 24,000톤으로 초고온 플라즈마를 가두기 위해 강력한 자기장을 만드는 TF자석은 총 18개로 1개당 차지하는 무게는 약 360톤

· TF 자석에 필요한 초전도체의 길이는 무려 80,000km이며, ITER 건설 현장은 총 42ha(60만km²)로 축구장 60개 크기와 맞먹는 규모

- ITER 장치의 최종 목표는 열출력 500MW를 달성으로, 에너지 증폭률(Q) 10 이상 ($Q \geq 10$, 에너지를 1 투입했을 때 열이 10 발생), 연소 시간 300~500초 이상을 달성하는 것이 목표

- ITER는 건설, 운영, 감쇄 및 해체 4단계로 나뉘어 진행 중

· '24년까지 건설을 마친 후 약 13년간 운영 후 '38년부터 5년간의 감쇄 단계를 거쳐 '42년에 해체하는 것을 일정으로 수립

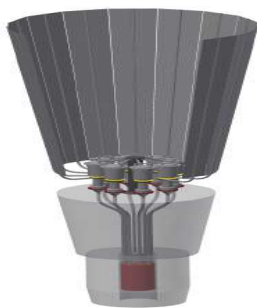


※ 자료: 국가핵융합연구소, ITER, 2019.07.01.

[그림 4.5] ITER 장치 개념도

99) 국가핵융합연구소, ITER, 2019.07.01.

- 미국은 우주항공국(NASA)과 로스알라모스국립연구소(LANL)가 공동으로 kW급 우주 탐사용 자율운전 초소형원자로(kiloPower)를 개발 중
- '18년 파일럿 규모의 원자로 프로토타입 제작과 성능평가가 가능한 수준이며, 인공지능 기술을 사용하는 지능형 원전 제어 시스템 연구가 진행 중
 - '18년 3월 초소형 원자로 실험을 성공적으로 완료한 후 비행시연을 위한 개념 설계와 리스크 감소 연구를 진행 중
 - '18년 시작한 지능형 원전 제어시스템 연구는 원자로에 대한 높은 수준의 자율 관리 및 제어시스템 개발이 목표로 지속적인 데이터 모니터링을 통해 원전 상태 변화에 대한 미래 예측 및 위험 대응 지원을 제공할 수 있게 해줄 것으로 기대



자료: NASA 홈페이지(<https://www.nasa.gov>)

[그림 4.6] KiloPower 시험장치 및 인공지능 기반 운전지원

- 일본은 후쿠시마 원전 사고 수습을 위한 다양한 원격 해체기술 및 장비 개발을 추진 중
- 일본원자력기구(JAEA)는 실제 원전환경과 동일한 테스트베드 구축을 통해 현장 적용이 가능한 기술개발에 집중
 - (제염) Hitachi社에서는 화학제염 공정 중 하나인 HOP(hydrazine oxalic acid potassium permanganate) 공정을 개발 및 적용
 - (폐기물처리) JAEA에서는 수증기보조 열분해공정(team assisted pyrolysis process)을 개발 및 실증연구 추진
 - (환경복원) 주거지역(건물 및 도로 표면 등) 내 오염 확산 방지 및 복원을 위해, 고압수, 포집기(집진기), 연마제를 이용한 shot blasting, 고분자-점토 복합체 등의 기술을 개발하고 오염 현장에 적용 중

- 우리나라는 선진국 최고기술 수준을 목표로 원자력시설 해체 주 과정에서 필요한 기술을 도출하고 부처별 역할을 구분하여 미확보 기술을 개발 중¹⁰⁰⁾
- 과기정통부와 산업부는 미확보 기술 26개에 대해서 '21년까지 개발 완료 예정
 - 과기정통부(원자력연)는 해체 핵심기반기술(38개) 개발을 추진 중이며, 미확보 기술 10개('18년 하반기 기준)에 대해 '21년까지 개발 완료할 예정
 - 산업부(한수원)는 실용화기술(58개) 개발을 추진 중이며, 미확보 기술 16개('18년 하반기 기준)에 대해 '21년까지 개발 완료할 예정
- 한국원자력연구원은 기존 해외기술 대비 성능이 대폭 향상된 '원전 핵심설비 해체용 레이저 절단기술' 개발
 - 개발한 원전 핵심설비 해체용 레이저 절단기술은 해외 선진국에서도 완성하지 못한 최첨단 기술로, 광섬유 레이저를 이용해 두꺼운 금속을 효과적으로 절단 가능
 - 독자 개발한 레이저 절단헤드는 레이저 빔을 강하게 집속(focusing)해 대상을 녹이는 동시에, 자체적으로 설계·제작한 초음속 노즐로 가스를 초음속으로 분사해 레이저로 녹은 용융물을 불어내 절단 가능
 - 공기 중에서는 최대 100mm, 물 속에서는 최대 70mm 두께의 금속을 절단 가능
- 레이저기술산업화연구단은 '22년까지 국비 37억 5,000만 원을 투입하는 'ICT 기반 원격해체 시스템 가상 운전 기술개발' 추진 중
 - 방사능 오염지역에서도 원격으로 작업할 수 있는 레이저 절단과 플라즈마 절단, 전기 아크 절단, 기계적 절단 등 절단 기술을 비롯해 실제 작업환경과 유사하게 구축된 시뮬레이터로 작업자가 훈련할 수 있는 모의훈련 프로그램과 해체 시나리오 등 개발



※ 자료: 한국원자력연구원, 홈페이지(<https://www.kaeri.re.kr>)

[그림 4.7] 원자로 해체 로봇 팔

100) KISTEP, 기술동향브리프 원전해체, 2019

2. 자원개발 플랜트

2-1. 합성가스

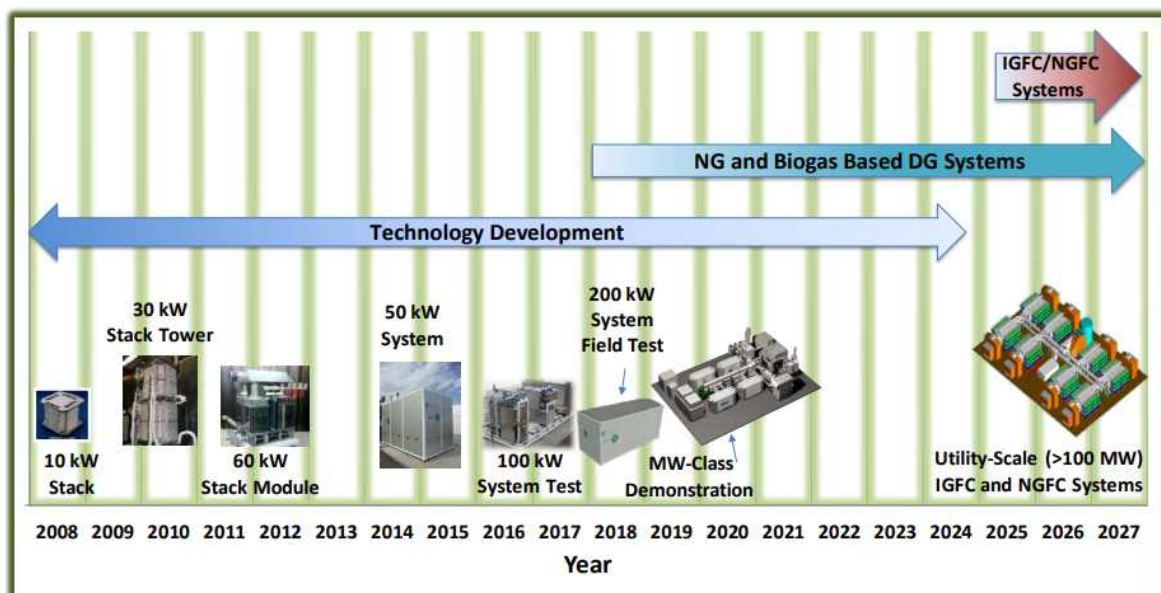
- 미국, 일본 등의 선진국은 석탄가스화복합발전(IGCC) 원천기술을 기반으로 석탄가스화 연료전지 복합발전(IGFC) 기술을 개발하여 실증사업을 추진 중

※ 석탄가스화복합발전(IGCC, Integrated Gasification Combined Cycle), 석탄가스화 연료전지 복합발전(IGFC, Integrated Coal Gasification Fuel Cell Combined Cycle)

- 미국 국가에너지기술연구소(NETL)가 주관하는 SECA(Solid state Energy Conversion Alliance)를 통해 개발한 고체산화물 연료전지를 IGFC와 천연가스 기반의 연료전지 개발에 연계하는 MW급 실증연구를 '20년부터 시작 예정

※ National Energy Technology Laboratory

- GE, Fuel Cell Energy, MIT 등은 SECA 프로그램의 지원을 받아 50~200kW의 고체산화물 연료전지 모듈을 개발하여 비용을 낮추려는 목표로 연구를 진행 중
- '20년부터는 개발된 고체산화물 연료전지를 활용하여 IGFC와 연계한 MW급 실증연구를 계획하고 있으며, '25년부터는 상용연구를 추진할 계획



출처 : Fuel Cell Energy, SOFC Development Update at Fuel Cell Energy, 2018

[그림 4.8] 고체산화물 연료전지 연구개발 성과 및 로드맵

- 일본 신에너지·산업기술종합개발기구(NEDO)와 오사키쿨젠(OSAKI CoolGen)은 석탄가스화 연료전지 복합발전(IGFC) 실증사업을 추진 중¹⁰¹⁾
 - 오사키쿨젠 프로젝트 3단계는 '19년에 이산화탄소 분리·회수형 산소공급식 IGCC 실증설비에 연료전지 시스템을 조합하고 그 적용성을 확인하는 동시에 최적의 IGFC 시스템을 실현하기 위해 '20년까지 실증시험을 수행
 - 500MW급 상용설비에 해당 기술을 적용했을 때, 이산화탄소 회수율 90% 조건 하에서 47% 수준의 송전단 효율 달성을 목표
 - '17년부터 시작한 1단계 실증시험에서는 송전단 효율 40.8%를 달성



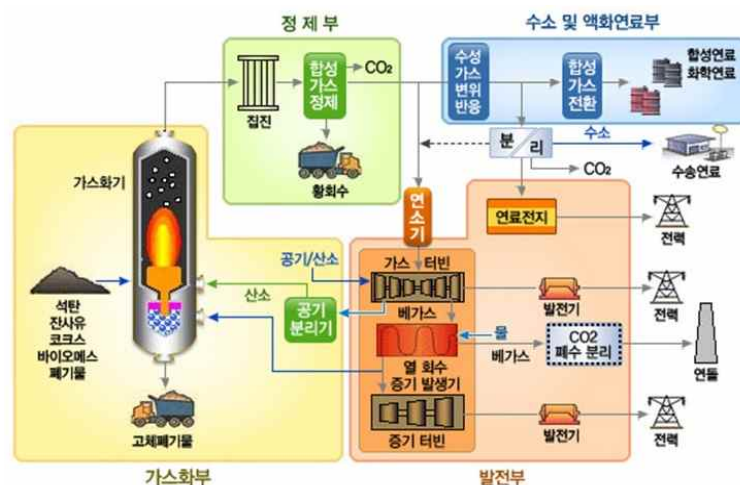
출처 : 월간수소경제, 일본, 석탄가스화 연료전지 복합발전 실증사업 착수, 2019.04.22.

[그림 4.9] 주고쿠전력 오사키발전소 부지 내 IGFC 실증사업 설비 배치도

- 국내에서는 '18년 IGCC 합성가스와 해양미생물을 활용해 연간 330톤의 수소를 생산할 수 있는 실증 플랜트 준공
- '16년 충청남도 태안에 국내 최초로 300MW급 IGCC 실증플랜트를 준공하고 합성 천연가스 등 화학연료를 생산
 - 기존 석탄화력은 석탄을 공기와 혼합해 완전 연소시키지만 IGCC의 석탄가스화 기술은 석탄에 적은 양의 산소를 공급해 부분 연소시켜 일산화탄소(CO)와 수소 분자(H₂)를 주성분으로 하는 합성가스 생성
 - 합성천연가스, 석탄액화석유, 수소·암모니아, 메탄올, 요소 등 화학원료 생산 가능

101) Mitsubishi Hitachi Power Systems, Clean Coal Technologies for IGCC Power Plants, 2017

- 서부발전은 합성가스 정제를 통한 연료전지용 고순도 수소생산, 합성가스의 수성가스변위 반응에 촉매 대신 해양 미생물을 이용하는 바이오 수소생산 등 2단계로 수소 생산기술 개발을 추진
 - 합성가스 정제 연료전지용 수소생산 기술은 '18년 6월 순도 99.99%의 수소생산 성공
 - '19년 9월 100kW급 연료전지와 연계해 전력생산시험을 진행한 후 '25년까지 10MW까지 확대할 예정
 - 해양미생물 이용 수소생산기술은 경동엔지니어링과 협력해 '19년 3월 일간 1톤, 연간 300톤 용량의 실증설비를 짓는 공사 착수
 - 이 설비는 '19년 12월까지 실증운전 완료 후 경제성 평가를 거쳐 '25년에는 연간 1,000톤 규모로 증설 예정



출처 : 일렉트릭파워저널, 서부발전, 차세대 발전기술 IGCC로 '발전 중', 2019.05.01.

[그림 4.10] IGCC 석탄가스화 기술 기반의 수소 복합 생산(Poly-Generation) 시스템

2-2. 오일샌드/세일가스 추출

- 알버타 주정부는 대부분 역청 형태로 생산되는 원유를 고가의 희석제를 사용하여 수송하는 단점을 해결하기 위해 '19년부터 부분개질기술 실증개발에 투자 중¹⁰²⁾
- 알버타에서 생산되는 API 8의 초중질유로 이를 API 19이상으로 높여 파이프라인 이송율을 30% 개선할 수 있는 부분개질 기술을 개발하기 위해 10억 달러를 투자

102) JWN Energy, 'Alberta considering six proposals for \$1B oilsands partial upgrading funding', 2018.11.23.

- 알버타에서 생산되는 중유는 하루 평균 50만bbl로 대부분 미국의 정유공장으로 수출되지만 희석제 처리로 인해 하루 평균 5천만 달러의 손실이 발생
 - 부분개질 기술은 대규모 완전개질 공정에 비하여 장치구성이 비교적 단순하며 설비 투자 및 운전유지비가 저렴하며 중소형 광구에 직접 설치가 가능
 - 주정부는 희석제 구매비용, 운송 용량 증대, 판매처 다양화 등을 위해 부분개질 기술을 개발하여 Edmonton 근처에 하루 77,500배럴의 부분개질 시설을 건설하여 실증할 계획
- 오일샌드 파이프라인 수출 중단 및 환경문제로 캐나다 석유 수출이 둔화되는 문제를 해결하기 위해 오일샌드 생산업체는 오일샌드 역청을 고체제품으로 판매하는 새로운 기술을 개발
- CN Rail과 Alberta First Nation은 '16년 기름유출 위험없이 오일샌드 역청을 수출할 수 있는 고체제품 'CanaPux'를 개발하고 '19년부터 생산시설을 건설 중
- 개발한 CanaPux는 오일샌드 역청을 7x7x5cm 크기의 고체 생성물로 전환하고 재생 플라스틱으로 밀봉하여 일반 컨테이너 차량으로 운송하도록 설계
 - CanaPux를 이용하면 파이프라인이나 유조선을 사용하지 않고 기존의 석탄수출 항구를 이용하여 정유공장에 역청을 판매할 수 있으며 희석제를 사용하지 않기 때문에 평균 배럴당 15달러 비용 절약이 가능
 - 파일럿 플랜트에서 실험한 결과, 하루 최대 10,000배럴의 역청과 약 275톤의 플라스틱을 사용하여 역청 생산이 가능
 - 제품을 130℃로 가열하여 역청과 플라스틱을 분리함으로써 가공이 가능하며 독성 시험결과 어류에 영향을 미치지 않으며 물에 뜨기 때문에 누출 시 수거가 편리
- 켈거리 대학의 Ian Gates 교수는 '17년 역청 개질방법을 연구하다가 역청의 점점을 높여 고체 알갱이(Pellet)로 만드는 공정을 개발
- 연구진은 추가적인 연구를 통해 파이프라인 이송을 위한 희석제를 첨가하는 것과 동일한 에너지를 사용하여 다양 크기의 펠릿을 만드는 공정을 개발
 - 펠릿은 고체물질로 기름유출 위험없이 운송이 가능하며 내부에 주입된 기포에 의해 누출되어도 수거가 편리하여 환경오염의 영향도 미비
 - 펠릿을 80~100℃로 가열하고 경유를 약간 첨가해 중유로 변환할 수 있으며 펠릿 자체를 그대로 아스팔트 정제소에 사용도 가능



CanaPux

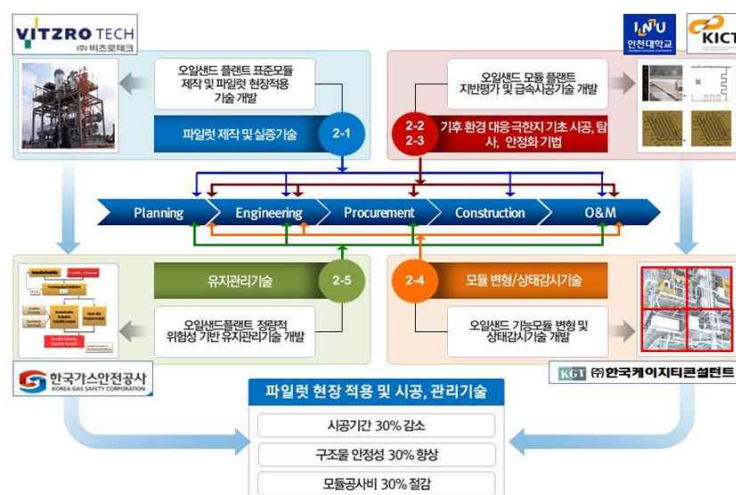


Pellet

자료: ALBERTA VENTURE, '3 Companies Betting on Cold Bitumen Transport Technologies', 2019.5.31.

