

V

국내외 정책·기술동향



• 태양광	192
• 연료전지	200
• 수처리 및 해수담수화	210
• 바이오연료	219
• 이산화탄소 포집 및 처리	226
• 환경나노촉매의 기상합성기술	235
• 광전기화학적 인공광합성기술	239

V. 국내외 정책·기술동향

태양광

1. 정책동향

가. 국내 정책동향

- 2014년 9월, 산업통상자원부는 태양광 육성 계획이 포함된 “제4차 신재생에너지 기본계획” 발표
 - 신재생에너지 원별 비중에서 폐기물에너지의 비중을 축소하는 한편, 동 감소분을 태양광과 풍력의 집중적인 육성으로 대체하겠다는 계획 발표

표 1. 1차에너지 기준 원별 비중 목표

(단위: %)

구분	2012	2014	2020	2025	2030	2035
태양열	0.3	0.5	1.4	3.7	5.6	7.9
태양광	2.7	4.9	11.7	12.9	13.7	14.1
풍력	2.2	2.6	6.3	15.6	18.7	18.2
바이오	15.2	13.3	18.8	19.0	18.5	18.0
수력	9.3	9.7	6.6	4.1	3.3	2.9
지열	0.7	0.9	2.7	4.4	6.4	8.5
해양	1.1	1.1	2.5	1.6	1.4	1.3
폐기물	68.4	67.0	49.8	38.8	32.4	29.2

출처: 산업통상자원부(2014.09). “제4차 신재생에너지기본계획” p.5

- 2015년부터 소규모 태양광 발전 활성화를 위한 REC 가중치 조정
 - 현행 지목에 따른 구분을 폐지하고, 2015년 1월부터 설치 유형 및 규모에 따라 차등 가중치 부여
 - 소규모 1.2, 중규모 1.0, 대규모 0.7의 가중치를 부여하는 등 소규모를 우대함으로써 소규모 태양광 발전소의 설치 확대 기대

표 2. 변경 후 태양광 REC 가중치

구분	공급 인증서 가중치	대상에너지 및 기준	
		설치유형	세부기준
태양광 에너지	1.2	일반 부지에 설치하는 경우	100 kW 미만
	1.0		100 kW 부터
	0.7		3,000 kW 초과부터
	1.5	건축물 등 기존 시설물을 이용하는 경우	3,000 kW 이하
	1.0		3,000 kW 초과부터
	1.5		수면에 부유해 설치하는 경우

출처: 산업통상자원부 보도자료(2014.09.12)를 재구성

- 서울시, 베란다용 미니 태양광 발전기 설치비 지원 (서울시 보도자료, 2014.05.18)
 - 8,000 가구에 아파트 베란다에 설치할 수 있는 미니 태양광 설치비를 지원 계획
 - 200~210 W 모듈은 65만원 이하, 250~260 W는 68만원 이하인 설치비의 50% 내에서 최대 30만원까지 지원
 - 설치 업체를 통해 5년간 무상 A/S 제공
 - 아파트 미니태양광은 베란다 난간에 태양광 모듈을 설치, 하루 3.2시간 가동으로 생산된 전기를 플러그를 통해 가정 내 전기로 사용하는 방식
 - 매월 최대 13,000원의 전기요금 절약 가능
 - 같은 단지 내 10가구 이상 설치 혹은 에너지자립마을에 해당할 경우 추가 인센티브 지급

표 3. 인센티브 지급액

지원대상	설치완료 가구	인센티브	비고
단지별 공동설치 가구	10가구 ~ 19가구	5만원 / 가구	서울시 녹색에너지과 지급
	20가구 이상	10만원 / 가구	
에너지자립마을	1가구 이상	10만원 / 가구	에너지자립마을 지급

출처: 서울시 홈페이지 (<http://www.seoul.go.kr/archives/48655>)

- 행정중심복합도시건설청은 2014년 11월, 세종시를 기후변화 대응과 신재생에너지 확대에 기반한 에너지 자족도시로 건설하고자 태양광 발전시설을 확대할 것이라고 발표(행정중심복합도시건설청 보도자료, 2014.11.26)
 - 방음터널, 자전거 도로 등 4~5곳의 후보지에 태양광 발전시설 설치
 - 2030년까지 250 MW의 태양광 발전시설을 설치할 계획
- 서울시, 태양광 시설물에 대한 자체 설치 기준 「건축물 태양광 발전시설 설치 가이드라인(서울특별시 공고 제2014-1868호)」을 발표하고 2015년부터 적용할 계획
 - 태양광 발전 시설 설치에 따른 도시 경관 저해, 일조권 및 조망권 침해 등을 최소화함으로써 이와 관련한 갈등을 예방하고자 함
 - 주변 도시경관과 조화를 이루도록 건물 태양광 설치의 높이, 면적, 경사각, 디자인 등을 규정
 - 태양광 모듈의 설치 높이는 3층이상 건축물 일 때 최대 3m이며, 3층 미만 건축물은 건축물 높이의 1/3 이하로 설치
 - 모듈 경사각의 36도 이내, 옥상 경계면에 돌출하지 않도록 설치
 - 설치 면적의 경우 옥상바닥 면적의 70% 이내, 경계면 내층에서 안전 공간 30cm 이상의 간격을 설치

V. 국내외 정책·기술동향

나. 해외 정책동향

■ 미국

- 미국 에너지부, 오바마 대통령의 기후행동계획(Climate Action Plan)에 기반하여 태양광발전에 관련한 40개 혁신 연구개발 사업에 5,300만 달러 이상을 투입할 것이라고 발표(DOE, 2014.10.22)
 - 태양에너지의 비용을 낮추고 기술개발의 핵심 측면을 다뤄 혁신적인 아이디어가 빠르게 상용화 되도록 하는 목표를 가지고 있음
 - 이 중 태양광 효율 및 내구성을 연구하는 기관에 1,400만 달러 추가 지급
- 미국 백악관, 태양에너지 도입 및 에너지 효율성 개선을 목표로 한 공공 및 민간부문 이행계획 발표(White House, 2014.09.18)
 - 2030년까지 탄소 배출량의 약 3억 메트릭 톤 감축 목표 설정
 - 3개 군 기지와 협력해 퇴역군인 태양에너지 직업교육 시범 운영
 - 540개 재생에너지 및 에너지 효율성 사업에 6,800만 달러 투자
 - 주택 청정에너지 및 에너지 효율성 비용을 낮추기 위해 보조금 지급

■ 중국

- 중국 국가에너지국은 2014년 9월, “분산형 태양광 발전에 관한 지원 정책” 발표(에너지경제연구원, 2014.09.12; 주 시안 대한민국 총영사관, 2014.09.19)
 - 분산형 태양광 발전의 원활한 계통연계 진행을 위해 각 시, 현의 전력망 기업이 원스톱 계통연계 서비스 창구를 개설할 것임
 - 분산형 태양광 발전 프로젝트 진행 시, 자가발전 전력 사용 후 남은 전력을 전력망 기업에 판매 하는 방법 또는 전량을 판매하는 방법 중 선택할 수 있도록 함
 - 35 kV 이하의 전압 접속(동북 지역의 경우 66kV 이하) 또는 단일 프로젝트의 용량이 2만kW 미만 일 경우, 모두 분산형 태양광 발전 프로젝트로 분류하여 현지의 태양광 발전 표준 전력가격 적용
 - 전력망 기업은 매달 분산형 태양광 발전 프로젝트 추진 기업(개인)과 전기세를 결산하고, 국가 보조금 대신 지급
 - 금융기관은 분산형 태양광 발전 프로젝트의 대출 서비스 플랫폼을 구축하고 보다 다양한 대출 담보방식 제공

■ 인도

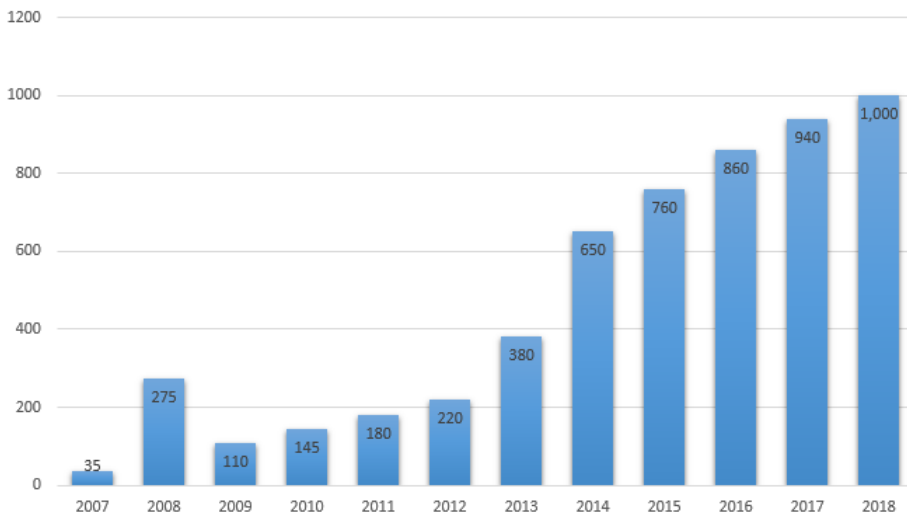
- 인도 정부, 태양광발전 부문을 보강한 신재생에너지 발전계획 발표(에너지타임즈, 2015.01.14)
 - 인도 정부는 2014년 11월, 1,000억 달러 규모의 신재생에너지 5개년 계획을 발표한 바 있음
 - 기존의 계획에 태양광 발전에 대한 투자액 및 태양광 발전 설비용량을 증대시킨 수정계획 발표

- 기존의 태양광 발전 설비용량 목표는 2022년까지 20 GW였으나, 100 GW로 상향조정
- 인도 신재생에너지부는 향후 5년 간 인도 전국에 500 MW급 규모 이상의 태양광 단지(Solar Park) 25개를 설립할 계획이라고 발표(글로벌에너지협력센터, 2015.01.07)
 - 개발자들은 중앙정부와 주정부의 입찰을 통해 선정
 - 개발은 주정부, 집행은 인도태양에너지공사(Solar Energy Corporation of India)가 담당

2. 시장동향

가. 국내 시장동향

- 연도별 국내 태양광발전 설비용량은 지속적인 성장을 보일 것으로 전망(그림 1)
- 지속적인 유가하락에도 불구하고, 신재생에너지와 태양광 산업은 계속해서 성장할 것으로 예상



출처 : Photon Consulting(2014). "The True Cost of Solar Power 2014"

그림 1. 국내 태양광발전 연도별 설치량 (2014년도부터 예측, 단위: MW)

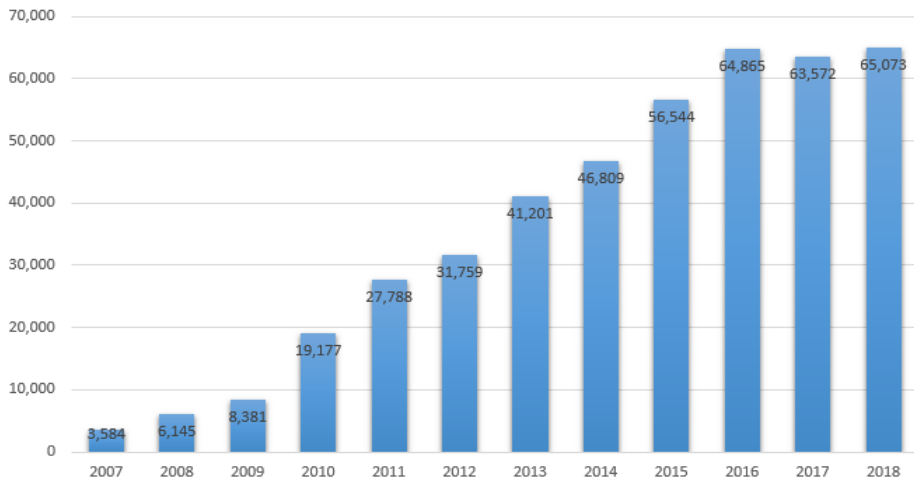
- 한화솔라윈과 한화큐셀이 합병하여 셀 분야에서 세계 1위 규모의 태양광회사로 재탄생(한화그룹 보도자료, 2015.02.04)
 - ‘한화큐셀’이라는 단일 회사로 통합되었으며, 합병법인의 셀 생산능력은 세계 1위 규모인 3.28 GW에 달함
 - 별도의 투자비용 없는 방식으로 합병 시너지 극대화
 - 원가경쟁력, 다각화된 생산거점을 바탕으로 자생력 갖춘 핵심사업으로 발전계획

V. 국내외 정책·기술동향

- 한화그룹, 일본 오이타현에 24 MW 태양광 발전소 준공(한화그룹 보도자료, 2015.01.15)
 - 한화에너지, 한화큐셀재팬 공동 투자로 24,47 MW 규모의 ‘한화솔라파워 기쓰키’ 건립
 - 연간 7,190 가구에 전기를 공급할 수 있는 대규모 발전소

나. 해외 시장동향

- 세계 태양광발전 연도별 설치용량은 지속적인 성장세를 보일 것으로 예상(그림 2)
 - 중국과 한국을 제외한 일본, 독일, 미국, 인도 등 주요국 모두 2016년까지 꾸준한 성장세를 유지하다가 2017년에 잠시 주춤할 것으로 예상(표 4)



출처: Photon Consulting(2014), "The True Cost of Solar Power 2014"

그림 2. 세계 태양광발전 연도별 설치량 (2014년도부터 예측, 단위: MW)

표 4. 세계 주요국 연도별 태양광발전 설치량(2014년도부터 예측)

(단위: MW)

구분	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
중국	4,001	12,870	13,300	15,150	16,700	17,950	18,700
미국	3,323	4,836	6,165	7,830	9,930	6,940	5,952
인도	1,140	990	1,460	2,110	2,760	3,460	4,150
독일	7,634	3,300	1,770	2,260	2,750	3,200	3,110
일본	2,100	6,000	8,050	8,850	8,250	3,550	1,570
한국	220	380	650	760	860	940	1,000
Total	31,759	41,201	46,809	56,544	64,865	63,572	65,073

출처: Photon Consulting(2014), "The True Cost of Solar Power 2014" 자료 재구성

■ 세계 태양광 2015년 수요 전망치 수정¹

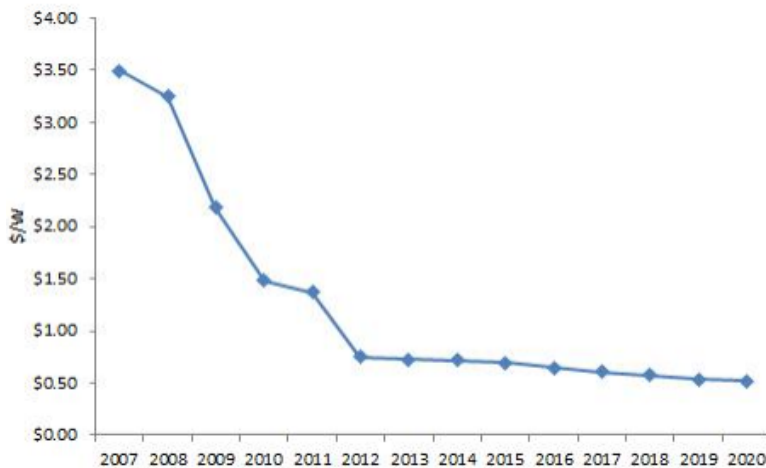
- 기존 50.1 ~ 57.4 GW 에서 52.5 ~ 58.3 GW로 상향 조정
- 일본 및 중국 태양광 수요 증가세가 두드러지고 있으며, 미국 태양광 수요도 증가세를 유지할 것으로 예상

■ 세계 태양광 발전 누적 설치량의 지속적인 증가 추세 전망

- 2013년 기준 143 GW에서 2020년에는 600 GW로, 2013년 대비 4배 이상 늘어날 전망
- 중국, 인도, 일본을 포함한 아시아 지역이 세계 최대 태양광 시장으로 발돋움할 것으로 전망

■ 태양광 - ESS 연계 방안 성장세 지속²

- 미국 하와이주에서 태양광 - ESS 연계 발전 가격이 주택용 전기요금보다 저렴한 역전현상 발생
 - 하와이주의 2012년 소매 전력가격은 38 센트/kWh 인 반면 태양광 - ESS 가격은 22 센트 /kWh인 것으로 측정
- 2030년까지 태양광과 ESS의 가격은 지속적으로 하락할 것으로 전망
 - 최근 5년간(2008~2013년) 태양광 모듈 가격은 80% 하락하였고, ESS가격은 50% 하락
 - 태양광 모듈은 누적 설비용량이 2배가 되면 모듈 가격이 24.2% 하락하는 학습효과 곡선을 따라 1976년 이후 하락세 지속(그림 3)



출처 : BNEF, Barclays. 에너지관리공단(2014.09), p.2에서 재인용

그림 3. 태양광 모듈가격 추이

1 한국태양광산업협회(KOPIA) 보도내용 취합자료

2 에너지관리공단 신재생에너지센터(2014.09). "신재생에너지 동향자료 2014년 2호"

