

# V

## 국내외 정책·기술 동향



• 태양광 .....	204
• 연료전지 .....	215
• 수처리 및 해수담수화 .....	221
• 바이오연료 .....	232
• 이산화탄소 포집 및 처리 .....	240
• 원자력 .....	248
• 초중질유 경질화 반응 .....	258
• 효소 기반 이산화탄소의 포름산 및 메탄올 전환 .....	265

## 태양광

### 1. 정책동향

#### 가. 국내 정책동향

##### ■ 태양광 대여사업

- 산업통상자원부는 주택용 태양광 대여사업 실시계획 발표(2014.05.28)
  - 대여사업의 사업자로 에스이아이비(주), LG전자(주), 한빛이디에스(주), 쏠라이앤에스(주), 한화큐셀코리아(주) 등 선정
  - 대상가구는 월 전력사용량 평균이 350kWh 이상인 단독주택(약 150만호)
  - 시범사업과 비교 시 사업자대상 확대, 대여료 인하, REP 인상, 약정기간 축소 등 소비자와 수입자의 수익과 편익이 개선될 것으로 예상

표 1. 시범사업과 대여사업 비교

구분	2013년 시범사업	2014년 대여사업
대상가구 (~kWh이상)	550kWh	350kWh
대여료 (월)	101,000원	70,000원
REP (공급인증서)	128원/kWh	216원/kWh
약정기간 (기본)	12년	7년

자료: 산업통상자원부, '2014년 태양광 대여사업' 참고자료

##### ■ 광주 광역시, 강원도 홍천군, 충청남도 진천군 등 친환경 에너지타운 조성 계획

- 친환경 에너지타운은 박근혜 대통령이 신년 기자회견에서 밝힌 구상
- 매립지 등 기피 시설을 활용해 친환경에너지를 생산하고 관광 등과 연계하여 주민에게 직접적인 경제적

혜택을 줄 수 있는 사업

- 국무총리실 소속 녹색성장위원회 제4차 회의에서 친환경 에너지타운 시범사업 추진 계획 의결(2014.05. 21)
- 광주광역시에는 산업통상자원부, 강원도 홍천군은 환경부, 충청북도 진천군은 미래창조 과학부가 주관 부처가 됨

표 2. 지역별 세부계획

지역	세부계획
광주광역시	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 북구 운전동 산 104번지 일대 매립지 26만 2천m<sup>2</sup> 규모 조성</li> <li>· 3년간 총 사업비 300억 원을 들여 12MW 규모의 태양광 발전소 건설 예정</li> <li>· 연간 10억 원의 전기판매 수익을 주민에게 분배</li> </ul>
홍천군	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 북방면 소매곡리 184번지 일대에 내년 9월 준공을 목표</li> <li>· 가축 분뇨를 활용한 바이오가스 시설과 태양광발전(340KW), 소수력 발전(25KW) 설비도 함께 설치</li> </ul>
진천군	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 진천·음성 혁신도시 내 하수처리장 시설(2만 9천m<sup>2</sup>)을 활용해 신·재생에너지 융 복합 모델 조성</li> <li>· 태양광 950KW, 연료전지 10KW 등 신·재생 발전설비를 설치하고 열 저장 시스템을 만들어 주민에게 겨울내 난방용 열을 공급</li> </ul>

자료: 환경부, '친환경에너지 타운 시범사업' 보도자료

■ 한-우즈벡 비즈니스 포럼 개최(2014.06.17)

- 본 회의에서 태양광산업 등 분야의 협력 확대를 통해 양국간 파트너십을 강화하기 위한 논의
  - 우즈벡 2030년까지 4GW 규모의 태양광 발전시설 건립계획 발표
  - 에너지경제연구원은 우즈벡의 천연가스와 태양광 발전 잠재력을 높이 평가, 공동 녹색연구 및 CIS 지역에서의 공동 프로젝트 등 녹색협력을 제안
- 포럼 후 산업부와 우즈벡 경제부는 태양광 실증단지 구축을 위한 MOU 체결
  - 우즈벡 나망간(Namangan) 지역에 태양광 실증단지를 구축
  - 이를 통해 국내 태양광 설비를 중앙아시아 환경에서 시험 검증함으로써 향후 우즈벡을 비롯한 중앙아 태양광시장 진출 기회를 확대할 전망

## V. 국내외 정책·기술 동향

표 3. 우즈벡 태양광 실증단지 개요(안)

모듈 용량	최대 130kWp	
적용기술	한국산 최신 태양광 셀 및 인버터	
역할 담당	한국정부	산업협력 ODA로 일부 재정지원 (4억 원)
	한국태양광협회	업계주요장비(모듈, 인버터 등) 설계 기술 및 훈련 제공
	우즈벡 정부	현지 인력 제공, 통관 원활화 협조

자료: 산업통상자원부 (www.motie.go.kr) 보도자료

### 나. 해외동향

#### ■ 호주

- 퀸즈랜드주(Queensland)와 빅토리아주(Victoria)에서 비계통연계 지붕형 태양광 발전설비 설치 활발히 진행 중
  - 지붕형 태양광을 포함한 소규모 태양광 설비용량은 2009년 0.12GWh에서 2013년 3.1GWh로 약 26배 증가
  - 호주 지붕형 태양광 발전 설비용량은 연간 약 23.6%씩 증가하고 있으며, 이로 인해 2013년 계통연계형 전력 수요가 2.9% 감소

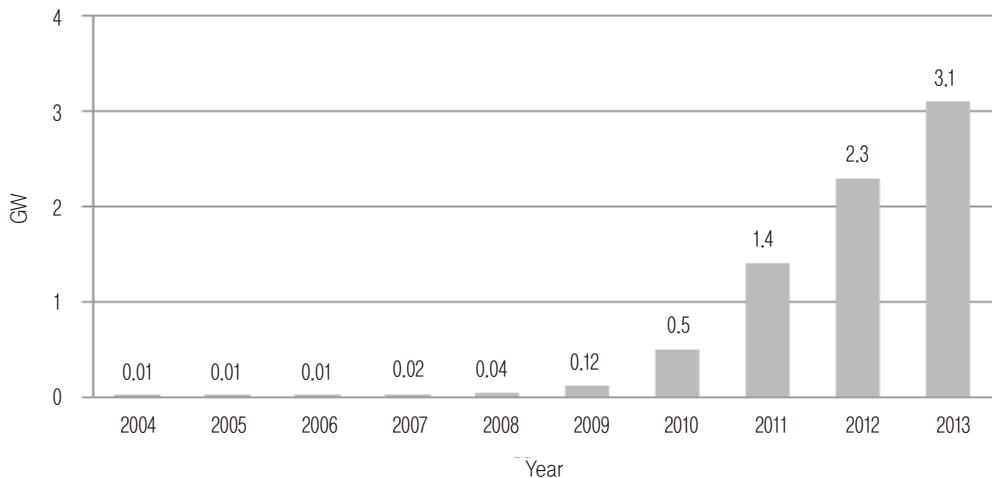


그림 1. 호주 소형태양광 설치 현황

자료: Australian PV Institute

## ■ 미국

- 소규모 분산형 중심으로 시장 수요 확대
  - 2010년 0.6GW → 2013년 1.9GW (한국태양광산업협회, 2013.12)
- 캘리포니아 가정용 발전설비 장려
  - Net Metering<sup>1</sup> 제도를 통해 개인주택에 소형 태양광 발전설비 등 재생에너지 생산설비 설치 장려
- 에너지부(DOE), 집광형 태양 발전(CSP) 연구에 1천만달러 지원(2014.05)
- 미국-칠레, 워싱턴 정상회담에서 에너지 경제 협력 논의(2014.05)
  - 미-칠레 에너지협력 주요 내용
    - 칠레 태양광 패널 제조공장 건설에 대한 금융지원 예정
    - 미국의 에너지 관련 기술 원조
  - 미 해외민간투자공사(OPIC<sup>2</sup>)는 칠레 Atacama 사막에 141MW 태양광 패널 제조 공장을 건설하기 위해 최대 2억 3천만 달러의 차관보증 승인(CSIS, 2014.06)

## ■ 중국

- 국무원, '태양광산업 의견 지침서' 발표
  - 태양광 발전시설 목표를 21GW에서 40GW로 상향 조정
- 보조금 정책 정비
  - 대규모 발전소: 약 \$0.14~\$0.16/kWh, 분산형 발전소: 약 \$0.07/kWh
- 지역 태양광 업체에 부가가치세 50% 환급 조치(2013.12)

## 2. 산업동향

### ■ 2014년, 태양광시장 두 자릿수 성장률 전망(IHS research)

- 올해 43~49.1GW가 설치되어 전년대비 최소 20% 이상의 양호한 성장(그림 2)
- 그리드패러티 도달, 분산전원 수요증가, 시장다변화, 가격하락 등이 태양광 수요 증가의 요인으로 작용
  - (그리드패러티 도달) 2013년 이후 전기료 상승 및 태양광 제품 가격하락 등으로 인해 태양광 발전단가가 공급받는 전기료보다 저렴해지는 지역이 빠르게 확산 중
    - 독일 및 미국 캘리포니아 지역은 태양광 발전단가가 가정용 소매전기에 비해 10% 저렴
  - (분산전원 수요증가) 그리드패러티 도달로 다양한 분산전원 비즈니스모델이 만들어지고 있으며, 아시아 도서지역 및 아프리카 등의 전력망 연결이 어려운 지역의 분산전원 수요가 빠르게 늘어날 것으로 예상

1 Net Metering: 소비자가 재생에너지를 통해 전기를 생산하고, 자신이 소비하고 남은 전기를 전력회사에 되팔게 하는 제도

2 OPIC: Overseas Private Investment Corporation

## V. 국내외 정책·기술 동향

- (시장다변화) 세계 태양광시장을 이끌던 유럽의 비중이 감소하고 있으나 이를 중국, 일본, 미국의 새로운 Top3와 다변화된 시장으로 보완
- (가격하락) 공급과잉과 기업들의 치열한 경쟁으로 태양광제품 가격이 하락하면서 태양광발전 단가도 큰 폭 하락

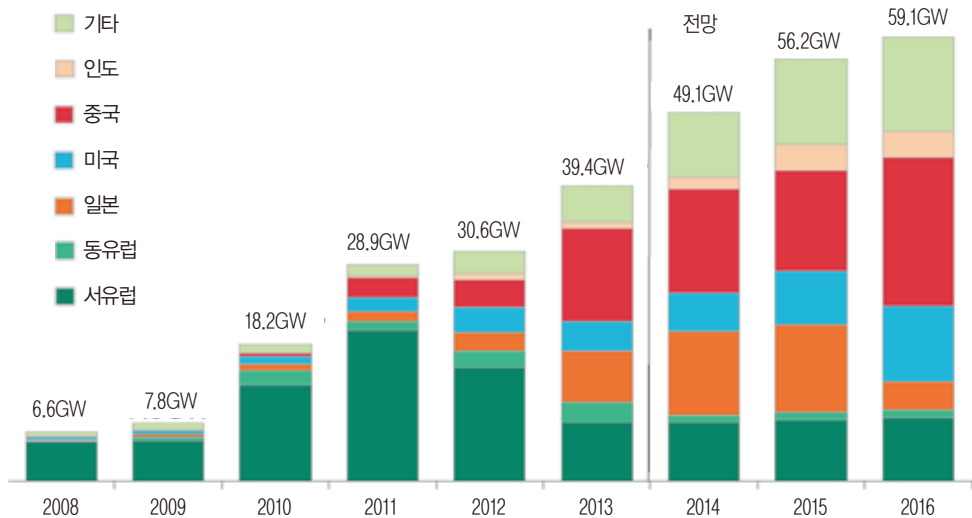


그림 2. 세계 태양광시장 현황 및 전망  
 자료: Bloomberg New Energy Finance (2013)

### ■ 태양광기업들의 구조조정으로 인한 공급과잉 해소

- 많은 국내외 태양광기업들은 2011~2013년의 공급과잉 시기를 거치며 채산성 악화로 구조조정을 단행
- 공급과잉의 진앙이었던 중국 태양광기업들도 과도한 부채로 구조조정
  - 중국은 2013년 상반기에 태양광산업에 대해 경쟁력 있는 대형업체 위주로 통합할 계획임을 발표
  - 특히 산업에 대한 진입장벽을 높이는 방법으로 태양광산업의 통폐합 작업을 가속화
  - 2014년 1월에 중국정부는 향후 혜택을 줄 109개 태양광기업의 리스트를 발표하여 중국 내 태양광기업 중 80%가 정부 지원에서 제외되는 효과를 가져올 것으로 예상

### ■ 태양광 에너지저장 시스템(PVESS)의 태동

- 2014년 전세계적으로 PVESS는 753MW가 설치될 전망(그림 3)
  - 가정용, 상업용, 발전용에서 주로 설치

- 건물의 스마트그리드 기술 확대로 인해 상업용에서 큰 폭 성장 예상
- 그리드패러티 도달
  - 태양광발전의 그리드패러티 도달은 PVESS 보급에 촉매 역할
  - 많은 태양광 인버터 제조업체들은 현재의 인버터제품을 바탕으로 가정용 PVESS 제품을 출시

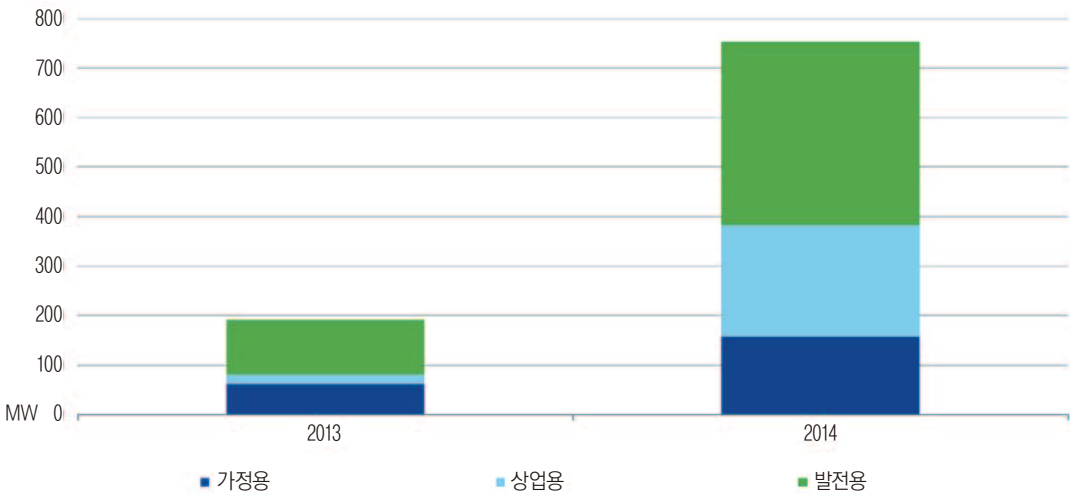


그림 3. PVESS 설치 전망

자료: IHS Whitepaper (2013), "Predictions for the Solar Industry in 2014," p.6

### 3. 기술동향

#### 가. 실리콘 태양전지

- 현재 상업용 태양전지는 단결정 및 다결정 실리콘 웨이퍼 기반의 결정질 실리콘 태양전지가 전체 태양전지 시장의 85% 이상을 차지
  - 단결정 웨이퍼는 순도가 높고 결정결함 밀도가 낮은 고품위의 재료로서 높은 효율 특성을 나타내나 다결정 웨이퍼에 비해 고가
    - 단결정 실리콘 웨이퍼를 사용한 대표적인 고효율 태양전지로는 4cm<sup>2</sup>의 면적에서 25%를 기록한 UNSW의 PERL(Passivated Emitter & Rear Local diffused)과 최근 120cm<sup>2</sup>의 대면적에서 25.0%를 기록한 Sunpower사의 IBC(Interdigitated Back Contact) 태양전지, 143.7cm<sup>2</sup>의 대면적에서 세계 최고 효율인 25.6%를 기록한 Panasonic사의 SHJ-IBC(Silicon-Heterojunction Interdigitated-Back-Contact) 태양전지 등이 있음

## V. 국내의 정책·기술 동향

- 다결정 웨이퍼는 상대적으로 낮은 특성의 재료를 사용하여 생산비는 낮으나 효율도 낮음
  - 다결정 웨이퍼를 사용한 실리콘 태양전지의 효율기록은 Fraunhofer-ISE의 20.4% (면적 1cm<sup>2</sup>, 그림 4)
- 상업용 태양전지의 가장 큰 비율을 차지하는 스크린 인쇄형 태양전지는 표면처리, PN접합, 반사방지막 형성, 스크린 인쇄법 등의 공정을 적용하여 생산
  - p-type 단결정 실리콘 태양전지는 약 19%대의 효율을 나타내며, 다결정은 최근 18%대의 효율이 양산에서 발표
    - 기판 특성 향상 및 양산 공정 개발을 통하여 최근에도 스크린 인쇄법을 사용한 상업용 p-type 단결정 및 다결정 태양전지의 효율이 상승하는 추세
  - 실리콘 태양전지 모듈 기술의 중요성이 더욱 부각되어 PID(Potential Induced Degradation), CTM(Cell to Module) 손실 등을 줄이기 위한 다양한 연구가 이루어지고 있으며, 또한 저가화 및 경량화를 위한 모듈 기술 개발에 대한 연구가 진행 중

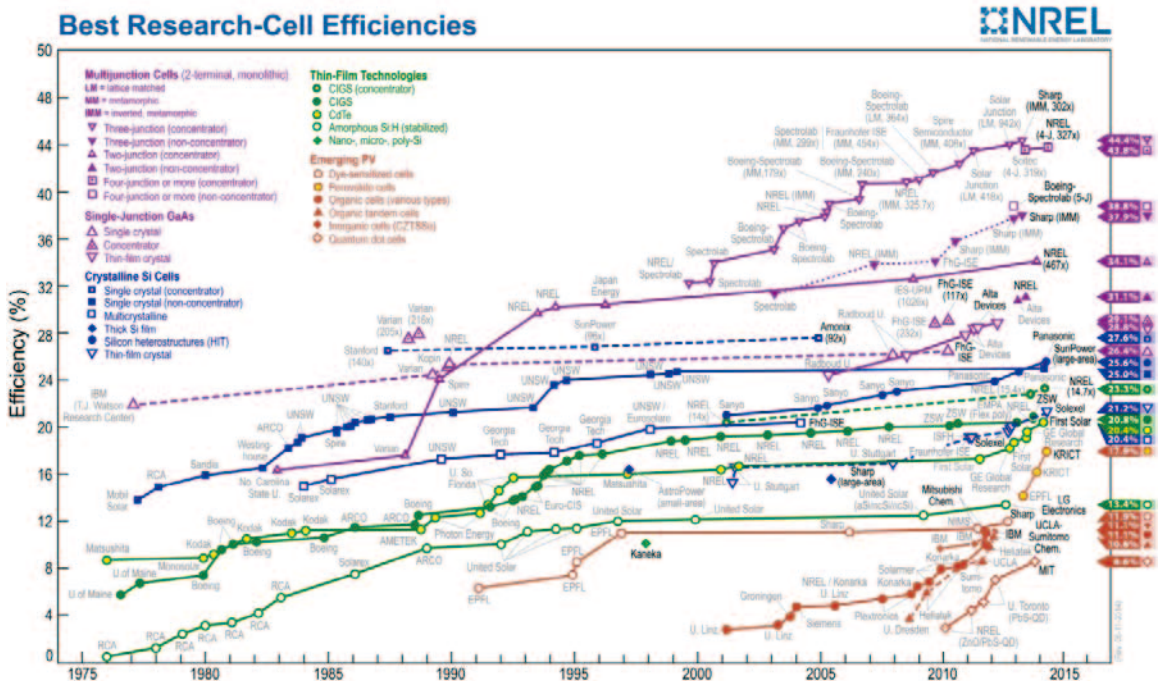


그림 4. 태양전지 효율 기록

자료: National Renewable Energy Laboratory (NREL) Research Cell Efficiency Record

## 나. 실리콘 태양전지 기술개발 동향

- 기판 및 태양전지 구조에 따른 기술개발 동향



- p-type 다결정 웨이퍼의 특성 향상에 따라 p-type 단결정 웨이퍼의 점유율은 감소하며 n-type 단결정 웨이퍼의 점유율이 증가할 것으로 예상
- 실리콘 태양전지의 저가화 경향에 따라 실리콘 웨이퍼의 두께는 점차 감소하여 약 100 $\mu\text{m}$  수준까지 감소할 것으로 예상되나, 현재 모듈 공정으로는 약 125 $\mu\text{m}$  두께가 한계일 것으로 예상되며 박형 태양전지의 모듈 공정을 위한 기술개발이 필요

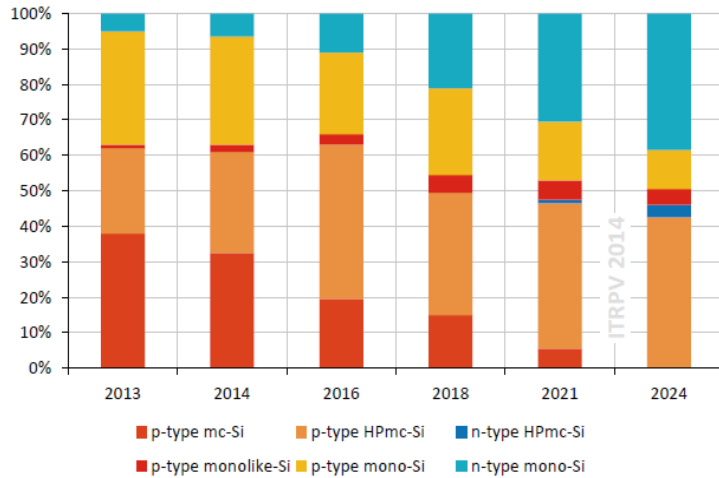


그림 5. 실리콘 웨이퍼의 종류에 따른 점유율 예상

자료: International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV) Fifth Edition