[그림 4.11] 오일샌드 역청을 운반하기 쉽게 만든 고체제품

- 오일샌드 플랜트 모듈화기술 연구단은 오일샌드 플랜트 건설사업의 경제성 향상을 위한 오일샌드 플랜트 모듈화 기술개발 연구를 '20년 완료예정
- 국토교통부는 오일샌드 플랜트 구조물을 해상과 육상 운송에 적합한 크기의 단위로 모듈화시켜 운송과 현장설치를 용이하게 함으로써 공사기간과 공사비를 절감하는 기술 개발을 목표로 '20년까지 연구개발을 추진
 - 오일샌드 플랜트의 모듈화를 향상을 위해 운송에 최적화된 컴팩트 기능모듈과 표준 집적모듈, 구조프레임 모듈 개발 등 해외업체와 차별화된 고유 모듈 개발
 - 모듈의 정밀 제작기술을 비롯해 현장 단기시공과 연결기술, 모듈 유지관리기술과 고성능 소재 이용기술 등 현장 적용기술도 개발



자료: 건설기술, '운송 가능 크기로 제작 현장조립. 공사비 공기 줄여', 2017.06.13.

[그림 4.12] 오일샌드 플랜트 모듈화 기술개발 연구 개요

- SK건설은 캐나다 포트힐스 오일샌드 플랜트 사업을 수주하고 캐나다의 높은 인건비와 척박한 기후조건을 고려해 국내에서 철골 구조물을 제작·운송하여 '18년 3월 준공
- SK건설은 '14년 사업 수주 이후 캐나다의 높은 인건비와 척박한 기후조건을 고려해 국내에서 플랜트 철골구조물을 모듈로 일괄 제작해 캐나다로 운송·조립하는 방식으로 공사를 진행
 - 부산항과 목포항에서 30~100톤 무게의 모듈을 선적해 캐나다로 이송하기 시작한 14개월만에 모듈 이송 작업을 완료
 - 선적한 750여개 철골 모듈의 총 부피가 61만 7,000m³, 캐나다 내 육로 수송 거리만 2,000km이르고, 이송 예산으로 8,500만 달러가 소요



자료: 한국건설신문, 'SK건설, 캐나다 최대 오일샌드 플랜트모듈 이송완료!'

[그림 4.13] 플랜트 모듈의 육로로 운송하는 모습

2-3. 극한지역 자원개발

- 러시아에서는 초대형 북극에너지개발 프로젝트인 야말LNG 개발사업이 '17년에 1차 완성되어 생산 중이며 '22년 생산목표로 북극-2 LNG 프로젝트를 추진 중
- 야말 LNG 프로젝트는 시베리아 최북단 야말반도의 남타베이스코예 가스전에서 생산된 천연가스를 액화해 연간 1,650만톤의 LNG를 생산, 수출하는 사업
 - 야말 LNG 프로젝트는 러시아 최대 민영 가스회사인 노바텍이 프랑스 에너지 기업 토탈, 중국석유천연가스유한공사 등과 합작으로 추진
 - LNG 생산을 위해 연간 550만톤의 생산용량을 가진 트레인 3개가 운영될 것이며 '17년 12월 첫 번째 트레인이 가동을 시작
 - 생산된 LNG는 첫 채빙 LNG선 '크리스토프 드 마르주리'호에 선적하여 야말반도

사베타항에서 북극항로를 통해 중국 등 아시아와 북유럽 지역으로 LGN를 운송

- 러시아는 야말 LNG 프로젝트 이후에 북극-2 LNG 사업을 추진하여 북극지역의 LNG 개발을 가속화
 - 북극 LNG-2 사업은 야말 반도 인근 기반 반도에 연간 총 1,980만톤의 액화설비를 건설을 계획하고 있으며, 트레인 1의 가동을 '22~23년에 개시할 계획
 - 액화설비 건설비용을 절감하는 방안으로 액화설비를 육상에 건설하지 않고 카라해 중력 플랫폼에 모듈식으로 건설할 계획
 - 무르만스크시 콜라만에 조선소를 건설하여 상기 중력 플랫폼과 설비 건설에 필요한 부품 및 장비들을 자체 제작하여 조달함으로써 비용을 최적화하는 것을 목표
- 발틱 LNG 사업은 상트페테르부르크에서 약 150km 떨어진 Ust-Luga 지역에 연간 생산용량 1,000만 톤의 액화설비를 건설하는 프로젝트로, 첫 가동 시점이 '23~'24년으로 계획
 - Gazprom社は 발틱 LNG를 소규모 공급설비로 개편하는 대안도 구상하고 있으며, 특히 유럽의 주요 신흥시장인 LNG 선적을 위한 병커 연료 또는 수송연료용 LNG 수요를 충족시킬 소규모 액화설비 건설을 고려

단위:만t(연간), 수출 규모, ()안은 수출 시작 년도



자료: 중앙일보, '단독] 북극산 LNG 첫 추출...세계 LNG 시장 판도 바뀐다', 2017.12.07.

[그림 4.14] 러시아의 주요 LNG 프로젝트(좌)와 북극산 LNG 수송루트(우)

- 미국 알래스카시는 주정부의 수입원을 증진하고 알래스카 주민에게 저렴한 가스를 공급하기 위해 알래스카 LNG 프로젝트를 추진 중
- 알래스카 LNG 프로젝트는 알래스카 북단의 천연가스 생산지인 프루도베이(Prudhoe

Bay)에서 LNG 수출을위해 800마일 길이의 가스관 건설이 핵심인 사업

- 알래스카 북단의 천연가스 생산지인 프루도베이(Prudhoe Bay)에서 중남단의 니키스키(Nikiski)까지 이어지는 800마일 길이의 가스관과 가스처리시설(프루도 베이), 액화처리시설(니키스키) 건설할 계획
- '19년 연방에너지규제위원회에서 알래스카 LNG 프로젝트에 대해 환경영향평가를 시행하고 있으며 환경영향평가 결과서에 따라 프로젝트 개발승인 예정이나 800마일의 파이프라인 건설비용 때문에 투자자를 찾고 있는 상황

○ '19년 Qilak LNG는 알래스카의 천연가스를 생산지 근처 Point Thomson의 쇄빙 유조선에 LNG를 선적하여 수출하는 새로운 프로젝트를 제안

- 지난 30년 동안 지구온난화로 해빙의 양이 크게 줄었으며 쇄빙선 건조 기술이 발전하면서 북극해를 통해 LNG 운송이 가능
- 러시아 야말 LNG 프로젝트를 통해 쇄빙선을 통해 유럽과 아시아로 가스를 판매 하는 것이 가능한 것을 검증
- 또한, 800마일의 파이프라인 건설이 불필요하여 프로젝트 비용이 2/3으로 줄어들 것으로 예상되어 재정적으로 실현 가능성이 향상



자료: 알래스카 LNG 홈페이지(<https://alaska-lng.com>)

[그림 4.15] 알래스카 LNG 프로젝트 개요도

□ 우리나라는 '18년부터 북극권 에너지자원 플랜트 현지 적용기술 개발을 위해 건설환경 정립, 사업리스크 확률분석, 현지화 플랜트 공정의 개념설계 등에 관한 연구가 진행 중

○ 극한지 플랜트 건설사업의 Pre-FEED 단계에서 요구되는 공정 Configuration

기술의 역량을 확보하는 것을 목적으로 '18~'23년까지 연구 추진

- 현지제도, 문화, 기준 등의 사업환경과 현지의 입지, 기후, 경로, 조달여건 등의 건설환경을 분석하여 사업 수행단계별 리스크 요인을 평가 알고리즘 개발
- 현지 개발환경 등에 관한 정보와 소요기술에 대한 정보를 분석하고 이를 기반으로 선행계획/기초설계 적합성 시뮬레이션 소프트웨어 개발
- 기술무역 장벽 해소를 위한 현지 법규/기준에 따른 시험운용 및 인증 체계 구성

2-4. 자원이송

□ Nord Stream AG社は Nord Stream프로젝트의 건설 및 운영 경험을 바탕으로 발트해저를 통해 러시아와 유럽을 연결하는 1,200km의 Nord Stream 2 프로젝트 추진 중

※ Nord Stream AG社は PJSC Gazprom, Wintershall Dea GmbH(이전 Wintershall Holding GmbH), PEG Infrastruktur AG(PEGI/E.ON 자회사), NV Nederlandse Gasunie, ENGIE의 합작회사로 '05년에 발트해를 통해 천연가스 파이프라인 2개를 계획, 건설 및 운영하기 위해 설립

○ '18년 9월 Nord Stream 건설 프로젝트에서 검증된 기술로 러시아의 UST-LUGA와 독일의 GREIFSWALD를 연결하는 약 1,200km의 해저 파이프라인을 건설 중

- 러시아의 Portovaya 승압 스테이션의 파이프라인 출구 압력은 220bar이며 독일 출구압력은 106bar로 세계 최초로 추가적인 승압 스테이션이 없이 파이프라인을 구축
- 강도와 탄성이 높은 재료를 자체개발하여 파이프라인을 제작하였으며, 내부 표면 거칠기는 6 microns 미만으로 연마하고 폴리머 코팅하여 유지보수를 최소화
- 파이프라인 모니터링을 위해 'Smart Pigs'를 사용할 계획이며 Pigs가 경로를 따라 이동할 수 있도록 파이프라인 직경은 1,153mm로 오류는 1mm 미만으로 제작



자료: Gazprom 홈페이지(<https://www.gazprom.com>)

[그림 4.16] Nord Stream 1, 2 프로젝트 개요

- 캐나다는 '19년 1,150km의 Trans Mountain 파이프라인 확장 프로젝트를 승인하고 '22년까지 약 980km를 새로운 파이프라인으로 교체
- 알버타주의 스트라스코나 카운티에서 브리티시컬럼비아주의 버나비 사이의 파이프라인의 루트를 최적화하고 중질 원유를 운반할 수 있도록 확장
 - 기존 파이프라인은 정제된 원유나 경질원유를 운반할 수 있도록 설계되어 있으며 경제성 향상을 위해 중질원유도 운송할 수 있도록 12개의 펌프 스테이션을 추가
 - 1,150km 중 980km는 새로운 파이프라인으로 교체되며 그 중 193km는 기존 파이프라인을 재활용하여 사용
 - 파이프라인 루트의 73%는 기존 루트를 사용하지만 16%는 통신, 하수관, 고속도로, 11%는 신규도로와 같은 선형 인프라와 동일한 루트를 사용하도록 설계
 - 강화된 환경 및 안전규제에 따라 유해물질 배출 저감, 농지 및 주거지역 재생, 유출방지 및 비상대응 계획 등을 프로젝트에 포함

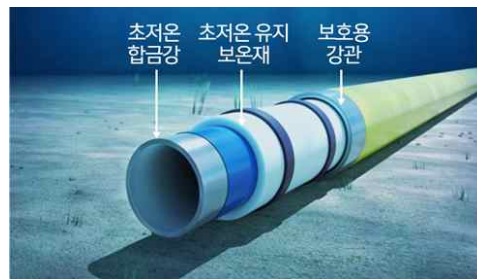


자료: TransMountain 홈페이지(<https://www.transmountain.com>)

[그림 4.17] Trans Mountain 파이프라인 확장 프로젝트 개요

- 대우건설은 서호주대학, 멜버른 대학과 공동으로 -160°C 의 LNG를 수송할 수 있는 극저온 해저파이프라인 원천기술 개발을 추진 중

- 극저온 상태의 LNG를 이송하는 파이프라인은 세계에서 가장 까다로운 노르웨이 선급의 설계 기준을 충족해야 하며 이에 부합하는 설계를 수행할 수 있는 기술을 보유한 국내회사는 대우건설이 최초
 - 대우건설은 S-Oil 부유형 해저파이프라인 2호기의 입찰에서 심해저(2,000m) 배관 설계기술을 확보하여 상세설계를 포함한 모든 공정을 자체기술로 수행
 - 극저온 심해저 파이프라인은 내관과 외관의 두겹으로 구성하여 내부 유체의 보온 문제, 해양환경 및 지진 관련 문제 등을 복합적으로 해결할 수 있도록 설계
 - 호주정보와 서호주 대학의 투자를 받아 극저온 해저파이프라인 원천기술을 개발하고 있으며 향후 본 기술이 상용화되면 수소 인수 기지터미널에도 적용 가능



자료: 세계일보, '대우건설, 심해저 LNG배관 설계 기술 개발', 2019.07.05.

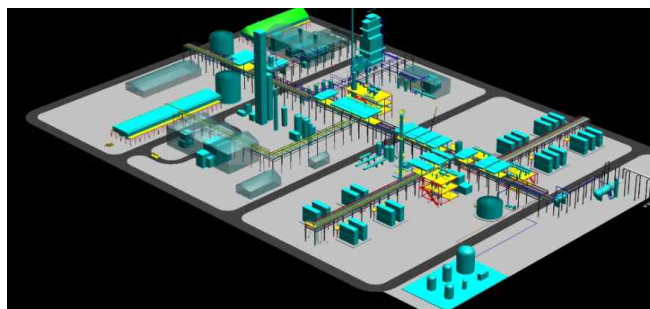
[그림 4.18] 극저온 LNG 수송 파이프라인 개념도

- 포스코가 '13년 개발한 극저온용 고망간강은 '17년 국제재료 및 규격 관련 표준기구인 ASTM Int'l에 표준기술로 등재된 후 LNG 탱크 및 파이프라인에 적용
- 고망간강은 망간이 22.5~25.5% 포함된 소재로 -196°C에서도 파손되지 않고, 스테인리스강이나 9% 니켈강 등 기존의 강재보다 인성 및 인장강도가 우수한 재료
 - 기존 LNG 탱크용 소재로는 주로 니켈합금강이 사용되고 있으나, 니켈은 일부 국가에서만 생산될 뿐만 아니라 공급이 불안정하여 가격변동이 큰 소재
 - 저온용 고망간강 제품은 전 세계적으로 생산량이 풍부하고, 상대적으로 가격이 저렴한 망간을 첨가한 강판으로 기존 소재보다 인성과 인장강도가 우수하며, 기존 소재 중 가장 저렴한 9%니켈강보다도 약 30% 저렴
- 망간 함유량 조절을 통해 내마모 성능이 한층 강화된 포스코의 고망간강이 세계 최대 석유 회사 엑손모빌의 오일샌드 슬러리파이프용 소재로는 최초 적용

- 포스코와 엑손모빌은 '14년부터 '18년까지 슬러리파이프용 소재로 고망간강을 적용하기 위해 공동으로 슬러리파이프를 제조하고 현장설치를 통해 품질을 검증
- 고망간강은 기존 강관 대비 내마모성이 3배 이상 우수하고 마모가 진행될수록 더 단단해지는 특성을 지녀 슬러리파이프의 수명을 획기적으로 연장 가능

2-5. 천연가스

- CompactGTL사는 마이크로 반응기술을 적용한 소규모 모듈식 GTL 플랜트를 '18년 세계 최초로 카자흐스탄에 건설하여 상용화
- 소규모 모듈식 GTL 플랜트는 하루 2,400만 ft^3 을 공급받아 3,000 bpd의 합성 디젤을 생산하여 카자흐스탄에 공급
 - CompactGTL사는 마이크로 반응기술을 적용한 소규모 모듈식 GTL 기술을 브라질과 영국의 파일릿 플랜트에서 지속적으로 운영하여 안전성, 견고성, 작동성, 신뢰성 등을 검증하여 상업화
 - 카자흐스탄의 모듈식 GTL 플랜트는 '14년부터 1년간의 엔지니어링과 약 2년의 기간동안 건설하여 '18년부터 합성 디젤 연료를 생산



자료: CompactGTL 홈페이지(<http://www.compactgtl.com>)

[그림 4.19] 카자흐스탄 CompactGTL 플랜트의 3D 모델

- Velocys사는 세계에서 가장 컴팩트한 FT(Fischer-Tropsch) 공정기술을 개발하여 고급 바이오 연료를 생산할 수 있는 플랜트를 건설 중
- 영국항공, 쉘사, Velocys사가 공동으로 가정 및 산업에서 배출되는 고형폐기물로 제트연료를 생산할 수 있는 플랜트를 '21년부터 건설하는 Altalto프로젝트 수행
 - 계획 중인 플랜트는 Immingham 근처에서 매립 또는 소각되는 일상 폐기물을 매년 50만 톤 이상을 소비하여 2,000만 갤런의 항공연료를 생산할 예정