V. 국내외 정책·기술동향

3. 기술동향

- 나노선 태양전지에 저렴한 유전체 코팅기술을 도입해 효율 향상 → 나노물질을 이용하여 태양전지의 근본적인 문제점인 광 흡수율 저하를 해결하는 단초 제공(에너지타임즈, 2015.02.04)
 - 나노선 태양전지는 광학 안테나 효과와 구조 내 빛의 가둠 효과가 우수해 같은 두께의 일반 박막 태양전지보다 단위 부피당 광 흡수율이 2배 이상 우수하나, 본질적으로 나노선은 실과 같은 가느다란 형상을 띠기 때문에 흡수 부피가 작아 전체 광 흡수율은 떨어질 수 밖에 없음
 - PN 접합 다이오드를 합성하고, 비교적 저렴한 플라즈마 화학 기상 증착법으로 나노선의 최외각 부분에 균일한 두께의 유전체 층을 도포해 유전체 층 도입 전보다 2배 가량 광 흡수율을 높임
 - 나노선 기둥 최외각에 유전체 층을 적절히 도입하면 광학 안테나 효과가 증대되어 외부에서 들어오는 빛이 얇은 두께의 나노선 내부로 입사되는 비율 증가
 - 코팅된 유전체의 굴절률이 증가할수록 광학 안테나 효과도 증대
 - 광 흡수율은 일반적으로 유전체 두께가 늘어남에 따라 점진적으로 증가하다가 특정 두께에서 포화되는 경향을 나타냄

- 국내 최고 수준인 9.24%의 광전환변환 효율을 갖는 스퍼터 기반($\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ 계) 박막태양전지 개발(에너지타임즈, 2015.02.03)
 - CIGS 박막태양전지의 주원료인 인듐(In)과 갈륨(Ga)은 부존량이 적고 값이 비싸 이들에 대한 대체 물질 필요성이 꾸준히 제기되어 왔음
 - 스퍼터 방식으로 구리(Cu)와 아연(Zn), 주석(Sn)을 겹겹이 쌓아 전구체를 제조한 뒤 전구체를 급속 열처리해 태양빛을 흡수하는 흡수층 합성기술 개발

- 한국화학연구원, 페로브스카이트 태양전지 기술개발 성공(사이언스타임즈, 2015.01.08)
 - 무기물과 유기물이 혼합된 페로브스카이트 구조를 갖고 있는 물질을 이용하여 태양전지에 저가의 화학소재를 저온에서 코팅해 페로브스카이트 태양전지를 제조하는 기술 개발
 - 이 기술은 에너지효율 18.4%의 태양전지를 제조할 수 있는 특징을 갖고 있으며, 미국 재생에너지 연구소에서 공인하는 페로브스카이트 태양전지 효율 차트에서도 20.1%의 가장 높은 효율로 공식 등재



출처: HelloDD.com (2015.01.08)

그림 3. 페로브스카이트 용액에 톨루엔을 첨가하여 침전시킨 분말과 개발한 태양전지

- 유해 용매를 사용하지 않는 친환경 박막태양전지 원료 생산(한국과학기술연구원, 2014.10.14)
 - 박막태양전지는 원가가 저렴하고 다양하게 활용할 수 있어 미래 태양광 기술로 주목받고 있으나, 제작공정이 까다로워 사용화에 걸림돌이 되어왔음
 - 인체에 유해한 화학 용매 없이 원료들을 기계적으로 회전시켜 박막태양전지 제조에 필요한 나노결정 잉크 개발
 - 무독성 원소인 구리, 아연, 주석, 황만을 기계화학적으로 반응시켜 CZTS 나노결정 합성
 - 고온공정이 필요없고 용매의 건조, 나노입자 분리, 유기물 제거 등의 공정 단계를 생략할 수 있어 기존의 유해 화학 용매(CIGS, CdTe)를 사용한 것보다 공정 시간을 10시간 이상 단축 가능
 - 원료로 사용된 원소들 역시 지구상에 많이 존재하는 원소로 이루어져 원료비 절감효과까지 있음

연료전지

1. 정책동향

가. 국내동향

- 서울시, 서남물재생센터에 연료전지 설치(서울시 보도자료, 2014.10.01)
 - 공공부지인 서남물재생센터 내 부지를 대여하는 방식으로 연료전지 발전시설을 설치하기로 합의하고, 2016년 6월 준공을 계획하고 있음
 - 30 MW 이상급으로 서울시에 설치되는 연료전지 발전시설로는 최대규모
 - 연간 전력 236 GWh로 약 6만 5천 세대에 전력공급 가능
 - 연간 열원 약 12만 Gcal로 약 1만 세대에 지역난방 가능
 - 준공 완료 시, 서울시내에 총 75 MW급 분산형 연료전지 전력 공급시설을 보유하게 됨으로써 발전 시설을 통한 전력자립률이 0.7%에서 1.2%로 2배 가량 증가 예상¹
 - 연간 전력 590GWh, 약 16만 세대에 전력공급 가능
 - 연간 열원 30Gcal, 약 3만 세대에 지역난방 가능
 - 앞으로도 서울시는 공공시설 공간을 활용한 연료전지 발전시설 등 분산형 신재생에너지 보급 사업을 지속적으로 추진해 서울시 전력자립도를 2013년 4.2%에서 2020년 20%까지 확대해 나갈 예정

- “미래성장동력분야 플래그십 프로젝트 추진계획(안)”을 확정하고, 연료전지 산업 육성에 대한 민관협력을 다짐(에너지타임즈, 2015.01.08)
 - 정부는 창조경제 성과창출 속도를 높이기 위해 ‘제3차 창조경제 민관협의회’를 열고 연료전지 육성 내용을 담은 “미래성장동력분야 플래그십 프로젝트 추진계획(안)”을 확정
 - 2020년까지 4,600억원의 예산을 투자해 연료전지를 활용한 사업 추진 예정
 - 현재 민관 차원에서 연료전지 발전단지 구축 중
 - 한국수력원자력(주)과 한국지역난방공사는 1,150억원 투자 규모로 서울시 상암동 유희부지에 20 MW 규모의 연료전지 발전단지 구축 중
 - 한국전력공사와 대구시는 60 MW 연료전지 발전단지와 7 MW 태양광 발전설비를 결합한 복합 발전시설을 구축 중
 - 포스코에너지와 서울시는 전기·난방·전기자동차 충전 등에 쓰이는 2.5 MW 연료전지 설비를 구축 중
 - 이에 발맞추어 정부 역시 연료전지 분야 육성을 위한 지원정책을 추진하기로 함

1 2013년 서울시 전력 자립률 4.2%, 전기는 가구당 연간 3,600 KWh, 열원은 가구당 연간 10 Gcal 기준

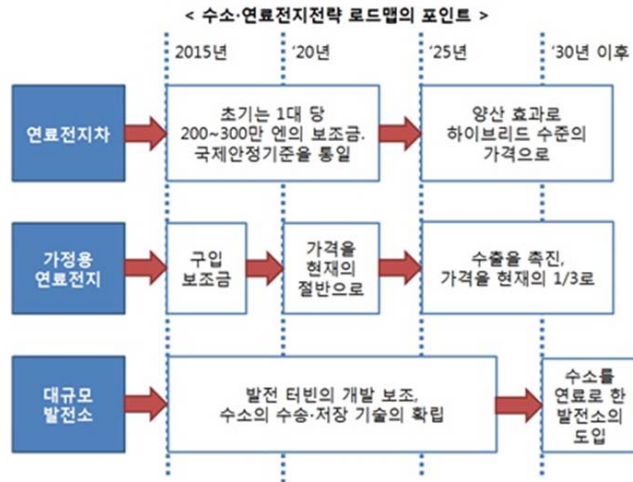
- 연료전지 관련 핵심기술 국산화와 차세대 연료전지 개발 등을 위한 연구개발을 지원하기로 하고, 올해 262억원 지원 예정
- 연료전지를 비상 전원으로 사용하는 방안을 검토하는 등 연료전지 확산을 위한 기반 조성에도 주력 예정

나. 해외동향

- 영국정부는 그린카 활성화를 위한 다양한 정책적 지원을 실시하고 있음(KOTRA 보도자료, 2014.09.25)
 - 영국 내에서 저공해차를 개발하는 자동차 업체에 대해 총액 4억 파운드의 지원 결정
 - 완성차 업체, 전력업체, 대학 등 8개 기관의 컨소시엄에 2,500만 파운드의 자금을 제공하여 전기차 실증실험 지원
 - 이와 더불어 주요 도시 내 전기차 무료 충전소 설치를 위해 영국 에너지 기술연구소에서 1,100만 파운드 투입
 - 전기차 구입 보조금 제도 실시 및 그린 모니터링 실시
 - 전기차를 구입하는 영국 구매자에게 2,000 ~ 5,000 파운드의 보조금 지급
 - 그린카에 대한 지원 정책으로 자동차의 보유세 경감, 런던시 진입 시 약 12 파운드의 혼잡세 면제 실시
 - 런던시 혼잡통행료 세액을 CO 배출량으로 개정하여, CO 배출량 120 g/km 미만 차량은 면제, 225 g/km 이상 차량에는 25파운드를 지불하게 함
 - 런던 도심에 전기차 무료 충전소²를 운영 중이며 1년에 75 파운드만 내면 주차비와 충전비를 감면해줌
 - 영국 런던시는 10만 대의 전기차를 보급한다는 목표를 설정하고, 2015년까지 관용차량 1,000대를 전기차로 교체할 계획임
 - 전기차 보급을 위해 2015년까지 런던 지역에 25,000개소의 충전장치를 설치할 계획이며 2012년부터 3마일 범위를 기준으로 급속충전기 네트워크 구축 예정
 - 추가적인 충전 인프라 구축과 관련해 영국 정부는 신중한 입장을 보이고 있으며, 충전 인프라의 형태가 완성되기 전에 먼저 전기차를 충분히 보급할 계획임
- 일본 경산성은 「수소·연료전지전략 로드맵」을 책정하여 연료전지 등을 활용한 수소 사회로의 도약을 모색 (일본경제연구센터, 2014.09.29)
 - 2014년 6월, 경산성은 「수소·연료전지전략 로드맵」을 책정하여 2020년을 수소 발전의 본격 도입과 대규모 수소 공급 시스템의 확립 시기로 설정하고, 연료전지 등을 활용한 수소 이용 기술을 단계적으로 도입할 예정

² 런던시는 향후 2500개까지 확대할 계획임.

V. 국내외 정책·기술동향



출처: 일본경제연구센터 일본지식리포트(2014.09.29)

그림1. 일본의 수소·연료전지전략 로드맵

- 일본 정부는 온난화 가스를 배출하지 않는 수소를 새로운 에너지원으로 활용하기 위하여 관련 산업의 확대를 추진하고 있으며 관련 기업에 보조금 지원
 - 도요타 자동차는 원래 계획을 1년 앞당겨 2015년 3월까지 연료전지차(Fuel Cell Vehicle: FCV)를 판매할 예정으로, 판매 가격은 700만 엔 대를 예상하고 있음. 정부나 지자체의 보조금을 활용하면 소비자는 약 500만 엔으로 구입 가능
 - 2009년 일본에서 판매된 가정용 연료전지 “에네팜(ENE FARM)”의 누적 판매 대수는 현재 7만 2,000대이며, 2014년 말에 12만 대를 초과할 전망
 - 미국 Bloom Energy의 연료전지에도 일본기업 약 10개 사가 부품 및 소재 공급
- 현재는 화석연료로부터 수소를 제조하고 있지만 장기적으로 보면 해외에서 수소를 수입하는 수소 공급 비즈니스도 발전할 것임
 - 산업가스 대기업인 독일의 린데(Linde)는 FCV에 연료를 공급하는 수소 충전 시스템을 이와타니 산업과 연계하여 일본에서 생산할 계획
 - 후쿠오카현은 2009년에 일본에서 처음으로 고압 수소 실험이 가능한 “수소 에너지 제품 연구실 협센터”를 설립, FCV의 생산거점을 후쿠오카에 유치시키기 위해 인프라 정비와 인재 육성 추진

2. 산업동향

가. 국내동향

- 산업연구원은 10년 뒤 수소 연료전지 자동차시장이 100배 성장할 것이라고 예측(에너지타임즈, 2014.09.20)
 - 1990년대 말부터 개발된 수소 연료전지 자동차가 2015년부터 본격적으로 상용화되면 현재 3,400 억원 수준의 관련 시장 규모가 2025년에는 33조원에 달할 것이라고 전망
 - 또한 환경규제가 강화되면서 수소 연료전지 자동차보급이 2020년을 기점으로 대폭 확대되어 오는 2030년이면 세계에서 연간 200만 대 이상이 판매될 것으로 예상
 - 수소 연료전지 자동차의 부품 국산화율은 95%로 세계적인 수준이지만 보급 확대를 위해서는 국내 충전소 관련규정 등 제도 개선이 필요하며, 독일과 영국, 네덜란드, 프랑스 등의 실증기반 도입 구축 시급
 - 수소 연료전지 자동차 산업을 미래의 새로운 성장 동력으로 육성하고 특히, 부품생산을 담당할 중소기업을 지원하기 위해 법과 제도 등 종합적인 지원 추진 예정

나. 해외동향

- 일본 자동차 시장에 연료전지 자동차가 본격적으로 보급되기 시작(KOTRA 해외비즈니스 정보포털, 2014.12.31)
 - 2014년 12월, 도요타는 세계 최초로 시판용 수소 연료전지 자동차(FCV) 미라이 출시
 - 도요타는 1992년부터 20년간 수소 연료전지 자동차 개발에 몰두, 1대에 1억엔이라는 가격을 723만엔까지 끌어내리는데 성공했으며, 정부의 보조금 혜택에 힘입어 521만엔까지 가격을 낮춤
 - 일본 내 목표 판매 대수를 400대로 설정했으며, 미국으로 진출하여 총 3,000대 판매를 목표로 하고 있음
 - 미라이 시판이 발표된 이후 일본 내 사전 주문이 1,000대를 육박하는 등 호응이 좋아 출시 한 달 만에 연간 생산대수 목표를 4배 이상으로 늘림

V. 국내외 정책·기술동향



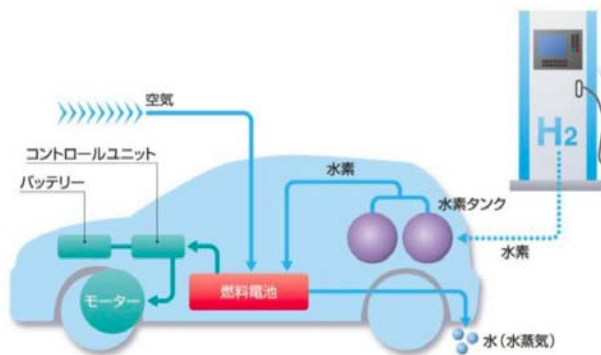
그림 1. 도요타에서 출시된 세계 최초의 연료전지자동차(FCV) “미라이”

- 그러나 아직 미흡한 충전소 인프라 확충이 성패의 관건이 될 것으로 보임
 - 현재 일본에는 도쿄, 오사카, 나고야, 후쿠오카 등 대도시를 중심으로 약 40여 곳에만 수소 연료 전지 자동차 충전소가 설치되어 있어 아직 FCV 운영을 위한 수소 충전소 인프라가 충분하지 못한 상황
 - 도요타는 충전소 인프라 확충을 위해 일본 정부로부터 4 ~ 5억원에 이르는 충전소 건설비를 지원받아 충전소를 빠르게 늘려나갈 계획이라 밝힘
- 네비건트리서치는 “2014년 연료전지 연례보고서(Fuel Cells Annual Report 2014)”를 발간하여 세계 연료전지 기업의 성과를 공개하고 연료전지 업계 동향 분석(에너지경제, 2015.01.05; 신재생에너지코리아 시장동향, 2015.01.22)
 - 네비건트리서치가 2014년 11월 발간한 보고서에 따르면 미국의 퓨얼셀에너지가 2013년 매출액 1억 8,765만 달러(한화 2,072억원), 매출원가 1억 8,053만 달러(한화 1,994억 원)로 업계 1위를 기록했다고 밝힘
 - 이와 같은 매출 증가는 퓨얼셀에너지의 제품 판매와 서비스, 라이선스 수입이 늘었기 때문인 것으로 분석됨
 - 퓨얼셀 에너지는 발전용으로 주로 쓰이는 용융탄산염방식 연료전지(MCFC)를 개발해 포스코에너지에 기술을 이전한 회사로, 포스코에너지는 퓨얼셀에너지에 총 5,500만 달러를 투자해 지분 12.1%를 보유하고 있는 최대 주주임
 - 또한 네비건트리서치는 연료전지 시스템 매출이 2023년 578억 달러에 달할 것으로 전망

3. 기술동향

가. 연료전지 자동차

- 연료전지 자동차(Fuel Cell Vehicle: FCV)는 탑재된 수소연료와 공기 중의 산소를 이용하여 연료전지 발전을 하고, 이를 동력으로 하여 주행하는 자동차임
 - 모터로 주행하기 때문에, 전기자동차의 한 종류로 생각되어, 유럽과 미국에서는 FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle)로 지칭되는 경우도 많음
 - 주행 시 배출되는 것이 물 뿐이기 때문에 궁극의 친환경차라고 할 수 있으며, 자동차 배기가스저감 및 대기질 개선에 기여할 수 있음
 - 연료전지 스택(출력 75~100 kW), 고압수소저장탱크, 제어장치, 공기 컴프레셔 등으로 구성된 연료전지와 이차전지를 함께 사용하는 하이브리드 시스템이 일반적
 - 출력밀도가 우수한 고분자 전해질형 연료전지(PEMFC: polymer electrolyte membrane fuel cell)가 주로 사용됨
 - 수소는 고압탱크에 저장되는데, 1회 충전으로 500 km 주행이 가능한 70 MPa 방식이 주로 사용되며, 알루미늄 라이너(Type 3) 또는 플라스틱 라이너(Type 4)에 탄소 FRP를 감은 복합용기의 형태로 제조됨
 - 고체산화물형 연료전지(SOFC: solid oxide fuel cell)는 자동차의 주전원으로는 활용이 어려우나 (빈번한 기동/정지), 세단이나 트럭의 보조전원용으로 검토되고 있음