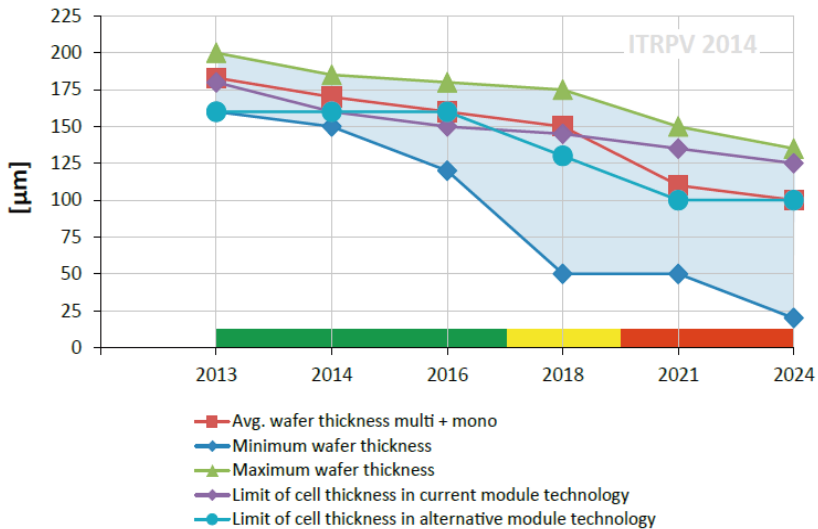


그림 6. 실리콘 웨이퍼 및 태양전지 두께 예상

자료: International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV) Fifth Edition

## V. 국내외 정책·기술 동향

### ■ 기관 및 태양전지 구조에 따른 기술개발 동향

- 실리콘 태양전지의 경우 스크린 인쇄형 태양전지의 점유율이 80%에서 점차 크게 감소할 것으로 예상되며, PERC(Passivated Emitter and Rear Cell), HIT(Heterojunction with intrinsic thin layer), IBC 태양전지 등 고효율 구조의 점유율이 크게 증가할 것으로 예상

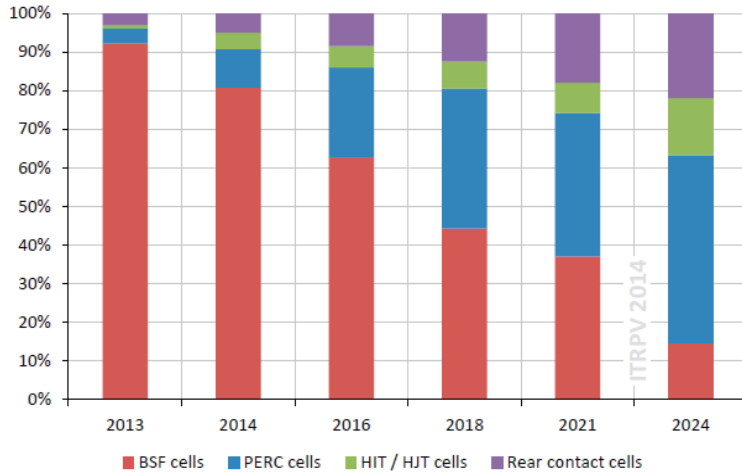


그림 7. 실리콘 태양전지 구조에 따른 점유율 예상

자료: International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV) Fifth Edition

### ■ 스크린 인쇄형 실리콘 태양전지 기술 동향

- 전면 금속전극 형성을 위한 은 페이스트의 기술개발에 따라 실리콘 태양전지의 인이 확산된 에미터는 현재 약 80~90 $\Omega$ /sq 수준에서 120 $\Omega$ /sq 수준으로 점차 고면저항 에미터가 사용될 것
- 스크린 인쇄법은 금속전극 면적을 감소시키기 위해 미세선폭 인쇄를 위한 기술개발이 이루어지고 있으며 약 30 $\mu$ m 수준까지 금속 핑거의 선폭이 감소할 것
- 최근 4~5개의 버스바가 적용된 18% 이상의 다결정 스크린 인쇄형 실리콘 태양전지가 발표

### ■ Sunpower의 IBC (Interdigitated Back Contact) 태양전지 동향

- Sunpower에서 개발한 것으로서, shading loss(전극에 의해 수광면적이 작아지는 손실)로 작용하는 전면전극이 존재하지 않고, 음극과 양극의 전극을 모두 뒷면에 형성시킨 구조
  - 빛이 입사되는 전면부의 금속전극이 모두 후면에 존재하여 빛 입사를 최대화하며, 빛이 대부분 흡수되는 전면부에서 생성된 캐리어들이 후면으로 이동해야 하므로 기판의 품질이 뛰어나야 하고, 전면과 후면의 표면 passivation이 매우 중요

- 얇은 기판에서 효율 특성이 더욱 높으며 모듈 연결이 한쪽으로 이루어진다는 장점
- 2008년 고품질의 n-type 기판을 사용하여 변환효율 23.4%를 달성하였으며, 2010년 155cm<sup>2</sup>의 단위셀에서 24.2%의 효율을 달성하였으며 최근 25.0%의 최고 효율을 달성

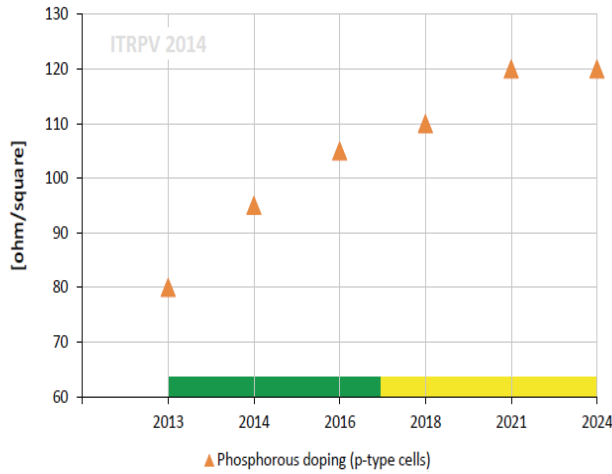


그림 8. 인이 확산된 전면 에미터 면저항 기술개발 추이

자료: International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV) Fifth Edition

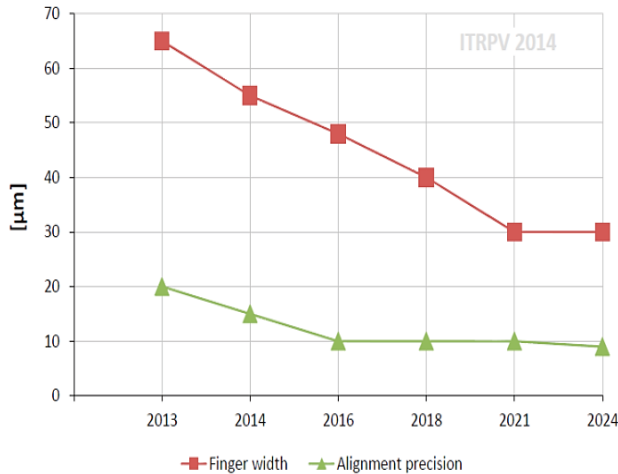


그림 9. 스크린 인쇄법 기술개발 추이

자료: International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV) Fifth Edition

---

## V. 국내외 정책·기술 동향

- Panasonic의 HIT (Hetero-junction with Intrinsic Thin-layer) 태양전지 동향
  - 단결정 실리콘 기판에 비정질 실리콘 박막을 성장하는 이종접합 구조
  - 2013년에는 100cm<sup>2</sup> 셀에서 24.7% 효율을 달성
  - 2014년에는 HIT구조에 IBC 구조를 결합한 SHJ-IBC 구조로 143.7cm<sup>2</sup>의 면적에서 25.6%의 세계 최고 효율을 달성

# 연료전지

## 1. 정책동향

### 가. 국내동향

- 한-영, 한-독, 공동투자를 통한 에너지 기술 국제공동연구 추진
  - 산업통상자원부는 대통령 유럽 국빈 방문(영 '13.11, 독 '14.03)을 계기로 추진해 온 유럽 기술 선진국과의 에너지 기술 협력을 구체화
  - 한국은 영국·독일 각 정부와 에너지 기술 분야 협력을 위해 R&D 공동펀딩을 조성하여 태양전지, 연료전지, 이차전지, 스마트그리드 분야 등에서 에너지기술 협력을 추진
    - (한-영 기술협력) 영국과는 2014년부터 3년 동안 45억원씩 총 90억원을 공동으로 투자해 연료전지, 이차전지, 스마트그리드 분야를 공동으로 연구하기로 합의
    - 양국 에너지기술 R&D 전담기관(한국에너지기술평가원, 영국 공학자연과학연구재단(ERSRC))간에 상호 펀딩규모, 프로젝트 추진방법 등을 구체화하여 MOU를 체결
  - 국제 공동 R&D를 위하여 정부간 공동펀딩과 공동기획-공동평가를 최초로 시도함에 따라 한국의 국제공동 R&D 협력 수준을 한 단계 도약시키며, 향후 국제공동연구의 좋은 모델이 될 수 있음을 시사



사진 1. 「韓-英 연료전지 공동기획회의」에 참여한 한국에너지기술평가원과 영국 공학자연과학연구재단(EPSC)

1 산업통상자원부 보도자료 (2014.05.29), "한-영, 한-독, 공동투자를 통한 에너지 기술 국제공동연구 추진"

## V. 국내외 정책·기술 동향

- 한국수력원자력(이하 한수원), 연료전지 상생모델로 지자체 모델 제안(2014.05)<sup>2</sup>
  - 한수원이 중심이 되어 추진하는 대형 연료전지 발전사업은 노을 그린에너지 프로젝트로 서울의 대표적 친환경 개발지역인 서울월드컵경기장 인근에 위치한 난지도 노을공원에서 추진
  - 이 프로젝트는 총 1,070억원에 달하는 재원으로 2만kW급 대형 연료전지 발전단지를 노을공원(서울 마포구 소재)에 조성하는 것을 목표로 함. 재원은 한국수력원자력(주)(29%), 한국지역난방공사(15%), 서울도시가스(주)(15%), 포스코에너지(10%) 등에서 출자하여 마련하고 나머지 31%는 재무적출자자로 마련
    - 신재생에너지 공급의무화제도(RPS)에 의거 신재생에너지 발전 의무를 지게 되는 한수원은 신재생에너지 공급인증서 구매를 진행하고, 프로젝트의 전반적인 업무를 주관
    - 포스코에너지는 신재생에너지 공급인증서 구매와 함께 연료전지 설계, 공급, 시공 등을 담당
    - 서울도시가스는 발전연료인 도시가스를 공급하고, 지역난방공사는 신재생에너지 공급인증서 구매와 더불어 발전설비 가동 후 발생하는 열을 활용할 예정
  - 이 발전단지가 본격적인 가동에 들어가면, 연간 5만 가구가 사용할 수 있는 1억5,760만 kWh에 달하는 전력과 함께 6,500가구에 지역난방열을 공급할 수 있는 650억kcal의 열이 생산되고, 이로 인해 연간 2만톤에 달하는 이산화탄소 감축 예상

### 나. 해외동향

- 미국 에너지부, 연료전지 시장에 300만달러 이상 투자(2014.04)<sup>3</sup>
  - 에너지부(DOE)는 오바마 대통령의 에너지 최우선 전략의 일환으로 코네티컷(Connecticut) 주 FuelCell Energy社에 300만달러 이상 지원을 발표
  - 연료전지 시장에서 미국의 경쟁력을 강화하고 기업으로 하여금 저렴하고 청정한 전력을 선택할 수 있게 하는 것이 지원 목적
  - 해당 사업은 분산화 전력발전과 열병합 발전에 사용되는 연료전지의 성능개선, 수명연장, 비용인하 등에 기여할 것으로 예상
- 일본 경제산업성, 수소와 연료전지 전략 로드맵 발표(2014.06)<sup>4</sup>
  - 경제산업성(METI)은 2013년 12월 수소연료전지 전략위원회(Council for a Strategy for Hydrogen and Fuel Cells)를 설립
  - 전략위원회는 산학관 협력을 통해 수소에너지의 향후 활용을 위한 이상적 접근법을 연구
  - 위원회는 2014년 6월 23일 수소와 연료전지 전략 로드맵(Strategic Road Map for Hydrogen and Fuel Cells)을 작성했으며, 경제산업성이 해당 로드맵을 발표

2 한국수력원자력 보도자료 (2014.05.20), "한수원, 서울 도심에 친환경 발전소 세운다"

3 미국 에너지부 (2014.04.21), "Energy Department Invests More than \$3 Million to Advance U.S. Competitiveness in the Fuel Cell Market"

4 일본 경제산업성 (2014.06.27), "METI has compiled a Strategic Road Map for Hydrogen and Fuel Cells"

- 해당 로드맵에서는 기술 난제를 해결하고 경제적 효율성을 확보하기 위해 필요한 기간을 3단계로 나누어 체계적으로 발전 방안 제시

## 2. 산업동향

### 가. 국내동향

#### ■ 두산, 연료전지 업체 퓨어셀파워 합병(2014.07)<sup>5</sup>

- 두산은 주택용과 중소건물용 연료전지 원천기술을 갖추고 국내 시장을 선도하고 있는 퓨어셀파워(Fuel Cell Power)를 합병
- 퓨어셀파워는 지난 2001년 설립된 주택 및 중소건물용 연료전지 제조사로 2013년 매출 170억원, 영업이익 37억원을 기록했고, PEMFC(Proton Exchange Membrane Fuel Cells) 원천 기술을 갖추고 국내 주택용 연료전지 시장 80%를 점유하고 있으며, 2013년 한국거래소 코넥스(KONEX) 시장에 상장됨
- 주택 및 중소건물용 연료전지의 세계시장 규모는 2013년 약 1조원으로, 연료전지 시장의 가파른 성장세 속에 2023년에는 17조원에 이를 것으로 예상

#### ■ 삼천리, 동탄 세인트캐슬 전 세대에 연료전지 설치(2014.05)<sup>6</sup>

- 삼천리가 도시가스공급원인 경기도 동탄1신도시에 위치한 타운하우스 '세인트캐슬' 전 세대(108세대)에 퓨얼셀의 가정용 연료전지를 공급받아 설치한데 이어 발전연료인 도시가스를 공급하는 등 연료전지의 새로운 모델을 구축
- 월 전력사용량 600kW, 가스사용량 200m<sup>3</sup>를 사용하는 세대는 월 12만원 가량의 관리비를 줄일 수 있을 것으로 관측
- 이번에 설치된 가정용 연료전지는 1년 365일 어느 때나 고품질의 전기와 온수를 생산할 수 있으며, 이산화탄소 배출량을 40%가량 줄일 수 있는 고효율 친환경 발전시스템
- 특히 설치면적 1.5m<sup>2</sup> 정도의 좁은 공간만을 요구해 보일러실 내부에도 설치할 수 있어 외부 미관에 영향을 주지 않는 장점을 갖고 있고, 필요에 따라 자유롭게 전기와 온수를 사용 가능

### 나. 해외동향

#### ■ 미국 퍼스트엘리먼트 퓨얼社, 2015년 가을까지 일반 수소충전소 네트워크 구축 계획<sup>7</sup>

- 캘리포니아 에너지위원회(California Energy Commission)는 퍼스트엘리먼트 퓨얼의 수소 충전소 설치 프로젝트를 지원하기 위해 2,760만달러를 지원하기로 발표(2014.05)

5 ㈜두산 보도자료(2014년 7월 10일), "㈜두산, 연료전지 업체 퓨어셀파워 합병"

6 에너지타임즈 보도자료(2014년 5월 28일), "삼천리, 동탄 세인트캐슬 전 세대에 연료전지 설치"

7 FirstElement Fuel Inc(2014년 5월 7일), "California Energy Commission Awards FirstElement Fuel Inc. \$27.6 Million Grant to Build Consumer Hydrogen Fueling Network by Fall of 2015"

---

## V. 국내외 정책·기술 동향

- 퍼스트엘리먼트 퓨얼은 다수 자동차 제조사의 연료전지 차량 출시에 앞서 2015년 가을 1차로 19개 충전소를 운영할 계획

### ■ 미국 호놀룰루 항만에 사용될 휴대용 청정 수소 연료전지<sup>8</sup>

- 낮은 배출과 더불어 에너지 소비를 줄일 것으로 예상하는 청정 수소 전력이 2015년 호놀룰루의 항만에 배치될 예정
- 2013년 연구의 후속 연구 및 분석을 통해 부두나 정박선에 보조 동력을 제공하는 수소 연료전지의 활용 가능성을 규명하며 전 세계 항만상용 기술을 이끌 가능성을 제시
- 샌디아 국립연구소의 수소 연구진은 이 후속 프로젝트를 위해 여러 협력업체와 함께 공동 연구를 수행한 결과 휴대용 수소 연료전지를 개발했으며, 이것은 바지선이나 선창 위, 또는 전력 공급이 필요한 어느 곳이든 탑재할 수 있도록 설계

### ■ 일본 도요타社, 2014년 연료전지 차량 발매<sup>9</sup>

- 도요타(Toyota)는 세단 타입의 연료전지 차량을 2014년에 일본 내 10개 도현을 중심으로 발매하는 것을 발표 (2014.06.25)
  - 2015년 여름부터 미국과 유럽에서도 시판 예정
- 가격은 700만엔(약 7,000만원, 세금 별도) 정도로 도요타 차종 중 크라운이나 SAI와 동일한 크기

## 3. 기술동향

### ■ 마이크로 연료전지를 동력으로 사용하는 휴대전화 연구<sup>10</sup>

- 경량이면서 효율적인 마이크로 연료전지(Micro Fuel Cell)는 수소, 에탄올 및 메탄올로부터 전기에너지를 생산할 수 있음. Gianmario Scotti에 의해 연구가 시작되었으며 마이크로 연료전지를 경제적으로 빠르게 제조할 수 있는 방안에 대해 연구
- 초기의 마이크로 연료전지는 반도체 산업의 성숙된 미세가공 기술을 사용하여 만들. 일반적으로 사용된 실리콘을 보다 경제적인 알루미늄으로 대체함으로써 고성능의 마이크로 연료전지를 제조할 수 있었음
- 또한 레이저 증착법(Laser Ablation)으로 알려진 제조기술을 개선하여 제작에 필요한 단계를 효율적으로 줄이고, 시제품 준비를 앞당기게 됨

### ■ 영국 글라스고우대(University of Glasgow), 연료전지 구성요소 비용을 줄여주는 3D 인쇄 연구<sup>11</sup>

---

8 <http://phys.org/news/2014-02-portable-hydrogen-fuel-cell-green.html>

9 <http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1406/27/news166.html>

10 <http://phys.org/news/2014-05-future-powered-alcohol.html>

11 Cronin, L., G. Chisholm, P. Kitson, N. Kirkaldy and L. Bloor (2014), "3D Printed Flow Plates for the Electrolysis of Water: an Economic and Adaptable Approach to Device Manufacture," Energy Environ. Sci.