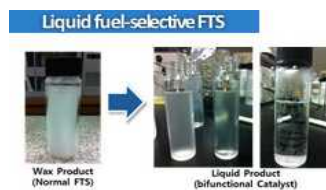
- 생산된 항공연료는 톤당 온실가스 배출량을 70% 감소시킬 수 있으며 그을음이 최대 90% 감소, 황산화물은 100% 감소 가능한 청정연료
 - Velocys社は 자체개발한 Velocsys Actocat 촉매를 포함한 마이크로 채널 FT 원자료를 공급하여 탄소와 수소 혼합물을 연료로 만드는데 필요한 액체 탄화수소로 바꾸는데 활용
- Velocys社와 OxyVoice Venture社は 미국 미시시피 주에 목재 폐기물 바이오매스로 디젤연료를 생산할 수 있는 플랜트를 '21년까지 건설하는 것을 목표로 Bayou Fuels 프로젝트를 추진
- 건설 중인 플랜트는 매년 2,500만 갤런의 디젤 연료를 생산할 수 있으며, CCS 기술을 활용하여 탄소배출 제로화 추진
 - Bayou Fuels 프로젝트는 목재 폐기물 바이오매스를 Velocys社の FT 공정을 사용하여 대형트럭용 디젤 연료로 변환



자료: Velocys 홈페이지(<https://www.velocys.com>)

[그림 4.20] 건설 중인 Baoyu Fuels 프로젝트의 항공사진

- 한국화학연구원은 '15년 마이크로 GTL기술을 0.2bpd 규모의 파일럿 플랜트에서 개발하고 '20년까지 20BPD급 데모 플랜트 운전을 진행 중
- 마이크로 반응기술을 활용하여 상용 반응기 대비 90%이상 부피 축소형 마이크로 FT 합성용 반응시스템을 0.2bpd 규모의 파일럿 플랜트에서 기술을 개발
- F-T 반응은 강한 발열 반응이지만 마이크로 채널반응기를 사용함으로써 반응기 내 온도를 5도 이내에서 조절하여 생성물의 선택도와 올리고 촉매 성능을 극대화함으로써 기존 반응기에 비해 10배 이상의 생산성을 증대



마이크로 채널 FT 반응기
 자료: 한국화학연구원 홈페이지(<http://cri.kRICT.re.kr>)

마이크로채널 반응기용 촉매

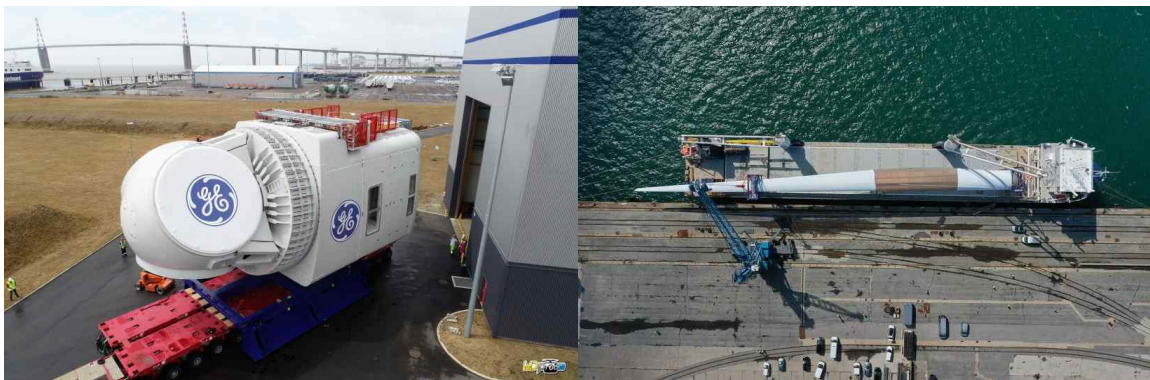
FT 공정패키지

[그림 4.21] 한국화학연구원의 마이크로 GTL 연구성과

3. 신재생에너지 플랜트

3-1. 풍력

- 풍력발전은 민원, 발전 효율, 건설비 절감 위해 해상풍력 중심으로 대형화하여 추진 중이며 로터직경 220m 발전설비가 개발 완료되어 상업 운영 예정
- GE는 세계 최대 풍력발전 설비인 Haliade-X를 개발하였으며 덴마크 재생에너지 회사 외르스테드사는 Haliade-X를 활용, 미국의 2곳에 풍력 단지 건설계획을 발표
 - GE는 기존의 덴마크 MHI 베스타스社 V164(로터 직경 164m, 발전용량 8MW) 대비 발전용량이 45% 증대된 Haliade-X 개발을 완료하고 시운전 중
 - Haliade-X 개발에 약 4억 달러의 연구개발비를 투입하였으며 로터 직경 220m, 발전용량 12MW로 '19년 기준 세계 최대 규모
 - 대당 연간발전량은 67GWh로 유럽 기준 1만 6천 세대에 전력을 공급가능한 규모로 미국 뉴저지 오션윈드 등 2곳에 설치되어 전력생산 예정



출처: www.ge.com/renewableenergy

[그림 4.22] GE사가 개발한 Haliade-X 발전기 및 블레이드

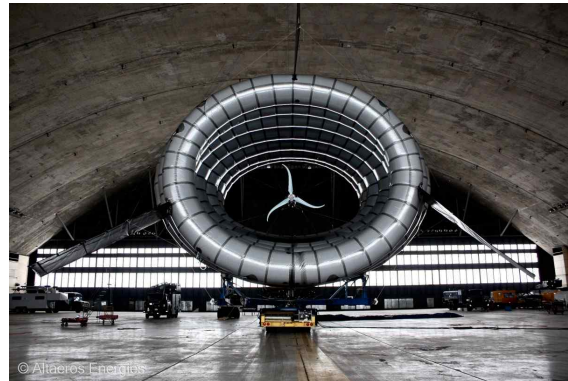
- 현재 높이 276m, 용량 15MW의 풍력발전설비가 개발 중에 있으며 상업 운전 시 '14년 대비 50% 이하 수준으로 전력생산 단가가 하락할 전망¹⁰³⁾
 - 영국 에너지 연구기관인 ORE catapult는 15MW의 풍력설비 시험설비를 구축하고 관련 시험 및 제품 인증 중
 - '22년에 상업운영 예정인 Hornsea2 프로젝트는 영국 동부 근해에 건설 예정으로 총 2.4GW 전력을 15MW급 풍력설비 등을 활용하여 공급할 예정

103) 더타임즈 2017.09.11

- 최근 풍력발전의 효율 증대 및 간헐성 극복을 위해 풍력이 강하고 일정한 풍력이 유지되는 고공 풍력을 활용하는 다양한 연구가 추진 중
 - 구글 자회사인 Makani Power는 300m 해상 공중에서 프로펠러식 풍력발전기 8대를 장착한 600KW급 항공기형 발전장치를 개발하고 '20년 6월 시험가동 예정
 - Altaeros사는 제작비용 절감을 위해 헬륨가스를 활용한 기구를 이용하여 부유식 풍력터빈을 개발하고 300m 상공에서 시험 운영 중



출처: Makani, Altaeros Energies



[그림 4.23] Makani사 및 Altaeros사가 개발한 공중 풍력발전장치

- 국내 풍력발전설비 업체는 4.2MW와 5.56MW급 풍력발전설비 개발에 성공하여 대형 풍력 터빈 생산체제를 구축하였으며 8MW급을 '22년 상용화 목표로 개발 중
 - 두산중공업은 '19년 5.56MW급 풍력발전설비를 개발하고 평균풍속 6.5m/s에서 30% 이상의 이용률 확보가 가능한 고효율 8MW 풍력터빈을 개발 중
 - 유니슨은 '15년에 4.2MW급 풍력터빈 개발에 착수하여 '18년 전남 영광군에 실증운행을 실시하고 '19년 국제인증기관인 DEWI-OCC로부터 인증 획득



출처: www.windpowermonthly.com

[그림 4.24] 두산중공업 5.56MW 풍력설비 및 유니슨 4.2MW 풍력설비

3-2. 해양

- 기존의 조력댐에 의한 발전은 환경 및 민원의 문제로 추진이 어려워짐에 따라 조류 흐름을 이용한 조류발전이 신재생 에너지로 부각되면서 다양한 기술이 개발 중
- 조력발전은 갯벌이나 해안에 조력댐을 건설하여 조석현상을 이용하는 방식으로 해안경관 훼손 및 갯벌 개발이 필수적으로 동반되어 세계적으로 기피현상 증가
- 조력발전 대안으로 조류발전이 부각되고 있으며 발전 터빈을 수중 유속 2m/s 이상의 해저에 고정하여 발전하는 방법으로 효율 증대 위해 대형화 추세
 - 영국 MCT社는 영국 북아일랜드에 용량 1.2MW, 로터직경 15m의 세계 최대 규모의 조류발전시스템 Seagen을 설치하여 세계 최초 상업용 발전 성공
 - 영국 Atlantis사는 GE와 함께 약 5백만 파운드 연구비를 투자해 로터직경 20m, 용량 2MW의 세계 최대 발전설비 AR2000의 설계를 완료하고 제작 중



< AR2000 조류발전기 모식도 >

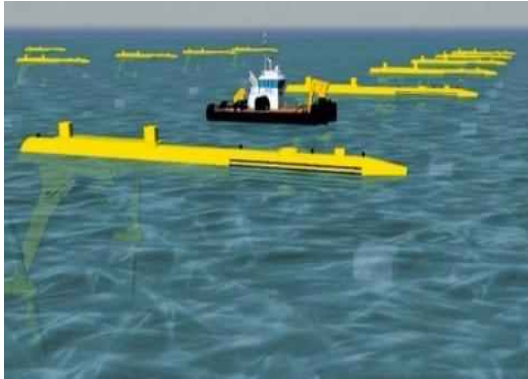


< 영국 MCT社 Seagen 고정식 조류발전기 >

출처: www.proactiveinvestors.co.uk, masterok.livejournal.com

[그림 4.25] 고정식 조류발전장치 설치 사례

- 고정식 조력발전장치는 해저에 고정됨에 따라 유지보수 비용이 높아 최근에는 유지보수가 간편하고 작동방식이 간편한 부유식 장치 연구가 활발
 - 영국의 스타트업 STP는 길이 60m, 지름 3.8m의 부표에 직경 16m의 로터 2개를 달아 최소 25m 깊이에 바다에서 2MW 발전 가능한 SR2000 개발
 - 2MW는 현존하는 조류발전장치 중 최대 용량으로 12개월 시험가동을 통해 연간 3GWh의 전력 생산하였으며 고정식 대비 유지보수비를 획기적으로 개선



출처: 차세대 신재생에너지, '조력발전'(터사이언스타임즈, 2018.09.04)

[그림 4.26] STP社가 개발한 부유식 조력발전장치 SR2000

- 파력은 유해물질이 없고 높은 에너지 밀도를 가진 차세대 에너지원으로 파력 변동에 의한 효율증대 및 유지보수 절감 위해 다양한 연구개발 진행 중
- 최근 개발 또는 상용화되는 파력발전장치는 파랑과의 충돌에 의한 피해를 최소화 하는 방향으로 추진 중
 - 핀란드 Wello社는 EU의 Horizon2020의 지원으로 파랑의 충격이 거의 없고 지속 발전이 가능한 “Penguin”을 개발하고 '19년 이탈리아 Saipem사와 상용화 착수
 - 수심 50~60m의 해수면에서 약 2m 정도 올라와 파력을 활용하며 길이는 30m, 무게는 1,600톤으로 발전용량은 최대 1MW로 개발
 - 호주의 Carnegie社는 수중의 부표가 파력에 의해 상하운동을 통해 전력을 생산하는 CETO를 개발하고 '19년 개량형 CETO 6가 시험운영 중
 - 수심 15~45m에 설치되어 태풍에도 부서지거나 유실염려가 없으며 CETO 6는 1MW 용량으로 호주 HMAS 스틸링 해군기지에 설치



출처: www.power-technology.com

[그림 4.27] Wello社의 Penguin와 Carnegie社의 CETO 5, 6

□ 해수온도차발전은 북위 20°~남위 20° 지역의 일정 온도를 유지하는 지역에서 효과적이며 부존에너지량이 71TW로 막대하여 상용화 위한 연구가 추진 중

○ 미국 Lockheed Martin은 하와이 마카이에 연간 100KW의 OTEC* 플랜트 운영 경험을 바탕으로 중국 하이난에 세계 최대 규모 10MW급 OTEC 플랜트 건설 중

* OTEC(Ocean Thermal Energy Conversion) : 해수온도차발전

- 전문리조트 운영 회사인 Reignwood Group과 합작 투자하여 신규 리조트전력을 대체할 예정이며 향후 규모를 확대하여 100MW급 OETC 플랜트 추진 예정
- 미해군은 작전지역에서 용이한 전력확보를 위해 Lockheed Martin과 OTEC 응용분야 관련 다양한 협력을 하고 있으며 최대 100MW 상용급 개발 목표 수립

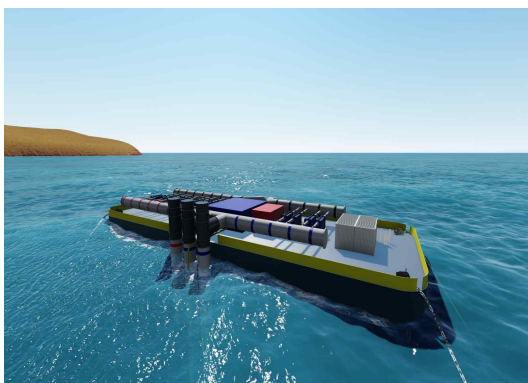
○ 프랑스 DCNS사는 유럽위원회 NER300 프로그램에서 7,200만 유로를 지원받아 카리브해 마르티니크에 16MW 규모의 부유식 OTEC*플랜트 NEMO를 설치 중

* OTEC(Ocean Thermal Energy Conversion) : 해수온도차발전

- '20년 설치 완료 예정으로 4개의 4MW 모듈로 구성된 NOMO는 순수 출력은 10.5~11MW로 추정되며 약 35,000 가구에 전력공급이 가능

○ 영국 Global OTEC Resources는 유럽위원회 Marine-i프로그램에서 80,000 파운드를 지원 받아 '21년 몰디브에 부유식 OTEC 플랜트 운영 계획을 발표

- 몰디브에 설치될 OTEC 플랜트는 연간 약 1,100MWh를 발전하도록 설계 되었으며 Fenfushi섬 전력수요의 100% 충족 가능하며 담수생산 기능도 포함



< 영국 Global OTEC Resources의 OTEC 플랜트 >

출처: www.otecnews.org



< 프랑스 DCNC社의 NEMO >

[그림 4.28] 유럽의 해수온도차발전 플랜트

- 우리나라는 '15년 “해양에너지 중장기 개발계획”을 수립하고 '25년까지 신재생에너지 중 1.6%를 해양에너지로 보급 목표를 설정하여 다양한 연구개발을 추진
- 한국해양과학기술원은 200KW급 조류발전시스템(KS200)에 성공하고 1MW급 조류발전장치를 개발 중으로 '21년까지 국제공인시험기관 인증 획득 예정
 - 200kW급 수평축 조류발전시스템은 로터 직경 12m, 육상중량 81톤, 수중 중량 23톤으로 정격유속은 2.3m/s, 발전효율은 25%로 1MW급 조류발전장치의 전 단계
 - '21년까지 4.5MW급의 조류 발전 시험장(울돌목 1개소·장죽수도 4개소)구축하여 1MW급 발전시스템 개발시 해당 시험장에서 실증할 계획을 수립 중
- 한국해양플랜트연구소는 '15년 1MW급 해수온도차발전 플랜트 설계기술을 확보 하였으며 국내 실증 테스트 후 '21년 키리바시공화국 해역에 설치·운영 예정
 - 무게 6,700톤, 지름 35m의 팔각형 구조물로 4개의 데크로 구성되어 있으며 해안에서 6km 거리의 수심 1,300m 바다에 설치 예정



< KS200 조류발전장치 >

< 실증용 1MW급 해수온도차발전장치 >

출처: 한국해양과학기술원, 선박해양플랜트연구소 홈페이지

[그림 4.29] 국내 조력발전장치 개념도

- 한국건설기술연구원은 '19년 24시간 안정전력 생산 및 기존 부유식 대비 시간평균 24.1% 높은 발전효율을 가진 신개념 파력발전시스템을 개발
 - '2중 변환장치'와 '자동 위치조절장치'를 활용, 수위 및 파력에 따른 조절이 가능 하여 24시간 발전이 가능하고 1기당 생산전력은 시간당 평균 3KW 발전
- 해양수산부는 '16년 제주시 용수리에 500KW 시험파력발전소를 구축하고 운영 중 으로 '25년까지 5MW급 상업용 실증단지로 확대할 예정