출처: <http://hysut.or.jp/information/pdf/panel03.pdf>

그림 2. 연료전지자동차의 구조

- 연료전지 자동차의 가격 저감을 통한 경제성 확보가 최대 과제인데, 이를 위해서는 연료전지 시스템(연료 전지, 보조기기부품, 수소저장시스템 등)의 대폭적인 가격저감과 시장 확대가 중요
 - 현재 기술로 연 50만 대 규모로 양산하는 경우, 연료전지 시스템 가격은 55 달러/kW (75 kW 시

V. 국내외 정책·기술동향

스택은 4,000 달러) 수준으로 전망됨

- 전극촉매의 귀금속 사용량 저감, 고분자막의 가격 저감 등의 재료 가격 저감과 함께, 연료전지의 부피당 출력을 향상시켜 연료전지를 소형화(재료 사용량 저감)하는 방안 등이 있음
 - 차에 설치하는 고압탱크에 대해서도 사용재료 개발 및 제조방법의 개선에 의한 가격 저감이 필요
 - 연료전지 시스템 측면에서는 보조기기 부품의 가격 저감과 시스템 단순화에 의한 가격 저감이 필요함
 - 연료전지 자동차에 사용되는 PEMFC는 대부분 80℃ 이하의 온도에서 운전되므로, 작동온도와 외기온도의 차이에 의한 방열 조건이 종래의 내연기관 차량과 비교하여 매우 불리함
 - 이에 따라 연료전지 자동차는 대형화된 라디에이터 시스템을 사용하게 됨
 - 이와 관련된 비용을 저감하기 위해서는 라디에이터 시스템의 소형화 기술 개발, 또는 연료전지 운전 온도의 향상이 요구됨
 - PEMFC가 물의 끓는점보다 높은 100℃ 이상에서 운전되는 경우, 연료전지 스택의 수소 이온 전도에 필수적인 물을 어떻게 유지하는지가 기술과제임
- 보급 본격기를 대비하여, 소비자의 니즈에 맞게 차종을 확대하고(소형 승용차 등), 업무용 차량을 개발하며 해외 시장을 확대하는 것이 필요
- 택시와 상용차 등의 업무용 자동차는 개인용 자동차에 비해 총 주행거리가 길기 때문에 더욱 높은 내구성과 신뢰성이 요구됨
 - 성능 이외에도 친환경성과 신규성 등에 대한 홍보를 통해 연료전지 자동차 자체의 매력을 향상시키는 것이 바람직
 - 소비자는 경제성에 민감하여, 차의 초기 비용과 운용비용(연료비)의 수준이 중요한 구매 검토 요인이 될 것임. 따라서, 기존 가솔린 차나 하이브리드차와 비교하여 수소연료의 주행거리 당 연료비용이 대등하거나 저렴하도록 경제성을 확보하는 것이 필요함
 - 또한, 많은 소비자는 수소 충전 인프라 부족을 우려하고 있으므로, 수소 스테이션의 설치 확대 등을 추진하여 이용 편리성을 높일 필요가 있음
 - 이러한 사항들을 종합적으로 진행하면 연료전지 자동차에 대한 사용자의 수용성이 향상될 것으로 기대

トヨタ FCV CONCEPT	ホンダ FCEV Concept	Hyundai Tucson FCEV
<ul style="list-style-type: none"> ・2014 年度内市販開始 ・水素: 70MPa 対応 ・航続距離 500km 以上 ・4 名 	<ul style="list-style-type: none"> ・2015 年市販開始 ・水素 70MPa 対応 ・航続距離 480km 以上 ・5 名 	<ul style="list-style-type: none"> ・2014 年に米国でリース開始 ・水素 70MPa 対応 ・水素を無料提供
		

출처: NEDO(2014), “수소에너지백서”

出典: 各種資料より NEDO 作成

그림 3. 연료전지자동차 양산차 및 컨셉카

- 이미 여러 자동차 회사에서 연료전지 자동차의 양산차 및 컨셉카를 발표하고 있음
 - 주요 업체로는 일본의 도요타, 혼다, 닛산, 미국의 GM과 Ford, 독일의 BMW, Volkswagen, 한국의 현대 등이 있음
 - 일본 자동차 회사들이 가장 적극적으로 연료전지 자동차 시장을 선도하고 있음
 - 도요타자동차는 일본 국내(2014년) 및 유럽(2015년 여름)에 판매를 개시하는 것으로 발표하였으며, 혼다도 2015년 판매 개시를 발표
 - 닛산자동차는 님러, 포드 등과 공동개발을 통해, 세계 최초로 저가 양산형 연료전지차를 빠르면 2017년에 발매할 예정
 - 현대는 로스앤젤레스에서 계약금 3,000 달러, 월 499 달러(수소가격 포함)에 연료전지 자동차 리스판매 개시
 - 캘리포니아 주는 2015 ~ 2017년에 5만 대, 독일은 2023년 50만 대 규모, 영국은 2030년에 160만 대 규모로 보급 대수를 전망하고 있음
 - 이와 같이 연료전지 자동차가 보급되면, 재해 시 이동전원차로 활용될 수 있을 것으로 기대됨

나. 연료전지 버스

- 연료전지 버스는 기본적으로 연료전지 자동차와 유사한 기술을 사용하고 있으나, 보다 높은 출력이 필요함
 - 연료전지로는 PEMFC를 사용하고 있으며, 수소연료는 고압탱크에 저장
 - 고압탱크는 일반적으로 CNG 버스처럼 지붕 위에 탑재하는 경우가 많음
 - 유럽, 미국에서는 버스 메이커가 시판 디젤버스를 연료전지 버스로 개량하여 판매하는 경우가 많으며, 연료전지 시스템은 캐나다 Ballard Power Systems 제조 등을 탑재하고 있음

V. 국내외 정책·기술동향

- 연료전지 자동차와 마찬가지로 연료전지 버스의 경우에도 가격 저감이 크게 요구됨. 이를 위해서는, 연료전지 시스템의 가격저감과 함께 연료전지자동차 시스템을 공유화하는 것이 필요
- 고속버스 등의 도시간 버스로 활용되기 위해서는, 장시간 연속 고부하 운전 및 총 주행거리의 증대 등이 고려되어야 함. 따라서, 이에 따라, 연료전지시스템의 한층 높은 내구성과 신뢰도 향상이 필요함

■ 각국에서 다양한 연료전지 버스 실용사례가 있음

- 북미 일부 도시에서는 일상 노선버스로 연료전지 버스를 사용하고 있는데, 예를 들어 AC Transit (미국 샌프란시스코), BC Transit (캐나다 밴쿠버) 등의 공공버스 회사는 수십 대 규모로 일상 노선 서비스를 제공하고 있음
- 유럽에서는 연료전지버스 실증 프로그램 CHIC를 통해 Daimler제 연료전지 버스 37대가 시험 운행되고 있음
- 일본에서는 히노자동차/도요타자동차가 2003년에 연료전지 버스 “FCHV-BUS2”를 8대 개발하여, 지금까지 다양한 용도로 이용되고 있음
 - 2003년 8월부터 2004년 12월에 걸쳐, 도쿄도의 도버스로 영업 운행 시험 실시
 - 2005년 아이치 엑스포 셔틀버스로 이용되어 총 100만 명이 탑승하였음
 - JHFC 프로젝트의 일환으로, 하네다 공항과 동경 도심(신주쿠)을 연결하는 리무진 버스 및 신 간사이 국제공항의 터미널버스 등으로 활용되고 있음

■ 연료전지 버스의 향후 전망은 다음과 같음

- 주요 기업은 일본의 히노자동차/도요타자동차, 독일의 Daimler, 캐나다의 Ballard, 미국의 AC Transit, 캐나다의 BC Transit 등이 있음
- JHFC 프로젝트의 중부 국제공항 주변지역 실증시험에서 실시된 이용자 앙케이트에 의하면, 많은 사람이 긍정적인 평가를 하였으며, 연료전지 버스가 연료전지 기술과 수소기술에 대한 사회수용성 향상에 기여할 수 있는 가능성이 있음
- 히노자동차/도요타자동차는 도요타의 연료전지 자동차 기술을 응용한 신형 연료전지 버스를 2016년에 판매할 예정
- 연료전지 버스는 대용량의 이동형 전원 차량으로 기대가 큼

空港リムジンバス	空港ランプバス	ターミナル連結バス
		
東京空港交通(株)	ANA中部空港(株)	新関西国際空港(株)
羽田空港⇄ 新宿駅西口／箱崎 (130km／日)	旅客ターミナル～ 旅客機 (20～30km／日)	エアロプラザ～LCC ターミナル (14往復・77km／日)
2011.4～2013.9 計 40,000km走行 (2台のうち、より長期間 運航されたバス)	2011.4～2013.8 計 12,500km走行 (2台のうち、より長期間 運航されたバス)	2011.4～運行中 計 7,700km走行 (2013.12までの実績)
高速道路走行あり	—	—

출처: 일본 자원에너지청 연료전지추진실(2014.03), “연료전지의 새로운 용도에 대해”

그림 4. 일본의 연료전지 버스 실증 사례

수처리 및 해수담수화

1. 정책동향

가. 국내 동향

- “물산업 클러스터 조성사업” 본격화(환경부 보도자료, 2014.12.04)
 - 물산업은 블루골드 산업으로 국내기업의 적극적인 해외시장 진출이 필요하나, 경험부족 및 국가차원의 지원체계 미흡으로 시장점유는 미미한 수준
 - 국내기업 세계시장 점유율 0.3% 수준(12년 기준 국내기업 해외진출 규모 2조원)
 - 관련 기술 집적화 및 네트워크 강화를 위해 물산업 클러스터를 기반으로 물산업 육성 필요
 - 물산업 클러스터 조성에 100억원의 예산 책정
 - “물산업 클러스터 조성사업”의 예비타당성 조사 통과
 - 2017년까지 총 사업비 3천 137억원 예상
 - 물산업진흥시설과 실증화단지, 기업집적단지로 구분
- 환경부, 「물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률」 하위법령 일부 개정(환경부 보도자료, 2014.07.17)
 - 빗물이용시설 의무적 설치 대상에 공동주택, 학교, 골프장 및 대규모점포 포함
 - 골프장의 경우 집수(集水)된 빗물로 연간 물 사용량의 40% 이상 사용 가능한 용량의 저류조를 갖추도록 함
 - 빗물이용시설에 갖추어야 하는 시설의 기준 정함
 - 물의 재이용 대상에 발전소 온배수 추가
 - 온배수 재처리수의 용도별 수질기준을 정하는 등 물의 재이용 촉진
 - 현행 제도의 운영상 나타난 일부 미비점 개선 및 보완
- “2013년 상수도 통계”에 나타난 한국의 상수도 현황은 다음과 같음
 - 2013년 전국 상수도 보급률 98.5%로 2012년 대비 0.4%p 상승
 - 우리나라 인구 51,325천 명이 안정적인 수돗물 공급의 혜택을 받고 있음
 - 그러나 서울 등 특·광역시 상수도 보급률이 99.9%인 반면, 농어촌 지역은 89.8%로 상대적으로 낮은 수준을 보임
 - 1인당 하루 사용 수돗물의 양은 282 L로, 2012년 대비 4 L 증가
 - 수돗물 사용량과 급수인구(42만명)의 증가가 총 급수량이 2% 증가한 원인으로 분석됨

- 상수관망 노후 등으로 인한 수돗물 누수량이 6억 5,600만 톤(누수율 10.7%)에 이룸
 - 이는 2012년 대비 0.3%p 증가한 수치로, 이를 전국 수돗물생산 평균원가로 환산하면 약 5,570억원의 손실발생 추정
 - 수도관 교체율(1.4%)과 개량률(0.8%)이 증가했음에도 누수량이 증가한 것은 수도관 교체·개량이 수도관의 노후화 속도를 따라가지 못한 것으로 추정

■ “2013년 하수도 통계”에 나타난 한국의 하수도 현황은 다음과 같음

- 2013년 전국 하수도 보급률 92.1%로 2012년 대비 0.5%p 상승
 - 도시지역 하수도 보급률이 94.9%인 반면, 농어촌 지역은 63.7%로 상대적으로 낮은 수준을 보임
 - 하수도 보급률을 연도별로 살펴보면 2005년 83.5%에서 매년 1 ~ 2%p씩 상승하여 2010년에 90.1% 달성
- 전국에 가동 중인 공공하수처리시설 중 500 m³/일 이상인 규모의 시설은 569개소이고 나머지는 500 m³/일 미만으로 나타남
 - 하수도 서비스를 받는 총 인구수는 4,801만명으로 2012년에 비해 47만명 증가
 - 569개 공공하수처리시설에서 2013년 처리한 하수는 총 71억 8,600만 m³

■ 환경부, 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」 시행령 개정안 통과(환경부 보도자료, 2014.11.18)

- 특정수질유해물질 규제기준을 먹는 물 수준으로 합리화
 - 기존에는 특정수질유해물질 배출시설에 대한 규제기준이 먹는 물 수준보다 엄격히 적용되었는데, 이를 기술진보와 현실에 맞게 합리적으로 개선
 - 먹는 물 수준을 고려하여 설정한 기준 미만으로 특정수질유해물질이 발생하는 폐수배출시설은 설치허가 대상에서 제외되고 제한지역 내 입지 허용
- 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 시행령 개정
 - 특정수질유해물질을 일정 기준 이하로 배출하는 공장은 공업지역이 아닌 지역에서도 입지를 허용하여 규제개선 효과를 높임
 - 입지규제의 합리적인 개선으로 기업경영 부담을 줄여 경제 활성화에 도움이 될 것으로 기대

나. 해외 동향

- 그리스 해양부, 담수화 공장 민영화를 통한 물 부족 해결 추진(KOTRA 해외비즈니스정보포털, 2014.10.15)
 - 극심한 물 부족 문제에도 불구하고, 담수화 공장 등 수자원 관리 부실로 인한 예산 낭비
 - 지난 9년 동안 그리스 해양부는 키클라데스 제도에 물을 운송하는 데만 6,800만 유로 지출

V. 국내외 정책·기술동향

- 특히, 2008년에 1,200만 유로로 최고치를 기록했는데, 이는 연말에 쓰인 예산의 절반에 해당
- 키클라데스 제도의 섬 대부분이 물 부족문제를 겪고 있으며, 해수 담수화 비용보다 물 수송비용이 더 적게 나가는 데도 불구하고 물 공급에만 주력함
- 에게 해에 약 45개의 담수화 장치가 있는 것으로 추정되나, 실제로 작동하지 않고 있으며 대부분의 장치가 각각 다른 회사에서 지어져 통합 관리가 어려움
- 해양부, 그리스 전체 섬의 담수화 장치 네트워크를 민영화하는 방안 추진 계획
 - 담수화 과정뿐만 아니라 꼼꼼한 수자원 관리 시스템이 필요하다는 점을 들어 민영화의 필요성에 대해 역설함
 - 이드라(Hydra) 섬에 새로운 담수화 공장 건설을 기점으로 담수화 공장 운영을 활성화할 예정
- 에게 해의 담수화 공장 운영을 활성화하여 물 가격을 2/3 수준으로 낮출 전략을 취하고 있음



출처: <http://www.temak.gr>, KOTRA 해외비즈니스정보포털(2014.10.15)에서 재인용

그림 1. 이드라 섬의 담수화 공장

- 중국, 농촌지역 음용수 설비에 1,800억 위안 상당의 UF(Ultra Filter) 멤브레인 장치 설치(미래환경 “해외수처리동향”, 2014.03.04)
 - 중국 정부의 농촌지역 음용수 수질 안전을 제고하기 위한 정책의 일환
 - 하이난 군도의 학교 지하수 정화를 위해 UF 멤브레인 설치
 - 천마이 지역의 50개 학교와 155개 마을에 UF 멤브레인 설치로 안전한 음용수 제공
 - 2005년부터 농촌지역 음용수 수질개선 프로젝트 추진을 위해 이미 1,800억 위안을 책정해 둠
- UAE, 아부다비 2018년까지 100% 물 재이용 장기정책 추진(미래환경 “해외수처리동향”, 2014.03.04)
 - 아부다비 지방정부에서 향후 4년간 폐수를 주변환경에 그대로 방류하는 것을 완전히 금지시키는 계획 초안 수립

- 현재 오·폐수의 절반 정도가 주변환경, 특히 도시 주변의 걸프만에 방류
- 도시지역의 상수원에 화학성분 혹은 미생물 성분의 오염물질이 다량 함유되는 결과 초래
- 농업용의 물 수요가 폐수 처리의 전체 물량 규모를 초과하고 있어 처리된 하·폐수 자원을 필요로 하는 곳에 공급해야 하는 당위성에 직면