- 글라스고우대의 Lee Cronin과 동료들은 은 페인트로 덮인 3D 인쇄된 플라스틱 구성성분들이 좀 더 저렴하고 효과적인 대안임을 발표
- 3D 인쇄 접근법이 가벼우면서도 비용이 상대적으로 적게 드는 전기분해를 가능하게 해주고, 더 저렴한 플라스틱 구성요소들을 통해 보다 많은 대중들이 그 장비들을 사용할 수 있도록 만들 수 있을 것
- 스위스에 있는 폴 쉐러연구소(Paul Scherrer Institute)의 전기화학 전지 전문가인 Lorenz Gubler는 이 연구에 대해서 긍정적으로 평하며, “이번 연구가 가능성 있는 초기 결과들을 보여주고 있다”고 함. 하지만 최신 전지들에 비해서 제한적인 전도성과 수명 등의 잠재적 문제 존재

#### ■ 독일 프라운호퍼(Fraunhofer) 연구소, 가정용 연료전지(SOFC) 개발<sup>12</sup>

- 독일 프라운호퍼 연구소와 베일란트(Vailant)사가 가정용으로 사용할 수 있는 단순한 장치를 개발
- 주택용 소형 발전소는 고체 연료전지(solid fuel cell, SOFC)기술에 기반을 두고 있음. 열만 생산하는 전통적인 가스히터처럼 조밀하고, 벽에 쉽게 설치가 가능하며, 유지 관리가 편리하다는 것이 장점
- 이 연료전지는 1kW 정도의 출력으로, 4인 주택의 평균 전력소비량을 감당
- 독일 연방교통부 및 디지털 인프라시설 BMVI가 칼룩스(Callus) 프랙티스 시험을 지원하고 있으며, 베일란트(Vailant)사는 2014년 초에 소규모의 시스템을 생산을 시작

#### ■ 미국 샌디아 국립연구소(Sandia National Laboratories), 금속 하이브리드 수소 저장 시스템 개발 계획<sup>13</sup>

- 샌디아 국립연구소와 HHC(Hawaii Hydrogen Carriers)는 지게차(forklift)를 위한 고체 상태 금속-하이브리드 수소 저장 시스템(Solid-state metal-hydride hydrogen storage system)을 고안하는데 협력 관계를 체결할 계획
- 이러한 수소 저장 시스템은 배터리로 동력을 공급하는 지게차의 충전시간을 4~5배 더 빠르게 하고, 저압에서 재급유할 수 있게 해주며, 연료전지 전원함(fuel cell power pack)을 생성하기 위하여 탱크에 연료전지 시스템을 결합할 예정
- 현재 수소저장 장치는 짧은 재급유 시간을 달성하기 위하여 5,000psi(pounds per square inch)의 고압을 필요로 하고, 높은 압력 재급유를 위해서는 현장 압축 장치(on-site compression system)가 요구됨
  - 그러나 저압 탑재형 저장 시스템(low-pressure on-board storage system)은 급유 시스템 비용을 줄이고, 상용되고 있는 고압 급유 시스템을 장착할 수 없는 설비의 시장 확대를 불러올 수 있음

#### ■ 연료전지의 백금 전극을 대체할 수 있는 수소효소 전극 개발 성공<sup>14</sup>

- 큐슈대학 카본뉴트럴 에너지국제연구소(I2CNER)의 대학원 공학연구과 연구팀은 연료전지의 Anode로 사용되고 있는, 백금 촉매의 능력을 훨씬 뛰어넘는 수소효소 S-77 전극을 나고야대학 연구팀과 공동으로 개발

12 <http://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2014/june/the-fuel-cell-for-home.html>

13 <http://www.greencarcongress.com/2014/04/20140415-hhc.html>

14 [http://www.kyushu-u.ac.jp/pressrelease/2014/2014\\_05\\_23.pdf](http://www.kyushu-u.ac.jp/pressrelease/2014/2014_05_23.pdf)

---

## V. 국내외 정책·기술 동향

- 수소화효소(Hydrogenase)는 철과 니켈을 활성중심으로 가진 금속효소로 백금과 유사하게 수소로부터 전자를 방출하고, 백금보다 우수한 능력을 가진 것으로 기대됨
  - 산소에 대한 불안정성 때문에 연료전지에 적용하려는 노력이 지금까지 성공하지 못했지만, 연구팀은 산소에 안정적으로 반응하는 수소화효소 S-77을 발견하고, 이것이 연료전지 Anode 촉매로서 특이한 성능을 나타낸다는 것을 밝혀 냄
- 백금과 동등한 활성을 가진 저비용 및 고 내구성 연료전지용 신 촉매를 개발<sup>15</sup>
- 도쿄공업대학 대학원 종합이공학연구과 연구진은 연료전지의 촉매에 사용되고 있는 백금 촉매와 동등한 성능이 있으면서 우수한 내구성을 가진 '다공성 탄탈 산화물(TaOx) 나노입자 박막으로 둘러싸인 백금 나노 미립자 촉매'의 개발에 성공
  - 다공성 탄탈 산화물(TaOx) 나노입자 박막으로 둘러싸인 백금 나노 미립자 촉매는 종래 백금촉매와 비교하여 백금의 전기화학적 활성 면적이 약 1/4로 작지만 백금촉매와 동등한 촉매활성을 가지고, 백금 촉매와 비교하여 내구성은 약 8배로 높음
  - 새로운 촉매가 백금 촉매에 우수한 높은 내구성을 가진 이유로는 다공성 TaOx 매트릭스 중에 백금 나노 미립자가 포함되어 응집과 용해가 억제 되었기 때문으로 평가됨
  - 산소환원활성이 촉진된 이유로는 백금 표면위의 피독종(OH 흡착 등)이 TaOx로의 스퍼오버(spillover) 효과 결과로 산소분자의 4전자 환원배향 흡착이 촉진된 것과, 백금 나노 미립자 인근의 국소 pH저하, 백금 나노 미립자와 TaOx와의 전자적 상호작용 등 때문인 것으로 평가됨

---

15 <http://www.titech.ac.jp/news/2014/027582.html>

# 수처리 및 해수담수화

## 1. 정책동향

### 가. 국내 동향

- 대한민국 상수도보급률은 98%이며 하수 처리율도 91%로 아시아 국가들 중 최고 수준
  - 면 단위 지역 비중이 높은 전남, 강원 등을 제외하면 상수도 보급률은 97~100% 수준으로 프랑스, 영국 등 선진국과 유사
  - 정부는 그 동안 164개 지자체들이 개별 운영해왔던 상수도 시설을 29개 광역권으로 통합하는 정책을 추진 중
  - 총 3단계에 걸친 광역화 추진에 따라 상수도 시장은 점차 민간기업의 참여가 확대 되는 방향으로 점진적인 변화가 발생할 전망

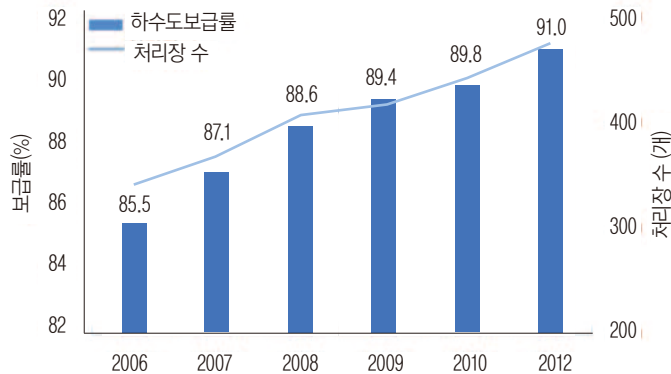


그림 1. 국내 하수도 보급률 및 처리장수 현황

자료: 하나금융경영연구소 (2011), "물 비즈니스 관련 산업 현황 및 사업 기회 점검"

- 환경부 "2012 하수도통계"에 의하면, 하수 처리장 및 하수 관거는 직영, 공단/공사 위탁, 민간업체 위탁형태로 운영되고 있으며, 각각 직영 35%, 공단/공사 위탁 40%, 민간업체 위탁 25%에 이릅니다
- 지역별 하수도 보급률 고려 시 향후 재정이 영세한 소규모 지자체의 발주가 많을 것으로 보여 민자 참여가 수반되는 BTO(Build-Transfer-Operate) 형태의 발주수요가 증가할 것으로 예상
  - BTO 시장 점유율은 태양 38%, 코오롱 30%, 금호 8%이며, 민간 계약 시장 점유율은 금호 45%, 코오롱 25%, 태양 21%를 차지

---

## V. 국내외 정책·기술 동향

- 하수처리 시장은 실적에서 경쟁 우위에 있는 선두 업체들에게 유리해 신규 진입이 어려운 시장이며, 향후에도 선두업체들의 독점이 지속될 가능성이 높음
- 국내 하수시장에도 다국적 물기업들이 참여하고 있으며 높은 기술력이 필요한 산업용 하수처리 시장에서 사업 중

### 나. 해외동향

- 공급의 자연적 한계와 수요의 급증으로 인한 물 부족 문제 때문에 물산업의 성장성 및 중요성이 점차 부각되는 추세
  - 지구의 물 자원은 약 14억km<sup>3</sup>이나 이 중 97.5%가 염수이고 담수비율은 2.5%에 불과
    - 이 중 대부분이 얼음과 눈 형태의 빙설이며, 지하수를 제외하고 인간이 사용할 수 있는 담수호 및 하천수는 전체 물 자원의 0.3%인 56만km<sup>3</sup>에 불과
  - 물의 공급은 제한적인데 반해 인구증가 및 개도국의 경제 발전은 물에 대한 수요를 폭발적으로 증가시킬 것으로 예측
    - UN 세계 수자원개발 보고서(2003)는 일인당 최소 연평균 2,000L를 소비하는 인구는 매년 8,000만명씩 증가하여 2025년에는 2000년 대비 30%가 증가한 80억 명에 달할 것으로 예상
    - 세계기상기구(WMO)는 2014년 전 세계적으로 7억명이 물 부족으로 고통 받고 있지만 2025년에 세계 인구의 34%인 약 27억명이 담수 부족에 직면할 것으로 전망
  - 세계 물 수요는 인구증가, 도시화 진전 및 생활수준 향상 등에 따라 계속 증가할 전망
    - 1950년 29.1%에 불과했던 도시화율이 2007년 49.4%로 증가하였으며, 연간 취수량도 1950년 1,480km<sup>3</sup>에서 2007년 3,840km<sup>3</sup>으로 두배 이상 증가
    - 미국의 경우 30년간 물 사용량이 300% 이상 급증하였는데, 그 주요 원인으로 전체 물 사용량의 60% 이상을 차지하는 산업용 수요가 급증했기 때문
  - 특히 중국 및 인도 등 높은 경제성장률과 도시화가 예상되는 지역에서 물수요가 크게 증가할 전망
- 물산업의 민영화로 인해 대규모 사업이 가능한 구조로 변화
  - 인구 증가 및 산업 발달로 인해 물 부족 현상이 심해지고 물 자원에 대한 효율적 관리가 강조
    - 물은 더 이상 공공재가 아닌 시장재로 인식하려 하는 사회 분위기가 조성되는 추세
  - 개발도상국과 저개발 국가의 정부 예산 부족과 프로젝트 파이낸싱으로 대표되는 다양한 금융 기법이 민영화 사업 모델을 가능케 하고 있음
    - 민간 기업이 시설물 일체를 제공하고 장기간의 운영 계약을 통해 투자를 회수하는 민영화 모델이

### 물산업의 개발 모델로 자리잡음

- 민영화가 아시아 및 중동 시장을 중심으로 확장되면서 민영대상 수처리 시설도 기존의 시설에서 신규시설로 전환
  - BOT(건설운영후 양도, Build Operate Transfer) 방식처럼 민간 자본으로 수처리 시설을 짓고, 수십 년의 계약 기간 동안 민간 기업이 운영을 통해 초기 자본 투자를 회수해나가는 방식이 민영화의 주된 방법으로 부상
  - 개발도상국에서의 민영화 계약은 30년 이상이 대부분이며 계약 기간의 장기화는 하나의 추세로서 자리잡아가고 있음
- 민간 기업이 제공하는 물 서비스를 받는 인구는 현재 세계 인구의 9% 수준인 약 6억명에서 연평균 10% 이상 증가
  - 2015년 16% 수준인 약 11억 명으로 증가할 것이며, 특히 중동과 아시아 지역의 민영화가 앞으로의 시장 성장을 주도할 것

## 2. 산업동향

### 가. 국내동향

- 한국수출입은행의 “국내 물산업의 해외진출 전략 보고서”에 따르면 2013년 기준 국내 물시장 규모는 91억 달러이며, 2018년 106억 달러 시장을 형성하여 연 3% 성장할 전망
  - 2013년 기준 상수시장 규모는 18억 달러이며, 2018년까지 이 수준을 유지할 것으로 전망
  - 하수시장의 경우 2013년 30억 달러 시장이 2018년 38억 달러 규모로 큰 폭 성장할 전망
    - 하수 처리율을 높이기 위한 하수처리 시설 및 관망 정비 부분에 연 5% 이상의 투자 증가가 예상되어 물시장 중 가장 사업 기회가 많을 것으로 예상
  - 운영시장은 2013년 42억 달러에서 2018년 50억 달러 규모로 성장할 것으로 예상되며, 특히 산업용 폐수시장이 높은 성장률을 기록할 전망
    - 산업용 운영시장은 2013년 5억 달러 규모이나, 2018년 7억4천만 달러규모로 연 5% 이상의 성장세를 시현할 전망
  - 특히 산업용 폐수는 오염도가 높아 상대적으로 전문적인 기술이 요구되는 분야
    - 산업용 수처리 시장은 막분리 기술에 따라 역삼투 막분리 RO(reverse osmosis) 기술이 필요한 용/폐수 처리산업과 단순 폐수처리 중심 산업으로 구분

## V. 국내외 정책·기술 동향

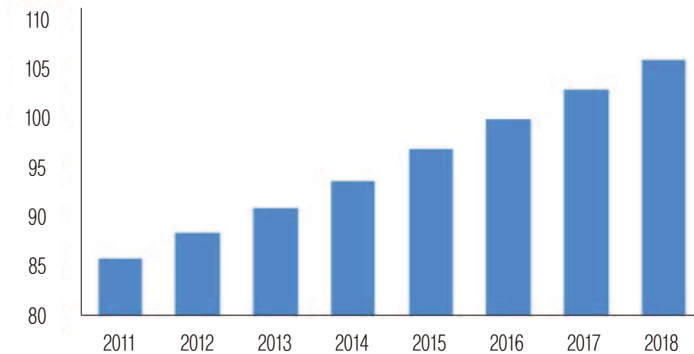


그림 2. 국내 물시장 현황 및 전망 (단위: 억달러)

자료: GWI (2013), "Global Water Market 2014"

- 2011년 기준 국내 기업들의 해외 물사업 수주실적은 13억달러이며, 2001년부터 2011년까지 누적 수주액은 126억달러 수준
  - 2001년부터 2011년까지 해수담수화 누적 수주액은 76억6천만달러로 물산업 누적 수주액의 61%를 차지
  - 상·하수도 수주액도 증가하고 있으나, 여전히 건설 및 해수담수화 분야에 편중되어 있음
  - 플랜트산업의 발전에도 불구하고 물산업에 대한 국내 기업들의 진출은 더딘 편이나, 그 중 담수화 플랜트 부분은 국내 물산업 중 해외진출이 가장 활발한 분야
  - 해수담수화 분야 경쟁력을 유지하기 위해선 역삼투압 신공정 개발 등의 기술 개발 및 플랜트 운영 능력 확보가 필요
- 중동지역 수주량이 총 수주량의 86.2%를 차지하여 중동지역에 집중
  - 중동지역 집중 현상이 심한 상황이며, 현 추세는 당분간 지속될 전망
    - 유가강세로 인한 중동국가들의 인프라 투자 수요가 지속적으로 증가할 전망
    - 걸프만 지역 국가들은 2015년까지 약 150억달러 규모의 하·폐수처리시설 건설을 계획 중에 있어 향후에도 관련 프로젝트 발주 증가 예상
- 해수담수화 및 먹는 샘물 등은 2002년 50% 수준에서 2005년 70~80% 수준으로, 2012년 80% 이상으로 선진국 대비 경쟁력이 상당히 높아짐
  - 물 제조 산업 분야의 지속적인 R&D 투자와 현재 진행 중인 도시재생프로젝트, U-eco city 프로젝트, 분산공유형 수도시스템 등의 연구를 통해 선진국에 근접한 기술 수준

- 신소재 막 등의 물산업 원천기술 및 기자재와 지능형 운영/관리 기술 등에서는 경쟁력이 미흡한 수준
  - 국내 물산업 시장은 크게 성장하고 있으나, 시공(건설)부분 위주의 사업모델에 치중하여 고부가가치 분야 (원천기술, 기자재 등)의 경쟁력이 미흡한 실정
- 기존의 투과성을 뛰어넘는 신개념의 막 개발과 막오염(fouling)을 저감시켜 시스템 효율을 향상시키는 막 성능 개선 및 전처리 공정개발이 시급하며, 소비 에너지를 최소화하는 수처리 시스템 개발이 매우 중요
- 국내 기업들의 경우 막오염 저감 기술과 관련된 핵심기술(막의 포면 개질 및 코팅 기술, 막오염 센서 기술 등)은 전무한 상태이므로 선진기업 대비 경쟁력이 약한 편
- 상당한 수준의 기술력(단순 분리막 생산기술 비교 시 선진기술 대비 85%)에도 불구하고, 세계시장에서의 인지도는 아직 낮은 편

나. 해외동향

- 2013년 세계 물시장 규모는 5,560억달러로 추정되며, 2018년 6,890억달러 시장으로 연 평균 4.2% 성장할 전망
  - 2014년 세계 물시장은 양적 완화 축소에 따른 세계 경제 불확실성으로 전년대비 3% 성장에 그칠 전망
  - 2015년 이후 세계 경제안정과 개도국의 성장세 회복과 맞물리면서 연 평균 5%대의 빠른 성장세를 기록할 것으로 예상
  - 개도국의 경제성장 및 소득수준 향상에 따른 물수요 증가는 세계 물시장 성장의 가장 큰 원동력

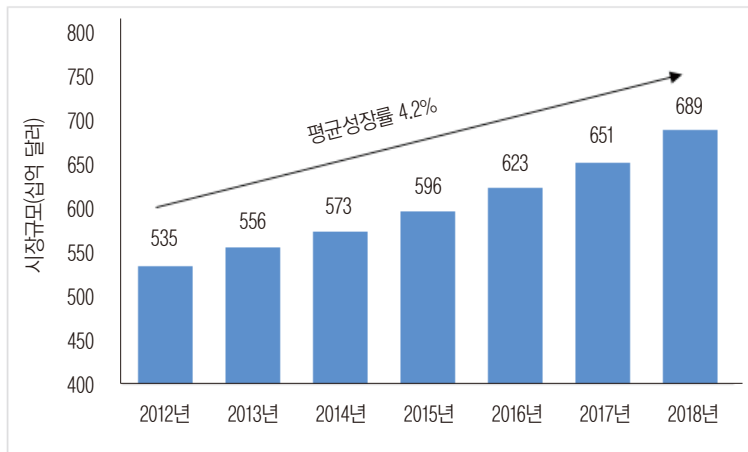


그림 3. 세계 물시장 규모 및 전망  
 자료: GWI (2013), "Global Water Market 2014"

---

## V. 국내외 정책·기술 동향

- 세계 상수 및 하수처리 플랜트의 발주형태는 2013년 기준 EPC(Engineering-Procurement-Construction) 방식 82%이며, DBO(Design-Build-Operate) 방식이 11%, BOT 방식이 7% 차지
    - 자금조달 및 운영에 대한 리스크를 줄이기 위한 DBO 및 BOT 등의 시공자 중심의 발주가 증가하고 있는 추세
      - 향후 수처리 시설의 수주를 위해서는 시공능력뿐만 아니라 운영 및 금융조달 역량이 매우 중요
  
  - 분야별 물시장 중 부품 및 소재시장의 성장성이 가장 높을 것으로 기대
    - 기존의 전통적인 수처리 방식이 분리막을 포함한 신공정으로 전환됨에 따라 기술집약적인 부품·소재 분야의 중요성이 확대되는 추세
    - 분야별 물시장 중 부품 및 소재시장의 성장률이 가장 높을 것으로 예상되며, 기술력을 바탕으로 한 전문기업들의 성장이 두드러짐
    - 2013년 파이프 시장규모는 183억달러이며, 상수 파이프시장이 87억달러, 하수 파이프시장 96억달러로 구성
      - 부품·소재시장 중 파이프 시장이 약 20%를 차지하여 가장 높은 비중을 차지
      - 세계 파이프시장은 매년 5% 이상 성장할 것으로 예상되며, 2018년 258억달러 시장으로 성장할 전망
    - 물산업 관련 2013년 세계 펌프시장 규모는 118억달러이며, 2018년 158억달러 규모로 성장할 전망
      - 펌프는 상수, 하수의 운송 및 분배 등 물산업 전반에 광범위하게 사용되고 있는 핵심 부품
      - 펌프시장 성장과 더불어 최근 펌프 관련 수리 및 부품 시장이 활성화 되고 있음
      - 하수처리 분야가 펌프의 최대 시장이며 그 규모는 2013년 기준 40억달러 수준
    - 밸브시장은 2013년 80억달러 규모이며, 2018년 110억달러에 달할 전망
      - 밸브시장은 매우 세분화되어 있으며, 높은 신뢰성이 요구되는 분야로 기술력을 바탕으로 한 중소기업들이 강세를 보이고 있음
      - 상·하수도망 시장이 53억달러로 총 수요의 60% 이상을 차지
  
  - 세계 물산업 분야별 시장 규모 및 전망
    - 상수 및 하수도망, 2013년 178억달러에서 2016년 303억달러로 연 20%씩 급성장할 전망
      - 2013년 상수도망 시장 규모는 473억달러이며, 하수도망 시장 규모는 594억달러로 하수도망 시장이 수도망 시장의 56%를 차지
    - 상수처리 플랜트시장, 2013년 237억달러이며 2018년 300억달러 돌파할 전망
      - 지역별로는 아시아 지역이 97억달러로 가장 큰 시장을 형성하고 있으며, 국가별로는 미국이 58억달러 규모로 가장 큰 시장 형성
    - 하수처리 플랜트, 2013년 320억달러이며 2018년 406억달러 시장으로 성장
-



- 2013년 기준 아시아 지역이 121억달러의 시장을 형성하고 있음.
- 아시아 시장은 경제성장에 따른 하수배출량 증가와 낮은 하수처리율로 인한 환경오염 문제 해결 요구로 고성장이 예상
- 세계 상수 및 하수 운영시장 규모는 2013년 3,091억달러이며, 전체 물시장의 55%를 차지

### 3. 기술동향

#### 가. 정삼투-역삼투 융합 공정을 이용한 해수담수화 기술 개요

##### ■ 기존 역삼투 방식 해수담수화 기술의 문제점

- 멤브레인 수처리 기술은 에너지 소모를 최소화하여 가격 경쟁력을 확보할 수 있는 혁신 멤브레인 기술이 중요한 기술적 이슈로 부상
- 해수담수화 분야의 역삼투 멤브레인은 고순도 물을 생산한다는 장점은 있으나, 고압 운전으로 여전히 에너지 소모량이 많다는 단점을 보유
  - 담수 생산비 중 에너지 비용이 약 50%이며 그 중 멤브레인 구동을 위한 고압(70~80 기압) 펌프가 70~90%를 차지
- 현재까지 펌프효율 증대나 에너지 회수장치 도입 등 부가 장치로 에너지 소모를 최소화하는 방향으로 연구가 진행되었으나 한계에 도달한 상황이며 멤브레인 기술의 혁신이 요구되는 시점