3-3. 바이오

- 바이오에너지는 식량작물을 원료로 하는 1세대와 목재류를 원료로 하는 2세대에서 미세조류를 이용하는 3세대로 구분되며 최근에는 3세대 연구가 활발
- 미세조류의 오일 생산성을 높이기 위해 지질함량과 성장속도가 높은 미세조류종을 자연계로부터 분리하려는 연구가 진행 중¹⁰⁴⁾
 - 미국 Solarzyme社は 유기성 폐수를 활용, 미세조류를 대량 생산 후 바이오디젤 생산 원료로 활용하는 기술을 개발하고 파일럿을 통한 실증연구 중
 - 미국 Solix社와 독일 IGV-GmbH 등은 발전소 및 산업체 배출 이산화탄소를 기질로 미세조류를 대량 생산, 바이오디젤 생산원료로 활용하는 기술개발 및 실증 중



< Solzyme 오일생산 시스템 >

출처: Solzyme, Solix BioSystems 홈페이지



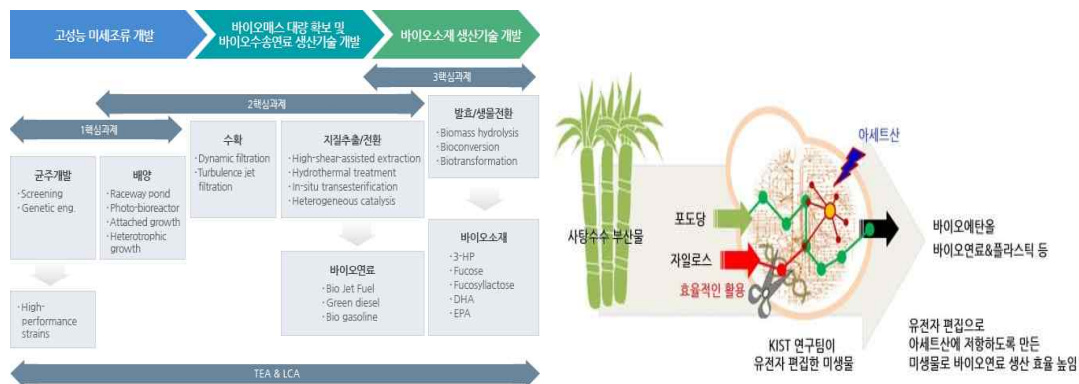
< Solix BioSystems 미세 조류 연료 생산 시험 시설 >

[그림 4.30] 미세조류 활용 바이오연료 생산시스템

- BT기술을 이용하여 미세조류의 형질 개량을 통해 오일 생산성을 획기적으로 높이려는 연구가 다양하게 추진 중
 - 대표적인 석유회사 엑슨모빌은 ‘Nannochloropsis Gaditana’라는 미세조류를 유전공학 기술을 이용하여 지방함량을 20%에서 40%로 증가시키는 기술을 개발
- 목질계 바이오매스 활용한 에탄올 생산기술의 생산성 향상 위해 셀룰로스와 헤미 셀룰로스 최적 추출 위한 다양한 전처리 기술 개발 연구가 진행 중
- 덴마크 Novo와 미국 Genencore는 전처리 공정에서 확보된 셀룰로스를 당화하는데 필요한 효소 생산비용을 기존의 1/10로 절감하는 기술을 확보

104) KPA JOURNAL 해외 차세대 바이오연료 기술개발 동향(2019년 가을호 vol.313)

- 과학기술정보통신부는 “차세대 바이오매스 연구단”을 설립하여 '19년까지 총 908억 원을 투입하여 “바이오연료·소재 기술강국 실현”을 목표로 관련 기술 확보¹⁰⁵⁾
- 바이오항공유 및 유전자 교정, 미세조류 연속 대량생산 등 바이오매스 관련 핵심기술을 세계 최고 선진국 대비 97%를 확보
 - 광생물 반응기 표준모델을 개발하여 배양용량 1.5배, 에너지사용량 60% 절감 가능하여 미세조류 대량생산 핵심기술을 확보
 - 촉매 및 관련 공정을 개발하여 미세조류 및 팜 오일로부터 세계최고 수율의 바이오항공유 생산에 성공



< 차세대 바이오매스 연구단 연구내용 > < KIST 개발 바이오매스 미생물 개념 >
출처: 차세대 바이오매스 연구단, KIST 청정에너지 연구센터 홈페이지

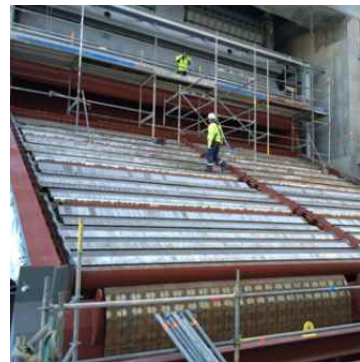
[그림 4.31] 국내 바이오매스 연구 현황

- '19년 한국과학기술연구원(KIST)은 목질계 바이오매스를 이용해 고농도의 바이오연료를 생산할 수 있는 미생물 개발
- 바이오연료를 생산하는 미생물의 유전체를 유전자가위로 편집하는 방법으로 ‘적응 진화공법’을 적용하여 바이오 연료 생산 효율을 획기적으로 증대
 - 타 제품을 생산하고 발생된 식물성 부산물로부터 바이오연료를 생산하는 기술로 이론상 효율이 98% 도달
 - 개발된 미생물로는 바이오연료 뿐 아니라 최근 시장이 급성장 중인 바이오플라스틱, 바이오 폴리머 등의 분야에도 적용 가능할 전망

105) (재)차세대바이오매스연구단

3-4. 폐기물

- B&W Vølund는 중국 선전시에 하루 168MW의 에너지를 생산할 수 있는 세계 최대 규모의 폐기물 에너지 플랜트를 건설하여 '20년부터 생산 예정
- 112,645m² 규모의 선전 동부 폐기물 에너지 플랜트는 B&W Vølund의 DynaGrate® 연소 화격자 시스템, 유압장치 등을 적용하여 하루 최대 5,600톤의 도시 폐기물 연료를 공급받아 168MW의 에너지를 생산
 - 선전의 폐기물 플랜트는 99% 에너지가 전기 및 냉난방에 이용되고 95%의 물과 90%의 금속이 회수되며, 슬래그는 도로포장에 활용할 수 있게 설계
 - 자체개발한 DynaGrate® 연소 화격자 시스템은 화격자 바와 라이너 사이에 접촉이 없어 마모가 없으며 최적의 폐기물 교반으로 효율적인 폐기물 연소가 가능하고, 바이오매스 생산이 가능
 - 66,000m²의 지붕에는 최대 44,000m²의 태양광 패널로 덮여 에너지를 생산할 수 있으며 방문객 센터와 전망대를 설치하여 주민 친화적으로 설계



자료 : BABCOCK&WILCOX 홈페이지(<https://www.babcock.com>)

[그림 4.32] 선전 동부 폐기물 에너지 플랜트(좌) 및 DynaGrate(우) 모습

- 스위스-일본 합작회사인 Hitachi Zosen Inova는 모스크바에서 '23년까지 4개의 폐기물 에너지 플랜트를 건설할 예정
- 4개의 플랜트는 각 연간 약 70만톤의 폐기물을 공급받아 75MW의 에너지를 생산할 예정이며, 모스크바의 날씨를 고려하여 설계
 - 4개의 플랜트가 모두 건설되면 약 500만명의 모스크바 시민들이 배출하는 280만톤의 폐기물을 처리할 수 있으며 150만명이 사용하는 전기를 공급 가능

- HZI는 HZI 연소 화격자 시스템, 수증기 싸이클, 유럽 온실가스 배출기준 보다 우수한 가스처리 시스템을 제공할 계획
- 모스크바의 추위를 고려하여 일반적으로 실외에 배치되는 대부분의 시스템을 실내로 배치하여 유럽과 다른 환경에서도 운영될 수 있도록 설계



자료 : BIOENERGY INTERNATIONAL, Consortium to construct four waste-to-energy plants in Moscow region, 2019.06.13.

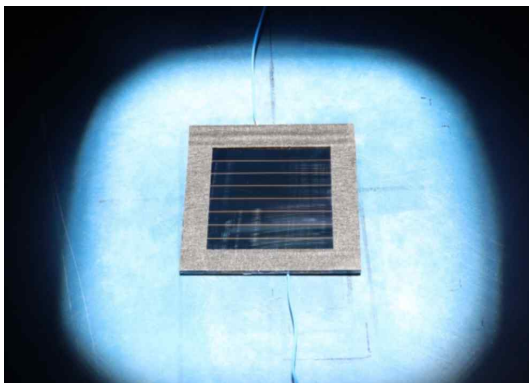
[그림 4.33] HZI社の 75MW 폐기물 에너지 플랜트 모습

- 국토교통부는 '19년 12월 도에서 발생하는 폐기물을 처리하고 연료와 에너지를 재생산하는 '도시 폐자원 에너지화 복합플랜트 시설'을 구축¹⁰⁶⁾
- 국토교통부는 '16~'20년까지 100억원을 투자하여 기존 전기·열에너지 사용료 대비 연간 3.3억원의 비용을 절감하는 도시자원 순환형 복합플랜트 기술을 개발
 - 1일 기준 생활폐기물 14톤, 음식물 5톤, 하수슬러지 4톤 등 폐기물을 처리하고 연료와 에너지를 재생산하여 도시에 공급하는 기술을 개발
 - 주요시설인 수열탄화 반응기, 미활용열 이용 건조기, 복합연료 연소기, 발전기 등을 100% 국산화하는데 성공
 - 수열탄화 기반 복합연료(고형연료, 바이오메탄) 생산기술, 고효율 열병합 기술, ICT 기반 사용자 맞춤형 운영관리 기술 등을 개발
 - 특히, 증기터빈에 연계된 흡수식 냉난방기술인 고효율 열병합 기술은 에너지 전환 효율이 기존 발전기 대비 50% 향상하여 85% 수준으로 개발
 - 환경기초시설과 전기·열 에너지 생산·공급시설 등을 연계함으로써 개별시설의 에너지 생산효율과 경제성이 향상되어, 7,000가구에서 발생한 폐기물로 550가구 에너지 자립화가 가능

106) 국토매일, '국토진흥원, 도시폐자원 에너지화 복합플랜트 기술개발 첫 준공', 2019.12.16.

3-5. 태양

- 태양전지는 기존 실리콘 대비 가격은 1/3이나 발전효율은 유사한 페로브스카이트(ABX_3) 소재개발로 이를 이용한 효율증대 및 안정성 연구가 활발히 진행 중
- 실리콘 태양전지는 고효율(26.1%) 및 장수명(20년)이나 생산 비용으로 인해 단가가 높아 저가이며 고효율인 페로브스카이트(Perovskite) 태양전지가 부각
 - 최근 한국화학연구원과 미국 MIT대학은 공동으로 '19년 세계 최고 효율(26.7%)을 갖는 페로브스카이트 태양전지 개발에 성공하고 상용화 추진 중



출처: www.kRICT.re.kr

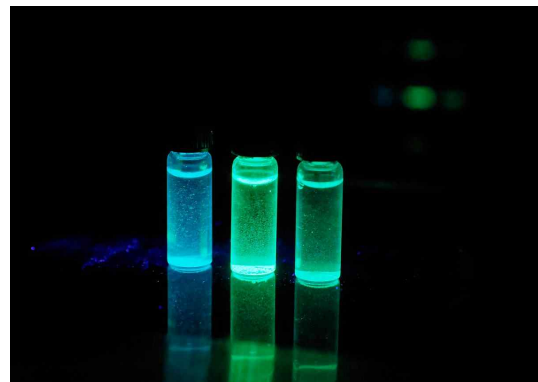


[그림 4.34] 페로브스카이트 소재를 이용한 태양전지

- 페로브스카이트(ABX_3)는 태양광 흡수율은 우수하나 독성 및 환경 여건에 따른 발전효율 감소 문제가 있어 이를 해결하기 위한 연구가 추진 중
 - '18년 울산과학기술원은 고습도에서 효율 저하를 개선한 방수막 합성법 개발에 성공하였으며 영국 서리(Surrey) 대학은 '19년 주석 기반의 불순물 제거 기술 개발

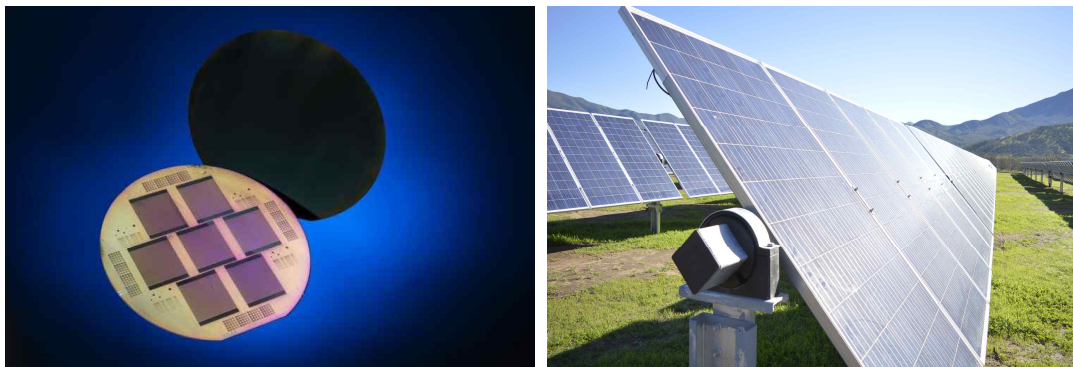


출처: <https://www.nanowerk.com/>



[그림 4.35] 페로브스카이트의 방수막 합성법 기술

- 실리콘 활용 태양전지 기술은 발전효율의 한계로 발전효율 개선보다 생산단가 절감 및 공정설계 개선 등을 중심으로 연구가 진행 중
- '18년 독일 태양에너지연구원(ISFH)에서는 단결정 실리콘 태양전지 중 세계 최고의 효율(26.1%)을 갖는 태양전지 개발에 성공하여 상용화 추진 중
- 중국 Trina Solar社에서는 다결정 실리콘 태양전지 중 세계 최고의 효율(23.3%)을 갖는 태양전지 개발하여 '18년에 상용화 성공



출처: www.pv-tech.org

[그림 4.36] 독일 ISFH 및 중국 Trina Solar의 실리콘 태양전지

- 국내 실리콘 태양전지 기술은 19.5~22% 수준에서 상용화가 되어 있으며 미국 캘리포니아 주, 텍사스 주 등 대규모 시장에 꾸준히 수출 중
 - 신성이엔지는 효율 22% 수준인 단결정 태양전지를 '17년에 개발하여 상용화에 성공하였으며 고효율 및 저가의 태양전지를 지속 연구개발 중
 - 한화큐셀은 '15년에 19.5% 효율의 다결정 태양전지 개발에 성공하였으며, 태양 광발전, 주택용 에너지 저장 솔루션 등 다양한 분야 적용 가능 제품을 개발 중



출처: www.industrynews.co.kr



[그림 4.37] 신성이엔지 및 한화큐셀의 실리콘 태양전지

3-6. 지열

□ 지열발전시스템에 적용되는 물을 이산화탄소로 대체하는 새로운 EGS 개념이 도입되면 관련 기술 실증 및 상용화 연구 추진 중

○ 기존 EGS시스템은 물을 주입하여 전력을 생산하였으나 생산 효율성(최대 18% 수준) 및 지속성(지열시스템 내구성 및 열손실 등) 이산화탄소가 대안으로 부각

* EGS(Enhanced Geothermal System) : 심부지열발전

- 미국 GreenFire Energy는 이산화탄소를 화산지역에 가두고 순환시켜 전력을 얻는 기술을 '16년에 처음 개발하여 관련 산업체들과 지속적인 실증 추진 중
- 일본 J-Power Company와 미국의 EPRI는 '18년에 기술 상용화를 위한 실증 추진 의사를 밝혔으며, 자국의 지리적 환경에 맞는 추가 연구개발 진행 중



출처: www.thinkgeoenergy.com

[그림 4.38] 이산화탄소를 이용한 지열시스템(美 GreenFire Energy)

○ 독일은 뮌헨지역의 특징적인 지질구조를 이용하여 Molasse 분지에서 지열수를 개발하여 50MW의 발전과 400MW의 지역난방을 공급하는 프로젝트 진행 중

- Molasse 분지내 위치별로 지하수 온도가 다른 점을 활용하여 효율적 공급 추진

○ 스위스는 쥐리히의 2,300가구의 아파트 및 주택, 상업시설을 연계한 스마트 열 그리드를 구축, 연간 35 GWh의 난방 및 80 GWh의 냉방을 공급하는 계획 진행 중

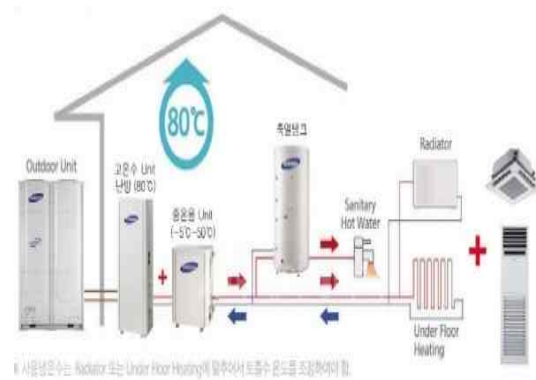
- 우리나라는 최신 지열시스템의 실용화를 위한 연구개발을 추진하였으나, '17년 발생한 포항지진으로 인해 관련된 연구개발이 중단된 상황
- 포항 지진 발생 원인이 지열발전소의 유체 주입이 유발한 것으로 학계 및 연구계의 발표가 지속됨에 따라 민원 등으로 관련 연구 추진이 어려운 상황
 - 심부지열발전 외에 이산화탄소 지중저장 관련 연구개발도 중단된 상황