- 미국, 2050년까지 물 부족 억제 전략 수립(한국과학기술정보연구원, 2014.09.05)
 - 캘리포니아 주 국회의원들은 75억 달러에 달하는 비상 물 계획 제안 예정
 - 관개 기술, 산업 및 거주자 습관과 결합한 기후 변화 등이 물 부족 문제의 근원
 - 캐나다 맥길 대학(McGill University)과 위트레흐트 대학(Utrecht University)의 연구진의 결과에 따라 물 스트레스를 줄이는 6개 핵심 지역에 대한 전략 제시

표 1. 6개 핵심전략

유연한 조치(Soft measure)	어려운 조치(Hard measure)
농업에서의 기술 혁신	더 많은 저수지의 구축
관개 효율 개선	
가정 또는 산업용 물 사용 감축	해수의 담수화 노력 증대
지역 사회 규모의 노력	

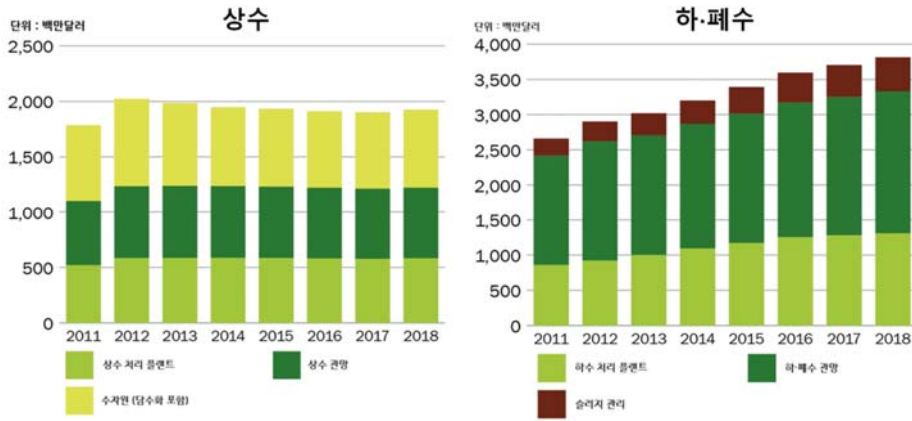
출처: KISTI(2014). "글로벌동향브리핑(2014.09.05)"을 재구성

2. 시장동향

가. 국내 동향

- 국내 물 시장은 성숙한 단계에 이룸(Global Water Intelligence, 2014)
 - 상수와 관련된 시장은 정체 상태
 - 하·폐수 관련 산업은 상수보다 자본 지출이 증가하여 작년 대비 4% 성장을 보임
 - 슬러지 관리에서의 지출이 크게 성장할 것으로 예상됨(10%)
 - 스마트 네트워크 시스템으로의 전환이 향후 세계 물 산업에서의 기회로 작용할 것으로 예상됨

V. 국내외 정책·기술동향



출처: GWI(2014), "Global water market 2014"

그림 2. 한국의 상·하수 시장 현황 및 전망

■ 국내 물산업 시장규모는 12조원으로 추정

- 정부, 국내 물산업 시장규모를 2020년까지 26조원으로 육성시킬 계획
 - 국내 물산업은 제조 부문이 40.3%로 가장 큰 비중을 차지하며, 운영관리 부문은 4.2조원으로 전체시장의 35.9%를 차지
 - 운영관리 부문은 상수도 운영 66%, 하수도 운영 34%로 구성

■ 해수담수화 시설부문이 지난 10년간 수주 실적의 60%인 76억 달러 차지(한국수출입은행, 2014)

- 담수화 플랜트 부문은 국내 물 산업 중 해외진출이 가장 활발한 분야
 - 플랜트 산업의 발전에도 불구하고 물 산업에 대한 국내 기업들의 진출이 더딘 편
 - 해수담수화 분야 경쟁력을 유지하기 위해 역삼투압 신공정 개발 등의 기술 개발 및 플랜트 운영 능력 확보 필요

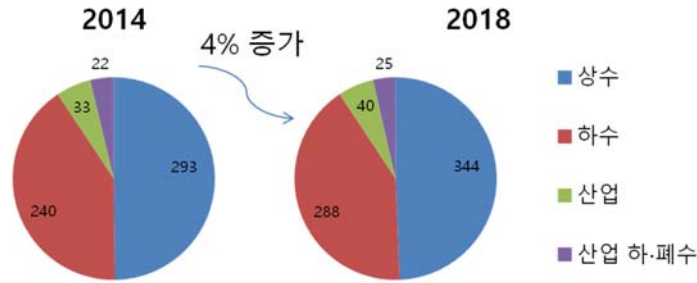
■ 수처리 플랜트사업에 경쟁력을 갖춘 대기업들이 계열사를 통해 소재 개발·공급·시공·운영까지 수직계열화 하여 시너지 창출

- 고부가가치의 수처리 소재 사업에 소재·화학 전문기업이 새로 뛰어들거나 공격적으로 사업 확장
- 국내외 기업과의 컨소시엄 및 M&A를 통한 시장 진출 경쟁력 확보

나. 해외 동향

■ 전세계 물 시장 연간 4% 성장률 예측

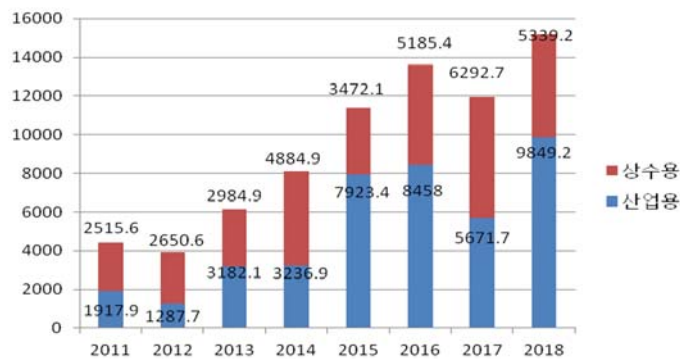
- 상수와 관련된 시장이 여전히 가장 큰 시장으로 지속됨
 - 하수 이용에 관련된 시장은 큰 성장률(5%)을 보임



출처: GWI(2014), "Global water market 2014"

그림 3. 세계 물 시장 현황

- 세계 해수담수화 시장 규모 62억 달러 수준, 2018년 152억 달러 시장으로 성장할 전망(한국수출입은행, 2014)
 - 2013년 62억 달러 중 상수용 32억 달러, 산업용 30억 달러 규모의 시장 형성
 - 향후 상수용 시장 비중이 2018년 65%에 달할 것으로 예상
 - 지역별로는 미국이 8억 9,300만 달러로 최대 시장
 - 사우디아라비아가 8억 8,600만 달러, UAE가 6억 7,100만 달러 규모의 시장 형성



출처: GWI(Global Water Initiative) Global water market 2014

그림 4. 세계 담수화 시장 현황 및 전망

- 담수화 시장은 물 공급 문제를 해결하기 위한 가장 효과적인 수단으로 부상
 - 부품·소재 분야와 함께 가장 빠르게 성장하는 분야
 - 1965년 이후 지속적으로 성장하고 있으며 2012년까지 누적기준 설치량 7천 4백만 m³/일

V. 국내외 정책·기술동향

- 2000년 이후 지구온난화로 인한 기후변화 등으로 물 부족 문제가 심각한 이슈로 떠오르고 있어 담수화 시장의 성장이 가속화됨
- 미국 물 시장 규모는 2013년 기준 1,233억 달러에 이르며 전년 대비 4.92% 성장(KOTRA 해외비즈니스 정보포털, 2014.06.21)
 - 최근 미국의 셰일가스 개발과 관련된 수질 오염 문제가 제기되면서 이와 관련된 수처리 산업이 2020년까지 90억 달러에 이를 것으로 전망
 - 셰일가스 시추에 필요하게 되는 많은 양의 수자원 확보를 위해 해수담수화 사업의 성장 예측
- 중국 물 시장 규모는 2013년 기준 580억 달러로 전년대비 8.2% 성장(한국수출입은행, 2014)
 - 2014년에는 전년 대비 8.4% 증가한 630억 달러를 형성할 것으로 예상되며, 2018년 911억 달러 시장으로 확대되어 연평균 9% 성장을 할 전망
 - 경제성장에 따른 물 부족 문제가 심각한 상황으로, 물 산업의 성장률은 중국 경제 성장속도를 뛰어넘을 것으로 예상됨
 - 투자비 기준 상수 시장 188억 달러, 하수 시장 152억 달러에 이룸
 - 소득 수준 향상 및 도시화로 인해 중국의 물 소비량이 급증하고 있어 이를 위한 담수화 시장도 큰 폭 성장할 전망
 - 중국 물 시장은 규모와 성장성 측면에서 매우 매력적인 시장임에 분명하나 당국 정부의 폐쇄적인 시장정책으로 해외기업들의 접근이 어려움

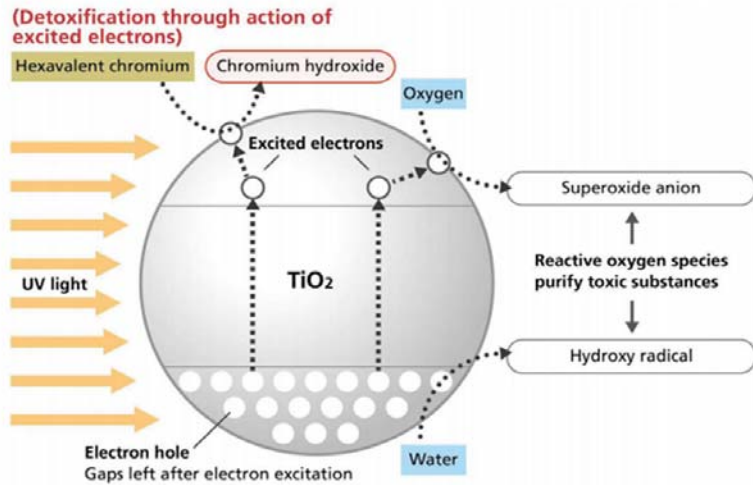
3. 기술동향

가. 수처리 기술 동향

- 탄소섬유 담체를 이용한 축사 오수 정화처리기술 개발(한국과학기술정보연구원, 2015.01.28)
 - 가축배설물의 주요 처리방법인 퇴비화와 오수 정화의 과정에서 일산화이질소(N_2O) 및 메탄(CH_4) 등의 온실가스 발생
 - 일본 축산초지연구소는 오수 중에 포함된 암모니아 이온을 질소가스로 전환하는 과정에서 발생한 N_2O 를 저감하는 처리방법을 개발하기 위하여 활성슬러지 처리와 미생물 반응의 형태가 다른 생물막법에 착안
 - 기존 방법인 활성슬러지 처리에서는 포기조 내의 대부분이 호기성 상태이므로 오수 중의 암모늄 이온은 질화반응에 의해 질산 이온으로 전환되지만, 그 대부분이 탈질되지 않고 질산 이온 상태로 처리수 중에 잔존하므로 N_2O 가 방출되기 쉬운 상태가 됨

- 새로 개발된 탄소섬유법은 탄소섬유 담체를 포기조에 투입함으로써 탄소섬유 표면에 형성되는 생물막의 표층에서는 호기성 반응인 질화가 일어나고, 생물막 심층에서는 혐기성 반응인 탈질반응이 일어남
- 즉, 암모늄 이온으로부터 질소 가스로의 전환이 원활하게 일어나므로 질산 이온 및 아질산 이온이 축적되지 않고 처리됨 → 과도한 N_2O 의 방출을 막을 수 있음
- 포기조 용적 $1m^3$ 당 탄소섬유로 0.2 kg이 부착된 담체를 활성슬러지 처리시설의 포기조에 투입해 N_2O 를 90% 이상 저감하였음
- 탄소섬유법은 특별한 시설을 신규로 설치할 필요가 없고, 기존 활성슬러지 처리 시설에 도입이 가능하다는 장점이 있음
- 탄소섬유법의 BOD 처리능력은 활성슬러지법과 동등 이상이었으며, 질산 이온 및 아질산 이온의 역중 잔존량은 뚜렷하게 적기 때문에 오수 정화기능의 향상도 기대 가능
 - 질소 제거 효율도 높기 때문에 미래의 폐수 배출기준 규제 강화에도 대응할 수 있는 기술로 기대됨
- 파나소닉, 광촉매와 태양광 자외선을 이용한 정수처리 기술을 개발하여 인도 지역에 적용(한국과학기술정보연구원, 2015.01.12)
 - 인도 인구의 70%는 수돗물 대신 지하수를 이용하는데, 그 안에는 농약 잔류물, 광택 비소, 가죽 무두질에서 발생하는 6가 크롬 등과 같은 유해물질들이 존재
 - 태양광과 광촉매를 이용하여 빠른 속도로 오염된 물을 정화, 마실 수 있는 물 상태로 바꿀 수 있음
 - 과거, 이러한 목적을 위해 TiO_2 를 활용하려는 시도가 있었으나, 미세 입자가 물 속에서 너무 빠르게 분산된다는 문제가 있었음. 이에 파나소닉은 자외선과 반응하는 TiO_2 를 제올라이트와 결합하는 방식을 채택
 - 광촉매 입자를 교반하게 되면 제올라이트에서 TiO_2 가 배출되고 물을 통해 분산되는데, 그 결과 기질 표면에 TiO_2 를 고정했던 기존 방법보다 반응속도가 크게 개선되므로 단시간에 대량의 물을 처리할 수 있게 함
 - TiO_2 는 증류수 장치에서 분리되면서 제올라이트와 다시 결합하는데, 이는 물에서 광촉매를 분리하고 회수하는 것을 용이하게 해 재활용 가능
 - 광촉매의 또 다른 특징은 약품을 사용할 필요가 없다는 것으로, 보다 경제적이면서 친환경적으로 물을 처리할 수 있게 함

V. 국내외 정책·기술동향



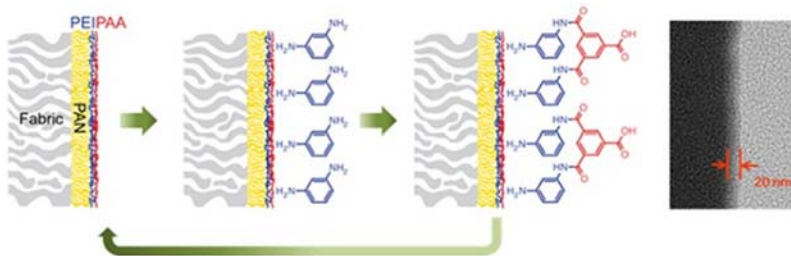
출처: 워터저널(2015.02.03)

그림 5. 광촉매를 이용한 정수 처리 과정

나. 해수담수화 기술 동향

■ 나노기술을 이용하여 맞춤형 해수담수화 분리막 제조기술 개발(워터저널, 2015.02.08)

- 기존의 가교된 폴리아마이드 구조체는 해수담수화 및 폐수처리용 역삼투 분리막으로 사용되어 왔으며, 지난 60여 년 간 계면 중합이라는 벌크 합성 방식에 의해 제조되었음
 - 분리막의 두께, 거칠기와 같은 외적 구조와 가교도, 분자구조 등의 내적 구조를 제어하기 어려울 뿐만 아니라 합성되는 분리막의 구조 예측이 불가능
- 분자들을 교차로 쌓아 조립해 여러 층의 얇은 막을 만드는 나노기술(분자층상조립기술)로 분리막의 구조와 성능을 원하는 대로 제조할 수 있는 기술 개발
 - 기존 기술과 달리 분리막의 구조를 분자 수준에서 정교하게 제어해 우수하면서도 다양한 분리 성능을 가지고, 기존에 비해 염분 제거율은 동일하지만 물 투과율을 80% 이상 향상시킨다는 장점이 있음



출처: 워터저널(2015.02.03)

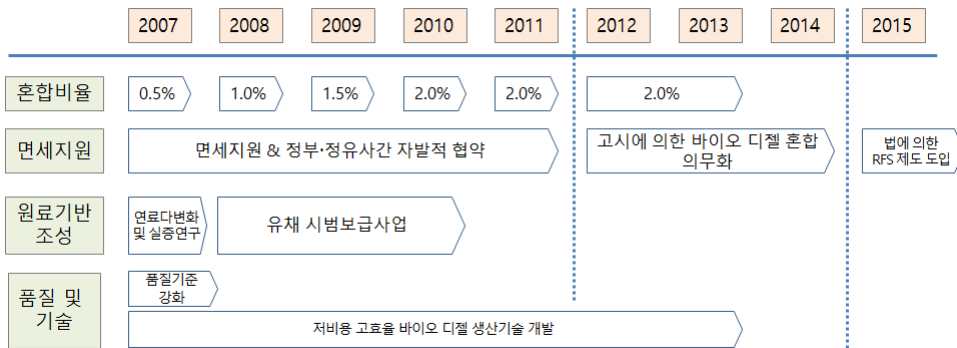
그림 6. 분자층상조립(molecular layer-by-layer) 기술을 이용한 분리막 제조 방식