##### ■ 정삼투 방식 해수담수화 기술의 필요성

- 가압을 해야하는 역삼투를 이용한 담수화 공정을 이용하여 에너지를 크게 저감시켜 현재의 상수 공급가격까지 가격을 낮추는 데는 한계가 있음
- 따라서 현재 수준 이상의 수투과량을 확보하면서 저압에서 운전이 가능하며 에너지 소비량을 극소화하는 정삼투(Forward Osmosis, FO) 멤브레인 플랫폼 기술 개발이 에너지 저감문제를 원천적으로 해결할 수 있는 방안으로 최근 이슈화되는 추세
  - 특히 현재 정삼투 플랫폼을 이용한 해수담수화 방식을 개발 중인 업체(Oasys, Innovative Labs)에 따르면, 정삼투 기술이 개발될 경우 역삼투 방식을 이용한 해수담수화 방식의 기술적 한계를 뛰어 넘을 수 있을 것으로 기대
  - 유도용액에 따라 해수담수화, 하수재이용, 바이오 정제 및 발전시설 등 다양한 적용이 가능하여 향후 차세대 멤브레인 기술로 각광받고 있음
- 정삼투 방식은 기존의 역삼투 방식보다 막오염 회복 성능이 매우 우수
  - 비가압조건(정삼투)이 가압조건(역삼투)에 비하여 가역적 막오염층 형성

## V. 국내외 정책·기술 동향

- 정삼투 공정의 막오염은 단순 물리세정만으로 flux 회복 가능

### ■ 정삼투-역삼투 융합 공정을 이용한 해수담수화 기술

- 정삼투 공정의 가장 큰 단점은 정삼투 공정의 운영이 진행되면서 멤브레인을 통과한 처리수가 초기의 유도용액 농도를 희석시키고, 이는 수투과도 저감으로 이어짐
- 희석된 유도용액으로부터 유도용질을 분리/회수하는 기술의 개발이 정삼투 공정의 상용화에 가장 큰 결정요소가 될 것으로 예측
- 분리/회수가 용이한 최적의 유도 용질을 개발하기 위한 연구가 진행 중
- 유도용액의 분리/회수 문제를 해결하기 위한 대안으로 유도용액의 회수가 필요 없는 시스템이 개발되고 있음
  - 유도용액에서 음용수 수준의 처리수를 생산할 필요가 없다면 유도용액을 분리할 필요가 없기 때문에 유도용액을 사용한 후 방류하는 방식으로 유도용질의 분리/회수 공정을 생략할 수 있으며, 이에 따라 소요 에너지 절감과 함께 상용화 시기를 앞당길 수 있는 기술로 주목 받고 있음

## 나. 정삼투-역삼투 융합 공정 기술개발 현황

### ■ 해수를 유도용액으로 사용한 하수 재이용

- 미국의 정삼투-역삼투 융합공정 개발사례
  - 정삼투 연구의 선두주자인 University of Nevada의 Childress 교수팀에서 2008년 해수를 유도용액으로 사용하여 하수재이용 및 음용수 생산에 관한 특허를 출원

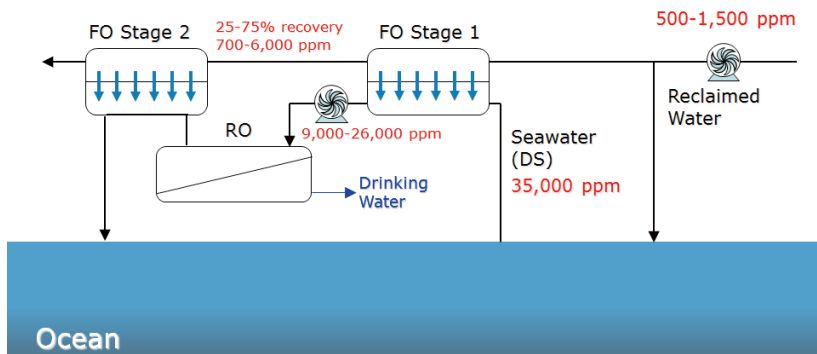


그림 4. 해수를 유도용액으로 사용한 정삼투 하수 재이용 시스템 (Achilli et al., 2009)

자료: Achilli et al. (2009)

- 그림 4를 살펴보면 해수와 하수의 농도차이를 이용하여 하수를 농축시키고 희석된 해수는 역삼투 공정을 통해 음용수 생산 후, 발생하는 농축수를 2차 정삼투 공정에 이용하는 기술
- 유도용액의 분리를 위해 에너지를 투입할 필요가 없으며 역삼투 공정에 유입되는 해수 역시 본래의 해수보다 농도가 낮기 때문에 본래 농도의 해수로부터 처리수를 얻을 때보다 적은 에너지로 운영이 가능하다는 것이 장점

■ 정삼투-역삼투 하이브리드 시스템

- 최근 들어 유도용액 분리/회수 공정으로 정삼투와 역삼투 공정을 조합한 하이브리드 시스템이 가장 각광받는 추세
- 하이브리드 시스템을 해수담수화 및 하수재이용 공정에 적용할 시 적은 에너지로 높은 수질의 처리수를 얻을 수 있다는 것이 장점
  - 그림 5의 공정을 살펴보면, 이미 한 번 처리된 해수 및 하·폐수가 각 정삼투 시스템에 유입되고 두 유입수 사이의 정삼투압 차이로 원수(하·폐수)로부터 빠져나온 물은 유도 용액(해수)을 희석
  - 희석된 유도용액은 역삼투 공정을 통해 재농축되며, 순수 수질의 최종처리수가 생산됨
  - 유도용액에 다가이온(polyvalent ion)을 첨가하면 두 유입수 간의 삼투압 차이를 크게 할 수 있어 보다 많은 양의 투과수를 얻을 수 있으며, 역삼투 시스템 전단에 나노여과(nanofiltration, NF) 시스템을 도입하면 첨가된 다가이온을 쉽게 회수하고 역삼투 시스템에 가해지는 부하 또한 저감 가능
  - 또한 생산수의 사용 목적이 음용수가 아닌 농업용수 또는 일반 공업용수라면 역삼투 공정의 도입 없이 NF 공정만으로 생산된 물을 바로 이용할 수 있어 에너지 저감 효과를 거둘 수 있음

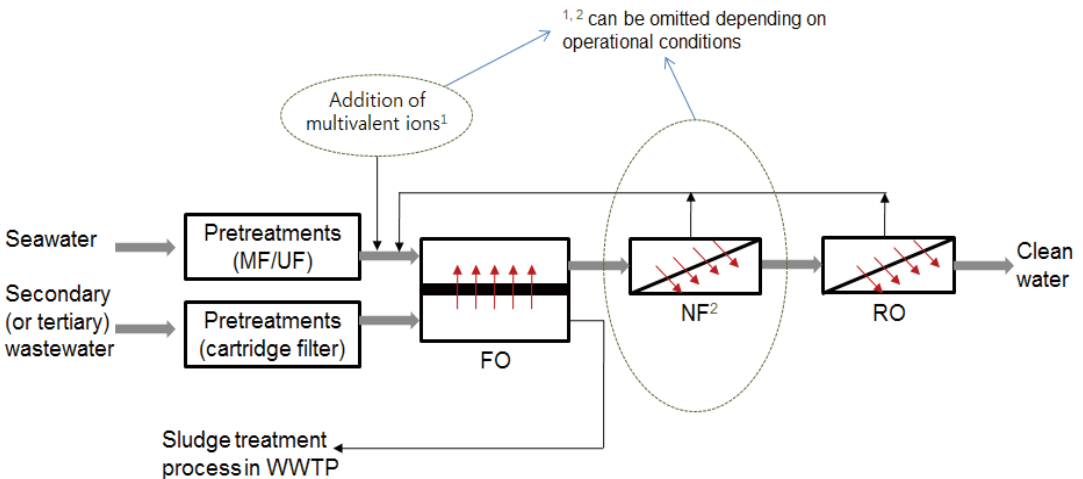


그림 5. 정삼투-역삼투 Hybrid System  
 자료: Tan et al. (2010)

## V. 국내외 정책·기술 동향

### ■ Fertigation

- 호주 남부에 흐르는 Murray darling 유역의 지하수는 유역 주변에서 용해된 염분으로 인해 관개용수로의 사용이 어려운 문제점이 있음
- 현재까지는 지하수에서 염을 제거하는 방식으로 관개용수를 공급하였으나 이는 근본적인 대책이 될 수 없으며 염을 제거하기 위해 에너지를 지속적으로 공급해야 하는 문제점이 존재
- 이에 따라 그림 6과 같이 호주 University of Technology Sydney의 Shon 교수 연구팀은 정삼투 시스템의 유도용질로 비료를 이용하는 방법을 고안
  - 비료를 이용하여 지하수로부터 물을 생산하고 희석된 비료 용액을 관개용수로 사용하는 것을 주 아이디어로 하는 일련의 공정
  - 관개용수의 공급과 염 제거에 필요한 에너지를 저감할 수 있다는 것이 장점

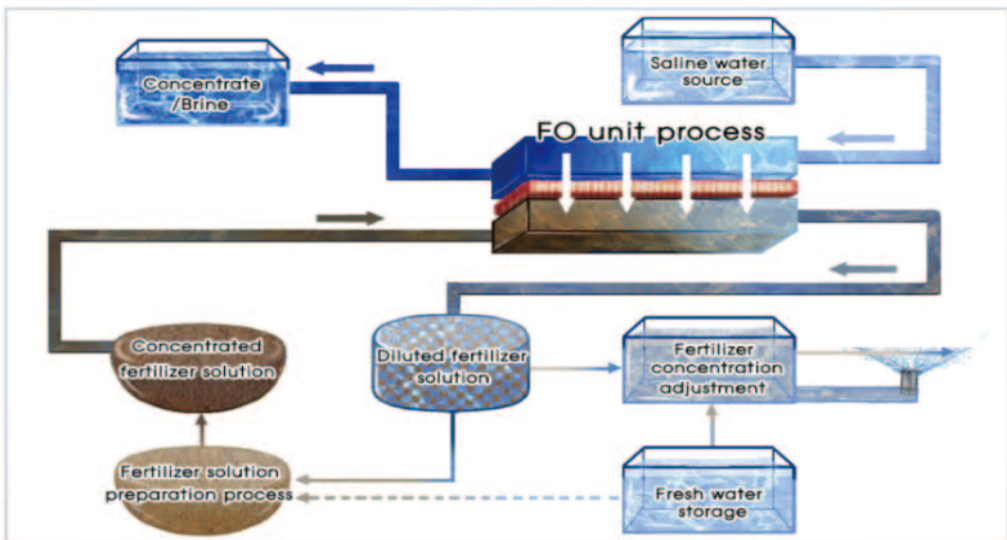


그림 6. 정삼투막을 이용한 Fertigation 시스템  
자료: Phuntscho et al. (2011)

## References

- Achilli, A., Cath, T. Y., Marchand, E. A., & Childress, A. E. (2009). The forward osmosis membrane bioreactor: a low fouling alternative to MBR processes. *Desalination*, 239(1), 10–21.
- Elimelech, M., & Phillip, W. A. (2011). The future of seawater desalination: energy, technology, and the environment. *Science*, 333(6043), 712–717.
- Kim, Y., Elimelech, M., Shon, H. K., & Hong, S. (2014). Combined organic and colloidal fouling in forward osmosis: Fouling reversibility and the role of applied pressure. *Journal of Membrane Science*, 460, 206–212.
- Lee, S., Boo, C., Elimelech, M., & Hong, S. (2010). Comparison of fouling behavior in forward osmosis (FO) and reverse osmosis (RO). *Journal of Membrane Science*, 365(1), 34–39.
- Phuntsho, S., Shon, H. K., Hong, S., Lee, S., & Vigneswaran, S. (2011). A novel low energy fertilizer driven forward osmosis desalination for direct fertigation: evaluating the performance of fertilizer draw solutions. *Journal of Membrane Science*, 375(1), 172–181.
- Tan, C. H., & Ng, H. Y. (2010). A novel hybrid forward osmosis–nanofiltration (FO–NF) process for seawater desalination: draw solution selection and system configuration. *Desalination and Water Treatment*, 13(1–3), 356–361.

## 바이오연료

### 1. 정책동향

#### 가. 국내동향

- 2015년 7월 31일부터 신재생연료혼합의무화제도(Renewable Fuel Standard, RFS) 시행
  - 2013년 국회 통과 후 2년의 유예기간동안 의무 혼합량에 대한 논의가 진행 중
    - 정부, 정유사와 바이오업체 간 이해관계로 인하여 뚜렷한 목표가 불투명
  - RFS는 바이오디젤 중심으로 진행될 예정이며 에탄올과 부탄올 등이 포함될지는 미정
    - 원재료의 수입의존 문제를 해결하는 것이 필요
- 국내 바이오디젤 생산능력은 충분한 것으로 평가됨
  - 현재 국내 기업의 연간 생산 가능량은 112만kL 상회
    - 국내 기업의 생산능력은 향후 정부의 정책 목표를 충족할 수 있을 것으로 평가됨
    - 그러나 바이오디젤의 경제성 확보와 원료수급이 가장 큰 걸림돌
    - 정부의 정책적 지원이 없을 경우 자생적 시장조성이 불가능
- 바이오연료 생산에 대한 연구는 지속적으로 수행 중
  - 농촌진흥청은 전라남도 무안군에 바이오에너지센터내 바이오에너지생산 연구동 준공
    - 역사에서 하루 10~20리터의 무수에탄올 생산
    - 유채기름과 축산폐유에서도 약 100리터의 바이오디젤 생산이 가능
- 기타 정책이 바이오디젤 정책에 미치는 영향
  - 석유전자상거래 활성화 정책의 향방이 바이오연료의 경제성에 영향
    - 수입부과금 환급제도<sup>1)</sup>의 연장 여부에 대하여 정유사와 석유수입사의 관심 집중
    - 석유수입사에 리터당 16원의 수입부과금 환급 혜택 및 바이오디젤 혼합의무 면제

#### 나. 해외동향

- 미국

1 석유전자상거래용의 석유제품을 수입할 때 리터당 16원씩 부과되는 수입부과금을 환급해주는 제도

- 미 환경보호국(Environment Protection Agency, EPA)은 2014년 RFS의 연간 에탄올 연료 목표량을 하향 조정
  - 2007년 에너지자립안보법(Energy Independence Security Act, EISA)에서 2014년 에탄올 목표량은 약 181억 5,000만 갤런이었으나 152억 1,000만 갤런으로 하향 조정
- 2014년 미국 RFS 개정내용
  - 농작물 찌꺼기에 대한 바이오연료 원료성 인정
  - 바이오연료 생산기업의 등록요건 강화
  - 초저황 디젤과 에탄올혼합유에 대한 규제 완화
- RFS에서 인정하는 개량 바이오연료(advanced biofuel)에 관한 공식 기준 마련
  - 미 환경보호국은 전과정 평가에서 온실가스 감축 요건을 충족하는 추가적인 연료경로로서 셀룰로오스계 바이오연료에 대하여 새로운 자격 부여
  - 다양한 셀룰로오스계 원료에서 생산되는 바이오연료에 재생식별번호(Renewable Identification Numbers, RINs) 공식화
  - 이러한 새로운 셀룰로오스계 바이오연료의 공식화는 온실가스배출량이 적은 바이오연료의 영향력을 확대시킬 전망
- 미 에너지국(Department of Energy, DOE)은 차세대 바이오연료 도입 가속화를 위한 4개 R&D 프로젝트를 발표
  - 생산비용 감소, 성능 개선, 비식용 원료의 공급 및 변환 등에 중점
- 미국 바이오디젤 세제혜택 확대 실패
  - 1갤런 당 1달러의 바이오디젤 면세는 2013년 12월 31일 만료
  - 바이오디젤 세제혜택 연장안을 포함한 세법이 상원 재무위원회 통과하였으나 실패

표 1. EPA 2014 바이오연료 목표량 설정

분류	목표량(갤런)
셀룰로오스계 바이오연료	170만
바이오매스 기반 바이오디젤	12억 800만
차기 바이오연료	22억
재생연료	152억 1000만

자료: 미 환경보호국(Environment Protection Agency, EPA) (2014)

- 미 환경국의 위와 같은 목표량은 전체 기준 가솔린과 디젤의 9.20%에 달할 것

## V. 국내외 정책·기술 동향

표 2. EPA 2014 바이오연료 목표량의 화석연료대비 비율

셀룰로오스계 바이오연료	0.01%
바이오매스 기반 바이오디젤	1.16%
차기 바이오연료	1.33%
전체 재생연료	9.20%

자료: 미 환경보호국(Environment Protection Agency, EPA) (2014)

### ■ EU

- 재생에너지지침(Renewable Energy Directive, RED)을 기초로 하는 EU 바이오연료 법제에 대한 회원국들 간 갈등 심화
  - 대부분 EU 회원국은 EU위원회의 바이오연료에 대한 효과 분석이 미비하고 관련 법제를 더욱 의욕적으로 개정해야 함을 주장
  - 폴란드와 헝가리는 국내 여건상 수송용 바이오연료를 확대하는 방안에 소극적 입장
- 식량자원을 이용하는 전통적 바이오연료의 사용제한 가속화
  - 프랑스 스트라스부르(Strasbourg)에서 개최된 유럽의회 본회의에서 기존 2020년 수송분야 에너지 소비량의 6%만을 기존 바이오연료 사용량으로 제한 의결
  - 이에 반해 개량 바이오연료(advanced biofuel)의 사용비율은 2.5%로 상향 조정
  - 바이오연료의 식량적가치를 중시하는 중시하는 NGO들과 산업적가치를 중시하는 유럽재생가능에탄올협회 간의 갈등이 심화되면서 국가 정책적 대립도 격화
- EU 집행위의 바이오산업에 대한 투자 지속
  - 2013년 48개의 바이오산업 선도 기업에 대하여 38억유로 지원 결정
  - 노동 간 균형개발, 폐기물 활용증대, 농촌지역 일자리 창출 등의 목적을 위해 실시

### ■ 중남미

- 브라질 정부는 에탄올 산업과 관련하여 인센티브 지원
  - 2013년 행정부에서 사회기여세를 면세에 근접한 수준으로 하향
  - 생산기업에 대한 은행 대출한도 상향
  - Flexible Fuel Vehicle의 증가로 인해 에탄올 연료의 생산량 확대를 목표로 함
- 브라질의 설탕기반 에탄올의 혁신촉진을 위한 지원
  - 브라질 경제사회개발은행(Brazilian Development Bank, BNDES)과 브라질 과학기술재단(Financiadora de Estudos e Projetos, Finep)은 당기반 에탄올의 기술적·농업적 혁신을 위한 사업 개시



- 2014년부터 2018년까지 14.8억해알 지원 예정

## ■ 동남아

- 필리핀의 바이오디젤 사용 의무비율 확대
  - 필리핀 농업부(Department of Agriculture, DA)는 바이오디젤 의무 혼합비율을 현재 5%로 상향
  - 바이오연료를 포함한 재생에너지분야 개발 가이드라인인 'PEP(Philippine Energy Plan) 2030'에서 바이오디젤 혼합비율을 2015년 10%, 2025년까지 20%로 늘리는 것을 목표로 설정

## 2. 산업동향

### 가. 국내동향

- 국내 바이오연료의 산업화는 원료수급과 기술개발이 가장 큰 난제
  - 바이오연료 생산업체는 해외 원료개발에 투자
    - 대상홀딩스는 인도네시아 서부 칼리만탄 쿠부라야(Kubu Raya)지역 1만1,130ha의 팜농장을 개발하여 연간 3만5천톤 팜유 생산 가능
  - 국내에서 발생하는 폐식용유는 2012년 기준 연간 27만톤
    - 56.6%가 바이오디젤 원료로 사용됨
    - 2013년 바이오디젤 기업들이 정유사에 판매한 바이오디젤 양은 약 39만kL
    - 바이오디젤 14만kL는 유럽과 미국에 수출

### 나. 해외동향

- 미국의 바이오산업은 정부의 정책적 변수가 다수 존재
  - RFS에 대한 정책적 관점 변화로 산업구조에 큰 변화 예상
    - 기존 1세대 바이오연료에서 탈피하여 개량 바이오연료에 대한 목표량 증가
    - 가뭄 발생 등으로 인한 에너지원료 작물에 대한 작황과 이에 대한 정부의 대응
  - 기타 바이오산업에 대한 인센티브 제도의 갱신 여부
    - 바이오디젤 생산업자에 대한 면세지원책 등의 갱신 여부가 불투명
    - 이로 인하여 2013년 바이오디젤 생산기업의 57% 업체가 생산을 전면 중단했고 85%가 확장계획 취소
  - 2013년도 사상 최대 옥수수 풍년에 대한 기대감으로 인해 여름 이후 옥수수가격이 인하되어 에탄올 생산의