출처: www.todayenergy.kr

[그림 4.39] 현재 중단된 우리나라의 연구개발사업

- 국내 지열직접이용 기술은 주택용 히트펌프 위주로 개발 중이며, 단일 제품개발 개발단계를 넘어 건축 냉난방시스템 적용으로 연구개발이 추진 중
 - 유천씨모텍은 '16년 세계 최초로 50℃~83℃ 수준의 고온용 지열 히트펌프 개발에 성공하였으며 공기열 히트펌프 등 신제품 개발 추진 중
 - 센도리는 '18년 주택에 사용할 수 있는 통합된 혼합형 심야전기 냉난방시스템 (최대 80℃ 수준)을 개발하여 대형병원 및 교육기관 등에 상용화에 성공



출처: www.windpowermpnthly.com

[그림 4.40] 유천씨모텍 및 센도리의 주택용 지열 히트펌프 시스템

3-7. 수소생산/인프라

- 미래 청정에너지로 수소가 부각되면서 시장의 급성장이 전망됨에 따라 세계 각국 및 기업은 관련 기술확보를 위한 경쟁이 치열한 상황
- 액체수소 공정기술은 수소를 액화시키기 위한 전체 사이클을 설계하는 기술로 미국, 프랑스, 독일의 주요 기업이 기술을 주도하고 세계 시장을 독점 중

〈표 4.1〉 액체수소 공정기술 관련 주요 기업

	Air Products(美)	Praxair(美)	Air Liquide(佛)	Linde(獨)
TPD(ton per day)	30-35	6-35	10	5
운영 플랜트 개수	4	5	2	2
운영 플랜트 국가	미국, 캐나다, 네덜란드, 일본	미국	프랑스, 캐나다, 기아나	독일, 미국, 일본, 중국 등

자료 : Korea Institute of machinery and Materials('19.5)

- 터보팽창기(Turbo Expander) 기술은 수소를 극저온(-253℃) 상태로 만드는 핵심 기술로 전 세계적으로 일부 기업만 해당 기술을 보유
- 프랑스 Air Liquide는 한 개의 트레인 당 1500L/h의 액화처리가 가능한 기술을 개발하였으며 Linde(獨), Cryostar(佛), PBS(체코) 등이 기술 선도그룹으로 분류



자료: <https://www.airliquide.com/>

[그림 4.41] 프랑스 Cryostar의 Turbo Expander

- 극저온(-253℃)의 액화수소를 단열상태로 보존할 수 있는 Coldbox 기술은 액화수소를 저장할 수 있는 핵심기술이며 액체수소 생산 주요기업들이 주도
- 미국의 Air Product사의 Coldbox 제품은 54TPD, 20K(온도), 1×10⁻⁵(진공도) 수준으로 세계 최고의 기술력을 보유

- 프랑스 Air Liquide사는 50TPD, 20K(온도), 1.3×10^{-5} (진공도) 수준의 Coldbox 개발하여 상용화 성공



자료: <https://www.gasworld.com/>

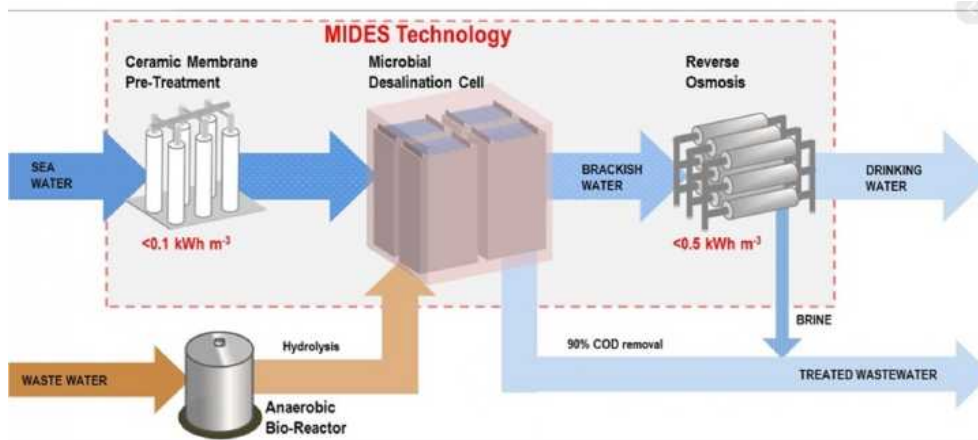
[그림 4.42] 미국 Air products와 프랑스 Air Liquide의 액화수소 Coldbox

- 우리나라는 수소사회 실현을 위해 정부부처합동으로 '19년 “수소기술개발로드맵”을 발표하고 수소에너지 관련 핵심기술 확보를 위한 연구개발 추진 중
- 수소 전주기(생산-저장·운송-활용-인프라) 분야별 목표 달성을 위해 필요한 핵심 기술 개발 추진 예정
 - '30년까지 수소 생산량 증대를 위한 고효율대용량 수전해 시스템 (50kWh/kg-H₂, 100MW급) 기술 개발하고, 태양광·풍력 등 다양한 재생에너지원과의 연계 실증 추진
 - 수소 운송량 증대 및 대량 저장·운송이 가능하도록 액체수소·액상수소화물 저장·운송 기술 개발 추진 예정
- 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원은 수소의 대용량 생산·저장·운송·활용 기반마련을 위해 “상용급 액체수소 플랜트 핵심기술 개발” 연구단을 출범
- 총 5년간 정부출연금 280억원의 연구비를 투입 통해 상용급(5ton/day) 고효율 수소액화 플랜트 핵심기술 확보 및 테스트베드 구축·운영 예정

4. 환경플랜트

4-1. 해수담수화

- 미국, 유럽, 한국 등은 기존 해수담수화 플랜트의 한계를 극복하기 위하여 에너지 저감 기술 및 분리막 소재를 개발
- 에너지-담수화 융합시스템을 연구하기 위해 미국의 DOE(Department of Energy)와 이스라엘의 MIEW (Ministry of National Infrastructure, Energy and Water Resources)가 협력하여 진보된 해수담수화 시스템을 구축
 - '17년 6월 ORNL(Oak Ridge National Laboratory)이 연구를 주관하며, 콜롬비아 대학교, Hazen and Sawyer DPC(수처리 기업), Brookhaven National Laboratory(국립 연구소)가 협력연구기관으로 연구 수행
 - 전력 상황에 따라 유동적인 운영이 가능한 해수담수화 시스템 개발로 전력망의 과부하를 줄이고, 생산수의 가격을 낮추는 것을 목표
 - 저염수부터 고염수까지 다양한 feedwater에 최적화된 해수담수화 기술, 신재생에너지발전, 양수발전(PHS: pumped-hydro energy storage), 전력 피크타임에 활용하기 위한 보조 전력 등을 적용하여 전력상황에 따라 에너지 소모를 직접적으로 조절하는 해수담수화 시설을 개발
- 유럽위원회(EC)는 전처리 기술인 MDC를 활용하여 안정한 음용수를 생산하는 지속가능한 저에너지 공정을 개발하기 위한 MIDES(Microbial DESalination) 프로젝트 수행
 - ※ MDC(Microbial Desalination Cells): 일종의 전기분해 담수화 기술로 미생물이 유기물을 분해하면서 발생하는 전기 에너지를 이용해 해수, 폐수의 음이온, 양이온을 추출하는 방식
 - '16년 4월 유럽에서 세 번째로 큰 수처리 기업인 FCC Aqualia가 연구를 주관하며 8개국의 12개 기업 및 연구 기관으로 구성하여 연구 수행
 - MDC에 사용되는 전극의 성능 향상, MDC에 적합한 막을 평가하고, 운전 환경 최적화하는 등 요소기술을 개발
 - lab scale의 MDC 기술을 scale-up하기 위한 주요 변수를 분석하여 파일럿 플랜트 규모로 scale-up하기 위한 설계, 건설 기술 개발
 - 장시간 운전시 막, 전극의 성능의 신뢰도, 다양한 수원에서 담수화 성능 검증



자료: water desalination reuse, Microbial desalination demonstration plant launched for brackish water, 2019

[그림 4.44] MIDES(Microbial DESalination) Project 구조도

○ 정·역삼투 연구단(FOHC)은 세계 최초, 최대 규모(1,000m³/일) 정삼투 기반 담수화 파일럿플랜트를 통해 정·역삼투 융합 담수화 기술을 개발

※ FO-RO Hybrid Desalination Research Center는 역삼투막 해수담수화 공정의 한계를 극복하기 위하여 정·역삼투 융합공정을 개발하는 연구로 '19년 10월까지 연구 수행

- 정삼투 공정과 하이플렉스 역삼투 공정의 융합을 위한 요소기술을 개발하고 여수의 파일럿플랜트로 검증
- PA계열의 한계를 극복하기 위하여 나노기술 기반의 역삼투막과 정삼투 분리막을 개발하여 적용
- 파울링 및 바이오파울링의 체계적인 모니터링과 분석방법을 개발하여 안정적인 운영을 위한 기술개발



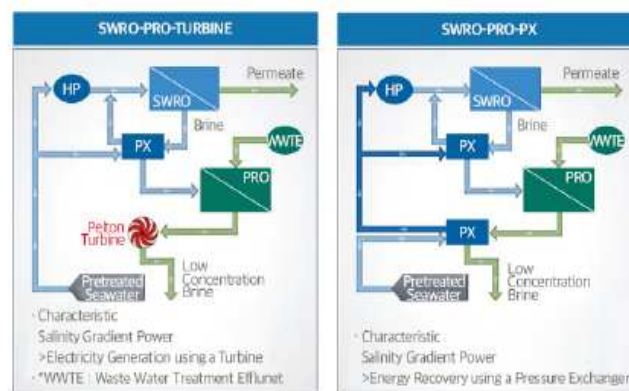
자료: 국민대학교 FOHC 연구단, 2019

[그림 4.45] FO-RO 공정 구성도(FOHC 연구단)

- MD/PRO 연구단(GMVP)은 막증발 기술을 역삼투 공정에서 필수적으로 발생하는 농축수를 저감함과 동시에 에너지 및 자원을 회수하는 보조 공정으로 적용하는 기술을 개발

※ Global-Membrane Distillation, Valuable Resource Recovery, Pressure Retarded Osmosis Program은 기존 해수담수화 플랜트의 성능향상을 위하여 막증발법과 압력지연삼투 기술을 이용하여 새로운 개념의 해수담수화 공정기술을 개발하는 연구로 '18년 6월까지 연구 수행

- 막 증발법 소재 및 모듈개발, 막 오염저감 기술 개발, 막 증발법 에너지원 확보 기술개발 등을 통해 역삼투 해수담수화 플랜트 농축수의 양을 30%로 저감
- 기존 해수담수화 플랜트 및 하수처리수/물재이용수와의 공정 조합을 통해 농축수의 삼투에너지를 회수하고 전처리 비용을 절감하는 응용공정 개발



자료: 경남대학교 GMVP 연구단, 2018

[그림 4.46] PRO 공정 개념도(GMVP 연구단)

- 글로벌 IT 솔루션 기업들은 해수담수화 플랜트 운영비용을 줄이기 위해 다양한 역삼투압 해수담수화 플랜트 O&M 기술을 개발

- Veolia, Northernbrian, Siemens, Degremont, Abengoa 등은 ICT 기술을 활용하여 O&M 사업에 적극 참여

- Veolia, Northernbrian은 DCS(분산제어시스템, Distributed Control System)을 기반으로 자체 개발한 Asset Management System을 이용하여 부품 교체 주기 최적 관리를 통한 운영 효율을 개선
- Siemens는 발전 LTSA(Long Term Service Agreement) 사업 실적 기반의 Integrated ICT 포트폴리오를 보유하고 있으며, 실시간 RMS(Remote Monitoring Service)로 성능 최적화 및 예방정비 서비스를 제공
 - 이를 통해 DCS, 실시간 모니터링, 성능관리 및 Asset Management

System 등을 공급, 3개의 Remote Expert Center 운영을 통해 모든 O&M site를 실시간으로 모니터링/관리를 실시

- Degremont는 본사 전문가를 O&M 매니저로 배치하여 현지에서 의사 결정 및 최적화를 실시 중이며 또한 멤브레인 운전 Data를 활용하여 Simulator를 통한 시나리오 분석에 따른 멤브레인 CIP(Cleaning In Place) 주기 최적화 등 Application 개발을 통한 O&M 비용을 절감하고 있음
 - Abengoa는 O&M site를 중앙 통제 시스템을 통해 실시간으로 모니터링하고 있으며, 의사결정을 지원 중
 - 또한, 이를 통해 Trouble Shooting을 지원하고 있으며, O&M Site의 Data를 본사로 전송하고 있음
 - ABB는 멤브레인 운전 Scheduler, O&M History 제공 Tool 개발, 각종 시나리오에 따른 Simulator 개발, 펌프 성능/진단 모니터링 등 Application 개발을 통해 해수담수화 O&M 시장에 접근
- 공정고도화 연구단(seaHERO2)은 공정 자동화를 위한 ICT 기술과의 통합 시스템 구현과 고 플렉스 역삼투막을 적용하여 저에너지 고성능 SWRO 플랜트 공정 고도화 기술을 확보
- ※ 공정고도화 연구단은(seawater High Efficiency Reverse Osmosis O&M Research)은 기존의 SeaHERO(해수담수화플랜트사업단)보다 발전된 후속 프로젝트라는 의미와 함께 Osmosis(삼투)의 'O' 및 O&M(Operation and Maintenance)의 'O'를 상징하는 의미로 '19년 5월까지 연구 수행
- 역삼투 공정 효율성을 강화하고, 고투수율 RO 분리막 적용하여 반송율 등의 실질적인 운영기술을 도입하기 위한 프로그램을 개발하여 에너지 소모량을 0.5kWh/m³ 저감
 - 농축수를 모니터링하며, 이를 재활용할 수 있도록 농축수내 소금 생산을 위한 새로운 기술개발 등 해수담수화시설 부산물의 해양생태 위해도 평가 및 기법을 개발

4-2. 수처리

- 미국, 영국, 일본 등은 물 부족을 극복하기 위해 하수·폐수 처리의 효율성 향상 및 비용 절감을 위한 기술개발을 추진

- 뉴욕 버팔로 대학은 세분화된 활성화탄소와 오존처리라는 두 가지 처리방법을 통해 물속에서 폐수 속 화학품을 제거하는 기술을 개발¹⁰⁷⁾
 - 미생물을 이용해 유기오염물을 분해하는 일반적 처리과정인 활성슬러지는 폐수 처리에는 효과적이나 항우울제나 항생제 같은 잔류 의약품 제거가 불가능
 - 연구팀에서 개발한 과립 활성탄 및 오존 처리 기술을 포함하는 고급 폐수 처리 시스템을 적용하면 특정 항우울제와 항생제를 포함한 다수의 의약품 농도를 95%이상 감소 가능
- 영국 브리스톨 대학 연구진은 수십만 리터의 물을 정화할 수 있는 소형 이동식 수처리 플랜트를 개발하여 University of Frenchay 캠퍼스에서 실험 중¹⁰⁸⁾
 - 1.5m×1.5m의 수처리 플랜트는 초여과 장치 및 전기화학적으로 활성화된 용액을 사용하여 원수를 소독하고 박테리아 및 바이러스를 포함한 생물학적 오염 물질을 제거하고 질산염, 암모니아 및 금속과 같은 농업 및 산업 오염물질을 감소
 - 초기 테스트에 따르면 이동식 플랜트는 더러운 연못 물을 시간당 500리터의 속도로 영국 식수 기준에 맞는 깨끗한 물로 변환



자료: 브리스톨 대학 홈페이지(<https://info.uwe.ac.uk>)

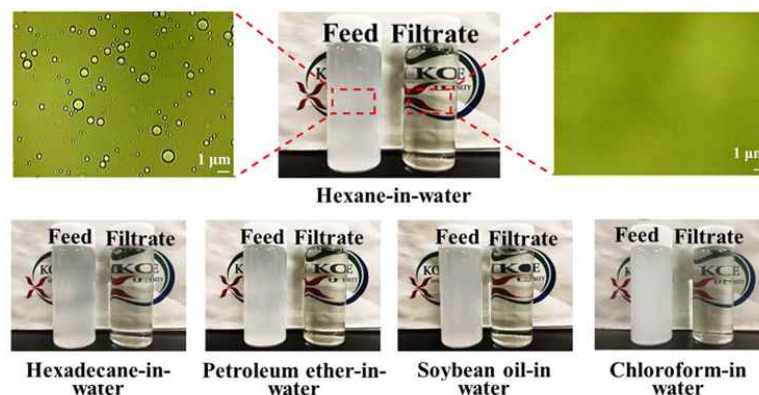
[그림 4.47] 소형 이동식 수처리 플랜트 닌자(Ninja)

- 독일 기능성 인터페이스 연구소(IFG)는 병원, 요양원, 농업시설 하수에 있는 다저항성 박테리아를 제거하는 기술을 개발
 - 병원, 요양원, 농업시설의 하수처리장에는 항생제에 내성이 있는 박테리아가 포함되어 있으며 기존의 하수처리 방법으로는 박테리아 제거가 불가능¹⁰⁹⁾

107) Luisa F. Angeles, Assessing pharmaceutical removal and reduction in toxicity provided by advanced wastewater treatment systems, journal Environmental Science: Water Research & Technology(2019)

108) UEW Bristol University, Scientists develop machine that transforms dirty water into drinkable supply, 2019.12.