바이오연료

1. 정책 동향

가. 국내 정책동향

- “제4차 신재생에너지 보급 계획(2014)”을 통해 국내 총 신재생에너지 공급량 중 바이오 에너지 비중의 1.2배 확대 도모
- 국내 바이오연료 보급 정책은 바이오디젤부터 시작되었으며, 2015년 7월부터 신재생에너지 연료 혼합의 무제도(Renewable Fuel Standards: RFS) 시행(녹색기술센터, 2014)
 - 저장탱크, 공급관로 등 인프라 구축, 제도정비 등을 위해 시행을 2년 유예하여 2015년부터 시행하기로 함
 - 당초 혼합비율을 2007년부터 0.5%씩 상향시켜 RFS가 도입되는 2012년에는 3.0% 수준 도달을 목표로 하였으나, 석유업체 등의 반발로 인해 현재 혼합비율은 2.0%에 불과(2014)



출처: KOITA 지식 컨퍼런스(2014). “바이오디젤의 국내외 현황과 전망”

그림 1. 국내 바이오디젤의 보급정책 흐름도

나. 국외 정책동향

- 미국
 - 미국 환경보호국(Environment Protection Agency: EPA)은 2014년 RFS의 연간 에탄올 연료 목표량을 하향 조정
 - 2007년 에너지자립안보법(Energy Independence Security Act: EISA)에 의하면 2014년 에탄올 목표량은 약 181억 5,000만 갤런이었으나 152억 1,000만 갤런으로 하향 조정

V. 국내외 정책·기술동향

- EPA가 2014년 RFS 기준 인하를 제안한 이유로는 미국의 현재 인프라 정비 상황은 재생연료를 더 이상 소비할 수 없는 상태라는 ‘혼합 장벽(blend wall)³’에 직면하고 있는 것을 꼽을 수 있음
- 재생연료 생산량이 급격히 증가하는 가운데 혼합 연료를 급유할 능력이 증가하지 않는 한 사용 의무량을 소비할 수 없는 상황이 되며, 국내 휘발유 수요가 유가 폭등과 자동차 연비 개선 등에 의해 해마다 감소 경향에 있어 휘발유 수요 자체가 감소 경향에 있음
- 오바마 정권은 혼합 장벽을 타개하기 위해 (1) 바이오 에탄올의 휘발유 혼합률 10% 이상의 혼합 연료에 대응한 급유 설비 및 차량 보급을 위한 대책, (2) 자동차 이외의 바이오 연료 용도 확대를 위해 노력하고 있음(국가환경산업기술정보시스템 해외시장정책동향, 2014.10.29)
- 미국 에너지부(DOE)는 첨단 바이오연료 및 바이오제품 개발을 위한 5개 사업에 최고 1,340만 달러를 지원하겠다고 발표(DOE, 2014.10.09)
 - 해당 사업들은 바이오매스를 활용한 연료 생산 사업으로, 휘발유, 경유, 제트연료의 생산비를 저감하는 데 기여할 예정

■ EU

- 유럽은 재생가능에너지 지침(Renewable Energy Directive: RED) 하에서 2020년까지 10% 재생가능연료 함량에 대한 의무화를 제시하고 있지만, 최근 몇 달 동안은 5~7.5% 선으로 규모가 축소됨
- RED를 기초로 하는 EU 바이오연료 법제에 대한 회원국들 간 갈등이 여전히 심화
 - 대부분 EU 회원국은 EU 위원회의 바이오연료에 대한 효과 분석이 미비하고 관련 법제를 더욱 의무적으로 개정해야 함을 주장
 - 폴란드와 헝가리는 국내 여건상 수송용 바이오연료를 확대하는 방안에 소극적 입장
- 프랑스 에너지부는 2014년 12월 31일, 주유소에서 판매되는 디젤에서 바이오디젤의 최대 한도를 EU에서 합의된 7%보다 높은 8%까지 늘리는 법령 발표
- 최근 이탈리아 정부가 적극적으로 바이오연료 도입을 추진 중
 - 유럽 최초로 수송 부문에서 농업 부산물로 만든 차세대 바이오연료 사용을 의무화하는 법안을 추진 중. 즉, 2018년까지 0.6%의 선도 바이오연료 혼합의무량을 도입하였고 이 수치는 2022년까지 1%로 증가될 예정
 - 이탈리아는 상업적 규모의 차세대 바이오연료 공장을 건설해 2013년부터 운영하고 있으며, 이 공장에서 밀짚 등을 이용해 연간 7,500만 L의 바이오에탄올 생산
 - 남부 지역에 3곳의 차세대 바이오연료 공장을 추가로 신설할 계획이라고 발표
- 영국은 신재생 에너지 목표 비중(15%) 달성을 위해 신재생에너지 의무 사용 제도, 수송용 신재생 연료 의무 혼합제도(Renewable Transport Fuel Obligation: RTFO), 재생에너지 열원프로그램

3 혼합 장벽이란 RFS 제도가 가솔린에 바이오에탄올을 섞는 비율을 현행 10% 선을 넘어 요구할 때의 시점을 일컫는 말이다.

등을 운영하고 있음

- 독일의 바이오연료 소비는 10개월 동안 거의 9% 감소하여 전체 바이오디젤 소비는 10% 이상 감소한 반면, 에탄올 소비는 % 단위 미만으로 감소
- 독일 정부는 바이오디젤 소비량 목표를 7%에서 4.1%로 낮추는 것으로 발표

■ 일본

- 2011년 후쿠시마 원전사고 이후 원자력 의존도 개선을 위하여 바이오매스 활용을 통한 분산형 발전체계의 전환 모색
 - 「전기사업자에 대한 재생가능 에너지 전기조달에 관한 특별조치법(2011)」을 통해 재생에너지(태양광, 풍력, 수력, 지열, 바이오매스) 보급 촉진을 위한 고정가격 매수 제도(Feed in Tariff: FIT) 시행
- 「과학기술 이노베이션 종합전략 2014」를 통해 첫 번째 정책과제로서 “청정하고 경제적인 에너지 시스템 실현”을 제시하고 바이오 연료 등 세부 분야에 대한 기술개발 목표 제시(녹색기술센터, 2014)
 - 바이오 연료 분야 요소기술 개발을 크게 미세조류 유래의 연료 제조 기술개발 및 셀룰로오스계 연료 제조 기술개발로 나누고 있으며, 실용화 기술개발 대상으로서 셀룰로오스계 연료 생산 시스템 제시

■ 중국

- 중국은 재생에너지 이용을 촉진하기 위하여 「재생에너지법(中华人民共和国可再生能源法)」을 제정
- 국가 에너지 수급 안정성 및 환경개선, 농업·농촌 발전에서 바이오 에너지의 중요성을 인식, “바이오매스 에너지 개발을 위한 중장기 발전계획” 및 구체적인 생산량 목표 수립
 - 2010년 바이오매스 액체 연료 생산량 목표는 200만 톤 수준에 불과하였으나 2020년에는 2010년 대비 5배 가량 수준인 1,000만 톤으로 상향(농업실용화재단, 2014)

2. 산업 동향

가. 국내 산업동향

- 2015년부터 RFS가 시행되면 바이오연료의 사용량은 지속적으로 증가할 것으로 예상
 - 바이오디젤 시장은 식용유를 원료로 활용하고 있지만, 폐유지를 활용한 바이오디젤이나 수소를 첨가하여 물성을 개선한 바이오디젤 생산이 증가할 것으로 예상
 - 향후 셀룰로오스계 바이오매스 또는 해양 바이오매스 원료를 사용하는 바이오디젤 시장이 확대될 전망

V. 국내외 정책·기술동향

- 국내 바이오가스 시장은 유기성 폐기물의 감량 처리 필요성과 맞물려 급격하게 성장
 - 폐기물 매립지에서 발생하는 매립가스를 활용하는 바이오가스화 공정은 현재 수도권 매립지와 같은 대규모 매립지에 한해 단순히 전기를 생산하는 에너지원으로 활용되는 기술 수준이지만, 국내에 산재된 중간 규모의 매립지를 대상으로 매립가스 증산 기술인 바이오리액터 기술과 바이오가스 액화 기술이 적용될 경우 관련 시장은 더욱 확대될 것으로 전망
- 신재생에너지 공급의무화제도(Renewable Portfolio Standard: RPS)가 시행됨에 따라 발전 부문에서 고품 바이오연료 수요가 빠르게 증가하고 있으며, 고품 바이오연료 시장의 성장세는 지속될 것으로 전망
- 2012년 국내 시장규모는 약 1조 3,197억원으로 추정되며, 2020년에는 약 4조 5,203억원 규모로 성장할 것으로 추정

표 1. 국내 바이오에너지 시장 규모

연도	2011	2012	2014	2016	2020
시장규모(억원)	10,074	13,197	22,647	32,050	45,203

출처: 녹색기술센터(2014). “바이오에너지 이슈분석 및 정책제언” p.25

나. 해외 산업동향

- 미국은 현재 세계 1위의 바이오에탄올 생산국(연간 약 50억 갤런)으로, 전 세계 총 생산량의 약 70% 수준을 차지하고 있음
 - 미국 에너지부(DOE)의 바이오에너지 센터 주관 하에 미국 에너지 자립도 증진 등을 위한 바이오연료에 대한 연구개발 및 상용화 프로젝트 지원 진행 중
- 유럽은 바이오 연료 보급 확산을 위해 혼합경유 과세경감조치 및 에너지작물 재배에 대한 국가 보조 프로그램 운영
 - 유채, 폐식용유, 목질계 바이오매스를 활용한 바이오 디젤 및 바이오가스 생산이 활성화되어 있으며 특히 디젤은 전세계 공급량의 41% 점유
 - 저탄소 에너지 기술 개발 및 상용화 촉진을 위해 “유럽 전략적 에너지 기술계획 (European Strategic Energy Plan; SET Plan)” 수립(2010)
 - 바이오 에너지 분야의 경우 2020년까지 상업적으로 활용 가능한 혁신적 바이오 에너지 밸류 체인에 관한 장기간 연구 및 실증 추진

- 보잉이 바이오연료 “그린 디젤⁴”을 사용하여 첫 번째 비행을 완료하는 등 바이오연료 사용이 보다 활발해지고 있음(한국과학기술정보연구원, 2014.12.10)
 - 2014년 12월, 보잉은 비행기의 왼쪽 엔진 내에 15% 그린 디젤과 85% 석유 제트연료 혼합물을 사용하여 ecoDemonstrator 787 비행 시험 수행

3. 기술동향

- 현재 바이오매스 연구 방향은 3세대 바이오매스인 미생물의 한 종류 ‘미세조류’를 활용한 다양한 기술개발에 중점
 - 1세대 곡물류, 2세대 목질계를 이어 3세대 미세조류 바이오매스는 전 세계 에너지 수요를 충족시킬 수 있다는 분석이 나와있으며, 전 세계적으로 미세조류를 이용하여 바이오연료를 개발하는 노력이 지속 중
 - 기존의 바이오에너지는 곡물가격상승, 식량난과 같은 문제 점이 있었으나, 미세조류 바이오에너지는 이와 같은 문제점을 모두 해결
- 미국 미네소타대학교 연구진, 세계 최대 규모 슈퍼컴퓨터를 활용해 바이오연료 공정 향상을 위한 물질 규명(한국과학기술정보연구원, 2015.01.29)
 - 바이오연료 공정 개선을 위한 핵심은 최고 성능의 제올라이트를 찾는 것
 - 제올라이트는 화합물을 분류, 여과, 채집하는 역할
 - 1차 원료로부터 연료를 생산하고 개질하기 위해 필요한 화학반응의 촉매 반응을 유도하는 역할
 - 연구실 규모에서 새로운 제올라이트를 합성하는 것은 장기간이 소요되고 고차원의 공정이 요구된다는 한계점 존재
 - 하나의 제올라이트를 합성하는 데 수 개월의 기간 소요
 - 현재 예측 가능한 제올라이트 구조체 모두를 분석하는 작업만으로도 수십 년 소요
 - 가상 세계에서 수천 개의 제올라이트를 분석할 수 있는 복합 컴퓨터 스크리닝 프로세스를 개발하는데 성공
 - 제올라이트 성능 예측에는 최고 수준의 연산능력, 알고리즘, 분자간의 정확한 상관관계 정보가 필요
 - 연구진은 약 800,000개의 프로세서가 장착된 슈퍼컴퓨터를 사용하여, 1,000만 시간이 소요될 연산을 하루로 단축시킴

4 그린 디젤은 식물 기름, 폐 요리 기름 및 폐 동물 지방으로 만들어진 바이오연료이다.

V. 국내외 정책·기술동향

- 에탄올의 수분 함량, 석유화합물의 디젤생산물로의 전환과 같은 두 가지 큰 문제를 해결 가능한 제올라이트를 규명하는데 성공

- 미국 국립 재생에너지 연구소(National Renewable Energy Laboratory: NREL), 바이오매스를 당(sugar)으로 14배 더 빠르게 전환시킬 수 있는 효소 개발(한국과학기술정보연구원, 2015.01.19)
 - *Caldicellulosiruptor bescii*(*C. bescii*) 박테리아로부터 유래한 셀룰로오스(cellulose)로서 'CeIA'로 명명
 - CeIA는 현재 사용되는 효소보다 4배 ~ 14배 더 빠르게 전환을 수행하여 비교적 적은 비용으로 많은 양의 작업을 수행하는 것이 가능
 - 바이오연료의 경제성과 연결되며, 기존에 문제가 되고 있는 높은 연료 가격 문제가 해결될 것으로 예상
 - CeIA의 특징
 - 바이오매스에서 한 가지 주요 구성 성분을 분해하는 대부분의 촉매와는 다르게, CeIA는 셀룰로오스와 크실란 등 두 가지 구성 성분을 분해가능
 - CEIA는 바이오매스에 구멍을 내는 유일한 효소임. 다른 효소는 녹여내는 역할만을 수행
 - CeIA는 다른 효소보다 더 신속한 반응을 보이고, 공정을 방해하는 미생물이 존재할 수 없는 높은 온도에서 운영 가능
 - CeIA는 다른 효소와 다르게 원료 바이오매스에서도 반응함. 즉, 기존 효소는 바이오매스의 전처리 과정이 필요했으나 CeIA를 사용하면 전처리 과정이 생략되므로 비용 절감이 일어남
 - 알코올의 끓는 점 이상에서 작동할 수 있기 때문에 알코올이 자연적으로 분리되며, 전환 공정에서 고가의 비용이 소요되는 단계 회피 가능

- 한국과학기술연구원(KIST) 청정에너지연구센터, 부탄올의 생산량을 2배로 늘릴 수 있는 미생물 발견(사이언스 투데이, 2014.12.08)
 - KIST 연구진은 세계 최초로 포도당과 전기를 모두 흡수하는 미생물 발견
 - 바이오연료를 만드는 미생물을 전기 공급이 가능한 시스템에 넣었을 때, 전기 사용량이 급증하는 것을 확인
 - 미생물의 성장과 비례적으로 전기 사용량 급증
 - 기존 미생물을 이용한 바이오연료 생산은 전자 부족 현상이 한계로 지적되었음
 - 미생물이 바이오매스로부터 알코올을 생산할 때, 부족한 전자를 외부 전기에너지로 공급하면서 더욱 많은 양의 알코올 생산 가능

- 호주의 Muradel 사, 조류(Algae)에서 녹색 원유(Green Crude)를 생산하기 위한 통합 실증설비 가동 시작 (한국과학기술정보연구원, 2014.11.07)
 - Murade 사의 독점 기술인 Green2Black을 이용하여 조류를 재료로 화석연료 기반의 원유와 동등한 제품 생산 가능
 - 환경적 지속가능성을 유지하면서 연간 30,000 L의 녹색 원유를 생산할 계획
 - 미세조류(Microalgae)를 이용하고 있는 실증 설비는 에너지 효율적인 준임계수(Subcritical Water) 반응기를 통해 미세조류를 화석연료 기반의 석유와 기능적으로 동등한 녹색원유로 전환 가능
 - 녹색 원유는 일반적인 석유 정제 과정에 적용하여 가격 경쟁력 있는 액상 수송용 저탄소 연료로 변환 가능
 - 휘발유, 디젤 및 항공유 등 포함
 - 불모지를 활용한 해수풀(Seawater Pond)에서 미세조류를 지속적으로 재배
 - 미세조류의 수급이 원활하므로 녹색 원유의 생산에 차질이 없을 것으로 예상

이산화탄소 포집 및 처리

1. 정책동향

가. 국내 동향

- 2014년 9월, 산업통상자원부는 에너지의 안정적 공급체계 구축과 기후변화 대응 에너지 신사업 창출 등을 지원하기 위해 추가 투자하는 “2014년도 제3차 에너지기술개발사업 신규지원계획”을 공고(산업통상자원부 보도자료, 2014.09.15)
 - 이산화탄소 포집 및 활용 기술 신사업 창출을 통해 배출권 거래제 시행으로 부담이 큰 산업계가 온실가스의 감축 대응 역량을 키울 수 있도록 함
 - 에너지 수요관리 기술의 일부로 포함된 CCS는 다음과 같은 신규 기술개발을 필요로 함(표 1~3 참조)

표 1. 10 MW급 연소 후 건식 CO₂ 포집 플랜트 운영을 통한 CO₂ 포집기술 상용패키지 개발

기술개요	• 건식 CO ₂ 포집공정 장기운영 기술 및 엔지니어링 패키지 개발
정부지원 필요성	• 건식 포집기술의 국내·외 CCS 시장진출·선점을 위한 기술개발 필요 • 국가 온실가스 감축 목표 달성을 위한 화력발전 온실가스 감축기술 개발 필요
파급효과	• 이산화탄소 감축효과: 2017년까지 1,608천tCO ₂ , 2030년까지 8,040천tCO ₂ • 500MW 석탄화력발전 1기 기준, 수입대체 4,000억원, 신규 고용 3,000자리