---

## V. 국내외 정책·기술 동향

수익률이 높아지고 에탄올 공급 역시 증가

- 2013년도 미국 옥수수 생산량은 140억 부셸로 전년대비 30% 확대됨

### ■ 브라질은 토지이용변화가 토양 탄소저장능력 감소 효과를 상쇄할 것으로 사료됨

- 브라질 연구재단인 FAPESP의 지원으로 상파울루 대학이 주축이 된 연구팀의 분석에 의하면, 목초지의 사탕수수농장 전환으로 발생하는 토양 탄소저장능력의 감소 정도는 기존 추정되었던 것처럼 부정적이지 않음
  - 2000년부터 2010년까지 약 3백만 헥타르의 브라질 농경지가 사탕수수 재배지로 전환
  - 사탕수수 농장의 유기물과 농산폐기물의 토지 유입이 초기 토양의 탄소저장능력을 보상하거나 증가시킬 수 있음
  - 궁극적으로 사탕수수로 생산되는 에탄올의 전환과정 동안 이산화탄소 배출 감축은 탄소저장능력의 감소를 상쇄 가능
- 우드 홀 연구센터(Woods Hole Research Center)는 브라질의 바이오연료 잠재력이 매우 높을 것으로 평가
  - 브라질 대학들을 통해 수행된 이번 연구는 바이오연료 생산을 위해 브라질 내 손이 닿지 않은 대초원(Savanna)을 활용하는 것과 사용되지 않는 방목지를 변환하여 얻어지는 탄소 이득(carbon gain)을 비교
  - 자국의 산림 및 대초원을 보존하면서 식용작물의 수요를 충족시키고, 사탕수수 재배를 확장하기 위한 최적의 토지를 발굴하는 것이 최대 난제
  - 평야인 세라도(Cerrado) 지역의 방목지를 변환하여 사탕수수 재배를 통해 에탄올 생산한다면 탄소 회수가 이론적으로 가능

### ■ 아르헨티나의 바이오연료

- 아르헨티나는 바이오디젤의 원료가 되는 대두 수출 중심국으로 전 세계 바이오디젤 생산면에서도 중요한 지역
  - EU에 의해 시행된 반덤핑 무역정책 결과로 대 유럽 수출이 줄어들어 2012년 1월부터 8월까지의 대두 수출 감소량은 1억6,000만톤에 이름
  - 또한 2010년 아르헨티나 산 대두유의 최대 수입국인 중국의 수입 중단 조치로 관련 업계들이 어려움을 겪음
- 아르헨티나의 바이오디젤 생산 및 수출 현황
  - 국립통계연구소사소(Instituto Nacional de Estadística y Censos, INDEC)에 따르면 2012년 아르헨티나 바이오디젤 총 생산량은 245만톤을 넘어 전년 대비 1.17% 가량 증가
  - 생산량의 증가에도 불구하고 2012년 수출량은 155만7,399톤으로 전년 대비 7.4% 감소
  - 이는 해외 수요는 줄었지만 국내 소비량은 늘었다는 것을 의미
- 아르헨티나 에탄올 생산 현황
  - 국립통계연구소사소에 따르면 2012년 아르헨티나 에탄올 생산량은 전년 대비 48.7% 증가

- 액상 연료에 관한 바이오연료 의무 혼합비율은 최근 5년간 2배로 증가했으며, 이에 따라 국내 소비는 2005년에서 2010년 사이 34% 증가

#### ■ 팜유의 가격향상으로 인해 대두된 친환경에너지 경제성 문제

- 인도네시아와 말레이시아의 바이오연료 생산량 증가로 팜유 가격이 지속적으로 상승
  - 말레이시아 파생상품거래소의 팜유 선물가격은 2014년 5월 29일 2460링깃/톤으로 10개월간 15% 상승
  - 인도네시아는 올해 생산할 3,100만톤의 팜유 중 7.7%를 바이오디젤 생산에 사용할 계획이며 말레이시아는 약 5%에 이를 예정
  - 동남아시아의 수입에너지 의존도를 낮추고자 하는 노력이 팜유가격의 지속적 상승을 초래할 전망

## 3. 기술동향

### 가. 국내동향

#### ■ 바이오연료 기술의 민간이전

- 한국해양과학기술원은 해조류를 이용한 바이오에탄올 생산 과정에서 가장 중요한 기술인 당화기술을 해양 신재생에너지 연구 개발 전문기업에 이전
  - 식물계 원료의 당화는 일반적으로 사용되는 산이나 염기 등의 화학물질을 사용하지 않고, 친환경적인 물을 사용하여 해조류를 고압액화 시킨 후, 생산된 가수분해물을 효모로 발효시켜 바이오에탄올을 제조할 수 있음
- 한국에너지기술연구원은 고수분의 바이오매스를 효율적으로 건조시킬 수 있는 목질계 바이오매스 고품위화 기술을 개발하는 데 성공
  - 목질계 바이오매스를 260~320℃의 무산소 상태에서 열처리하여 중량을 30% 정도 줄이고, 발열량은 20% 증가시키는 데 성공
  - 신재생에너지 전문업체에 기술 이전 완료

#### ■ 한국중부발전은 국내 최초로 바이오중유 실증연소 시작

- 제주시 원당로 제주화력발전소에 실증연소 착수
  - 식물성, 동물성 유지 및 미세조류 등에서 생산된 바이오중유를 사용
  - 병커C유를 대체하고 신재생에너지공급의무(RPS)에 대응하기 위한 대책

---

## V. 국내외 정책·기술 동향

### 나. 해외동향

#### ■ 미 에너지국(DOE)은 개량 바이오연료에 대한 투자를 확대

- DOE 산하 바이오에너지연구소(Joint Bioenergy Institute, JBEI)의 연구진은 식물 바이오매스의 당 추출을 위한 연구를 진행 중
  - 식물 내 당당류들을 다당류로 연결하는 촉매 구실을 하는 글리코실 전달효소에 대한 연구를 진행하여 식물 세포벽 생합성 규명
  - 목질계 바이오매스에서 최대 연료 수율을 얻기 위한 중요한 기초연구가 될 것
- LANL(Los Alamos National Laboratory)과 GLBRC(Great Lakes Bioenergy Research Center)의 셀룰로오스 나노섬유 분해기술을 통한 바이오연료 생산의 경제성 향상
  - 셀룰로오스계 바이오연료의 경제성 하락은 셀룰로오스를 분해하여 당화시키기 위한 효소작용 때문
  - 따라서 많은 효소를 투입하여 셀룰로오스를 분해하기보다는 식물 바이오매스 내 존재하는 셀룰로오스를 Cellulose III로 전환하여 생산수율 5배 향상

#### ■ 바이오디젤 생산과정의 친환경성 향상을 위한 기술개발 진행

- 미국 미시간 주립대학(Michigan State University)의 연구진은 바이오디젤 생산과정 중 발생하는 글리세롤함유 폐수를 정화하기 위한 미생물을 조작
  - 유전자 조작 박테리아인 *Geobacter sulfurreducens*는 글리세롤 발효과정 중 발생하는 폐기물을 제거
  - *Geobacter*의 파트너 박테리아도 개발되어 부산물인 글리세롤을 에탄올로 발효
  - 서로 순환하는 Win-Win 생산과정이 발생

#### ■ EU의 개량 바이오연료 연구

- 플랜더스 생명공학연구소(Flanders Institute for Biotechnology, VIB), 벨기에 겐트대(Ghent University), 영국 던디대(University of Dundee), 영국 제임스 허튼 연구소(James Hutton Institute)와 미국 위스콘신대(University of Wisconsin)의 연구자들은 식물 세포벽의 주요 구성 성분 중 하나인 리그닌(lignin)의 생합성 경로에서 하나의 새로운 유전자 탐색
  - 카페오일 시킴산 에스터리이즈(caffeoyl shikimate esterase, CSE)로 불리는 효소는 식물 내 리그닌 생합성을 감소시킴
  - 본 효소를 적용할 경우 식물 내 줄기 리그닌 양이 36%까지 감소

#### ■ 포르투갈 내 미세조류 생산을 위해 바이오기술 전문가로 구성된 컨소시엄은 1헥타르 면적의 파일럿 설비를 건설

- 지속가능한 방법으로 미세조류 바이오매스를 생산하기 위한 혁신적인 통합 기술 방안을 실증하는 것이 목적
  - 네덜란드 대학 및 연구기관으로 이루어진 와헤닌엔(Wageningen UR)이 참여하고 있는 IteSusAl (Integrated Sustainable Algae) 프로젝트는 바이오디젤을 위한 조류 생산을 최적화하기 위한 연구를 수행
  - 생물의 성장 및 영양공급을 위해 유기물을 이용하는 종속영양(Heterotrophic) 기술과 빛 에너지를 이용하는 광영양(Phototrophic) 기술을 모두 적용
  - 헥타르당 연간 90~120톤에 달하는 미세조류 배양을 실증하는데에 활용
- 일본 타이세이 건설 주식회사는 벚짚에 포함된 셀룰로오스와 녹말에서 동시에 에탄올을 제조함으로써 비용 저감 및 CO<sub>2</sub> 감소 효과를 불러오는 새로운 기술 개발
  - 개발된 기술로 만든 원료의 단위 무게당 에탄올 생산 효율을 높여 에탄올 제조 비용은 70.7엔/L, CO<sub>2</sub> 배출량 삭감률도 52%를 실현
  - 에탄올이 석유 대체 연료가 되기 위한 목표는 제조 비용 100엔/L 이하, CO<sub>2</sub> 배출량 절감률 50% 이상으로 기준 충족
- 현재의 바이오연료 연구는 대체로 바이오연료 경제성, 바이오연료 대량 생산, 기존의 바이오디젤 및 에탄올을 대신할 수 있는 석유에 가까운 탄화수소 연료 생산 연구에 집중
  - 이러한 연구경향은 바이오연료를 석유대체 에너지원으로 활용해야 할 필요성이 매우 급박하다는 것을 보여주면서도 기존의 바이오디젤, 에탄올 등이 석유대체연료로서 분명한 한계가 있음을 시사
  - 바이오매스로부터 유래하는 생산제품이 더욱 고품질, 고부가가치화 되어야 한다는 당위성을 보여줌

# 이산화탄소 포집 및 처리 (CCS: Carbon Dioxide Capture and Sequestration)

## 1. 정책동향

### 가. 국내동향

- 환경부, 2020년까지의 국가 온실가스 감축 목표와 부문별 이행 계획을 담은 '국가 온실가스 감축 2020년 로드맵'을 발표(2014.01)<sup>1</sup>
  - 2020년 BAU 대비 30% 감축 목표는 이명박 정권에서 설정한 목표치를 그대로 유지
  - 동 로드맵은 총 2억3,300만톤의 온실가스를 감축하겠다는 계획으로 부문별로 수송(34.3%), 건물(26.9%), 전환·발전(26.7%), 공공(25.0%), 산업(18.5%), 폐기물(12.3%), 농·어업(5.2%) 감축 정책이 설정되었고, 연도별 감축목표와 세부 이행 수단이 포함됨
  - 국내 과학기술 분야의 기후변화 대응력 강화를 위해 '기후변화 대응 기술개발 전략 로드맵' 마련 등 기술개발(R&D) 정책도 지속적으로 추진해 나갈 예정
    - 미래창조과학부 'Korea CCS 2020'('11~'19, 1,727억)
    - 산업통상자원부 '온실가스처리기술개발 대형실증·상용화 중심'(~'15, 935억)
    - 해양수산부 'CO<sub>2</sub> 해양처리기술개발사업'(~'15, 900억)
    - 환경부 'CO<sub>2</sub> 저장 환경관리기술 개발사업'('14~'21, 413억)
- 2014년 6월 발표된 "제2차 녹색성장 5개년 계획"에서는 CCS 이용기술 개발을 20대 중점과제인 '첨단융합 녹색기술 개발'의 세부과제로 소개<sup>2</sup>
  - 2020년까지 CCS 상용화를 위해 범부처 R&D 추진 (표 2 참조)
    - 10MW급 이산화탄소 포집 기술개발 및 파일럿 포집플랜트(보령, 하동)의 장기 운전경험 축적('14~'17)
    - 중장기적으로 포집비용<sup>3</sup>을 20\$/tCO<sub>2</sub> 이하로 낮출 수 있는 원천기술 확보('14~'16) 및 0.5MW급 기술검증 완료('17~'19)
  - CO<sub>2</sub> 전환을 통한 고부가가치 자원화 기술 개발 확대
    - 철강, 석유화학 등에서 발생하는 고온의 폐열 및 공정열을 이용하여 포집된 이산화탄소 재자원화 기술 확보('15)
    - 화학적·생물학적 전환 원천기술 확보('14~'16)
    - 탄산염, 생분해성 고분자, 바이오디젤 등 고부가 유용 자원화 기술 개발('17~'19)

1 환경부 보도자료 (2014.01.28), "국가 온실가스 감축, 2020년 로드맵 마련."

2 "제2차 녹색성장 5개년 계획", 참고

3 2014년 현재 이산화탄소 포집비용은 1톤당 80달러로 2018년 45달러까지비용 저감 목표를 가지고 있음

- 포집된 CO<sub>2</sub>의 해양지중 저장소 확보 및 CO<sub>2</sub> 수송·주입기술 개발
- CO<sub>2</sub> 저장 상용화에 대비한 전주기 환경관리기술 개발 및 환경관리체계 마련

표 1. CCS 이용기술 주요 성과 지표

구분	연도별 목표수준				
	2014	2015	2016	2017	2018
CO <sub>2</sub> 포집원천기술 확보	혁신소재 확보	실험실 규모실증	파일럿 규모실증	파일럿 규모실증	스케일업 실증
CO <sub>2</sub> 포집비용 저감 (\$/tCO <sub>2</sub> )	80	60	55	50	45
CO <sub>2</sub> 저장소 확보	동해 울릉분지 주변 이론적 잠재용량 파악		서해(군산분지) 주변 부피기준 이론적 잠재용량 파악		남해(제주분지) 주변 이론적 잠재용량 파악
CO <sub>2</sub> 수송체계 및 환경안정성 평가	연간 100만톤 처리 pre-FEED 공정(수송-주입-저장) 설계 및 환경안정성 평가		연간 300만톤 처리 FEED 공정(수송-주입-저장) 설계 및 환경안정성 평가		연간 600만톤 처리 FEED 공정설계 및 환경안정성 평가

자료: "제2차 녹색성장 5개년 계획" (2014)

표 2. 부처별 CCS 기술개발

부처명	R&D 역할분담 조정결과
미래부	(포집) 기초 원천 기술 개발, 0.5MW 이상 실증 수행 (탐사) 소규모(1만톤급 이하) 실증을 위한 육상 지중 탐사 (저장) 포집과 연계한 중장기 기초 원천 기술 개발, 소규모(1만톤 이하) 실증
산업부	(포집) 상용화 목적 핵심 원천 기술 개발, 0.5MW 이상 실증 수행 (탐사) 육상 지중 탐사, 한국석유공사를 통해 관계 부처 탐사 자료 제공 (저장) 포집과 연계한 상용화 원천 기술개발, 중규모(1만톤 초과) 이상 실증
환경부	(탐사) 타 부처 육상 지중 탐사 및 평가에 공동 참여 (환경보호 측면 DB 구축) (전환) 환경시설 배출 CO <sub>2</sub> 포집, 고정화, 폐기물 이용 고정화 (저장) 육상 지중 저장시 CO <sub>2</sub> 유출 방지, 모니터링, 위해성 평가 기술 개발, 이를 위한 육상 실증(미래부 및 산업부와 공동 추진)
해수부	(탐사) 해양 지중 탐사 및 평가 수행 (저장) 해양 지중 저장시 CO <sub>2</sub> 유출 방지, 모니터링, 위해성 평가 기술 개발, 이를 위한 해양 실증(산업부와 공동 추진)

자료: 환경부 보도자료 (2014.04.25), "환경부, 이산화탄소 지중저장 환경관리기술 개발 추진"

## V. 국내외 정책·기술 동향

### ■ 해양수산부, 국내 최초로 대규모 이산화탄소 저장소 지도를 발간(2014.06)

- 이산화탄소 저장소 지도는 해양 지층의 지질구조를 분석하여 이산화탄소가 저장 가능한 후보지를 파악한 것
  - 이산화탄소를 대용량으로 격리·저장할 수 있는 해저 유망구조의 동·서·남해 해역별 분포와 잠재적 저장 가능량을 보여줌
- 이산화탄소 저장소 지도는 동해 울릉분지 뿐만 아니라 서해 군산 분지, 남해 제주분지 등 국내 해역별 저장 구조를 성공적으로 확인
  - 해수부는 저장구조 중 주입 가능량을 종합적으로 평가하여 2015년까지 대규모 이산화탄소 저장 실증을 위한 대상지를 최종 확정할 계획
- 이는 세계적으로 미국(캐나다 포함 북미지역), 노르웨이, 호주, 남아프리카공화국에 이어 다섯 번째로 발간된 것으로 이산화탄소 저장을 통한 온실가스 감축 실현 가능성을 한층 강화



그림 1. CO<sub>2</sub> 해양지중저장 저장소 지도

자료: 해양수산부 보도자료 (2014.07.01), “대규모 CO<sub>2</sub> 저장소 지도 최초 발간”



## 나. 해외동향

- 2014년 4월 발표된 IPCC ‘제3실무그룹(WG III)<sup>4</sup> 제5차 평가보고서, CCS 등 저탄소 에너지 기술을 이용한 감축정책 권고
  - 추가적인 감축노력 없이는 2100년까지 지구평균온도가 3~5°C 상승할 것으로 예상
  - 2°C 목표달성을 위해서는 430~480ppm의 농도를 목표로 하는 감축경로가 요구
    - 장기 감축경로: 2050년까지 전세계 온실가스 배출량을 2010년(49(±4.5) GtCO<sub>2</sub>eq/년) 대비 40~70% 감축
    - 중기 감축경로: 2030년까지 온실가스 배출량은 약 30~50GtCO<sub>2</sub>eq/년 수준으로 유지
  - 에너지 공급부문과 산업부문이 배출량 증가의 가장 큰 원인으로 분석됨에 따라 감축경로의 핵심기술인 CCS의 중요성이 강조
- 클린에너지장관회의(Clean Energy Ministerial)의 회원국으로 결성된 CCUS(Carbon Capture, Use and Storage) Action Group, IEA-GCCSI와 함께 2014년 제5차 CEM에서 CCS 개발관련 제언(2013년 5월)<sup>5</sup>
  - CCUS Action Group은 호주, 영국, 미국, 중국을 포함한 13개국으로 구성된 연합으로 CCS 보급확대를 위해 현 세계 각국의 정책사례와 프로젝트 개발사항을 공유
  - 5차 CEM 제언사항
    - CCS 실증사업 및 보급확대를 위한 정부지원정책 강화
    - 기술 상용화를 위해 회원국간의 국제적 협력 및 지원 확대
    - 포집된 CO<sub>2</sub>의 해양지중저장 및 수송 문제해결을 위한 런던의정서를 개정
    - 다국적 대규모 CCS 프로젝트 개발을 위한 상호협력
    - 회원국간의 CO<sub>2</sub> 포집량 데이터 및 분석자료 공유
- 미국 환경청(EPA), 신규 석탄 및 천연가스 발전소의 탄소배출을 규제하는 내부규정(New Source Performance Standards) 발표(2014.01)<sup>6</sup>
  - EPA는 현 CCS기술 상용화 가능성, 비용 및 배출억제 효과를 자체분석하여 각 유형별 발전에 대한 탄소배출 최대제한치 확정
    - 석탄발전의 경우 현 CCS기술을 적용할 경우 전체 탄소배출량의 약 40%를 포집할 수 있으며 이를 위한 투자비용도 적정한 것으로 판단
    - 천연가스발전의 경우 아직까지 충분한 실증연구가 완료되지 못하였으며 CCS설비를 추가할 경우 그 비용이 막대할 것으로 판단, 열병합발전기술을 통한 탄소배출감소를 권장
  - 하지만 본 규정안 발표는 신규 석탄발전에 대한 규제 강화로서 앞으로 미국의 탄소배출에 얼마나 큰 영향을

4 IPCC는 3개의 실무그룹으로 나뉘어져 있는데 기후변화 과학적 근거를 연구하는 WG I, 기후변화 영향·적응 및 취약성 분야를 담당하는 WG II, 그리고 기후변화 완화 연구를 담당하고 있는 WG III로 구성되어 있음

5 Carbon Capture, Use and Storage (CCUS) Action Group (2014.5.12), "Carbon Capture and Storage: building on recent progress."