- 연구진은 새로운 한외 여과 시스템을 개발하고 오존 및 UV 처리를 최적화하여 다저항성 박테리아를 획기적으로 제거
- 고베대 멤브레인·필름기술연구소 효율적으로 물과 기름을 분리할 수 있는 울트라틴 내구성 막을 개발¹¹⁰⁾
 - 기존의 원심분리기, 화학응고 정화방법과 비교하여 저비용, 에너지 효율적인 막 분리는 파울링으로 인해 막의 수명감소가 문제
 - 이를 해결하기 위해 막의 표면에 10나노미터(nm) 두께의 실리카 층을 입힌 다공성 폴리케톤(PK) 지지대로 구성된 막 개발에 성공
 - PK 섬유에 실리카를 첨가하는 실리콘화 프로세스로 막이 오염되지 않도록 보호하기 때문에 강력한 오일 저항성 코팅 기능을 제공
 - 또한, PK막은 모공이 크고 다공성이 높아 수분 침투율이 높아 10cm의 낮은 수위(약 0.01atm의 압력)를 사용했을 때에도 투과성능이 우수하여 1㎡ 면적의 이 막을 사용하면 1atm의 압력으로 6,000L의 폐수를 1시간만에 처리



자료: Water Online, Development Of Ultrathin Durable Membrane For Efficient Oil And Water Separation, 2019.

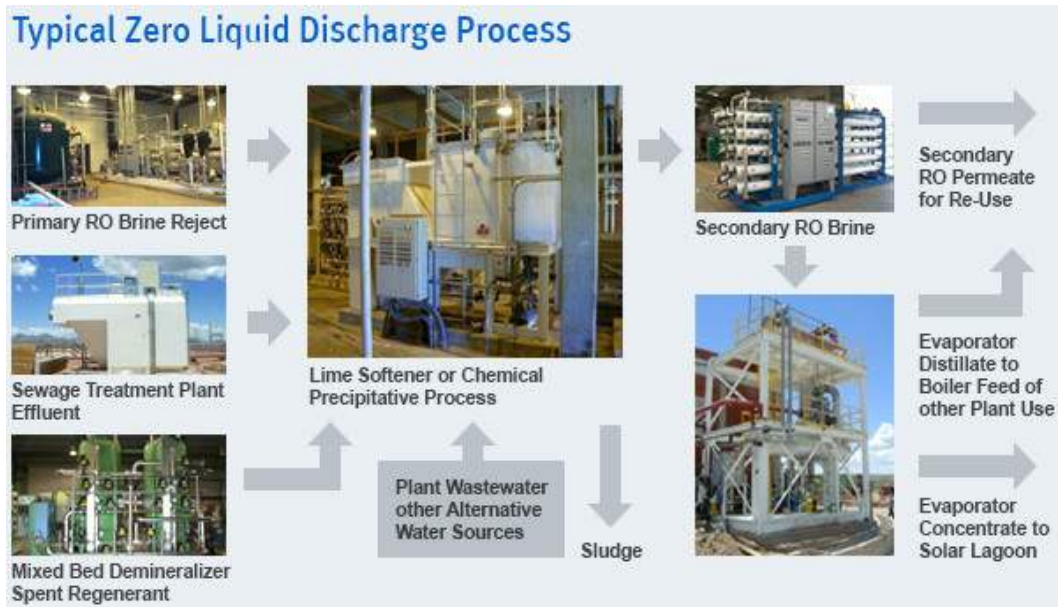
[그림 4.48] 다양한 기름의 개발한 막 투과 전(좌)과 후(우) 모습

- 두산중공업은 발전소용 친환경 수처리 기술인 폐수무방류처리(ZLD, Zero Liquid Discharge)을 자체개발하여 발전소 및 중소형 공단 폐수처리에 적용
 - 폐수무방류처리 기술은 폐수에 열을 가해 물은 증발시키고, 오염물질은 농축 및 고형화한 뒤 별도 처리하는 친환경 수처리 방식

109) MATSUAMA Hideto, Development Of Ultrathin Durable Membrane For Efficient Oil And Water Separation, Journal of Materials Chemistry A(2019)

110) WaterWorld, Study looks at new ways to remove multi-resistant bacteria from sewage, 2018

- 기존 수처리 설비에서 걸러내는 부유물질과 중금속 성분은 물론 최근 전 세계적으로 새롭게 추가되고 있는 규제 원소인 질산염과 셀레늄까지 처리 가능
- 두산중공업은 영동화력발전소, 영흥화력발전소 등에 폐수무방류처리 설비를 공급했으며, 국내외 석탄화력발전소 및 중소형 공단에도 추가 공급 예정



자료: 환경테일리, 두산중, 영흥화력발전소에 친환경 수처리 수주, 2017.02.06.

[그림 4.49] 폐수무방류처리 프로세스

4-3. 대기오염 방지

- 미국, 영국, 일본 등 선진기업들은 플랜트에서 배출되는 유해물질을 제거하기 위해 다양한 기술들을 개발
- 미국 IonO2X社は 방전을 통해 산화력이 높은 히드록실 라디칼을 형성하여 악취 및 휘발성 유해물질(Volatile organic compound)을 제거하는 시스템을 개발
 - 개발된 시스템은 물과 화학물질, 천연가스, 연료가 필요하지 않으며 효율적인 에너지 사용으로 운영비용이 저렴
 - 또한, 다른 시스템과 복합적으로 사용이 가능하여 효율성이 높으며 원격제어가 가능하여 유지보수 및 운영이 편리

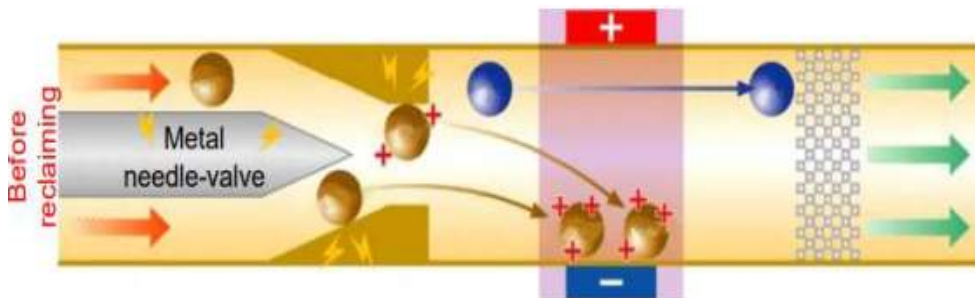


자료: 해외환경통합정보시스템, 전극을 이용한 VOC 제거 시스템, 2017.04.21.

[그림 4.50] 전극을 이용한 VOC 제거 시스템

○ 일본 Asada社は 세계 최초로 정전기 분리(electrostatic separation) 기술을 이용하여 사용된 냉매를 재활용하는 기술을 개발하여 냉장고, 에어컨 등 제조업체의 생산 설비를 중심으로 적용

- 사용된 냉매에 포함된 오존층 파괴물질인 프레온 가스(chlorofluorocarbon, CFC), 수소염화불화탄소(hydrochlorofluorocarbon, HCFC), 수소화불화탄소(hydro fluorocarbon, HFC)를 제거하는 기술
- 정전기 분리(electrostatic separation) 기술은 사용된 냉매에 존재하는 불순물을 흡수하는 집진기(Dust-collector) 역할을 수행
- 사용된 냉매를 분당 200g을 정화할 수 있으며 불순물이 제거된 냉매는 건조기를 통해 수분이 제거되고 순도 높은 냉각제로 재사용



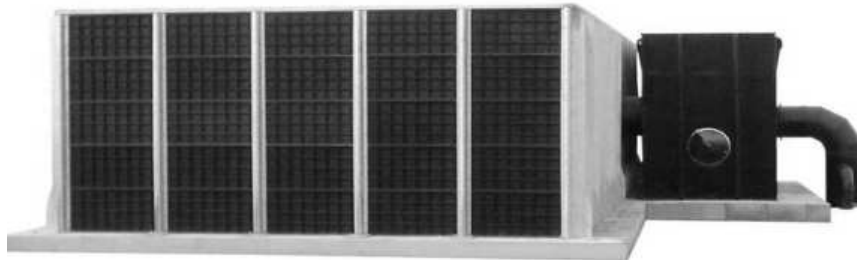
자료: 해외환경통합정보시스템, 정전분리 기술을 이용해 오존층 파괴물질을 제거하는 기술, 2018.12.05.

[그림 4.51] 정전기 분리기술을 이용한 냉매 재활용 기술 원리

○ 독일 SH SULPHTEC社は 미생물을 이용해 배기공기를 정화하는 정화필터를 개발

- 배기공기 정화 필터(SH A-Clean)에 서식하는 미생물을 이용하여 오염물질을 흡수, 분해하는 구조로 미생물은 대기오염 물질을 영양분으로 사용해 자체적인 바이오매스(Biomass)를 생산

- 유기용매(organic solvent) 같은 인체에 유해한 포름알데히드(formaldehyde)를 대기에서 제거할 수 있어 산업 공장, 정제 공장, 육류가공 공장 및 폐기물처리 공장 등에 적용이 가능

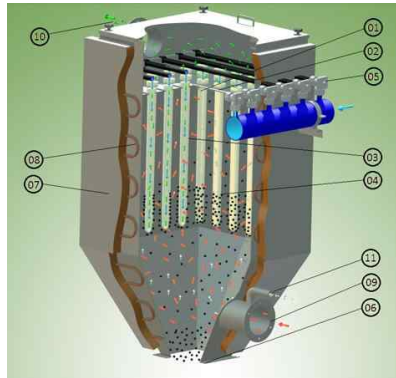


자료: 해외환경통합정보시스템, 미생물을 이용해 배기공기를 정화하는 기술, 2018.12.05.

[그림 4.52] 미생물을 이용한 배기공기 정화시설

- 영국의 AMEC Foster Wheeler社は 산업용 대기 배출 제어를 위한 분무 건식 흡착 기술을 개발¹¹¹⁾
 - 분무 건식 흡착 기술은 특수 디자인된 노즐이 미세한 밀집형 미스트를 생산하고 이 미스트는 효율적으로 산과 중금속 가스를 포획하여 건조한 고체의 형태로 만들고, 하류부 미립자 제어 시스템에서 제거
 - SO₂, SO₃, HCl, HF, Hg 등과 같은 산이나 중금속 가스를 제어할 수 있어서 발전소뿐만 아니라 다양한 산업에 적용 가능
- 미세먼지가 건강에 치명적인 영향을 미침에 따라 세계 각국은 집진기의 다양한 필터 기술 혁신을 위해 기술개발을 추진 중
- 영국 필터회사 Glosfume社は 일반 여과 백(Filter Bag) 방식으로는 처리가 어려운 고온의 초미세먼지(PM10~PM2.5)를 여과할 수 있는 세라믹 필터를 개발
 - 방사성 물질, 목재 바이오매스, 흑액(Black Liquor) 등의 연소, 각종 중금속 생산 및 처리 등의 공정에서 발생하는 높은 온도와 미세한 입자 크기의 고온 유해 오염 가스를 안정적으로 정화 가능
 - 미립자 및 건식 세정 흡착제를 활용하여 초미세먼지가 제거되고 오염된 흡착제는 호퍼 배출구를 통해 배출되고 최대 400°에서 연속 여과가 가능

111) 해외환경통합정보시스템, 영국-분무 건식 흡착 기술을 사용한 산업용 대기 배출 제어, 2017.09.28.

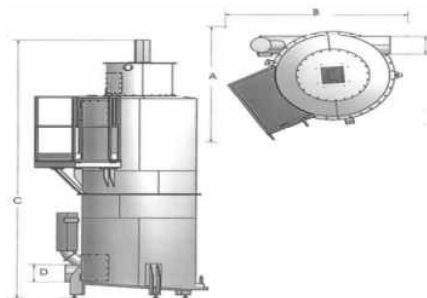


자료: glosfume 홈페이지(<http://www.glosfume.com>)

[그림 4.53] 세라믹 필터 작동 원리

○ 독일 KMA UMWELTTECHNIK GMBH社は 조립자와 미립자, 고체물질과 액체 액적을 분리할 수 있는 배기공기 필터 시스템을 개발

- 일반 필터 시스템이 갖추지 못한 대형 정전기 필터 튜브로 이루어져 있어 배기가스가 막힘없이 필터 튜브를 통과 가능
- 연기와 먼지 입자는 필터 내에서 세로로 이동하며 스테인리스 철에 있는 전극이 이온화하여 에어로졸과 입자를 벽으로부터 밀어내고 먼지, 타르, 액적은 정전 에너지로 충전되어 바닥에 있는 용기에 수집
- 자동 클리닝 시스템으로 바닥에 누적된 입자들의 막힘을 방지할 수 있으며 UV Light 및 활성탄 필터를 통합하여 악취 문제도 해결이 가능

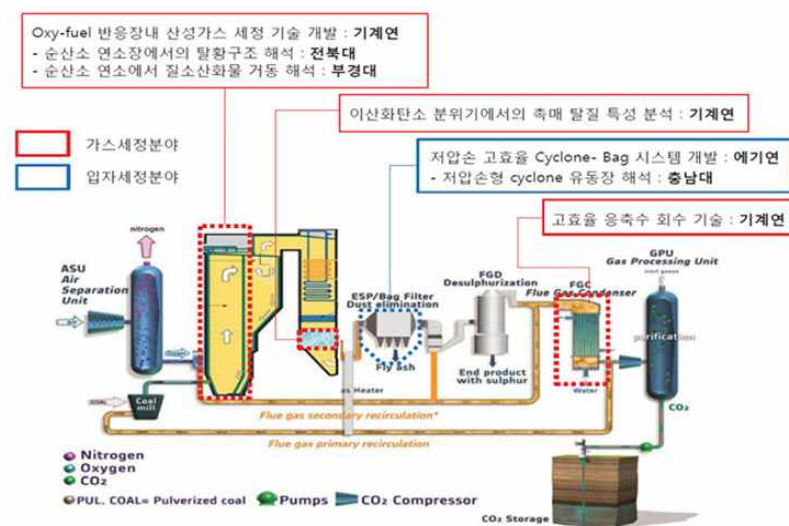


자료: KMA filter 홈페이지(<https://www.kma-filter.com/>)

[그림 4.54] 배기공기 필터 시스템

○ 미래에너지플랜트(FEP) 융합연구단은 에너지 생산 부문에서의 온실가스 배출문제, 미세먼지 등과 같은 환경문제 해결을 위해 배기가스의 배출농도 총량 제어와 SO_x, NO_x 및 PM_{2.5} 등의 분리 및 제거기술을 개발

- '15~'18년 순산소 유동층 발전설비 구축 및 운전조건 최적화를 위해 2MWe급 시험설비를 구축하여 Oxy-CFB(Circulating Fluidized Bed) 공정 최적화와 파일럿 플랜트 규모의 대기오염 저감 설비 및 물 회수 설비를 개발
- 입자상 초미세먼지 배출농도를 줄이기 위해 이중벽 구조의 저압손 사이클론과 새로운 방식의 필터 재생시스템을 결합한 집진 시스템을 구축
- 고온가스재순환(Hi-FGR)과 환원제 열분해 방식을 적용해 초미세먼지 유발물질인 질소산화물·황산화물 제거 효율을 기존 대비 50% 이상 향상



자료: FEP 융합연구단 홈페이지(<https://www.kier.re.kr>)

[그림 4.55] Oxy-CFB 시스템 예상 구성도 및 핵심연구용 환경시험장치

4-4. 이산화탄소 저감

- 미국, EU, 일본 등은 이산화탄소 저감을 위한 CCUS 기술로드맵을 작성하고 국가 차원의 기술개발을 추진 중이며, 한국은 CCS 사업을 통해 연구개발을 추진

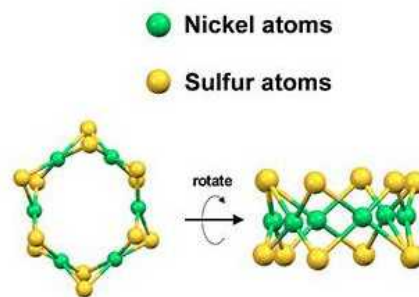
※ CCUS(Carbon Capture, Utilization and Storage) : 이산화탄소 포집, 활용, 저장

- 미국 국가에너지기술연구소(NETL)는 포집, 저장, 이용 기술개발 프로그램을 추진 하여 2세대 탄소포집 기술과 탄소이용 기술을 개발

※ National Energy Technology Laboratory

- 이온 엔지니어링 수성 용제, Linde/BASF 수성 아민 용매 공정, Flour/PNNL 수성 용제 공정 등 탄소포집 기술을 개발하여 탄소 포집의 비용을 절감