출처: 산업통상자원부 보도자료(2014.09.15)

표 2. 연소 후 습식 아민 CO₂ 포집기술 상용 패키지 개발

기술개요	• 습식 CO ₂ 포집공정 장기연속운전 기술 및 엔지니어링 패키지 개발
정부지원 필요성	• 습식 포집기술의 국내·외 CCS 시장진출·선점을 위한 기술개발 필요 • 국가 온실가스 감축 목표 달성을 위한 화력발전 온실가스감축 기술개발 필요
파급효과	• 이산화탄소 감축효과: 2017년까지 1,608천tCO ₂ , 2030년까지 8,040천tCO ₂ • 일자리 창출효과: 2020년까지 15,000, 2030년까지 100,000 창출

출처: 산업통상자원부 보도자료(2014.09.15)

표 3. 포집된 CO₂를 활용한 고부가 화학제품 기존 생산공정 혁신기술 개발

기술개요	• 실배출원에서 포집된 CO ₂ 활용을 통한 고부가 화학제품 상용공정 개발
정부지원 필요성	• 온실가스 포집 후 사후처리 기술개발 필요성 증대 • 다양한 CO ₂ 활용 기술을 포집플랜트와 연계하여 국가 고유기술 확보 필요
파급효과	• 고부가 화학제품 1톤당 CO ₂ 0.3톤 이상 활용 가능 • 포집 CO ₂ 활용량 10m ³ /hr 기준 연간 약 150톤 CO ₂ 활용 가능

출처: 산업통상자원부 보도자료(2014.09.15)

- 환경부는 유엔환경계획(UNEP)의 “The Emissions Gap Report 2014”의 내용을 기초로, 탄소중립 실현을 위해 향후 CCS 기술에 대한 관심이 한층 높아질 것으로 전망(환경부 보도자료, 2014.12.09)
 - 본 보고서는 지구온도 2℃ 상승 억제를 위해 2055 ~ 2070년 사이에 연간 탄소 배출량이 ‘순 0(net zero)’가 되는 글로벌 탄소 중립을 달성해야 한다고 분석
 - 글로벌 탄소 중립 로드맵은 IPCC의 제5차 평가종합보고서에서 제시한 탄소예산(Carbon Budget, 사용가능 탄소배출량)을 활용하여 도출
 - IPCC는 2100년 지구온도 2℃ 상승 억제를 위해 지구가 향후 사용 가능한 탄소예산으로 약 1조 톤 CO₂eq을 산출
 - 현재 제시된 전 세계 국가별 감축공약은 2℃ 상승 억제를 위한 글로벌 목표에 미치지 못하는 것으로 조사되어 향후 적극적인 CCS 기술 도입 등 추가적인 노력의 필요성 제시
 - 2020년, 국가별 감축공약이 성공적으로 이행될 경우의 전 세계 예상 배출량인 520 ~ 540억 톤 CO₂eq와 2℃ 상승 억제를 위한 목표 배출량인 440억 톤 CO₂eq 사이에는 80 ~ 100억 톤 CO₂eq의 차이가 존재
 - 2030년의 경우, 감축공약 이행 시 전 세계 예상 배출량인 560 ~ 590억 톤 CO₂eq와 글로벌 목표 배출량인 420억 톤 CO₂eq간의 격차가 140 ~ 170억 톤 CO₂eq까지 벌어질 것으로 분석

나. 해외 동향

- 2014년 10월, 제40차 IPCC 총회에서 발표된 “제5차 IPCC 종합보고서(SYR)” 승인 및 채택으로 다시 한번 CCS의 중요성이 부각(기상청, 환경부, 외교부 보도자료, 2014.11.02)
 - 본 보고서는 모든 배출 시나리오에서 21세기 동안 지구 평균기온이 상승할 것으로 예상되었을 뿐만 아니라 폭염 빈도 및 그 기간도 증가할 것으로 평가
 - 많은 지역에서 극한 강수현상, 해양의 온난화 및 산성화도 지속되는 한편 전 지구 평균 해수면이 상승하게 될 것으로 전망
 - 기후변화로 인해 모든 대륙 및 부문에 걸쳐 주요 4대 위험이 나타날 것으로 전망되며, 기후변화의 규모와 속도가 커질수록 적응한계를 초과할 가능성이 증가

표 4. 기후변화로 인한 4대 위험

4대 위험	1. 폭염, 홍수 및 폭풍, 연안침식 등에 따른 생명 및 재산피해 2. 극한기후에 따른 기반시설 및 공공서비스의 기능 훼손 및 정지 3. 식량 및 물 부족과 농촌주민 피해 4. 생물다양성 및 자연환경, 생태계 서비스 훼손
-------	--

출처: 기상청, 환경부, 외교부 보도자료(2014.11.02)

V. 국내외 정책·기술동향

- 본 보고서는 또한 부문별 CO₂ 배출량⁵과 전체 non-CO₂ 온실가스 배출량의 베이스라인 시나리오 및 온도상승을 2°C 이내로 제한할 수 있는 2100년 450 ppm CO₂eq 달성을 위한 감축 시나리오를 공개
 - 전력분야에서의 바이오에너지와 CCS가 접목된 BECCS⁶ 기술 활용과 농업, 산림 및 기타 토지이용의 AFOLU⁷ 분야를 제외하고는 CCS 기술이 없이 2100년까지 450 ppm CO₂eq를 달성하지 못하는 것으로 분석
- 호주 정부는 저탄소 기술 R&D에 3억 달러 이상을 투자하기로 결정(Ministry for Industry and Science of Australia, 2014.10.02)
 - ‘호주-중국 연소 후 탄소 포집(Post Combustion Capture: PCC) 타당성 조사 프로젝트’를 위한 115만 달러도 이에 포함하는 것으로 두 국가 간에 있어 호주 정부가 투자하는 가장 큰 규모의 프로젝트로 손꼽힘
 - 호주 정부는 2015년 7월 1일 집행 예정인 CCS R&D와 중국과의 PCC 프로젝트에 추가 지원할 250만 달러를 확보한 상태
 - 이는 호주가 CCS 기술 개발의 발전을 위해 노력을 기울이고 있다는 것을 입증할 뿐만 아니라 CSLF⁸와 GCCSI⁹를 통해 CCS 분야에서의 국제협력 강화를 위한 노력을 유지할 것을 표명한 것
- 영국 정부는 CCS를 핵심 국책 사업으로 책정하고 “차세대 CCS: 정책 범주 보고서 (Next Steps in CCS: Policy Scoping Document)”를 발행하여 국제 CCS 사회를 선도하는 정부의 활동 및 정책 현황을 밝힘(Click Green, 2014.08.07)
 - 영국 정부는 보고서를 통해 CCS 기술이 여타 저탄소 기술과 비용 면에서 경쟁할 수 있도록 CCS 개발에 투자하고 있음을 공개
 - CCS 기술 개발로 인해 1990년 대비 50% 수준으로 CO₂ 배출을 삭감하는 목표를 더욱 저렴하게 달성할 수 있도록 하고 연간 1만 5천 개의 일자리를 창출하는 효과 기대
 - 영국에서는 이미 17억 달러 규모의 2개의 CCS 상용화 프로그램이 진행 중
 - White Rose와 Peterhead 프로젝트는 시공 단계에서 2천여 개의 일자리가 창출될 수 있을 것이고, 탄소 배출을 연간 30만 톤 가량 억제할 것으로 전망
 - 뿐만 아니라 영국 에너지기후변화부(DECC)는 북해 해저 이산화탄소 저장 부지 확보 및 개발을 위해 추가 25만 파운드 지원(Click Green, 2014.12.17)

5 5개 부문 : 수송, 건물, 산업, 전력, 숲 파괴 및 복원을 모두 포함하는 AFOLU의 순 배출량

6 BECCS : Bio-Energy with Carbon Capture and Storage, 바이오에너지 탄소포집저장 기술

7 AFOLU : Agriculture, Forestry and Other Land Use, 농업, 산림 및 기타 토지이용

8 CSLF : Carbon Sequestration Leadership Forum, 이산화탄소 회수저장 리더십 포럼

9 GCCSI : Global Carbon Capture and Storage Institute, 글로벌 이산화탄소 포집 및 저장 연구소

- 2014년 11월, 미국과 중국은 기후협정을 통해 미국은 2025년까지 온실가스 배출량을 2005년 대비 26%에서 28%까지 감축시키고, 중국은 2030년까지 비화석에너지 비중을 20%로 확대하는 기후변화 대응 노력 발표(Utility Dive, 2014.11.18)
 - 본 기후협정은 담수를 생산하는 동시에 이산화탄소를 저장할 수 있는 석탄발전소 건설 프로젝트 계획을 포함시킴
 - 양국 정부 및 산업계의 공동 투자로 중국에서 진행
 - 석탄발전소 폐쇄를 추진하고 있는 미국과 여전히 석탄발전소를 건설하고 있는 중국을 위한 win-win 프로젝트로 해석
 - 셰일가스 개발로 인한 가격 경쟁력 하락, 이산화탄소 배출 제한의 환경 규제 강화, 그리고 중국의 경제성장 둔화로 인한 수출 저하로 삼중고를 겪고 있는 미국의 석탄업계에게 신사업의 기회를 제공
 - 중국 총 전력 생산의 50%를 담당하고 있는 석탄 사용으로 인한 기후변화를 억제하기 위해 CCS 기술보급의 필요성이 확대

2. 시장동향

가. 국내 동향

- 2014년 8월, 보령화력본부 8호기에 설치된 국내 최대 규모 습식 이산화탄소 포집 플랜트의 1,000 시간 장기 연속 운전 성공(전기신문, 2014.08.26)
 - 장기 연속 신뢰성 운전에서 성공한 10 MW급 습식 이산화탄소 포집 플랜트는 연간 약 7만 톤 정도의 이산화탄소를 포집할 수 있는 규모로 국내 화력발전소에 처음으로 적용된 실증 파일럿 설비
 - 90% 이상의 포집 효율과 낮은 에너지 소비량을 보이며 일일 200 톤 이상의 이산화탄소를 안정적으로 포집하는 세계적 수준의 성능 확인
 - 동 플랜트는 산업통상자원부의 “10 MW급 연소 후 습식 아민 CO₂ 포집기술 개발” 사업의 일환으로 건설되었으며 한국전력공사, 한국중부발전, 대림산업, 포스코건설, 한국전력기술이 공동으로 수행
 - 이 사업을 통해 한전 전력연구원은 신희수제(KoSol)와 공정 개발
 - 한국중부발전은 플랜트의 건설과 운전 담당
- 2014년 10월, 아주대학교 이분열 교수팀에 의해 개발된 이산화탄소를 원료로 한 ‘생분해성 고분자 플라스틱 제조기술¹⁰⁾’이 롯데케미칼(주)에 이전(미래창조과학부 보도자료, 2014.10.24)
 - 본 기술은 지난 3년 간 미래창조과학부의 “Korea CCS 2020” 사업의 지원을 받음

10 박테리아, 조류, 곰팡이 등과 같은 자연계에 존재하는 미생물에 의해 물과 이산화탄소 또는 물과 메탄가스로 완전히 분해되는 플라스틱

V. 국내외 정책·기술동향

- 기존 석유화학 기반의 고분자 플라스틱의 열적·기계적 물성을 유지하면서 대량 생산 가격을 낮출 수 있는 새로운 고분자 생산 기술로 평가받음
- 단기간 내 제품 개발이 용이할 만큼 기술 완성도가 높다고 평가되어 기술 이전 진행
- 본 기술로 생산되는 고분자는 생분해성 플라스틱, 포장재 소재, 필름, 의료 소재 등 다양한 분야에서 사업화 가능성이 높은 기술로, 국내 기업이 세계 시장을 선점·개척할 수 있을 것으로 전망
 - 기존 석유화학 기반 난분해성 플라스틱 제품을 대체함으로써 범지구적 폐플라스틱 환경문제 해결에 기여
 - 포집된 이산화탄소를 연료로 재활용하기 때문에 온실가스 감축 편익까지 제공
- 2014년 11월, 해양수산부는 CCS 기술에 대한 “100만 톤급 실증사업”에 민간 참여를 활성화시키기 위하여 “해양 CCS 플랜트 산업계 간담회”를 개최(해양수산부 보도자료, 2014.11.26)
 - 해양수산부는 2005년부터 “해양 CCS 기술개발 연구사업”을 진행
 - 이 연구사업의 주된 목적은 대규모 저장소, CO₂ 수송·주입 기술, 해양환경 안정성 등을 확보하고 법적, 제도적 기반을 구축하여 국내 발전소에서 배출되는 온실가스를 안정적으로 감축할 수 있는 기반 기술을 개발하는 것
 - “100만 톤급 실증사업”에 관한 CO₂ 수송·저장 시나리오의 주요 내용 공유
 - 화력발전소 등에서 포집한 CO₂를 소규모 수송선을 이용하여 울산의 허브항으로 수송하고, 이를 해저 파이프라인을 통해 울릉분지 인근의 저장부지에 안전하게 주입·저장함으로써 연간 100만 톤 이상의 CO₂ 감축
 - 대규모 온실가스 감축 실증사업을 추진하기 위한 민관협력 강화 방안 논의
 - 이번 산업계 간담회에서는 국내 조선 3사인 삼성중공업, 대우조선해양, 현대중공업과 중소조선사, 플랜트 엔지니어링사, 건설사, 해운사, 자원개발사, 기자재업체 등 약 30개 업체 참여



출처: 해양수산부 보도자료(2014.11.26)

그림 1. 해양 CCS 수송 시나리오(안)

나. 해외 동향

- 2015년 1월, 미국 에너지부(DOE)는 Illinois Basin-Decatur 프로젝트를 통해 1백만 톤의 이산화탄소를 포집하여 심부염수층(Saline Formation)에 저장하였음을 소개
 - 이 프로젝트는 일리노이주의 Decatur에 위치한 Archer Daniels Midland 사의 에탄올 생산시설에서 배출되는 이산화탄소를 포집 및 압축한 것
 - 파이프라인을 통해 수송된 이산화탄소는 지표면에서 약 7,000 피트 정도 떨어진 Mount Simon의 사암층에 주입되어 이산화탄소의 상향이동을 차단해 줄 300 피트 두께의 셰일층 아래에서 수백 년 동안 안전하게 저장될 것으로 예상
- 2014년 10월, 캐나다에서는 탄소 포집기술을 보유한 세계 최초의 상업용 석탄 화력발전소 완공(한국환경산업기술원, 2014.10.23)
 - 캐나다 전력공급업체인 SaskPower는 Saskatchewan 주 Estevan에 위치한 Boundary Dam 발전소 제3호기에 13억 5천만 달러를 투자하여 이산화탄소 포집 설비 추가
 - 국제에너지기구(IEA)는 이번 기술 적용으로 연간 1백만 톤의 이산화탄소 배출을 막을 수 있을 것으로 전망
 - IPCC는 추후 기술 보강과 규모의 경제로 인해 향후 SaskPower가 투자한 1/3의 수준으로 석탄발

V. 국내외 정책·기술동향

전소에 CCS기술을 적용할 수 있을 것이라 전망(MIT Technology Review, 2014.12.10)

- IPCC는 또한 지구온도 2℃ 상승 억제를 위해서는 2050년까지 7,000여 개의 석탄발전소에 유사한 기술이 설치되어야 한다고 밝힘
- 석탄발전은 2040년까지 전세계 에너지 공급의 1/4를 공급할 것으로 예상되는 바, 수십억 톤의 이산화탄소 저장에 대한 실현가능성과 안정성을 테스트 하는 데 SaskPower의 많은 기여가 있을 것으로 예상

- 이산화탄소 포집 테스트 센터로 세계에서 가장 규모가 큰 노르웨이의 TCM(Technology Centre Mongstad)은 세계 최초로 천연가스 화력발전 실 배가스 환경에서 습식 아민(MEA) 흡수제를 활용한 대규모 포집 테스트를 수행(Carbon Capture Journal, 2014,10,12)
 - 이의 결과는 상용화 규모에서 CO₂ 포집의 기술성과 환경적 타당성을 확보하고 CCS 산업의 벤치마크 역할을 확립하는 계기가 될 것
 - 해당 기술은 CO₂를 90% 제거하는 데 필요한 에너지를 4.1 GJ/tonCO₂에서 20% 가량 낮은 3.4 GJ/tonCO₂ 수준으로 낮춰 상용화 규모에서 비용 절감 예상
 - 흡수제는 CO₂ 포집비용의 70% 차지
 - MEA를 적용한 TCM의 기술은 가스 터빈 배가스를 다루는 대규모 플랜트 운영에 있어 새로운 이정표 제시

3. 기술동향

- 현재 CO₂ 포집기술의 개발 방향은 크게 세가지로 요약(한국기계산업진흥회, 2014)
 - CO₂ 포집 시 에너지 소비의 최소화를 위한 고효율 흡수/흡착제, 효소 개발
 - 두 가지 이상의 다른 포집기술을 결합하는 하이브리드 CO₂ 포집시스템
 - 분리막, 흡수기, 유동층 반응기(Fluidized Bed Reactor) 등의 장치 개선