6 GCCSI (2014), "The Global Status of CCS."

## V. 국내외 정책·기술 동향

줄 수 있는지 의혹이 제기됨

- 낮은 전력수요, 값 싼 천연가스, 신규발전소 건설 관련 환경비용 증가 등의 이유로 본 규정한 없이도 신규 석탄발전소 건설 계획이 미미한 실정
- 2018년까지 4개 검토 중(천연가스 발전소는 현재 200개 검토 중)

- 영국의 새로운 에너지법(UK Energy Act 2013) 입법으로 CCS산업 증진효과 기대(2013.12.18)<sup>7</sup>
  - 새로 개정된 이번 에너지법의 주요사항은 낙후된 전력기반시설 교체를 위한 대규모 전력시장 개혁과 국내 기반시설 투자확대였으나 CCS 관련 법안도 함께 마련됨
  - EPS(Emissions Performance Standard) 규정 설립으로 모든 신규 석탄기반 화력발전소는 CCS 기술적용 시설을 갖추도록 하였으며 CO<sub>2</sub> 배출제한량 450g/kWh을 확립
  - 영국정부의 저탄소기술 개발을 위한 자금지원정책의 일환인 저탄소전력구매(Contract for Difference) 범위에 CCS를 포함하여 CCS 프로젝트 추진에 긍정적인 영향을 끼치게 됨
- 유럽연합(EU), 유럽의 CCS기술개발과 적용에 대한 보고서 채택(2014.01)<sup>8</sup>
  - 채택된 보고서는 유럽연합국가들의 적극적 참여를 호소하고 탄소배출관련 규제 및 CCS와 같은 탄소배출 저감기술에 대한 지원을 확대하는 다양한 방안을 소개함
  - ETS(Emissions Trading System)에서 발생된 수익을 CCS보급에 재투자하는 방안을 권고하고 CCS certificates scheme(CCS 활용인증서 거래제도)과 같은 새로운 지원정책안을 소개

## 2. 산업동향

### 가. 국내동향

- 한국남부발전 하동화력 8호기에 10MW급 연소 후 건식<sup>9</sup> 이산화탄소 포집 플랜트 준공(2014.04)
  - 세계 최초, 최대 규모로 화력발전소에 적용된 건식 포집 설비로 발전소에서 석탄을 연소할 때 발생하는 이산화탄소를 연간 7만톤 이상 포집
  - 한국전력연구원, 한국에너지기술연구원 등이 개발한 순수 우리 기술력을 국제적으로 입증함과 동시에 CCS 기술 상용화를 촉진할 기반 마련
  - 포집에 사용된 이산화탄소 흡수제 기술은 미래창조과학부의 '21C 프론티어사업'의 일환으로 개발된 원천 기술을 산업융상자원부가 실증, 상용화로 연계한 부처간 협력의 모범 사례로 꼽힘
- 환경부는 CCS 사업의 환경영향 및 위해성을 탐지·평가·관리하기 위한 기술개발을 본격적으로 추진하기 위해 'CCS 환경관리연구단'을 공식 출범(2014.04.25)

7 UK Parliament 2013, Energy Act 2013 (c. 32), UK Parliament, United Kingdom.

8 European Parliament 2013, Report on implementation report 2013: developing and applying carbon capture and storage technology in Europe (2013/2079(INI)), European Parliament, Brussels, Belgium.

9 이산화탄소를 포집하는 흡수제의 유형에 따라 습식(액체)과 건식(고체)으로 나뉘게 되는데, 10MW급 연소 후 습식 포집 플랜트는 지난 2013년 한국중부발전의 보령화력 8호기에 준공되었음.

- 본 연구단은 고려대학교(연구단장 윤성택 교수)가 주관하며 복수의 대학, 기업, 연구소, 관계 전문가들이 공동 참여
- 2017년까지 총 200억원을 지원받게 되며, 이산화탄소의 누출 모니터링 기술, 토양·지하수·식생, 생태계 환경영향 평가기술 등을 개발하여 CCS 상용화에 대비한 전주기 환경관리기술을 확보할 계획
- CCS는 발전플랜트 뿐만 아니라 석유화학·시멘트 공장이나 제철소에도 설치가 필요할 것으로 판단되며, 2020년 본격적인 상용화가 이뤄지면 CCS 시장이 크게 성장할 것으로 전망
  - 습식 또는 건식의 포집 흡수제 기술선점 뿐만 아니라 건설사들의 참여도 기대됨
  - 습식 실증플랜트(중부발전 보령화력)에는 대림산업과 포스코건설이 EPC(Engineering, Procurement, Construction) 역할을 수행
  - 건식 실증플랜트(남부발전 하동화력)에는 KC코트렐이 참여

나. 해외동향

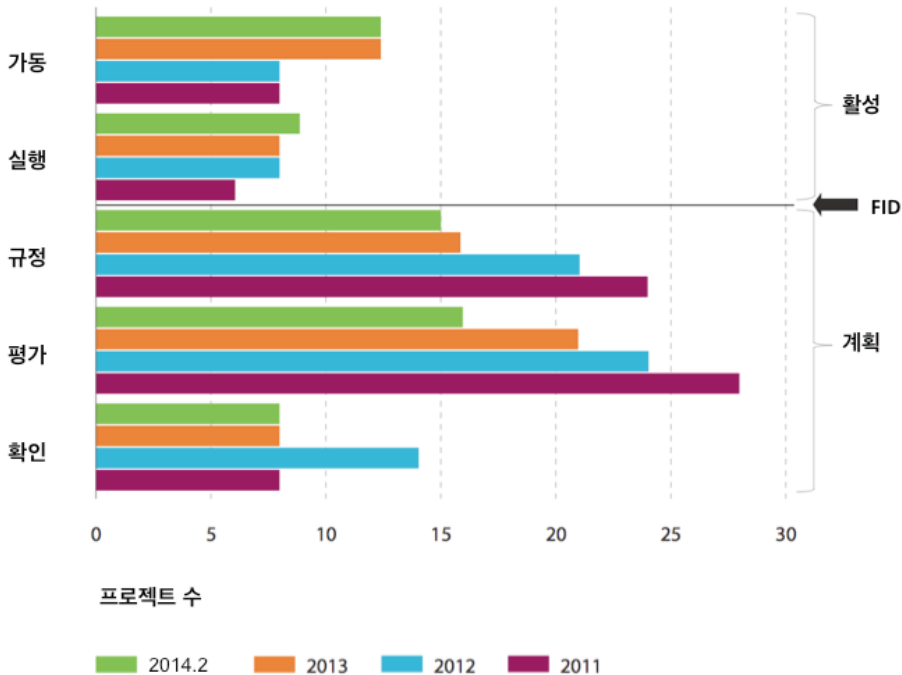


그림 2. 2010년 ~ 2014년2월 LSIPs 진행 단계 비교  
 자료: GCCSI (2014), "The Global Status of CCS"

## V. 국내외 정책·기술 동향

- 2014년 2월 기준, 가동 또는 실행 중인 전세계 대규모 CCS 프로젝트는 2012년 대비 24% 증가
  - GCCSI(Global Carbon Capture and Storage Institute)의 'The Global Status of CCS'에 의하면 2014년 2월 기준 계획되거나 실행된 전 세계 대규모 프로젝트(Large Scaled Integrated Projects, LSIPs)는 총 60개로 이 중 21개가 가동 또는 실행 중
    - 미국은 19개로 전체의 약 32%를 차지하여 독보적인 위치에 있으며 캐나다를 포함한 북미지역의 CCS 개발은 세계시장의 43%에 해당
    - 중국은 최근 12개의 프로젝트를 추진하며 적극적인 행보를 보이고 있으나 아직 계획단계에 머물러 있어 실행여부는 불확실
  - 하지만 전 세계 CCS 프로젝트 수는 2012년과 2013년 10월 대비 각각 10개와 5개가 축소되었는데 이는 유럽의 CCS 프로젝트들이 최근 취소 혹은 보류되었기 때문

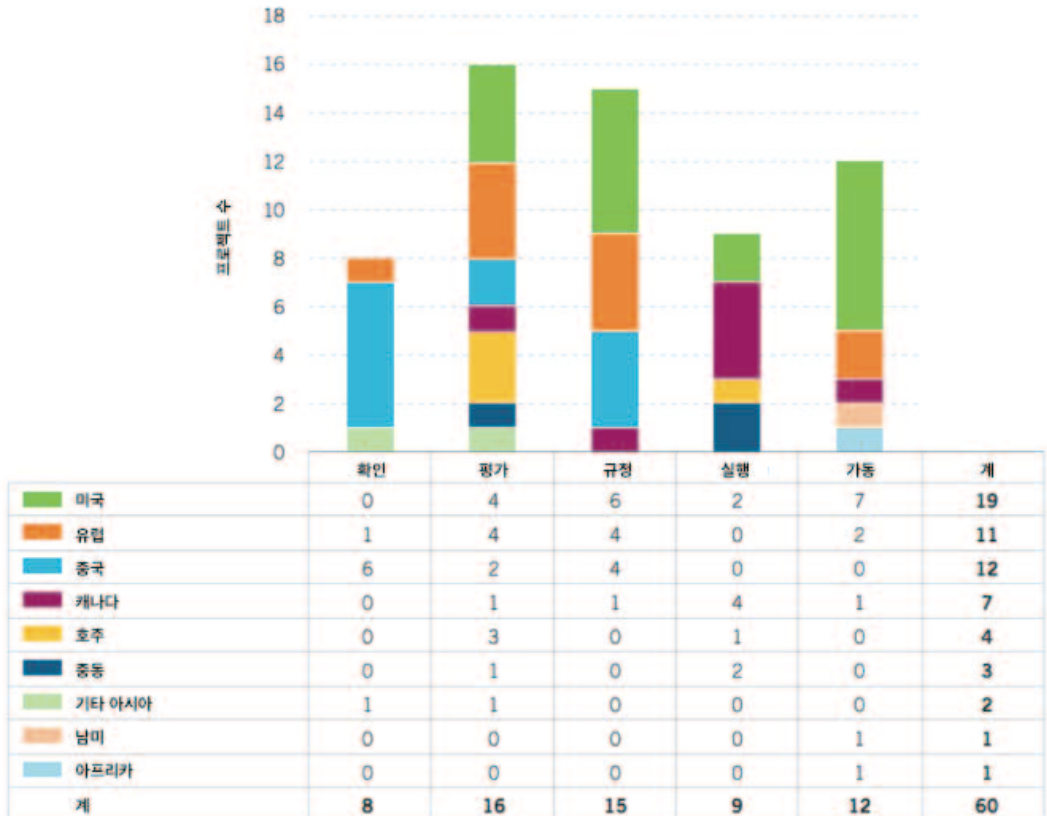


그림 3. 2014년 2월기준 국가 및 지역별 LSIPs 진행 단계  
 자료: GCCSI (2014), "The Global Status of CCS"

- CCS 개발 및 보급이 지역 및 국가별로 상당한 격차가 발생하는 원인
  - 기존 CCS 개발은 OECD 국가 중심으로 이뤄졌으며 최근 유럽의 CCS 보급이 지연되면서 지역간 격차가 벌어졌기 때문
  - 최근 유럽은 경제 난조에 따른 투자감소 및 미미한 보조정책으로 CCS 프로젝트 개발에 부정적인 행보를 보이고 있으며, 이로 인해 계획 중이던 6개 프로젝트 중 4개를 취소 또는 보류하여 2개만 남은 상태
  - 하지만 중국, 캐나다, 호주 등이 프로젝트 개발에 적극 참여하고 있음
- Visiongain은 일부 대형 CCS 프로젝트를 제외하고는 불경기와 비효율적인 정책 등의 문제로 CCS 시장이 아직도 초기단계에 머물러 있다고 평가<sup>10</sup>
  - 이러한 불리한 정책적 여건 속에서도, 2014년 CCS 산업은 CO<sub>2</sub>-EOR(원유회수증진기술)과 환경법규 강화 등으로 6억6,920만달러의 시장을 형성할 전망이다<sup>11</sup>
    - CO<sub>2</sub>-EOR은 이산화탄소 주입(지중저장)을 통해 원유의 생산성을 높이고 동시에 CO<sub>2</sub>를 저장하는 기술
    - 현재 가동, 실행, 건설 중이거나 2014년 안으로 최종투자결정을 내릴 예정인 27개의 프로젝트 중 20개는 CO<sub>2</sub>-EOR를 사용 중이거나 사용할 예정<sup>12</sup>
    - 이에 반해 대규모 해양지중저장기술은 오랜 실증을 통해 검증되었음에도 불구하고 아직까지 CO<sub>2</sub> 저장에 대한 안전성 우려로 주요 프로젝트들의 리스크로 존재
  - 미래 CCS 시장확대를 위해 전력생산 단계에서의 이산화탄소 포집 및 처리 기술 보급 필요성이 대두
    - 장기 투자를 유치하기 위한 이산화탄소 시장 가격 시그널, CCS 기술과 산업에 관한 글로벌 지식 공유와 교류, 이산화탄소 저장소 확보 등은 CCS 시장 확대에 기여<sup>13</sup>
    - 향후 적극적인 지원정책과 민관협력을 통해 성공적인 대규모 시범사업을 진행함으로써 CCS기술에 대한 우려를 해소하고 친환경기술이란 인식을 심어주는 계기가 필요

10 Visiongain (2013), "The Carbon Capture & Storage (CCS) Market 2014-2024."

11 IEA는 2020년까지 100여 개의 프로젝트가 요구될 것으로 예상하였으며, 각 프로젝트에 평균 20억 달러의 투자가 필요할 것으로 추정.

12 GCCSI (2014.2), "The Global Status of CCS."

13 Visiongain (2012), "The Carbon Capture & Storage (CCS) Market 2013-2023."

# 원자력

## 1. 정책동향

### 가. 국내동향

- 산업통상자원부, "제2차 국가에너지기본계획" 발표(2014.01.14)
  - "제2차 국가에너지기본계획"은 2035년까지 원자력 발전설비 비중 29%, 원자력 발전 설비량 42.7GW를 목표로 함
    - 현재 2024년까지 15.2GW의 11기 신규원전 건설이 확정된 상태
    - 계획된 원전 건설 이외에 추가로 7GW 이상의 신규원전 건설이 불가피
  - 2013년 설비용량이 약 20.7GW이며 1978년 고리 원전 1호기를 시작으로 현재 고리(6기), 영광(6기), 울진(6기), 월성(5기) 등 4개 지역에 총 23기의 원자력발전소 운영 중(표 1)
  - 현재 5개의 원전이 건설 중이며 총 시설용량은 6,600MW
    - 신월성 1기(공정률 99.58%), 신고리 2기(공정률 98.06%), 신울진 2기(공정률 56.30%)

표 1. 원전건설 관련 지표

구 분	내 용
가동기수	총 23기 (고리 4기/신고리 2기, 영광 6기, 울진 6기, 월성 1기/신월성 1기)
건설기수	총 5기 (신고리 2기, 신월성 1기, 신울진 2기)
계획기수	총 4기 ~ 11기 (국가 정책기조에 따라 변경 될 예정)

자료: 한국수력원자력 원전운영 정보

- 원자력안전 관계부처 간 정책현안 논의를 위한 '원자력안전정책협의회' 신설 (2014년 6월 30일)
  - 20여개 관계부처의 고위 공무원급이 참여하는 '원자력안전정책협의회' 신설
    - 협의회의 기능과 구성 등에 관한 사항을 규정하여 국무총리실 소속으로 설치
    - 참여 부처는 국무조정실, 기획재정부, 미래창조과학부, 외교부, 국방부, 안전행정부, 농림축산식품부,

산업통상자원부, 보건복지부, 환경부, 고용노동부, 국토교통부, 해양수산부, 식품의약품안전처, 관세청, 경찰청, 소방방재청, 산림청, 기상청, 해양경찰청 등임

- 방사선 감시 및 저감대책을 비롯한 원자력 안전관리 강화방안 외에도 향후 원자력안전문제 발생 시 관계부처의 협력과 지원을 원활히 하기 위한 일관된 정책서비스 연구 진행 중

#### ■ 교육과학기술부(현 교육부)와 지식경제부(현 산업통상자원부), "제4차 원자력진흥종합계획" 발표<sup>1</sup>

- 「원자력진흥법」 제9조에 의거하여, 2012년~2016년까지 원자력 진흥 및 이용 관련 5년간의 정책방향을 제시
- 전략별 중점과제로는 ①국민이 신뢰하는 원자력 안전 확보, ②원자력 기술 강국으로서 국제적 역할 강화, ③기술혁신을 통한 원자력 수출 활성화, ④전략적 지원확대로 방사선 신시장 창출, ⑤안정적 에너지 공급을 위한 원자력 이용 확대와 ⑥원자력 인프라의 선순환형 구조 강화가 있음

#### ■ 산업통상자원부, 핵심정책으로 '원전 플랜트 수주 확대' 진행<sup>2</sup>

- 추진내용으로는 ①국가별 맞춤형 수출전략 추진, ②원전금융 활성화 방안 강구, ③원자력수출 다변화, ④ 원전수출 인프라 강화, ⑤외교적 지원망 구축 등으로 다각적으로 원자력 수출 계획을 수립

#### ■ "사용후핵연료 관리대책 추진계획(안)" 발표에 이어 '사용후핵연료 공론화위원회' 출범(2013.10.30)

- 15명의 민간위원으로 구성되었으며, 사용후핵연료 관리방식, 부지 선정방식, 유치지역 지원방안 등을 논의  
- 2014년까지 부지 선정계획 및 투자계획이 포함된 "방사성폐기물 관리 기본계획"을 수립할 예정
- 2009년 이후로 한국원자력환경공단이 방사성폐기물 처분사업을 전담

## 나. 해외동향

### ■ 세계 원자력 발전 현황

- 2014년 2월, 전 세계 30개 국가에서 총 435기가 운전 중이고, 15개 국가에서 71기가 건설 중
- 전 세계 원자력발전소의 설비용량은 372,008GWe이며, 원자력 발전소를 가동하고 있는 주요국으로는 미국, 프랑스, 러시아 등(표 2)
- 전 세계 건설 중인 원자력발전소의 설비용량은 69,654MWe로 중국(28기), 러시아(10기), 인도(6기), 한국(5기), 미국(5기), 파키스탄(2기), 슬로바키아(2기), 우크라이나(2기), UAE(2기)에 건설 중

1 교육과학기술부(2012), "제4차 원자력진흥종합계획 2012~2016"  
2 산업통상자원부(2013), "2013 원자력발전백서" pp76-78

## V. 국내외 정책·기술 동향

- 2013년 세계원자력협회 WNA Market 보고서에 의하면 세계적으로 2030년까지 74기가 운영 종료되고, 272기의 신규원전이 건설될 예정

표 2. 세계 원자력발전 주요국 원전 보유 및 도입 현황

국가	보유 수	설비용량(GWe)
미국	100	98.6
프랑스	58	63.1
일본	48	42.4
러시아	33	23.6
한국	23	20.7
인도	21	16.9
중국	21	5.3
캐나다	19	13.5
영국	16	9.2
우크라이나	15	13.1
독일	9	12.1

자료: 산업통상자원부 (2013), "2013 원자력발전백서"

### ■ 원전 안전성 강화 및 상반된 정책 기조

- 2011년 후쿠시마 원전사고 이후 원자력발전을 시행중인 국가들은 원전의 안전성에 초점을 두고 점검지침을 강화하는 등의 공통된 모습을 보임
- 그러나 각국의 원자력발전 정책 기조는 크게 원자력발전 유지, 재검토, 축소의 세가지 형태로 상반된 모습을 보임(표 3)
  - 독일, 벨기에 및 스위스는 원전 폐지를 천명
  - 미국, 프랑스 등 대부분의 국가는 기존 원전 정책 유지를 표명하였으며, 요르단 등의 신규 원전 도입국도 기존 계획을 유지



표 3. 후쿠시마 사태 이후 각국의 원전정책 (2011년 당시)

입장	국가	관련 내용	성향
원전정책 유지기조 국가	미국	원자력발전 정책 유지, 원전 안전점검 시행	O
	프랑스	해외 원전기술 수출 규제 강화, EdF 원전 건설계획 고수	O
	러시아	원전계획 예전대로 추진	O
	폴란드	신규 원전건설 예정대로 추진	O
	칠레	원전 도입을 위한 프랑스와의 협력협정 등 준비 구체화	O
	카자흐스탄	기존 원전건설 계획 추진	O
	브라질	원전 건설계획 지속 추진	O
	남아공	원자력 및 신재생에너지 확대 등 발전원 다변화 추진	O
	케냐	IAEA, 케냐 원자력 프로젝트 승인	O
원전정책 재검토국가	일본	'에너지 기본계획' 재검토	△
	중국	원전 승인 보류 및 안전점검 실시, 발전부문 변화 예상	△
	EU	유럽국가들의 재평가, 원전스트레스 테스트 시행 합의	△
	이탈리아	원전 신규건설 계획 1년간 일시적 중지(국민투표 실시)	△
	멕시코	일본 사태로 원자력 발전소 건설 재검토	△
	독일	노후 원전 7기 3개월간 중단(전력회사 RWE 소송 제기), 2022년까지 원전 단계적으로 폐지	X
	스위스	원전정책 변화 움직임(2034년까지 원전 단계적으로 폐지)	X
	태국, 필리핀	원전계획 재검토	X
	베네수엘라	원자력개발 프로그램 중단	X

주: O 원전지지 / △ 원전 재검토 / X 원전 폐지

자료: 에너지경제연구원 (2011), "세계에너지시장 인사이트 제11-07호"

■ 미국

- 후쿠시마 사태 이후 원자력 유지방침을 발표했던 미국은 2014년 현재 유지방침을 고수 중<sup>3)</sup>
  - 미국 에너지부(Department of Energy, DOE)에 따르면, 향후 청정에너지에 의한 발전을 주 에너지원으로 이용하는 계획에서 원자력 발전이 매우 중요한 부분을 차지한다고 언급

3) NEI(미국원자력협회)(2013.2), "Status and Outlook for Nuclear Energy in United States"

## V. 국내외 정책·기술 동향

- 미국 원자력규제위원회(Nuclear Regulatory Commission, NRC)를 중심으로 원자력 발전을 유지하면서도 원전설비에 대한 전면적인 점검과 안전대책 마련
  - 원자력 안전점검 지침과 규제 지침 등 안정성을 강조하여 새로운 규제지침 발행
  - 전력공급이나 냉각수 공급이 중단되는 상황에 대비한 조치들을 마련할 것을 촉구하고 정기 점검일정 추가 및 강화
- 운영 허가 갱신(Life Renewal): 다수의 원자력 발전소 면허 갱신, 60년 이상 가동 할 것으로 예상
  - 신청서를 접수 받은 후, NRC 자체의 심사를 통해 총 60년 간 연장 가동 허가
  - 2000년 3월에 40년 운영허가 된 원자력 발전소의 20년 추가 운영허가 승인을 시작으로 2013년까지 73기 원자로에 대하여 추가적인 운영허가를 승인
  - 총 103기의 원자력 발전소를 소유하고 있는 업체들이 운영허가 갱신을 추진하기로 결정
- 원자력발전소 면허갱신 기간의 타당성 여부를 결정하기 위한 기술 검토가 진행 중
  - 미국 에너지부(DOE)는 '경수형 원자로 지속가능 프로그램'을 통하여 발전소 부품들이 60년 이상 안전하게 작동할 정도로 신뢰 가능한지 판단하기 위한 연구를 지원
  - 산업계와 NRC를 비롯한 기타 기관들이 관련 연구를 실시 중
- 사용 후 연료를 관리하는 연방정부 프로그램에 대한 재평가와 정책 제언을 위한 '블루리본위원회'를 구성 (2010.03)
  - '블루리본위원회'는 초 당파적 기관으로서 비당파적 정치인과 전문가들로 구성
  - 본 위원회는 2012년 1월 26일에 사용 후 연료 관리 프로그램의 재편에 대한 최종보고서를 제출