- '17~'19년까지 개발된 탄소포집 기술을 적용한 12MWe 규모의 파일럿 플랜트를 통해 14,000톤 이상의 CO₂를 포집하여 30~40% 비용절감 효과를 검증
- 산업용 원자재인 CO 생산을 위해 포집한 CO₂를 CO로 변환하는 효율적이고 저렴한 촉매를 개발
 - 금은 전기화학적으로 CO₂를 CO로 변환하는 최적의 촉매이나 가격이 비싼 단점이 있어 금-구리 합금 나노촉매를 개발하여 촉매 성능을 4~8배 향상
 - 또한, 원자 구조를 티아라형 고리로 배열한 니켈 기반 나노촉매를 개발하여 환경 친화적인 연료 및 화학물질 생산을 위한 탄소변환 시스템을 개발



자료: NETL 홈페이지(<https://netl.doe.gov>)

[그림 4.56] 니켈 기반 나노촉매의 원자 구조

- EU는 Carbfix 프로젝트를 통해 기존의 CCS기술의 한계(CO₂ 유출)를 극복하기 위하여 CO₂를 카보네이트 광물로 전환하는 기술을 개발
 - CO₂ 포화수는 물보다 밀도가 높아 표면으로 이동하지 않기 때문에 CO₂를 물에 용해시켜 지하에 주입하는 기술을 개발하여 CO₂ 유출을 방지
 - Ca, Mg, Fe와 같은 2가 양이온을 함유하는 현무암에 CO₂ 포화수를 주입하여 화학반응을 통해 CO₂가 카보네이트 광물로 전환하는 기술을 개발
 - 현무암은 반응성이 높고 다공성 광물로 CO₂를 저장할 수 있는 공간을 포함하고 있으며 대륙의 5%, 해양바닥의 흔한 암석으로 가장 효과적
 - 아이슬란드 Hellisheidi 지열 발전소에서 약 12,000톤을 CO₂를 주입한 결과, 2년 이내 CO₂ 95% 카보네이트로 변환되어 영구 저장이 가능
 - CO₂를 완전 용해시키기 위해서는 CO₂ 1톤당 담수는 27톤, 해수는 31톤이 필요하나 CO₂가 제거된 이후 물은 재사용이 가능



자료: Carbfix 홈페이지(<https://www.carbfix.com>)

[그림 4.57] CO₂ 주입지점의 카보네이트를 함유한 현무암

- 독일 연방교육연구부와 민간기업간 연구를 통해 산업 현장에서 배출하는 CO₂를 포집하고 화학원료·연료물질로 전환·활용하는 공정기술의 개발 및 상용화에 성공
- 독일의 고분자 재료 제조업체 Covestro社가 RWTH 아헨대학, 섬유기술연구소 등과 협력하여 CO₂를 사용하여 탄성 섬유를 생산하는 기술을 개발
 - 새로운 탄성 섬유는 용융 방사(melt spinning)기술을 이용하여 CO₂ 기반 열가소성 폴리우레탄(TPU)으로 생산
 - TPU는 용융되어 압착되면 미세한 실이 되어 끝없이 이어지는데 기존의 건식 방사가 아닌 용융 방사로 환경에 해로운 용제가 필요하지 않으며, 이를 이용하여 매트리스 및 스포츠 바닥재에 사용

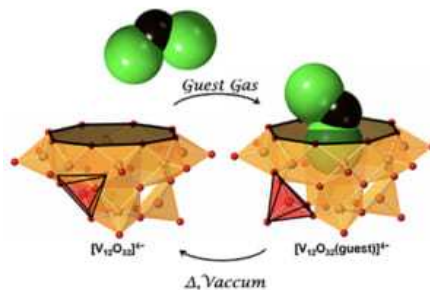


자료: 글로벌이코노믹, [글로벌-Biz 24] 이산화탄소 이용해 탄성 섬유 만든다, 2019.07.18.

[그림 4.58] CO₂ 기반의 열가소성 폴리우레탄

- 일본은 국가 차원의 CCUS 기술개발을 적극적으로 추진하여 탄소 포집기술과 탄소를 재활용하는 기술을 개발

- 일본 가나자와 대학 연구팀은 32개의 산소 원자를 통해 연결된 12개의 바나듐(Vanadium)원자로 만들어진 바나데이트(vanadate) 분자 클러스터를 이용하여 CO와 CO₂를 분리하는 기술인 V12를 개발¹¹²⁾
 - 구멍이 있는 구형 바나데이트 클러스터는 대기압에서 질소, 메탄, CO 등의 물질과는 반응하지 않고, 오직 CO₂만 흡수
- 도쿄대 연구진은 다공성 조정 고분자(PCP, MOF; 금속-유기체 프레임워크)을 개발하여 포집한 탄소를 유용한 유용한 화학물질로 변환하는 기술을 개발¹¹³⁾
 - 개발된 재료는 다공성 조정 고분자로 아연 금속 이온으로 구성된 골격을 이용하여 다른 PCP보다 10배 높은 효율로 CO₂ 분자만 선별적으로 포집한 후 의류, 가전제품, 포장 등 다양한 용도의 폴리우레탄을 변환하는 기술을 개발



자료: Yuji Kikukawa, "Flipped" Metal Oxide Cage can sort CO₂ from CO, Carbon Capture Journal(2019)

[그림 4.59] 바나데이트 분자 클러스터 구조

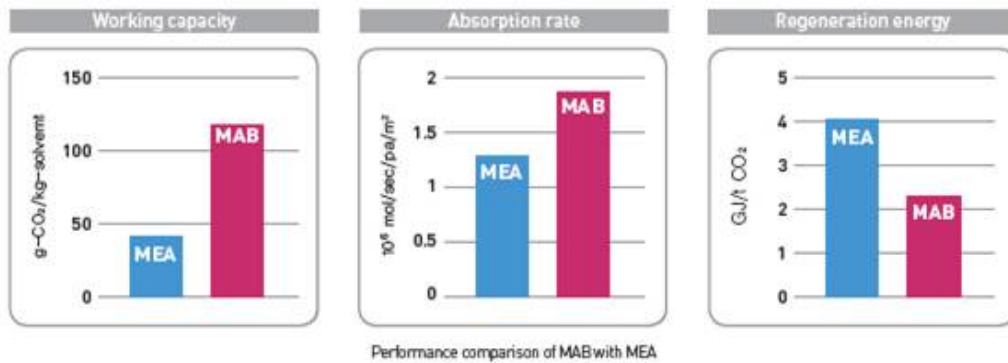
- 과학기술정보통신부는 Korea CCS 2020사업을 통해 CO₂ 포집, 저장, 전환 관련 원천기술을 개발하고 실증연구를 수행
 - 한국이산화탄소포집및 처리연구개발센터(Korea CCS R&D Center)는 세계 최고 수준의 MAB 흡수제 기반이산화탄소 포집기술 150 Nm³/h 실증에 성공
 - 개발된 포집기술의 경우 기존의 상용화된 MEA흡수제 대비 이산화탄소 흡수 용량이 2.5배 이상 크고, 흡수속도가 1.5배 이상 빠르며, 에너지 사용량과 투자비를 40%, 30% 이상 절감 가능
 - 재생에너지 요구량을 2.0GJ/tCO₂까지 낮출 수 있어 현재 세계 최고수준으로 평가되고 있는 일본 M사에서 개발한 흡수제의 2.4GJ/tCO₂를 15% 이상

112) Yuji Kikukawa, "Flipped" Metal Oxide Cage can sort CO₂ from CO, Carbon Capture Journal(2019)

113) Pengyan Wu, Carbon dioxide capture and efficient fixation in a dynamic porous coordination polymer, Carbon Capture Journal(2019)

개선한 탁월한 기술

- KCRC는 해수기반 전기화학적 CO₂ 전환에 의한 무기탄산 제조기술을 개발
 - 저 전력소비의 NaCl 전기분해시스템에 의해 저가의 HCl (칼슘이온추출제) 및 NaHCO₃ (탄산칼슘침전제)을 활용하여 Ca 함유 폐시멘트 등의 폐자원으로부터 고가의 탄산칼슘을 제조할 수 있는 핵심기술 및 공정기술 개발



자료: KCRC 홈페이지(<http://www.kcrc.re.kr>)

[그림 4.60] 기존 MEA 기술과 새롭게 개발된 MAB 기술의 성능비교

5. 주요 이슈 및 시사점

- 新 기후체제 출범 및 후쿠시마 원전사고로 인해 세계 각국은 탈원전, 탈석탄, 재생에너지 확대로 에너지 전환 정책을 추진 중
 - 기존의 화석연료를 바탕으로 한 산업과 에너지 집약적 기술에서 탈피해, 온실가스 배출을 줄이고 기후변화에 대응할 수 있는 기후기술에 대한 중요성 증대
 - 주요 선진국은 온실가스 감축을 위해 단계별 목표치를 설정하고 해당목표 달성을 위해 탈석탄 및 재생에너지 확대 정책을 가속화
 - 新 기후체제 출범으로 현재까지 각국이 제출한 감축목표가 2℃ 미만 상승 억제 목표에 미치지 못하는 것으로 평가되어 향후 감축 압력 심화될 전망
- 후쿠시마 원전 사고 이후 주요 선진국은 안전성 확보를 위해 탈원전 정책을 추진하고 원전 해체에 따른 신시장 진입을 위해 관련 기술 개발에 주력 중
 - 현재 미국, 영국, 독일, 일본 등 원자력 선진국에서는 원전을 해체한 경험을 가지고 있으며 기술의 안전성 및 경제성 향상을 통한 경쟁력 확보에 주력
 - 설계수명 만료원전의 증가로 해체시장은 '20년대 중반부터 확대 전망되며 2116년까지 누적 규모 546조 원으로 예측
- 세계 에너지 수요는 '17~'40년 기간 중 25% 이상 증가할 전망으로 저가의 양질 에너지원 확보를 위해 극한지개발 및 이송, 합성가스 기술 개발이 활발
 - 러시아에서는 초대형 북극에너지개발 프로젝트인 야말LNG 개발사업이 '17년에 1차 완성되어 생산에 들어갔으며, '22년 생산목표로 북극-2 LNG 프로젝트를 추진 중
 - 미국, 일본 등의 선진국은 석탄가스화복합발전(IGCC) 원천기술을 기반으로 석탄가스화 연료전지 복합발전(IGFC) 기술을 개발하여 실증사업을 추진 중
 - Nord Stream AG社は Nord Stream프로젝트의 건설 및 운영 경험을 바탕으로 발트해 해저를 통해 러시아와 유럽을 연결하는 1,200km의 Nord Stream 2 프로젝트를 추진 중

- 신재생에너지는 부존 잠재량이 막대하고 친환경 에너지임에도 불구하고 생산 단가가 높아 보급이 저조하였으나 최근 원가절감을 위한 다양한 기술이 개발 중
- 풍력은 민원, 발전 효율, 건설비 절감 위해 해상풍력 중심으로 추진되고 있으며 대형화가 추진되고 있으며 풍력의 간헐성을 극복 위한 고공 풍력을 활용 연구도 활발
- 기존의 댐 건설을 통한 조력발전은 다양한 환경문제를 수반하고 있어 최근 대안으로 조류발전이 부각되면서 다양한 조류발전 시스템이 개발·상용화
- 파력은 유해물질이 없고 높은 에너지 밀도를 가진 차세대 에너지원으로 파력변동에 의한 효율증대 및 유지보수 절감 위해 다양한 연구개발 진행 중
- 해수온도차발전은 북위 20°~남위 20° 지역의 일정 온도를 유지하는 지역에서 효과적이며 부존에너지량이 71TW로 막대하여 상용화 위한 연구가 추진 중
- 바이오에너지는 식량작물을 원료로 하는 1세대와 목재류를 원료로 하는 2세대에서 미세조류를 이용하는 3세대로 구분되며 최근에는 3세대 연구가 활발
- 태양전지는 기존 실리콘 대비 가격은 1/3이나 발전효율은 유사한 페로브스카이트(ABX₃) 소재개발로 이를 이용한 효율증대 및 안정성 연구가 추진 중
- 미래 청정에너지로 수소가 부각되면서 시장의 급성장이 전망됨에 따라 세계 각국 및 기업은 관련 기술확보를 위한 경쟁이 치열한 상황
- 세계 수소시장 규모는 '17년 1,292억 달러에서 연평균 6% 성장하여 '50년 2.5조 달러 매출, 누적 3천만 개 일자리 창출 전망
- 유럽·일본을 중심으로 중소형 개질 시스템 상용화 및 대형 가스화 플랜트 실증이 진행 중이며 국내는 소형 개질 시스템 국산화가 추진 중
- 수소를 극저온 상태로 만드는 터보팽창기 및 액화수소를 단열상태로 보존하는 쿨드박스 기술은 선진 주요기업들이 관련기술을 주도하고 있는 상황
- 우리나라는 수소사회 실현을 위해 정부부처합동으로 '19년 “수소기술개발로드맵”을 발표하고 수소에너지 관련 핵심기술 확보를 위한 연구개발 추진 중

참고문헌

- 경남대학교 GMVP 연구단, 2018
- 국가 미래 에너지 정책과 분야별 기술동향_대한전기협회, 2018
- 국내 화력발전소의 CCS 및 CCU 사업 현황 분석보고서_한국환경산업기술원, 2018
- 국민대학교 FOHC 연구단, 2019
- 국제 신재생에너지 정책변화 및 시장분석_에너지경제연구원, 2018
- 국토진흥원, 도시폐자원 에너지화 복합플랜트 기술개발 첫 준공, 국토매일, 2019
- 국토진흥원, 친환경에너지 및 비전통 자원플랜트분야로 해외건설_플랜트산업 활성화 방안 제시_국토교통과학기술진흥원, 2018
- 극한지 오일생산 플랜트건설 핵심기술 개발사업 예비타당성조사 보고서_한국과학기술기획평가원, 2018
- 기획 원전 해체 상용화 기술 개발 동향_원자력산업, 2019
- 기획 해외 원자력발전소 해체 현황 및 동향_원자력산업, 2019
- 기획 해체 핵심 기반 기술 개발 현황_원자력산업, 2019
- 기후변화 대응기술 확보 로드맵, 관계부처 합동, 2016
- 기후변화 대응기술 확보 로드맵, 관계부처 합동, 2016
- 기후변화 대응기술의 현주소 분석과 투자효율성 개선연구_한국과학기술기획평가원, 2016
- 노후 화력발전소의 고효율 친환경 성능개선을 위한 Repowering 설계개념_전력연구원, 2019
- 녹색·기후기술 백서, 미래창조과학부 등, 2017
- 녹색·기후기술 백서, 미래창조과학부 등, 2017
- 뉴욕, 2050년까지 '온실가스 배출 제로' 목표한 법안 통과, 전기신문, 2019
- 대구 탄소자원화 산업 육성방안, 대구경북연구원, 2017
- 대구 탄소자원화 산업 육성방안, 대구경북연구원, 2017
- 대우건설, 심해저 LNG배관 설계 기술 개발, 세계일보, 2019
- 독일 에너지전환 정책의 추이와 시사점, 한국경제연구원, 2016
- 두산중, 영흥화력발전소에 친환경 수처리 수주, 환경데일리, 2017
- 두산중공업, 1.6조원 규모 인도네시아 발전사업 수주, 매일경제, 2019
- 미 캘리포니아주, 2045년까지 100% 청정에너지 전력 공급 계획, KOTRA, 2018
- 미국 셰일가스가 세계 에너지 시장 판도 바꾼다, 한국경제, 2019
- 미국 청정전력계획 내용과 향후 전망, 에너지경제연구원, 2014
- 미국 캘리포니아주의 청정에너지전원 확충계획(I), 에너지경제연구원, 2019
- 미래 60년을 준비하는 원자력기술과 국제협력 성과 공유_과학기술정보통신부, 2019
- 미생물을 이용해 배기공기를 정화하는 기술, 해외환경통합정보시스템, 2018
- 미세먼지 기술개발 로드맵(안), 과기부 등, 2018
- 미세먼지 기술동향_과학기술일자리진흥원, 2018
- 미세먼지 범부처 프로젝트 2018 시행계획 수립, 과기부 등, 2018
- 미세먼지 저감 소재 심층분석보고서, NNPC, 2018
- 미세먼지관리종합대책(2018) 주요내용과 방향, KEI, 2018
- 메트럼프 행정부, 파리협약 공식 탈퇴, 동아일보(2019), 2019