가. 에너지소비의 최소화 방안

- 미국, 고효율 포집을 위한 안정적 탄산무수화 효소기술 개발(Global CCS Institute, 2014, 11, 07)
 - 고온, 고산성 상태에서 탄소포집의 문제점은 기존의 평균온도, 평균산성 상태보다 낮은 효율을 나타내는 것
 - 연구된 효소는 탄산무수화 효소기술로서 고온, 고산성 환경의 실험에서 우수한 성능을 보임
 - 50℃의 고온과 고산성 연구조건에서 100,000분 이상 작동하며, 효소가 없는 실험에 비해 25배

높은 CO₂ 흡수속도 기록

- 87℃에서 최대 성능을 나타내었고, 실험이 이루어지는 6일 동안 동일한 성능 유지
- 탄산무수화 효소의 개발을 통해 고온에서의 포집 효율성을 높이고, 포집 비용의 절감 기대

■ 캐나다 CO₂ Solutions, 고성능 탄산무수화 효소 '1T1' 개발(Global CCS Institute, 2014, 11, 20)

- 캐나다 정부의 IRAP(Industrial Research Assistance Program) 연구개발 자금으로 효소연구 진행
- 연구된 '1T1' 효소는 지속성과 촉매력 측면에서 현재 개발되고 있는 다른 기술보다 월등한 성능을 나타냄
 - 농축된 효소는 최적의 이산화탄소 포집 공정의 설계를 가능하게 하고, 이산화탄소 포집 공정의 전체 비용을 저감
 - 해당 기술로 포집한 이산화탄소를 활용하여 기존보다 낮은 비용으로 석유회수증진(EOR)의 대형화 가능
 - 2014년 12월부터 미국 노스다코타 EERC(the University of North Dakota Energy & Environmental Research Center)에서 테스트 진행 중

■ 고려대학교 화학과 홍창섭 교수 연구팀, '니켈 기반 금속-유기복합체(MOF)' 개발(연합뉴스, 2014, 07, 21)

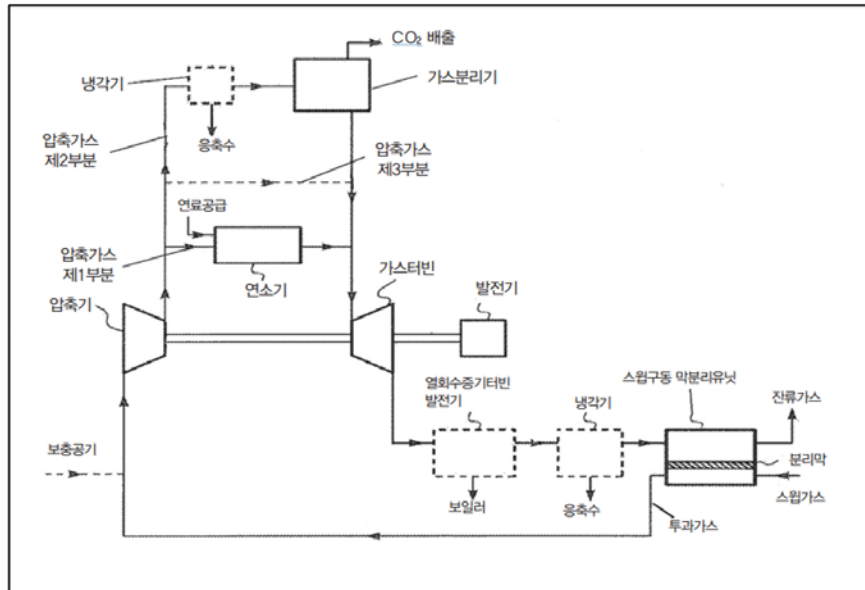
- MOF는 비표면적이 크고 미세조정이 가능한 기공이 발달해 다양한 가스분리에 응용 가능하지만, 물과 산성에서 구조가 무너져 포집제로서의 한계 존재
- 연구팀이 개발한 니켈기반 MOF는 기존의 단점 보완
 - pH 1.8의 강산 환경이나 100℃의 물에서도 구조적 안정성 유지

나. 하이브리드 CO₂ 포집 시스템 개발 및 기존 공정장치 개선

■ 미국 Membrane Technology and Research, 운전비를 절감할 수 있는 새로운 최적운전시스템 개발(한국기계산업진흥회, 2014)

- 기존의 흡수식 포집 방법과 분리막 포집 방법을 합친 공정으로서, 흡수율을 높여 효율성 측면 부각
 - 화력발전소에 있어 터빈을 나온 배기를 막 분리 유닛을 통해 순환시킴으로써, 흡수기 내의 CO₂ 농도를 높여 흡수 효율을 향상시키는 방법(그림 2)
 - 시간당 포집 공정 내의 이산화탄소 노출시간을 증가시켜 효율성 측면에서 큰 기여

V. 국내외 정책·기술동향



출처: 한국기계산업진흥회(2014), 기계산업 450권

그림 2. 하이브리드 CO₂ 포집 시스템

- 고려대학교 그린스쿨 및 화공생명공학과 최정규 교수팀, ZIF-7 입자의 성질 발견으로 고효율 차세대 분리막 기술 개발(한국 이산화탄소포집및처리 연구개발센터 보도자료, 2014.08.07)
 - 기존의 CCS 공정은 ZIF-7의 이산화탄소 흡착 특성을 제대로 파악하지 못해 고효율의 분리막 제작에 한계를 지남
 - 차세대 흡착물질 금속-유기복합체(MOF)의 일종인 ZIF-7 입자의 이산화탄소 흡착 성질을 세계 최초로 해석
 - ZIF-7 입자의 열처리에 의한 구조 변화와 이산화탄소 흡착능력의 상관관계를 데이터베이스로 구축
 - 다양한 조건별로 이산화탄소 흡착 능력이 극대화되는 ZIF-7 입자의 형태와 크기를 과학적으로 정의
 - 이번 연구성과로 이산화탄소의 다양한 분리 조건, 환경에 따라 이산화탄소의 흡착능력을 최대화 할 수 있는 ZIF-7 입자의 구조와 크기를 바로 확인, 적용 가능
 - 연구성과를 활용하여 기존의 상용화 되어있는 분리막보다 더 고효율의 분리막 제작 가능

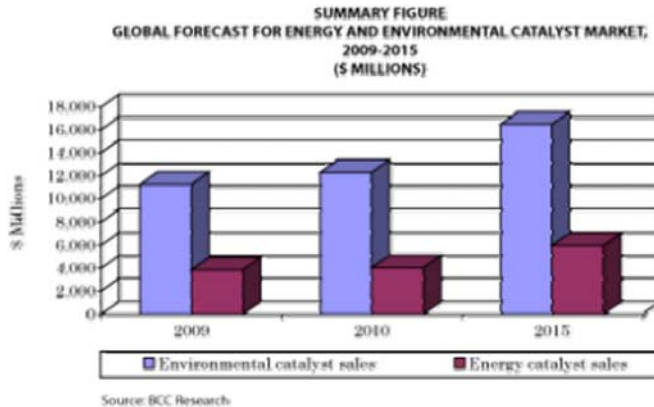
환경나노촉매의 기상합성기술

기술동향

가. 환경촉매 개요와 시장현황

- 국내의 환경정책 및 에너지 정책 강화에 따라 자동차, 반도체, 중화학 산업 등에서 유해가스 감량 및 정화 작업이 필수가 되고 대기오염방지 등 친환경 시장의 수요가 지속됨
 - 삶의 질 측면에서의 친환경 정책에 따른 대기오염물질 배출규제와 기후변화문제 등에 따른 에너지 저감 및 관련 배출가스 제로화를 위한 기술들에 초점
 - 여러 기술개발의 노력들 중에서 대기오염물질의 처리는 최대화 하고 처리를 위한 에너지 소비는 적은 나노 입자를 이용하는 환경촉매에 대한 기술개발이 부각
- 환경촉매는 기술의 큰 범주로 흡착촉매와 분해(산화 및 환원반응) 촉매로 구분
 - 주로 활성탄과 제올라이트 등을 활용하는 흡착촉매 기술은 소모성 특성을 가짐에 따라 탈착을 통한 흡착물질의 재사용과 오염물질 분해효과가 있는 하이브리드(Hybrid) 형태의 기술 개발이 중요
 - 분해촉매는 고효율 저에너지 기술이 중요. 특히, 환경촉매는 최근 분해촉매를 중심으로 연구 및 기술개발의 중요성이 부각
- 국내의 환경촉매 시장은 지속적으로 성장하고 규모가 커짐에 따라 해당 기술들의 개발도 지속될 것으로 전망
 - BCC Research 자료(그림 1)에 의하면 세계 환경 및 에너지 용도 촉매시장은 2010년 163억 달러 정도의 규모를 기록했고, 2015년 약 225억 달러에 달할 것으로 전망. 연평균 약 6.6% 시장성장 예측
 - 전국은행연합회 보고에 의하면 세계 대기환경 촉매시장은 2012년 약 67.05억 달러에서 2019년 142억 달러로 성장. 연평균성장률(CAGR) 11.3%로 전망
 - 촉매시장 중 자동차용 환경촉매가 전체시장의 약 82%, 산업용 촉매는 약 18%를 점유
 - 국내의 촉매업체의 시장점유율은 현재까지 Johnson Matthey사 31.0%, BASF사 23.7%, Umicore 14.8%로 1~3위를 차지하고 있으며, 기타 업체들이 30.5%를 점함

V. 국내외 정책·기술동향



출처: BCC Research(2010), "Catalysts for Environmental and Energy Applications 2010"

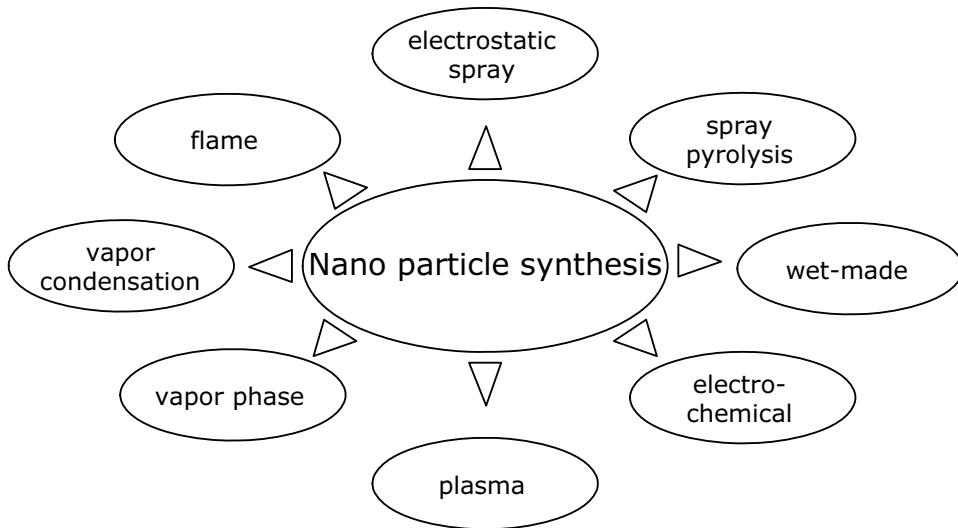
그림 1. 에너지 및 환경촉매 세계시장 예측

나. 환경촉매 나노물질 기반 기술 개발동향

■ 나노기술을 기반으로 환경 나노촉매 연구와 기술개발이 초점

- 나노입자를 기반으로 하는 환경촉매는 비표면적과 입자의 형태, 화학적 조성, 결정구조의 독특한 차별성으로 환경촉매로서 우수한 활성을 보임
- 나노입자를 제조하기 위한 다양한 합성 방법들이 연구·개발되고 있음
 - 분무 열분해법 : 전구체를 용해시킨 용액을 수~수십 마이크로 크기의 액적으로 분무한 후, 용매를 증발시키고 석출된 전구체를 열분해하여, 다양한 종류의 물질을 분말 형태로 제조하는 방법으로, 화합물 구성비의 조절이 용이한 장점을 가짐
 - 정전분무법 : 분무 노즐에 전압을 걸어서 액적을 분무하는 방법으로, 분자량이 크고 비휘발성인 단백질 분자 등의 미세입자를 생성하는데 이용됨
 - 기체응축법 : 불응축성 비활성기체에 증발시킨 전구체의 응축과정을 통해 분자 클러스터를 얻는 방법으로, 제조된 입자의 순도가 높고 입자조절이 용이함
 - 플라즈마 공정 : 직류 플라즈마, 고주파 플라즈마 기술을 이용하여 전구체를 기화시켜 나노 입자를 합성하는 방법으로, 에너지 집중도와 제어성이 높아 나노 입자의 대량제조를 위한 연구가 활발히 진행중
 - 레이저 용융 : 녹는점이 높은 금속산화물 등을 레이저조사를 통하여 용융·휘발시켜 나노 입자를 제조하는데 용이함
 - 화염합성: 기화된 전구체가 화염을 통과하면서 고온에서 반응하여 입자가 형성되는 방법으로, 합성온도에 따라 입자의 크기와 형태가 조절이 가능하나, 입자의 크기 분포가 넓고 강하게 응집된 형태의 입자들이 얻어짐

- 기상 고온합성: 증발시킨 전구체를 고온 상태에서 반응시켜 나노입자를 합성하는 방법으로, 입자 합성온도와 유속 조절이 용이하여 발생입자의 크기와 특성을 정밀하게 조절할 수 있음

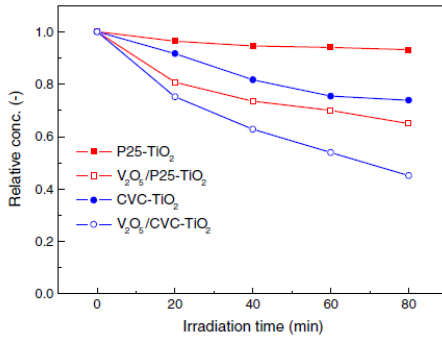


출처: 진성민(2009). "기상합성 나노 입자 촉매의 1,2-dichlorobenzene 저온 분해 특성"

그림 2. 나노입자 제조를 위한 기술분류

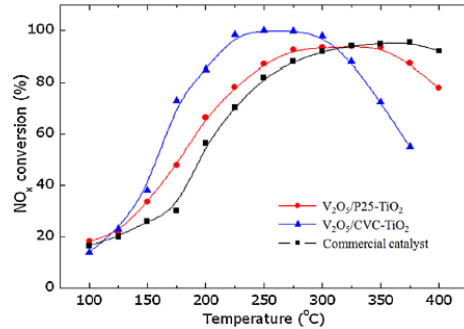
- 기상합성법(Chemical Vapor Condensation)을 이용한 촉매 및 지지체 합성
 - 한국과학기술연구원(KIST) 정중수 박사 연구팀에서는 자체 고안한 합성장치를 사용, 전구체를 휘발시켜 고온에서 나노 입자를 합성하는 기상합성법으로 TiO_2 등 다양한 나노 입자를 합성한 후 광촉매 및 촉매활성을 검증
 - 기상합성한 TiO_2 나노 입자를 지지체로 함침(Impregnation)법을 이용하여 $\text{V}_2\text{O}_5/\text{CVC-TiO}_2$ 촉매를 제조, 촉매 입자의 표면특성과 물질의 구조분석 등을 깊이 있고 다양한 측면에서 시행
 - 선택적 환원촉매(SCR)로서 질소산화물 분해효율이 상대적 저온영역(특히, $200\sim 250^\circ\text{C}$)에서 우수하게 나타나는 것을 실험실과 현장 파일럿플랜트 시험에서 동시에 확인
- 환경나노촉매(광촉매) 기술은 인체에 악영향을 주지 않으며 별도의 에너지가 필요하지 않은 형태의 가시광을 이용한 형태로 기술개발이 이루어짐
 - 해당 기술 개발의 방향은 가시광 반응을 위해 밴드갭 에너지가 낮고 활성 수산화기가 많으며 전자와 정공이 들뜬(활성) 상태로 잘 유지되는 촉매를 합성하는 것이 핵심

V. 국내외 정책·기술동향



출처: Chin et al.(2012). "Synthesis and Visible Light Photocatalytic Activity of Transition Metal Oxide Loading on TiO₂ via a Chemical Vapor Condensation Method"

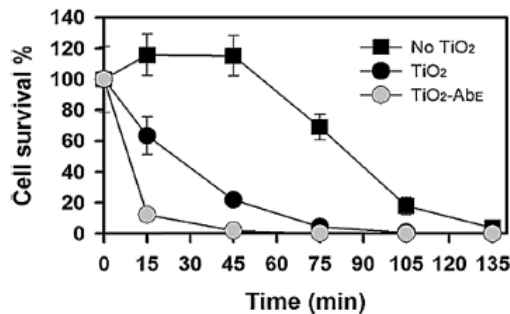
그림 3. 환경나노촉매를 이용한 가시광 촉매활성



출처: Cha et al.(2013). "Enhanced Low-temperature NH₃-SCR Activity of a V₂O₅/TiO₂ Composite Prepared via Chemical Vapor Condensation and Impregnation Method"

그림 4. 환경나노촉매를 이용한 질소산화물 (환원)분해활성

- 환경나노촉매(산화 및 환원반응에 의한 분해촉매 기술)는 오염물질 분해처리반응 온도를 낮추고(상온 또는 배출가스 온도) 오염물질 분해율이 높은 촉매를 위한 기술에 대한 개발이 이루어짐. 반응 후 부산물 (Byproduct)이 적게 발생하도록 하기 위한 연구도 중요
- 본 연구에서 합성한 TiO₂ 촉매의 광촉매 반응을 이용, 환경 중 미생물 살균처리를 위한 제거 효과에 대한 실험 결과, 우수한 효과를 얻을 수 있었음