표 4. '블루리본위원회' 최종보고서 요약

1	통합 중간 저장시설과 영구적인 지층처분장은 개발되어야 하며, 이러한 시설로의 대규모 운송을 준비하기 위한 각종 프로그램들이 착수 되어야 한다
2	고준위 폐기물 관리 프로그램의 수행을 관리하기 위하여 새로운 전담기구를 설립해야 한다
3	새로운 전담기구는 방사성폐기물 수수료를 통하여 징수되고 있는 방사성폐기물 기금을 자유로이 사용할 수 있어야 한다
4	미국 내 새로운 방사성폐기물 관리 및 처분 시설의 부지 선정과 개발 방법은 상황에 맞추어 조정이 가능하며, 단계적이고, 합의에 기반하며, 투명하고, 표준과 과학에 기반을 두어야 한다
5	미국정부는 첨단 원자로 및 연료 사이클 기술을 위하여 안정적이고 장기적인 R&D(연구 및 개발) 분야에 지원해야 한다
6	미국은 세계적 핵 확산 방지 문제와 원자력 시설의 안전과 보안을 개선함에 있어 국제적 리더십을 보여주어야 한다

자료: NEI (2013.02), "Status and Outlook for Nuclear Energy in United States"

■ 일본

- 2011년 후쿠시마 사태 이후 원전 중단 원칙을 채택했으나, 원자력 발전 정책으로 회귀<sup>4</sup>
  - 2012년 9월, 에너지환경각료회의에서 ‘2030년대 원전 가동을 제로로 만든다’는 ‘원전제로’ 에너지 전략을 결정하였으나 화력발전 의존도 증가에 따른 경제적 부담 등을 이유로 며칠 후 철회
- 일본 원자력규제위원회, 2013년 1월 ‘新 원전 안전기준 핵심안’ 발표<sup>5</sup> (표 4)
  - 新 원전 안전기준 핵심안은 중대한 사고대책 / 지진, 쓰나미 대책 / 설계기준강화 등 세 가지로 구성되며, 각각 전문가로 구성된 검토팀이 공개 논의를 통해 안전기준 핵심안을 검토

표 5. 新 원전 안전기준 핵심안

〈기존의 안전기준〉	〈새로운 안전기준〉	
노심손상에 이르지 않는 상태를 가정한 설계기준	방사성 물질 확산 억제	새 롭 게 추 가
	의도적인 항공기 충돌 대응	
	격납용기 파손 방지대책	
	노심손상 방지대책 (복수의 기기 고장을 가정)	
자연현상에 대응하는 고려	자연현상에 대응하는 고려	강 화
화재에 대응하는 고려	화재에 대응하는 고려	
신뢰성 고려	신뢰성 고려	
전원의 신뢰성	전원의 신뢰성	
냉각설비의 성능	냉각설비의 성능	
기타 설비의 성능	기타설비의 성능	
지진, 쓰나미 대응 성능	지진, 쓰나미 대응 성능	

자료: 에너지경제연구원 (2013), "세계에너지시장 인사이트 제13-07호" 재구성

■ 프랑스

- 프랑스 전력공사(Electricité de France, EDF)는 원전보안요건을 강화하면서 원자로 추가건설 등 원자력 발전 유지정책 고수<sup>6</sup>
  - 2012년 올랑드 정부는 2025년까지 원자력발전의 전기생산 비중을 75%에서 50%까지 감소시킬 계획을 세웠으나, 이후 원전정책위원회에서 원자력 분야 발전을 지원하기로 번복
  - 원전정책위원회의 결정에 따라, 2016년까지 폐쇄하기로 결정했던 페센하임(Fessenheim) 원자로 1,2

4 에너지경제연구원(2013.3.1), "세계에너지시장 인사이트 제13-08호"

5 에너지경제연구원(2013.2.22), "세계에너지시장 인사이트 제13-07호"

6 한국원전수출산업협회(2013.5), "해외 원자력 산업 동향"

## V. 국내외 정책·기술 동향

호기를 보수, 점검 정책으로 변경

- 2016년 이후 상업운전을 개시할 것으로 예정된 플라만빌(Flamanville)의 제3세대 가압경수로(Europe Pressurized Reactor, EPR) 원전에 대한 건설계획 재추진
- 자국의 원전발전사업 뿐 아니라 해외원전건설 프로젝트에도 적극 참여<sup>7</sup>
  - 영국 원전 건설 수주를 비롯하여 브라질, 터키 및 중국 등 해외 원전 프로젝트에 적극 참여하고 기술 및 산업 제휴

## 2. 산업동향

### 가. 국내동향

#### ■ 국내 원자력 발전 현황

- 2013년 기준 국내에서 운영중인 원전은 23기이며, 총 전력공급의 26.8% 차지
- 국내 원전 설비용량은 20,716MW로 전체 발전설비(86,969MW)의 23.8%를 점유하고 있으며, 연간 전력생산량은 138,785GWh로 국내 총 전력 생산량(517,149GWh)의 26.8% 차지(표 6)

표 6. 국내 원자력발전량 추이

구분		2008	2009	2010	2011	2012	2013
가동기수		20	20	20	21	23	23
설비	용량 (만Kw)	1,772	1,772	1,772	1,872	2,072	2,072
	비중 (%)	24.4	24.4	23.4	23.6	25.4	23.8
발전	발전량 (GWh)	151,000	147,771	147,474	154,723	150,327	138,758
	비중 (%)	35.7	34.1	32.1	31.1	29.8	26.8

자료: 한국전력, "전력통계속보"

#### ■ 경상북도 동해안에 2028년까지 '원자력클러스터 조성사업' 착수(표 7)

- 13조 4,554억원을 투입하여 원자력 인력양성과 연구개발, 산업생산, 안전문화와 관련된 12개 시설을 설치하여 원자력 복합단지 형성

7 HYUNDAI RESEARCH(2013.11.15), "프랑스 원전산업이 부활"

- 현재 경상북도에는 10기의 원전이 가동 중에 있으며, 월성과 울진에 각각 원전 2기가 추가되는 동시에 경주에 방폐장이 건설 중에 있기 때문에 원자력 인프라가 우수한 경상북도에서 사업을 진행하게 됨
- 산업연구원의 연구 용역결과 전국적으로 생산유발효과(23조 7,936억원) / 부가가치효과(9조 5,316억원) / 고용창출(20만명) 등의 효과가 있을 것으로 예상

표 7. 경상북도 동해안 원자력클러스터 사업개요

위치	경상북도 동해안 4개 시군 (경주 ~ 포항 ~ 영덕 ~ 울진)
사업기간	2012 ~ 2028년
사업비	13조 4,554억원 (국비 11조 9,249억원 / 지방비 1조 3,916억원 / 민자 1,389억원)
사업내용	원자력 인력양성, 연구개발, 산업생산, 안전문화, 관련시설이 집적된 국가적 원자력 복합단지 조성

자료: 대구경북연구원 (2010), "동해안 원자력산업 클러스터 추진 방안"

■ 한국전력기술, UAE 원전 수출 성사<sup>8</sup>

- APR1400(Advanced Power Reactor, 1,400MW급) 개발에 성공하며 UAE에 원전 건설 사업을 수주함으로써 처음으로 원자력발전소 플랜트 해외 수출 국가로 자리잡음(2009.12.27)
  - 한국형 원전 APR1400 4기를 아부다비 서쪽에 위치한 바라카(Barakah) 지역에 건설하는 사업(186억달러 규모)으로, 주 계약자는 한국전력기술(주)이며 한국수력원자력(주)로부터 인력과 기술을 지원받음
  - 2014년 5월, 바라카 원전 1호기의 원자로 설치가 착수되어 2017년 5월 준공 예정이며, 2~4호기는 12개월의 시차를 두고 공사가 진행될 예정
- MMIS(Man Machine Interface System, 원전계측제어시스템)과 RCP(Reactor Cooling Pump, 원자로 냉각재펌프), 원전안전해석코드 개발에 성공하여 100% 기술자립 달성
  - 신기술 및 신공법을 적용하여 APR1400보다 안전성을 대폭 높이고 경제성을 확보한 1,500MW급의 APR+ 를 개발 중에 있으며, 2023년 이후 상업운전이 목표

■ 현대건설-한국원자력연구원-현대엔지니어링 컨소시엄, 네덜란드에 원자로 수출 추진<sup>9</sup>

- 글로벌 원자력기업인 AREVA(프랑스)와 NUKEM(독일)-NIEKET(러시아) 컨소시엄과 결합
- 네덜란드 델프트(Delft) 공대에서 운영 중인 연구로의 열 출력 증강을 위한 시설개조 및 냉중성자 연구설비 구축을 2017년 말까지 완료하는 조건으로 원자로 건설 수주

8 미래창조과학부(2014), "2012년도 제 18회 원자력산업실태조사", pp37-42  
 9 한국원자력연구원 보도자료(2014.6.26), "원자력 R&D 기술, 사상 첫 유럽 시장 골문을 열다"

---

## V. 국내외 정책·기술 동향

- 계약금액은 약 260억원 수준
- 국내 '하나로연구로' 자력설계, 운영 및 수출형 신형연구로 건설추진 과정에서 축적한 풍부한 경험이 현대건설 선정의 주요한 이유

### 나. 해외동향

#### ■ 세계 원자력 발전 설비 용량 전망<sup>10</sup>

- 2030년 세계 원자력 발전 시장 전망
  - 전세계 원자력 발전 설비 용량은 2014년 2월 기준 372GWe에서 2030년 470~637GWe로 증가할 것으로 전망
  - 동아시아 지역의 설비용량이 168~239GWe으로 가장 높을 것이며, 북미(94~118GWe), 서유럽(89~109GWe) 순으로 큰 비중을 차지할 것으로 예상
  - 중국은 2014년 2월 기준 17GWe에서 2030년 기준 106~140GWe 수준으로 큰 폭의 성장을 이룰 전망
- 2050 세계 원자력 발전 시장 전망
  - Low 시나리오  
전세계 원자력 발전 설비 용량은 2030년 470GWe에서 2050년 504GWe로 증가할 것으로 전망하지만, 세계 전력 생산 시장에서 원자력 발전이 차지하는 비중은 2030년 5.2%에서 2050년 4.1%로 감소할 것으로 전망
  - High 시나리오  
전세계 원자력 발전 설비 용량은 2030년 637GWe에서 2050년 1,020GWe로 급증할 것으로 전망하며, 세계 전력 생산 시장에서 원자력 발전이 차지하는 비중은 2030년 7.1%에서 2050년 8.3%로 확대될 것으로 전망
  - 세계 원자력 발전소 신규 건설 국가별 전망  
2030년부터 2050년까지 전 세계 원자력 발전소 신규 건설 전망을 국가별로 살펴보면, 미국(77~91기), 프랑스(47기), 일본(18~28기), 러시아(11기), 우크라이나(11기), 캐나다(8~10기), 한국(8기), 스웨덴(7기), 핀란드(3~4기), 체코(4기) 등으로 전망

#### ■ 미국

- 미국의 원자력산업 방향은 2020년까지 새로운 원자력발전소를 건설하는 것
  - 현재 5기의 새로운 원자력발전소가 건설 중<sup>11</sup>

---

10 Roland Berger(2014), "Nuclear worldwide: Where we stand 3 years after Fukushima"

11 NEI(2013.2), "Status and Outlook for Nuclear Energy in United States"

- 미국 원자력규제위원회(NRC)는 2012년도 2월과 3월에 조지아주와 사우스캐롤라이나주에 건설될 신규원전에 대하여 통합건설 및 운영 허가를 발급
  - NRC, 2012년 2월에 조지아주에 위치한 Alvin W. Vogtle 원전의 건설 및 운영에 대한 권리를 Southern Company에 부여
  - Alvin W. Vogtle 원전은 현재 1기의 원자로가 건설 중이며, 추가로 2기의 원자로를 증설할 계획
  - NRC, 2012년 3월에 사우스캐롤라이나주에 위치한 Virgil C. Summer 원전에 대한 South Carolina Electric & Gas의 통합 인가 신청을 승인
  - Virgil C. Summer 원전 부지에는 현재 2기의 원자로가 건설될 계획
- 2020년 이후, 300MW이하의 전력을 생산하는 소형 원자로의 상용화가 이루어질 것으로 예상
  - 미국 에너지부(DOE), 소형 원자로 배치를 지원하기 위하여 4억5천2백만달러의 인가 지원 5개년 프로그램을 계획
  - Babcock & Wilcos 설계가 자금 지원을 받았으며, 기타 설계는 평가를 받고 있음
  - 최초 원자로를 위한 초기 설계 인증 신청서는 NRC에 향후 수년 내에 제출될 것으로 예상

■ 중국

- 중국은 현재 17개의 원전을 운영, 31개의 원전을 건설 중에 있으며 이는 전 세계 건설 중인 원전의 40%를 차지
- 정부허가를 받은 3곳의 국영기업인 중국광동원전그룹(CGN), 중국원자력공업그룹(CNNC), 국가원전기술공사(SNPTC)에 의해 건설 및 운영됨<sup>12</sup>
  - 3개 회사의 경쟁체제로 인해 각각 독자적인 기술개발을 추진 중에 있으며, CGN은 ACPR1000, CNCC는 ACP1000, SNPTC는 CAP1400이라는 3세대 원자로를 개발 중
  - 2013년, 경쟁체제로 인한 기술개발 상의 비효율문제를 극복하기 위해 CGN과 CNCC가 공동으로 3세대 원자로인 '화룡 1호'를 개발하는 중이며, 2014년 초에는 3개 회사가 연합하여 '중국원자력산업협회'를 설립, 공동개발 방식으로 전환 중

I. 권력분권

II. 연구성립

III. 연구노출

IV. 특전노출

V. 국내의 정책기술동향

VI. 그린스퀘어 주요 활동 및 인적

12 해외건설·플랜트 정책금융지원센터(2014.3), "중국 원자력산업 동향 및 시사점"

## 초중질유 경질화 반응

### 기술동향

#### ■ 초중질유의 분포 및 특성

- 초중질유(extra heavy oil) 및 역청(bitumen) 등과 같은 비재래형 석유(non-conventional oil)는 전세계적으로 넓게 분포하고 있으며 그 매장량 또한 일반 원유(conventional oil)비해 약 4배 이상의 매장량을 가지고 있어 앞으로 세계 에너지 공급의 주요 에너지원이 될 것으로 예측하고 있음 [1]

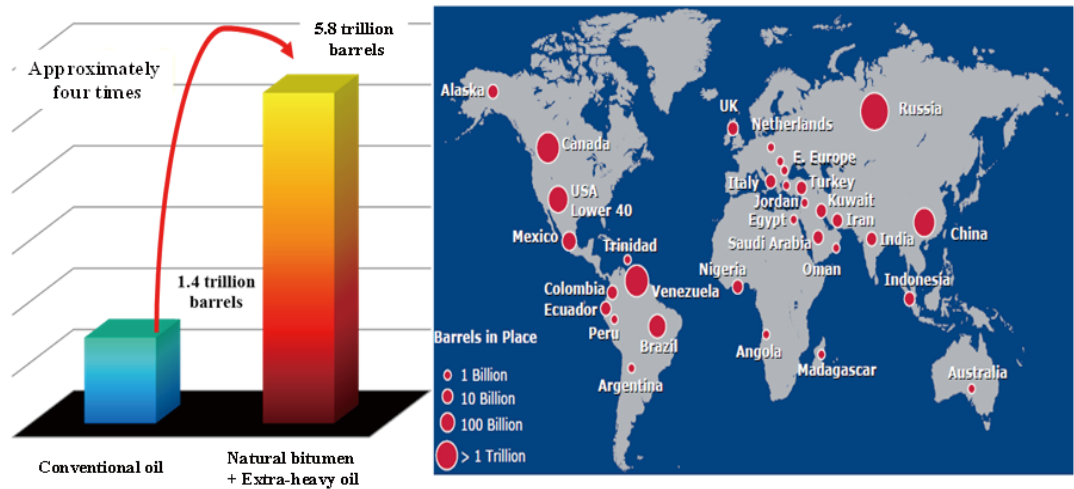


그림 1. Global unconventional oil resources [1]

- 초중질유는 API gravity value가  $10^\circ$  (specific gravity of water) 이하의 원유를 말하며, 과량의 아스팔텐(asphaltene) 및 수지(resin) 성분을 포함하고 있어 매우 높은 점성 및 밀도를 나타냄
- 또한 과량의 금속 성분(V, Ni) 및 황을 포함하고 있어 일반적인 촉매 전환 반응으로는 전환이 매우 어려운 문제가 존재

#### ■ 초중질유 전환을 위한 새로운 공정의 개발

- 초중질유는 일반적인 원유에 비해 매우 높은 탄소/수소 원소 비율을 나타내고 있으며, 이를 낮추기 위한 방안으로 크게 열적 and/or 촉매적 작용에 의한 '탄소 제거 공정(carbon rejection process)'과 적절한 촉매를 활용한 '수소 첨가 공정(hydrogen addition process)'을 통해 물성을 향상시키기 위한 연구가 수행 중



■ 탄소 제거 공정(carbon rejection process)

- 탄소 제거 공정으로는 coking 공정과 gasification 공정이 있음
  - Coking 공정은 가장 일반적인 탄소 제거 공정으로, 높은 연료의 유연성으로 과량의 잔류 탄소 및 헤테로 원자를 포함하는 원료의 처리가 가능하다는 것이 장점
  - 하지만 액상 생성물의 수율이 낮고, 전체 원료의 약 30%에 해당하는 coke가 발생하며, coking 공정에 의해 해마다 세계적으로 생성되는 coke의 양만 1억톤 이상 발생되는 문제를 나타내고 있음 [2]
- Gasification 공정은 낮은 물성의 원료 및 coke를 수소(H<sub>2</sub>) 및 일산화 탄소(CO)로 구성된 합성가스로 전환하는 공정으로, 생성된 합성가스는 추가적인 공정에 의해 전력 생성에 이용될 수 있음
  - 하지만 큰 자본 비용 및 유지 비용을 필요로 하며, 최종 생성물이 수송 연료(transportation fuel)가 아니라는 단점이 상존

■ 수소 첨가 공정(hydrogen addition process)

- 1958년 Chevron사에 의해 첫 수소첨가분해공정이 상업화된 이후 지금까지 수소화분해 촉매는 꾸준히 성장하는 추세 [3],[4]
  - 수소 첨가 공정은 일반적으로 heterogeneous 촉매와 함께 진행되는데 molybdenum(Mo), nickel(Ni)과 cobalt(Co) 등의 전이 금속을 알루미늄에 담지시켜 사용되고 있음
  - 사용되는 촉매는 (탈)수소화 기능과 (산)분해 기능을 동시에 지닌 이원기능형 촉매(dual functional catalyst)를 사용하며, 촉매에 사용되는 금속의 종류 및 특성은 표 1을 참고

표 1. 수소 첨가 공정용 촉매

	수소화기능	산기능 (support)	
	Ni/Mo	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
수소화기능 증가	Ni/W	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /halogen	산세기 증가
	Pt/Pd	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
		Zeolite	

- 이러한 수소 첨가 공정용 촉매의 사용에 의해 고온 및 고압의 수소 조건에서 polynuclear aromatic(PNA)에 과량 포함되어 있는 sulfur, nitrogen, metals을 제거하고자 하였음
  - 하지만 초중질유의 매우 나쁜 물성으로 인해 방향족 클러스터간의 중합(polymerization) 및 응축(condensation) 반응이 진행됨으로 촉매의 pore plugging에 의한 비활성화가 야기되는 문제를 나타내고 있음
  - 또한 반응물에 다량 포함된 아스팔텐의 분자 크기가 2~15nm로, 담지체의 pore 크기에 따라 물질전달이 제한되는 문제가 초래함 [5]

## V. 국내외 정책·기술 동향

### ■ 슬러리 상 수소 첨가 분해 기술(slurry phase hydrocracking technology)

- 1990년 초부터 담체 촉매를 사용한 fixed bed와 ebullating-bed reactor의 문제를 해결하기 위한 방안으로 슬러리 상 수소 첨가 분해 기술에 대한 다양한 연구가 개발되었음 [6]
- 2012년 4분기에는 이탈리아 회사인 Eni사에서 Sannazzaro refinery 공정이라는 full-scale의 slurry phase hydrocracking 공정을 개발하였으며 두 번째로 Taranto refinery 공정을 개발하여 약 14,000 barrel per stream day (BPSD)의 처리능력을 가진 초중질유 분해 공정을 개발
- 이러한 슬러리 상 수소 첨가 분해 기술은 담체 촉매를 사용한 공정에서 발생하였던 metals 및 coke의 침적에 의한 비활성화 문제를 해결하여 합성 원유(synthetic crude oil)의 생성량을 약 20% 이상 증가시켰음 [7]