- 바로 알면 보인다. 미세먼지, 도대체 뭘까, 환경부, 2016
- 바이오에너지 이슈분석 및 정책제언, 녹색기술센터(GTC), 2014
- 바이오에너지 이슈분석 및 정책제언, 녹색기술센터(GTC), 2014
- 발전소 건설사업 추진 현황(2019년도 4분기, 전력거래소)
- 부처합동 과학기술기반 미세먼지 대응 전략 발표, 과기부 등, 2016
- 북극산 LNG 첫 추출...세계 LNG 시장 판도 바뀐다, 중앙일보, 2017
- 브리스톨 대학 홈페이지(<https://info.uwe.ac.uk>)
- 산업_에너지(해양·풍력에너지)해상풍력발전 시장 확대에 주목_한국 IR협의회, 2019
- 산업_에너지_(바이오에너지)정부 정책 기반 바이오에너지 보급 지속 성장 전망_한국IR협의회, 2019
- 산업기술국제협력2025 사업 예비타당성조사 보고서_한국과학기술기획평가원, 2019
- 산업통상자원부_한국에너지공단, 2019
- 상반기 해외건설산업동향_해외경제연구소, 2019
- 서부발전, 차세대 발전기술 IGCC로 '발전 중', 일렉트릭파워저널, 2019
- 선박해양플랜트연구소 홈페이지
- 세계 발전산업 패러다임 변화 및 시사점_해외경제연구소, 2018
- 세계 에너지시장 인사이트 제18-43호 2018
- 세계 에너지시장 인사이트, 에너지경제연구원, 2016
- 세계에너지시장인사이트, 제19-28호, 2019
- 세계원전시장 인사이트_에너지경제연구원, 2019
- 셰일가스와 LPG산업의 현재와 미래, 투데이에너지, 2019
- 수력발전의 시장동향_한국과학기술정보연구원, 2015
- 수력양수발전 기술세미나_대한전기협회, 2019
- 수소·연료전지 전략 로드맵, 수소·연료전지 전략 협의체, 2019
- 스마트 그리드 시장 현황 및 전망, 한국수출입은행, 2012
- 스마트그리드 기술 및 시장 동향, 한국과학기술기획평가원(KISTEP), 2011
- 스페인의 수력발전소를 디지털로 업그레이드하다, GE리포트코리아, 2019
- 신·재생에너지 백서, 2018
- 신·재생에너지 R&DD 전략 2030, 에너지관리공단, 2019
- 신·재생에너지 백서, 한국에너지공단, 2018
- 신·재생에너지 산업 동향_우리금융경영연구소, 2019
- 아시아 해외건설시장 주요 동향 및 진출전략_해외건설협회, 2019
- 알래스카 LNG 홈페이지(<https://alaska-lng.com>)
- 에너지기본계획(<https://www.meti.go.jp/press/2018/07/20180703001/20180703001-1.pdf>), 경제산업성, 2018
- 영국-분무 건식 흡착 기술을 사용한 산업용 대기 배출 제어, 해외환경통합정보시스템, 2017
- 운송 가능 크기로 제작 현장조립. 공사비 공기 줄여, 건설기술, 2017
- 원전해체 산업 육성전략, 관계부처합동, 2019
- 원전해체, 기술동향브리프, 한국과학기술기획평가원, 2019
- 유럽의회 기후변화 대응 수단으로 원자력지지 결의안 채택, 전기신문, 2019
- 유해화학물질 흡착제 기술동향, 한국환경산업기술원, 2017
- 융합 Weekly TIP vol.25, 융합연구정책센터, 2016

- 이산화탄소 이용해 탄성 섬유 만든다, 글로벌이코노믹, 2019
- 이산화탄소 저감 및 자원화 기술: 미국의 CCUS 산업 동향 분석, 한국에너지기술평가원(KETEP), 2015
- 이산화탄소 포집 및 저장, Carbon Capture and Storage,
- 이산화탄소 포집기술 국외 기술개발동향, 한국전력 전력연구원, 2016
- 이산화탄소의 포집·저장·활용 기술, 한국과학기술정보연구원(KISTI), 2012
- 일본 2018년 에너지수급 변화 및 2019년 정책 현안, 에너지경제연구원, 2019
- 일본 공기청정기 시장동향, kotra, 2018
- 일본 수소기본전략 추진 배경과 핵심내용 분석(I), 에너지경제연구원, 2018
- 일본 수소기본전략 추진 배경과 핵심내용 분석(II), 에너지경제연구원, 2018
- 일본 에너지정책 방향 전환 모색과 시사점, 에너지경제연구원, 2018
- 일본, 바이오에너지 분야 정책 및 산업 동향_해외환경시장정보, 2019
- 일본, 석탄가스화 연료전지 복합발전 실증사업 착수, 월간수소경제, 2019
- 일본, 수소연료 전력 로드맵 발표, 글로벌 과학기술정책정보 서비스, 2019
- 자율운전 원전의 기술개발 현황 및 전략_한국원자력연구원, 2019
- 저급자원 변환 합성가스 상용화 플랜트 건설기술 개발 기획 최종보고서, 고등기술연구원, 2016
- 저온형 물 전기분해 소재기술(2)-제5장 수소생산·이산화탄소 전환용 소재기술-신소재경제신문·재료연구소 공동기획 소재기술백서 2016(43)', 신소재경제신문, 2018
- 전극을 이용한 VOC 제거 시스템, 해외환경통합정보시스템, 2017
- 정전분리 기술을 이용해 오존층 파괴물질을 제거하는 기술, 해외환경통합정보시스템, 2018
- 제13차 장기 천연가스 수급계획(2018~2031), 산업자원부, 2018
- 제3차 에너지기본계획, 산업통상자원부, 2019
- 주간 에너지 이슈 브리핑, 한국에너지공단, 2016
- 주요단신, 세계 에너지시장 인사이트 제19-36호, 에너지경제연구원, 2019
- 중국의 '13차 5개년 계획' 경제 분야 정책 내용과 시사점, KOTRA 중국사업단, 2016
- 중국의 전력부문 13.5계획(2016~2020년), 에너지경제연구원, 2017
- 중소·중견기업 기술로드맵(에너지신산업) 2017-2019, 중소기업청, 2016,
- 중소기업 기술로드맵 2018-2020 스마트가전, 중소벤처부, 2017
- 중소기업 기술로드맵 2018-2020 안전, 중소벤처부, 2017
- 중소기업 전략기술로드맵 2016-2018 녹색제조, 중소기업청 등, 2015
- 중소기업전략기술로드맵 2016~2018, 중소기업청, 2015
- 차세대 바이오매스 연구단, KIST 청정에너지 연구센터 홈페이지
- 차세대 신재생에너지, 조력발전, 더사이언스타임즈, 2018
- 최신 ICT 이슈_독일 탈 원전_정보통신기획평가원, 2019
- 탄소저감 기술 및 시장 동향_연구성과실용화진흥원, 2017
- 탄소저감 기술 및 시장동향, 연구성과실용화진흥원, 2017
- 트럼프, '청정전력계획 규제 완화... 또다른 '오바마 지우기, 중앙일보, 2018
- 프랑스의 에너지전환법 제정과 향후 전망, 원자력정책연구센터, 2018
- 한국원자력연구원, 홈페이지(<https://www.kaeri.re.kr>)
- 한국화학연구원 홈페이지(<http://cri.kriict.re.kr>)
- 해상 풍력 파력 복합발전 부유장치 및 이를 이용한 해양 복합발전 에너지 섬

구조물_아이디특허사무소, 2018

- 해수담수화용역삼투 분리막, KISTI MARKET REPORT(Vol.5, Issue 9), 2015
- 해외 차세대 바이오연료 기술개발 동향 vol.313, KPA JOURNAL, 2019
- 현대 ENG, 괌 테데도 200급 복합화력발전소 수주, 한국건설신문, 2019
- 3 Companies Betting on Cold Bitumen Transport Technologies', ALBERTA VENTURE, 2019
- "Flipped" Metal Oxide Cage can sort CO₂ from CO, Carbon Capture Journal, Yuji Kikukawa, 2019
- 17년 기준 환경산업통계조사보고서(2018) 인용 및 재가공, 환경부, 2018
- 2007년도 기후변화대응기술 기술영향평가 보고서, 한국과학기술기획평가원(KISTEP), 2008
- 2018 신·재생에너지 백서, 산업통상자원부, 2018.12
- 2018년도 예비타당성조사 보고서 극한지 오일생산 플랜트건설 핵심기술 개발사업, 한국과학기술기획평가원, 2018
- 2019년 세계 주요 국가의 에너지·기후변화 정책 현안, 에너지경제연구원, 2019
- 2019년 중국 에너지 정책, 태양광·풍력 등 청정에너지 비중 확대 지속, 인터스트리뉴스, 2019
- 45MW급 수력발전 시스템 기술 국산화 및 국내 유일 국제 수준 모델수차 성능시험 플랫폼 구축_Kwater, 2018
- 8차 전력수급 기본계획, 산업통상자원부, 2017
- Alberta considering six proposals for \$1B oilsands partial upgrading funding, JWN Enerrgy, 2018
- An America First Energy Plan, The White House, 2017
- Arctic Oil & Gas-Challenges and Opportunities, Unis, Longyearbyen, 2016
- Assessing pharmaceutical removal and reduction in toxicity provided by advanced wastewater treatment systems, journal Environmental Science: Water Research & Technology, Luisa F. Angeles, 2019
- BABCOCK&WILCOX 홈페이지(<https://www.babcock.com>)
- Battery Market Analysis by Product, by Application, and Segment Forecasts to 2024,
- Biofuels Markets-Global Industry Perspective, Comprehensive Analysis, and Forecast, 2016-2022, Zion Market Research, 2017
- BISTEP R&D Brief 2018-4, BISTEP, 2018
- BP Statistical Review of World Energy 2019
- Carbfix 홈페이지(<https://www.carbfix.com>)
- Carbon Capture and Storage (CCS) Market Size, Share, Report, Analysis, Trends & Forecast to 2022, Statistics, 2017
- Carbon dioxide capture and efficient fixation in a dynamic porous coordination polymer, Carbon Capture Journal, Pengyan Wu, 2019
- China's Artic Policy, China Daily, Artic Portal, 2018
- Clean Coal Technologies for IGCC Power Plants, Mitsubishi Hitachi Power Systems, 2017
- Clean energy for all Europeans package completed: good for consumers, good for growth and jobs, and good for the planet, European Union, 2019

- Climate, energy and transport in Germany's coalition treaty, Clean Energy Wire, 2018
- CompactGTL 홈페이지(<http://www.compactgtl.com>)
- Consortium to construct four waste-to-energy plants in Moscow region, BIOENERGY INTERNATIONAL, 2019
- Development Of Ultrathin Durable Membrane For Efficient Oil And Water Separation, Journal of Materials Chemistry A, MATSUAMA Hideto, 2019
- Development Of Ultrathin Durable Membrane For Efficient Oil And Water Separation, Water Online, 2019
- Energy investment by scenario, 2025-2030, IEA, 2019
- e-나라지표, 산업통산자원부, 2019
- FEP 융합연구단 홈페이지(<https://www.kier.re.kr>)
- Field demonstration of Pumps as Turbines for Micro-Hydropower, Trinity College Dublin, 2019
- Flipped" Metal Oxide Cage can sort CO₂ from CO, Carbon Capture Journal, Yuji Kikukawa, 2019
- France to ban all oil and gas production from 2040, Independent, 2017
- France to shut all coal-fired power stations by 2021, Macron declares, Independent. 2018
- Fraunhofer ISE, 2019, Photovoltaics Report.
- French Strategy for Energy and Climate: Multi Annual Energy Plan, Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, 2019
- Frost & Sullivan, 2016, Global Biomass Power Market
- Fuel Cell Market 2016-2024, Global Market Insights, 2016
- Gazprom 홈페이지(<https://www.gazprom.com>)
- Geothermal Power Market by Power Station Type and End Use: Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2019-2026, Allied Market Research, 2019
- Global Biomass Power Generation Market 2018-2022| Advances in Technology to Encourage Growth, TechNavio, 2018
- Global Biomass Power Market, 한국에너지기술평가원(KETEP), 2015
- Global Carbon Capture, Utilization &Storage Market Outlook 2017-2026, Research and Markets, 2019
- Global Market Insights, 2016, Fuel Cell Market 2016-2024
- Global Market Insights, 2018
- Global Shale gas Market, Alliedmarketresearch,
- GLOBAL WATER AND WASTEWATER TREATMENT MARKET 2018, FORECAST TO 2023, Market Reports World, 2019
- Global wind power market expected to approach \$125bn by 2030, GlobalData Energy, 2019
- glosfume 홈페이지(<http://www.glosfume.com>)
- Grand View Research, 2016, Battery Market Analysis by Product, by Application, and Segment Forecasts to 2024

- Grand View Research, Air Pollution Control Systems Market Size, Share & Trends Analysis Report, 2018
- GWI, IDA Yearbook, 2017
- GWI, The Global Water Market in 2018, 2019
- <https://blog.naver.com/p8725/221432566962>
- <https://www.airliquide.com>
- <https://www.gasworld.com>
- <https://www.nanowerk.com>
- Hydrogen Energy Storage Market by State, Storage Technology, End-User, and Region - Global Forecast to 2024, Market and Markets, 2019
- Hydropower Market 2019 Global Analysis, Opportunities and Forecast To 2026, MarketWatch, 2019
- ICT 융복합 지능형 자가발전시스템 기술개발, 한국생산기술연구원, 2015
- KCRC 홈페이지(<http://www.kcrc.re.kr>)
- KISTEP Issue Weekly 2018-02(Vol.220), KISTEP, 2018
- KISTI Market Report 공기청정기, KISTI, 2015
- KMA filter 홈페이지(<https://www.kma-filter.com/>)
- KOSME 산업분석 리포트(태양광·풍력을 중심으로 한 신재생에너지), 융합금융처, 2019
- Kotra 해외시장뉴스(美, 미세먼지 영향으로 공기청정장비 수요 늘어), Kotra, 2017
- MarketsandMarkets, 2017, Smart Grid Market by Software, Hardware, Service, and Region - Global Forecast to 2022
- Microbial desalination demonstration plant launched for brackish water, water desalination reuse, 2019
- NASA 홈페이지(<https://www.nasa.gov>)
- National Grid Electricity System Operator Britain 공식 트위터(https://twitter.com/ng_eso)
- NETL 홈페이지(<https://netl.doe.gov>)
- NREL, 2019, Best Research-Cell Efficiencies
- Nuclear Power Plant and Equipment Market, Allied Market Research, 2018
- OFFSHORE PLANTS, KOTRA(Invest KOREA), 2017
- Oil and natural gas sector: emission standards for new, reconstructed, and modified sources reconsideration, Environmental Protection Agency, 2018
- Oil Sands Market Report 2019-2029, 2019
- Pipeline Network Market by Offering, Application, Content, End-User Industry, and Region - Global Forecast to 2024, Markets and Markets, 2019
- rand View Research, 2016
- Review of standards of performance for greenhouse emissions from new, modified, and reconstructed stationary sources: electric utility generating units, Environmental Protection Agency, 2018
- Scientists develop machine that transforms dirty water into drinkable supply, UEW Bristol University, 2019
- SK건설, 캐나다 최대 오일샌드 플랜트모듈 이송완료!, 한국건설신문, 2019

- Smart Grid Market by Software, Hardware, Service, and Region – Global Forecast to 2022, Market sand Markets, 2017
- SOFC Development Update at Fuel Cell Energy, Fuel Cell Energy, 2018
- Solar Energy Market by Technology, by Solar Module, by Application and End-Use: Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2019-2026, Allied Market Research, 2019
- Solix BioSystems 홈페이지
- Spelling out the coal phase-out-Germany’s exit law draft, Clean Energy Wire, 2019
- Statistics, 2017, Carbon Capture and Storage (CCS) Market Size, Share, Report, Analysis, Trends & Forecast to 2022
- Study looks at new ways to remove multi-resistant bacteria from sewage, WaterWorld, 2018
- Syngas & Derivatives Market, Market and Markets, 2019
- The Clean Growth Strategy: Leading the way to a low carbon future, UK Government, 2017
- The European Green Deal sets out how to make Europe the first climate-neutral continent by 2050, boosting the economy, improving people’s health and quality of life, caring for nature, and leaving no one behind, European Commission, 2019
- The Revised Renewable Energy Directive, European Commission, 2018
- TransMountain 홈페이지(<https://www.transmountain.com>)
- Turning challenge into opportunity on the course to becoming the first climate-neutral continent, European Commission, 2019
- UK to take big ‘STEP’ to fusion electricity, Department for Business, Energy & Industrial Strategy, 2019
- UK wants to build world’s first fusion power plant 20 years from now”(2019.10.22.); Department for Business, Energy & Industrial Strategy(2019), “UK to take big ‘STEP’ to fusion electricity”, ZME Science, 2019
- Velocys 홈페이지(<https://www.velocys.com>)
- Waste to Energy Market By Technology (Thermal, Biological and Others) – Global Industry Insights &Opportunity Assessment 2016-2024, Research Nester, 2019
- Water Desalination Market by Technology, Source and Region, Global Forecasts 2018 to 2025, ADROIT Market Research, 2019
- Wave and Tidal Energy Market Segmentation By production (Wave Energy and Tidal Energy); By End-User Industry (Automotive, Marine, Industrial, Power and Others) - Global Demand Analysis &Opportunity Outlook 2027, Research Nester, 2019
- Wave and Tidal Energy Market Segmentation By production-Global Demand Analysis &Opportunity Outlook 2027, Research Nester, 2019
- What is the Clean Power Plan?, NRDC, 2017
- www.ge.com/renewableenergy
- www.industrynews.co.kr
- www.kriect.re.kr

- www.otecnews.org
- www.power-technology.com
- www.proactiveinvestors.co.uk, masterok.livejournal.com
- www.pv-tech.org
- www.thinkgeoenergy.com
- www.todayenergy.kr
- www.windpowermonthly.com
- Zion Market Research, 2017, Biofuels Markets-Global Industry Perspective, Comprehensive Analysis, and Forecast, 2016-2022