출처: Song et al.(2014). "Bacterial Target-specific Photocatalyst for the Enhancement of Antibacterial Property to Targets"

그림 5. 환경나노촉매를 이용한 환경유해미생물 제거효율

광전기화학적 인공광합성기술

기술동향

가. 광전기화학적 인공광합성기술(Photoelectrochemical Artificial Photosynthesis Technology) 개요

- 인위적으로 태양광을 이용해 물과 이산화탄소로부터 직접 다양한 종류의 화합물을 생산하는 일련의 기술을 ‘인공광합성’이라고 부르고, 이 때 생성되는 화합물을 ‘solar-fuels’라고 통칭
- 자연에서는 대표적으로 식물의 나뭇잎이 태양광, 물, 이산화탄소를 이용해 광합성이라는 기작을 통해 몸집을 키우고 생명을 유지하는 데 필요한 에너지를 생산
 - 식물은 1% 미만의 효율을 가지고 태양광으로부터 에너지를 얻고 있음
 - 녹조와 같은 미세조류는 3~4%의 효율로 광합성 작용

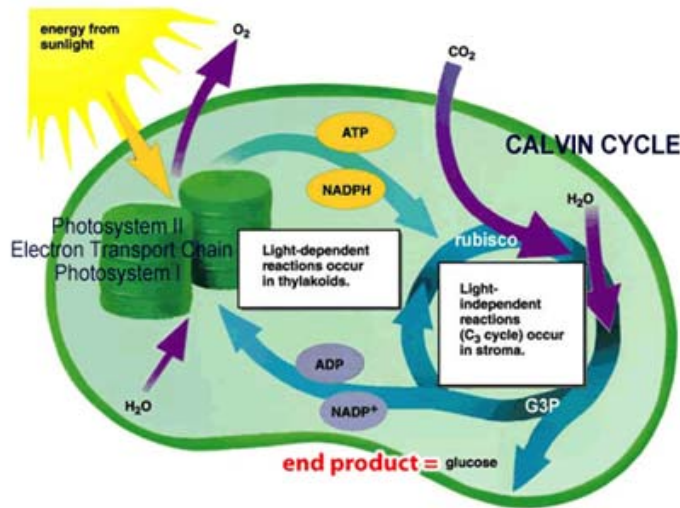


그림 1. 나뭇잎의 광합성 기작 개념도

- 인공광합성기술 분야에 대해 본격적인 연구가 시작된 지 오래되지 않아 아직까지 초보적인 기술 수준에 머무르고 있음
- 자연의 광합성보다 효율이 높은 인위적 시스템을 구현하는 것이 연구의 첫 단계일 것
- 기술적 연구개발과는 달리 기초과학적 관점에서의 인공광합성 연구는 이미 오래전부터 시작되었고, 특히 가시광 흡수 기작, 전자/정공 분리 기작, 전자 전달 메커니즘, 촉매반응 등의 주제에 대해 많은 연구가 진행되었음

V. 국내외 정책·기술동향

- 1994년부터 인공 광합성을 위한 스웨덴 협력연구(The Swedish Consortium for Artificial Photosynthesis) 구성
- 2005년에는 Lund, Uppsalla, Stockholm 대학을 중심으로 인공광합성이라는 주제로 지속적으로 연구 진행
- 미국 에너지부(DOE)에서는 2010년 “Joint Center for Artificial Photosynthesis(JCR)”를 설립하고 20개 이상의 인공광합성관련 연구 조직들의 중심센터의 역할을 하고 있음
- 우리나라의 인공광합성 관련 연구 현황
 - 2009년, 서강대학교에 “한국인공광합성센터” 설립
 - 한국과학기술연구원에서도 기관 고유 과제로 ‘광전기화학적 이산화탄소전환기술 개발’ 연구가 2011년부터 진행되어 이 분야에서 큰 기술의 진보를 이루고 있음

나. 시스템기술

- 광전기화학적 인공광합성기술은 태양광을 흡수하여 전자-정공 쌍을 만드는 물질 및 산화, 환원 반응의 촉매 역할을 하는 물질 등이 전극 형태로 구성되어 전기화학적 원리에 의해 작동되는 방법을 통칭
 - 태양광을 흡수하여 전자-정공 쌍을 생성하기 위해서는 산화 및 환원 전극 중 적어도 하나는 빛을 흡수할 수 있는 광전극으로 이루어져야 하며, 산화 및 환원 전극 모두 각각 반응의 과전압을 최소화하기 위해 촉매 특성을 지녀야 함
 - 산화 및 환원 반응에서 생성된 화학종들이 반대 전극의 반응에 참여하는 것을 방지하고 생성물의 분리를 원활하게 하기 위해 분리막 필요
 - 태양광-연료를 생산하기 위해서는 물 분해가 반드시 일어나야 하며, 이 때 생성된 수소 이온이 직접적으로 환원이 되면 수소 기체가 발생하고 물속에 이산화탄소가 용해되어 있으면 수소 이온과의 경쟁 환원 반응을 통해 개미산, 메탄, 일산화탄소, 메탄올 등 C1화합물 생성

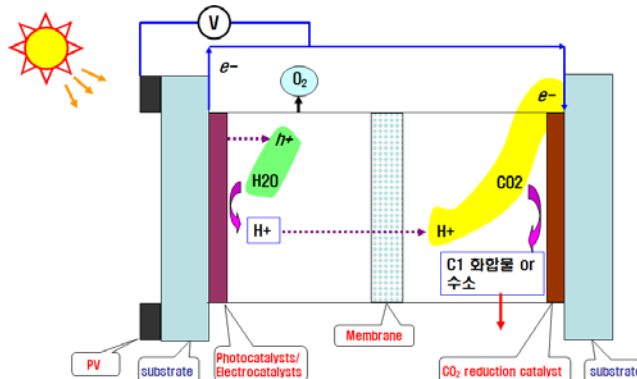


그림 2. 태양광-연료 광전기화학전지 개념도

- 반응 선택도(selectivity)가 매우 중요한 요소인데, 이는 환원 전극의 촉매 특성에 의해 주로 결정
 - 환원 전극에 백금(Pt) 촉매가 사용된다면 수소 이온이 선택적으로 환원되어 주 생성물은 수소 기체가 되지만, 금(Au) 촉매가 사용된다면 일산화탄소와 수소가 동시에 생성

■ 광전기화학적 태양광-연료 생산 가능성은 일본의 Fujishima와 Honda에 의해 처음 제안

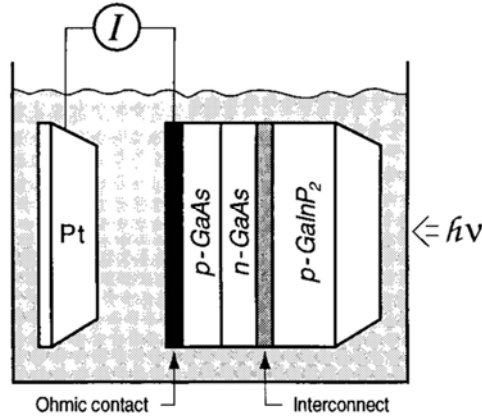
- TiO_2 와 같은 금속산화물 반도체를 이용, 태양광을 흡수하여 전자-정공 쌍을 생성하고 생성된 정공 및 전자가 물과 산화, 환원 반응을 일으켜 산소와 수소를 생산할 수 있다는 것을 보여줌
 - 그러나 TiO_2 와 같은 금속산화물 반도체는 band-gap이 너무 커서(>3.0 eV) 태양광의 많은 부분을 차지하고 있는 가시광 영역의 빛을 흡수하기 어려워 태양광을 효율적으로 이용할 수 없다는 약점 존재
 - 많은 연구자들은 TiO_2 와 같은 band-gap이 큰 금속산화물 반도체에 특정 원소를 도핑(doping)하거나 염료나 양자점(QD)과 같은 sensitizer를 결합하여 가시광 영역의 태양광을 이용하고자 하는 노력을 해왔음
- 광전극 물질이 가시광 흡수를 만족 한다고 해서 모든 문제가 해결되는 것은 아니며, 효율적, 자발적으로 광전기화학 전지가 작동하기 위해서는 광전극을 이루는 물질의 산화, 환원 에너지 준위가 물의 산화, 환원 또는 이산화탄소의 환원 에너지 준위를 포함하고 있어야 함
- 또한, 전극에 사용되는 물질들은 수용액내에서 안정성이 확보되어야 하고 산화, 환원 반응의 과전압을 낮출 수 있는 촉매적 특성을 동시에 가지고 있어야 함
- 현재까지 알려져 있는 반도체 물질 중 이러한 조건을 모두 만족하는 물질은 극히 드물며, 있다 하더라도 효율이 매우 낮기 때문에 실질적으로 이용 가능성은 매우 낮음

■ 고효율의 광전기화학적 인공광합성 디바이스를 구현하기 위해서 그 동안 연구가 많이 되어 왔던 광전기화학적 물분해 수소 생산 시스템에 대해 좀더 알아볼 필요가 있음

- 이산화탄소 환원 광전기화학전지의 경우는 수소 생산 인공광합성 디바이스 보다 구현된 예를 찾기가 매우 힘들며, 아직까지는 대부분의 연구가 반쪽반응, 즉 물산화반응 또는 CO_2 환원반응에 초점이 맞추어져 있음
- 태양광-연료 생산을 위해서는 물 분해 반응이 필수적으로 수반되어야 하는데, 이를 위해서는 2 V 정도의 전압이 필요함. 단일 반도체 물질로 이루어진 광전극을 통해 이 정도의 전압을 발생시키는 것은 매우 어렵기 때문에 또 다른 반도체 간 접합을 이용하여 필요 전압을 충당하는 디바이스 구조가 제안되었음
 - 가장 대표적인 연구결과가 1988년 Science 지에 Turner 박사 그룹에서 보고한 구조(그림 3)
 - p-GaAs와 n-GaAs의 접합을 p-GaInP₂ 광전극에 연결시켜 탠덤화한 구조

V. 국내외 정책·기술동향

- 빛은 band-gap이 더 큰 GaAs (1.83 eV)에 의해 먼저 흡수되고 투과된 나머지 빛은 GaInP₂ (1.42eV)에 의해 흡수됨



출처: Khaselev and Turner(1998). "A Monolithic Photovoltaic-Photoelectrochemical Device for Production via Water Splitting"

그림 3. GaAs 및 GaInP₂ 물질을 이용한 텐덤형 광전기화학전지의 모식도

- 이러한 태양전지(p-n 접합) 기술이 접목된 광전극을 이용하여 물 분해 반응을 수행한 결과 최고 12.3%라는 태양광-수소 전환 효율을 얻었음
 - 이는 지금까지 알려진 광전기화학전지 중 최고 효율이라고 할 수 있음
 - 그럼에도 불구하고 더 향상이 되지 못한 가장 큰 원인은 사용된 광전극 반도체 물질들이 수용액 전해질 내에서 안정성이 현저하게 떨어지기 때문이라고 예측됨
 - 또한 GaAs 및 GaInP₂ 물질은 고가의 원소가 사용된다는 점과 박막 제조에 사용되는 공정(예: organometallic vapor-phase epitaxy)이 고비용 공정이라는 단점을 보유
- 태양전지기술과 광촉매 또는 전기화학촉매기술이 접목된 광전극이 이용될 때 물 분해반응은 태양전지의 I-V곡선과 촉매전극의 I-V곡선이 교차하는 지점에서 일어나게 되므로(그림 4) 고성능의 촉매기술이 접목되면 실질적으로 더 낮은 에너지에서 반응을 일으킬 수 있음(효율 증대)

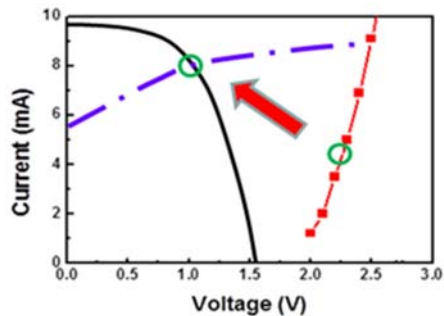


그림 4. 태양전지-광촉매 텐덤전극의 I-V 작동 원리 모식도

- 탠덤 전극에 양면이 모두 전도성인 유리 기판을 이용한다면 굳이 안정성이 확보되지 않는 태양전지 반도체 물질을 전해질 내에 위치시키지 않고 그림 5와 같이 전해질 외부로 위치시키면서도 촉매막과 ohmic 접합을 형성할 수 있음

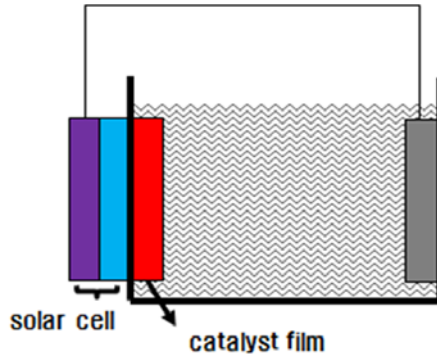


그림 5. 양면 전도성 유리 기판을 이용한 태양전지-광촉매 탠덤전극 광전기화학전지 모식도

- 이 경우, 촉매는 광촉매 또는 전기화학 촉매 모두 이용 가능하나, 빛의 효율적 이용을 통한 효율 증대를 위해서는 광촉매를 이용하는 것이 유리함
- 태양전지와 효율적으로 광흡수를 나누어 하기 위해 광촉매막의 밴드갭 조절이 중요한 기술이 될 수 있음
 - 최근에 본 연구 그룹에서는 이러한 개념을 바탕으로 이산화탄소로부터 일산화탄소를 선택적으로 생산하는 효율 4.23%의 인공광합성 디바이스 제조에 성공한 바 있음

다. 환원촉매기술

- 광전기화학적 인공광합성기술에서 광전극 만큼 중요한 기술이 환원촉매기술임
 - 태양광-수소 광전기화학전지에서는 환원 종으로 수소 이온만이 존재하지만 태양광-C1 화합물 광전기화학전지에서는 CO₂가 동시에 용해되어 있어 수소 이온과 CO₂ 간의 경쟁적인 환원 반응이 일어나기 때문에 촉매의 선택도 및 성능이 더욱 중요한 요소가 됨
 - 열역학적인 에너지, 즉 수소 및 예상 C1 생성물(예: 일산화탄소, 메탄, 개미산, 메탄올 등)의 환원 전위(표 1)가 크게 차이나지 않기 때문에 환원반응에서의 선택도는 환원 촉매의 종류 및 특성에 의해 결정

표 1. 수소 및 C1 생성물에 따른 이산화탄소의 표준 환원 전위 (V vs. NHE, pH = 7)

반 응 식	표준 환원 전위
$2H^+ + 2e^- = H_2$	-0.414 V
$CO_2 + 2H^+ + 2e^- = CO + H_2O$	-0.520 V

V. 국내외 정책·기술동향

반응식	표준 환원 전위
$\text{CO}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{HCOOH}$	-0.610 V
$\text{CO}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- = \text{HCHO} + \text{H}_2\text{O}$	-0.480 V
$\text{CO}_2 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^- = \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$	-0.380 V
$\text{CO}_2 + 8\text{H}^+ + 8\text{e}^- = \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	-0.240 V

표 2. 금속 촉매에 따른 이산화탄소의 환원 반응 선택도 (전해질: 0.1M KHCO₃, T=18.5±0.5°C)

금속	전위 (V vs. SHE)	주요 생성물
Pb In Sn Cd	-1.63 -1.55 -1.48 -1.63	개미산
Au Ag Zn	-1.14 -1.37 -1.54	일산화탄소
Cu	-1.44	메탄, 에탄, 알코올 등
Fe Pt Ti	-0.91 -1.07 -1.60	수소

- 대부분의 CO₂ 환원촉매에 대한 연구는 외부의 전압을 이용하여 이산화탄소 환원 선택도를 높이고 과전압을 줄이는 방향으로 진행되고 있음
 - 2011년 Masel 교수 연구팀에서는 Ag 전극에 C₂MIM-BF₄ 이온성 액체를 이용하여 96%의 faraday efficiency로 일산화탄소를 생성하였다고 보고하였음(Rosen et al., 2011)
 - 이온성 액체는 CO를 생성하는데 있어서 과전압을 줄여 주는 촉매 역할 뿐만 아니라 CO₂의 용해도를 증가시켜 주는 역할을 한다는 것을 증명
 - 2008년에 Bocarsly 교수 연구팀에서는 p-GaP 전극에 pyridine을 소량 첨가함으로써 거의 100%의 faraday efficiency로 메탄올을 생성할 수 있다고 보고하였음(Barton et al., 2008)
 - 더 최근에는 Au foil을 이용하여 산화 및 환원 과정의 반복을 통해 표면을 나노구조화하여 선택도 및 안정성을 획기적으로 향상 시킨 연구결과가 발표됨(Chen et al., 2012)
 - 비슷한 개념으로 O₂-plasma 방법으로 Au foil을 산화시켜 나노구조 촉매 전극을 만들고 이온성액체 전해질 조건에서 매우 높은 CO 생성 선택도를 보고한 바 있음(Ko et al., 2015)