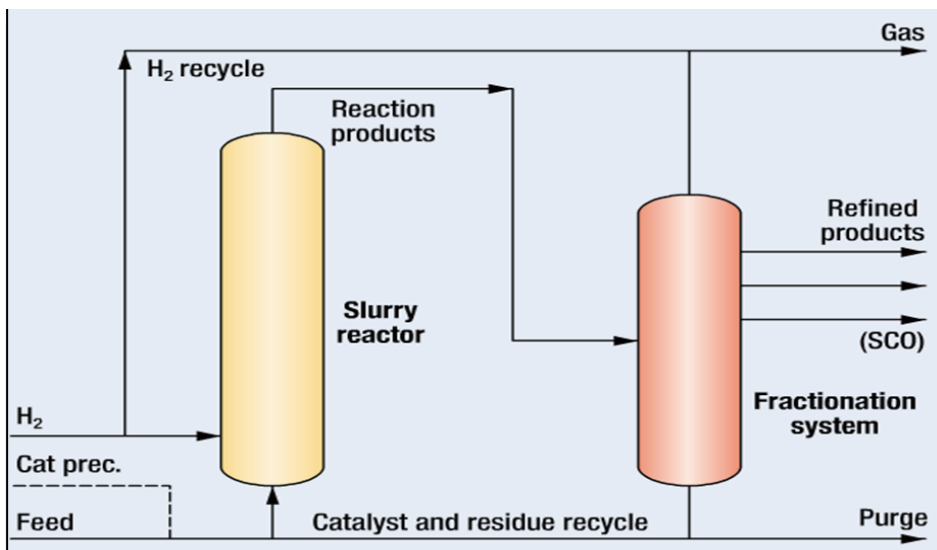


그림 2. Slurry-phase hydrocracking concept [6]

### ■ 분산형 촉매 기술

- 슬러리 상 수소 첨가 분해에 사용되는 촉매는 담체를 사용하지 않은 나노 박편(nano-lamellae) 형태의 molybdenite( $\text{MoS}_2$ )를 사용함
  - 이러한  $\text{MoS}_2$  촉매는 형성과정에 노출된  $\text{MoS}_2$ 의 활성점을 방해하지 않고, 분리된 상으로 황화물 형태로 침전되기 때문에 전체 공정 중에도 처음의 구조를 계속 유지 [6]
  - 이러한 분산형 촉매는 C와 hetero 원자 간의 수소 첨가 분해(hydrogenolysis) 반응을 촉진시켜 aromatic ring hydrogenation, conradson carbon residue(CCR) reduction 및 heteroatoms remover

[hydrodesulfurization (HDS), hydrodemetallization (HDM) and hydrodenitrogenation (HDN) 등] 반응이 진행 되도록 하였음

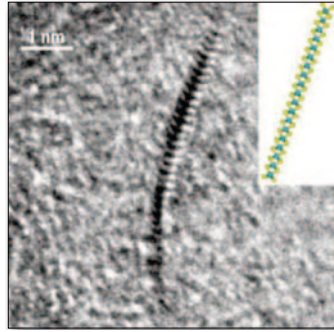


그림 3. High-resolution transmission electron microscopy of nano-lamellae of slurry-phase hydrocracking catalyst [6]

- 최근 나노 촉매의 제조와 적용을 통해 초중질유의 수소화 분해 반응의 효율을 증가시키는 연구가 활발히 진행 중
  - 이는 그림 4 에서와 같이 촉매의 사이즈가 작아짐에 따라 corner와 edge가 증가하고, terrace가 감소하면서 불안정한 면이 증가함에 따라 활성도가 높아지기 때문
  - 특히, 콜로이드 나노 촉매는 균일한 입자 크기와 형상제어를 통해 특정 면을 표면에 노출시키는 것이 가능해짐에 따라 정확한 촉매 반응 해석이 가능해질 것으로 예상
  - 또한 나노 크기의 균일한 입자는 높은 surface/volume 값을 가져 단위질량당 활성점의 양을 비약적으로 증가시킬 수 있어 반응 활성 향상에 크게 기여할 것으로 예상

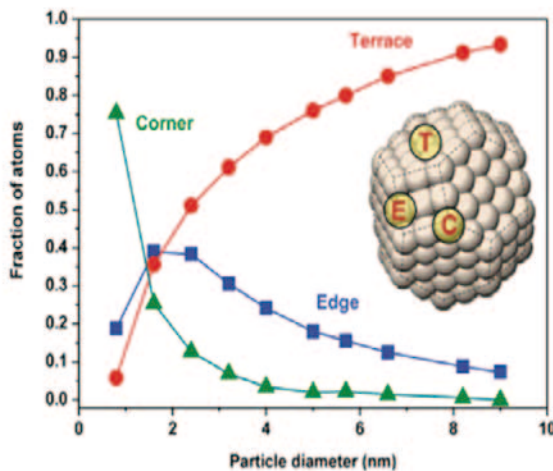


그림 4. Trend of corner, edge and terrace atoms as a function of particle diameter [8]

## V. 국내외 정책·기술 동향

- 특정 면에서 반응 활성을 보이는 반응의 경우 형상제어를 통해 선택성과 반응 활성의 극대화가 가능할 것
  - 다양한 연구 그룹에 의해 sheet, fullerene like 등 다양한 형태의 MoS<sub>x</sub>, WS<sub>x</sub> 나노 입자 합성법이 보고되고 있으며, 각각의 나노입자는 표면에 노출된 corner 및 edge의 정도, S의 coverage 및 vacancy 정도 등 표면 특성에 차이를 나타내는 것으로 보고 있음 [9],[10]
  - 따라서 이를 통해 촉매의 성능 향상 및 다양한 표면 특성과 반응과의 상관 관계를 밝히는 연구가 가능할 것으로 판단됨

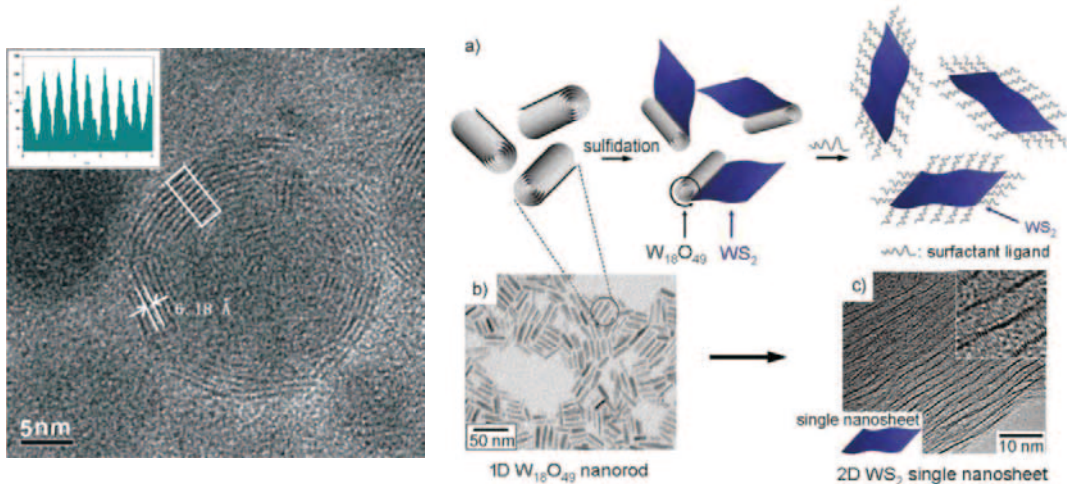


그림 5. HRTEM image of (left) MoS<sub>2</sub> [9] and (right) WS<sub>2</sub> (a) schematic diagram for the synthesis of 2D WS<sub>2</sub> nanosheet crystals, (b) W<sub>18</sub>O<sub>49</sub>, (c) WS<sub>2</sub> nanoparticles [10]

- 그림 6은 density functional theory(DFT)를 이용해 sulfidation 정도의 차이에 따른 MoS<sub>x</sub>의 S coverage 를 정도를 이론적으로 밝힌 그림임 [11]
  - Sulfidation 조건에 따라 Mo 황화물의 클러스터 모양을 hexagonal과 triangular로 변화시키고 sulfidation 정도에도 영향을 준다고 보고하고 있으며, 또한 Mo과 W 황화물 촉매의 corner 및 edge의 S coverage 및 vacancy에 따라 수소처리반응(hydrotreating) 활성 및 선택도에 큰 차이를 보인다고 보고 [12]
  - 따라서 분산형 촉매의 sulfidation 최적화 과정은 초중질유의 수소화 반응 활성 향상에 중요한 역할을 할 것으로 판단됨

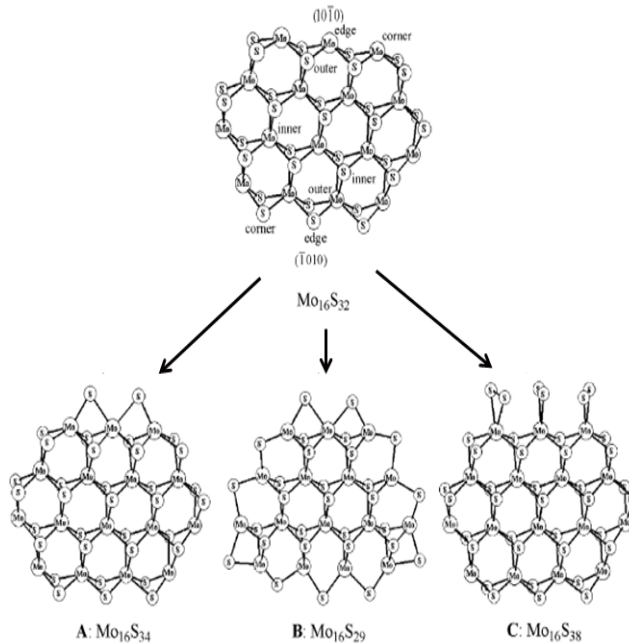


그림 6.  $\text{Mo}_{16}\text{S}_x$  ( $x=32, 34, 29, 38$ ) modes deduced from  $\text{Mo}_{27}\text{S}_{54}$ .

$[\text{Mo}_{16}\text{S}_{32}]$ :  $(10\bar{1}0)$  covered 0% with S, and  $(\bar{1}010)$  covered 100% with S. A ( $\text{Mo}_{16}\text{S}_{34}$ ):  $(10\bar{1}0)$  covered 50% with S, and  $(\bar{1}010)$  covered 100% with S. B ( $\text{Mo}_{16}\text{S}_{29}$ ): Both  $(10\bar{1}0)$  and  $(\bar{1}010)$  covered 50% with S. C ( $\text{Mo}_{16}\text{S}_{38}$ ): Both  $(10\bar{1}0)$  and  $(\bar{1}010)$  covered 100% with S] [11]

## References

- [1] Kevin K., Heavy oil & unconventional reservoirs, Chevron energy technology company (2007).
- [2] Platt, J., "Petcoke and low-rank coal/lignite supply outlook for IGCC evaluations", Rep. No. 1013038-Electric Power Research Institute Final Report, February (2006).
- [3] Gary J.H., Petroleum Refining; Technology and Economic 3rd ed., Marcel Dekker, New York (1994).
- [4] Huizinga T., Theunissen J.M.H., Minderhoud, J.K., Van Veen J.A.R. and Springett, H.J., ALCHE Meeting, San Francisco, November 22 (1994).
- [5] Leyva C, Rana MS, Trejo F, Ancheyta J. On the use of acid–base-supported catalysts for hydroprocessing of heavy petroleum. Ind Eng Chem Res, 46 7448–66 (2007).

---

## V. 국내외 정책·기술 동향

- [6] Giacomo R, Domenico S., Andrea A., Advance hydrocracking technology upgrades extra heavy oil, in: Hydrocarbon Processing, Honeywell International, Inc, 39-49 (2009).
- [7] Delbianco A.A., Faggella R., Montanari L., Petti D., Sanfilippo and Amoroso, "Process selection for upgrading Extra-Heavy oils, Venezuela Perspective", World Heavy Oil Conference, Puerto la Cruz, November paper No. 407 (2009).
- [8] Van Hardeveld R, Hartog F., The statics of surface atoms and surface sites on metal crystals. *Surface Sci*, 15 189-230 (1969).
- [9] Wu H, Yang R, Song B, Han Q, Li J, Zhang Y, Fang Y, Yenne R, Wang C., Biocompatible inorganic fullerene-like molybdenum disulfide nanoparticles produced by pulsed laser ablation in water. *ACS Nano*, 5 1276-1281 (2011).
- [10] Seo J. W, Jun Y. W, Park S, W, Nah H, Moon T, Park B, Kim G, Kim Y. J, Cheon J., Two-dimensional nanosheet crystals. *Angew. Chem. Int. Ed*, 46 8828-8831 (2007).
- [11] Zeng T, Wen X-D, Wu G-S, Li Y-W, Jio H., Density functional theory study of CO adsorption on molybdenum sulfide. *J. Phys. Chem. B*, 109 2846-2854 (2005).
- [12] Absi-Halabi M, Stanislaus A, Al-Dolama K., Performance comparison of alumina-supported Ni-Mo, Ni-W and Ni-Mo-W catalysts in hydrotreating vacuum residue. *Fuel*, 77 787-790. (1998).

# 효소 기반 이산화탄소의 포름산 및 메탄을 전환

## 기술동향

### 가. 효소기반 바이오연료 전환 개요

#### ■ 효소기반 당화기술을 통한 바이오에탄올 전환

- 현재 비식용 식물 원료 중의 하나인 목질계 바이오매스를 이용한 목질계 바이오에탄올(lignocellulosic ethanol) 생산 연구가 진행 중
- 목질계 바이오에탄올 생산에서 가장 중요한 부분 중 하나는 셀룰로오스를 당으로 전환시키는 과정이며, 이러한 당화공정으로 산/알칼리를 사용하는 방법과 효소를 사용하는 방법이 널리 쓰임
- 효소를 활용한 당화는 반응 과정에서 높은 수율을 확보할 수 있고, 부산물 발생이 거의 없는 장점이 있으나, 효소의 높은 가격, 효소의 불안정성 및 당화반응에 상당한 시간이 필요하다는 단점이 상존
- 효소반응의 단점을 해결하기 위해 효소반응에 영향을 미치지 않는 물리적 전처리 방법 개발, 유전공학을 통한 당화반응과 발효공정의 결합, 효소 고정화를 통한 재사용 연구가 진행 중

#### ■ 효소기반 바이오디젤 전환

- 효소는 화학촉매 공정에 비해 친환경적이며 에너지 효율이 높은 이점이 있어, 리파아제(lipase)를 활용한 효소기반 전환기술 개발이 진행 중이나, 효소의 높은 가격 및 효소의 불안정성, 반응에 상당한 시간이 소요되는 단점이 있어 상업화가 어려운 상황
- 효소반응의 단점을 해결하기 위해 효소의 재사용 및 안정성 향상을 위한 다양한 고정화 연구가 진행 중

#### ■ 효소기반 이산화탄소의 포름산 및 메탄을 전환

- 친환경적인 이산화탄소 포집 기술에 대한 관심이 증가되면서 생물학적 이산화탄소 포집 및 활용기술에 대한 많은 연구가 진행 중
- 효소기반 이산화탄소 전환 및 활용기술은 이산화탄소를 포름산 또는 메탄올과 같은 유용 에너지원으로 전환을 할 수 있어 최근 각광받는 추세

## V. 국내외 정책·기술 동향

표 1. 바이오연료 생산에 사용되는 효소의 종류

Categories	Enzymes	Reactions
Bioethanol	Endocellulase	Randomly cleave internal bonds of cellulose
	Exocellulase	Cleave the ends of the exposed chains of cellulose
	$\beta$ -glucosidase	Hydrolyze the disaccharide into monosaccharides (glucoses)
	Xylanase	Hydrolyze xylan into xylose
Biodiesel	Lipase	Hydrolyze fats (lipids)
Formic acid and methanol from carbon dioxide	Carbonic anhydrase	Convert carbon dioxide to bicarbonate
	Formate dehydrogenase	Convert bicarbonate to formate
	Formaldehyde dehydrogenase	Convert formate to formaldehyde
	Alcohol dehydrogenase	Convert formaldehyde to methanol

### 나. 효소기반 바이오연료 기술개발 현황

#### ■ 효소기반 당화기술을 통한 바이오에탄올 전환기술 개발현황

- Fermentation(SHF) of Steam-Exploded Corn Stover Biomass
  - 2011년에 중국 과학기술 동중국대학교(East China University of Science and Technology)에서는 fed-batch separated enzymatic hydrolysis and fermentation(SHF)에서 기존의 화학적 전처리 방법 대신 steam-explosion을 활용하여 효소반응에 영향을 미치는 byproduct의 양을 줄였고, 이를 통해 셀룰로오스 전환률 증가를 확인
- Cell surface-engineered yeast strain for effective bioethanol production
  - 2012년에 일본 고베대학교(Kobe University)에서는 cell surface engineering technique을 통해 cellulase 및 xylanase 등의 효소를 표면에 생성할 수 있도록 recombinant yeast를 만들었으며, 이를 통해 당화반응과 동시에 에탄올 생산이 가능하도록 하였음
  - 이러한 기술은 yeast 표면에서 효소반응을 통해 cellulose 및 hemicellulose를 glucose 및 xylose로 분해되며, 동시에 yeast 내부에서 에탄올로 전환이 가능
    - 당화반응과 발효를 동시에 진행하여 반응시간을 크게 줄였으며, 기존공정기술에 비해 바이오에탄올 생산 수율을 2.5배 향상시켰음



- $\beta$ -glucosidase immobilization onto magnetic nanoparticles
  - 2013년에 호주 디킨대학교(Deakin University)에서는 당화과정에서 효소의 회수를 가능하게 하고 열적안정성을 향상시키기 위해, 글루코스를 전환할 수 있는  $\beta$ -glucosidase를 자성나노입자에 고정화
    - 70도의 온도조건에서 열적안정성을 확인하고, 효소의 활성이 50%로 감소될 때까지 15번 이상 반복사용이 가능함을 확인

#### ■ 효소기반 바이오디젤 전환기술 개발현황

- Crosslinked lipases for biodiesel production
  - 가교결합을 통한 효소 고정화 방법은 흡착을 통한 효소 고정화 방법에 비해 효소 활성에 악영향을 줄 수 있지만 물리, 화학적으로 매우 안정적
  - 2009년 중국의 칭화대학교(Tsinghua University)에서는 가교결합제를 이용하여 고정화된 lipase가 반복 사용시 높은 수율을 기록
- Nanobiocatalytic approach by using nanoporous materials
  - 10nm 크기의 기공을 포함하고 있는 양파형태의 나노세공성 물질에 나노바이오촉매 접근방식을 통해 lipase를 효과적으로 고정화하여 안정화
  - 2012년 고려대학교에서는 효소의 가교결합을 통하여 효과적으로 고정화하여 200rpm의 가혹한 교반조건에서도 40일 이상 활성을 유지하는 것을 확인

#### ■ 효소기반 이산화탄소의 포름산 및 메탄올 전환기술 개발현황

- Particle-Tethered System
  - 2008년 미국의 University of Minnesota에서는 polystyrene particle을 효소고정화를 위한 담체로 활용하여 이산화탄소 공급 조건에서 formate dehydrogenase, foraldehyde dehydrogenase, alcohol dehydrogenase에 의한 순차적인 이산화탄소 전환 및 메탄올 생산을 확인
    - Succinimide 작용기로 표면 개질한 polystyrene particle에 formate dehydrogenase, foraldehyde dehydrogenase, alcohol dehydrogenase를 co-immobilization을 한 다중효소 시스템을 개발
    - 회분식 반응기를 설계하여 다중효소에 의한 메탄올 생산을 정량 분석하였으며, 고정화된 효소는 10번 이상의 재사용 이후에도 80%이상의 활성을 유지함을 확인
- Bioelectrocatalytic Conversion System
  - 2011년 미국 세인트루이스대학교(Saint Louis University)에서는 formate dehydrogenase, foraldehyde dehydrogenase, alcohol dehydrogenase의 다중 효소 시스템에 탄산무수화효소를 추가하여 메탄올 전환 수율을 증가시킬 수 있음을 보고
    - 탄산무수화효소, formate dehydrogenase, foraldehyde dehydrogenase, alcohol dehydrogenase

---

## V. 국내외 정책·기술 동향

를 고정화하고 전기화학적 방법을 통해 연쇄반응을 측정

→ 탄산무수화효소가 도입되었을 때, 메탄을 전환 활성이 3배 증가

- Microcapsule System

- 2014년 중국의 천진대학교(Tianjin University)에서는 gelatin 기반의 초박막 마이크로캡슐을 효소 고정화 담체로 활용하였으며, 이산화탄소 공급 조건에서 formate dehydrogenase, foraldehyde dehydrogenase, alcohol dehydrogenase의 안정성을 확인하고, 다중효소에 의한 순차적인 이산화탄소 전환 및 포름산, 메탄을 생산을 확인

- formate dehydrogenase의 경우 칼슘카보네이트 템플릿을 활용하여 gelatin의 표면에 코팅을 하고, foraldehyde dehydrogenase의 경우 Micheal addition 및 Schiff base 반응을 통하여 고정화를 하였으며, alcohol dehydrogenase는 실리카 가수분해, 축합반응을 통해 고정화

- 마이크로캡슐 시스템은 단순 유리효소 혼합물에 비해 높은 메탄을 전환 수율을 보였으며(약 2.5배), 저장 안정성, 재사용 안정성 역시 향상된 결과를 보임