



# 글로벌 재생에너지 연구개발 및 산업화 동향

## - ESS 및 바이오에너지를 중심으로

2018. 8. 28.



# I. ESS

## 01 기술의 정의

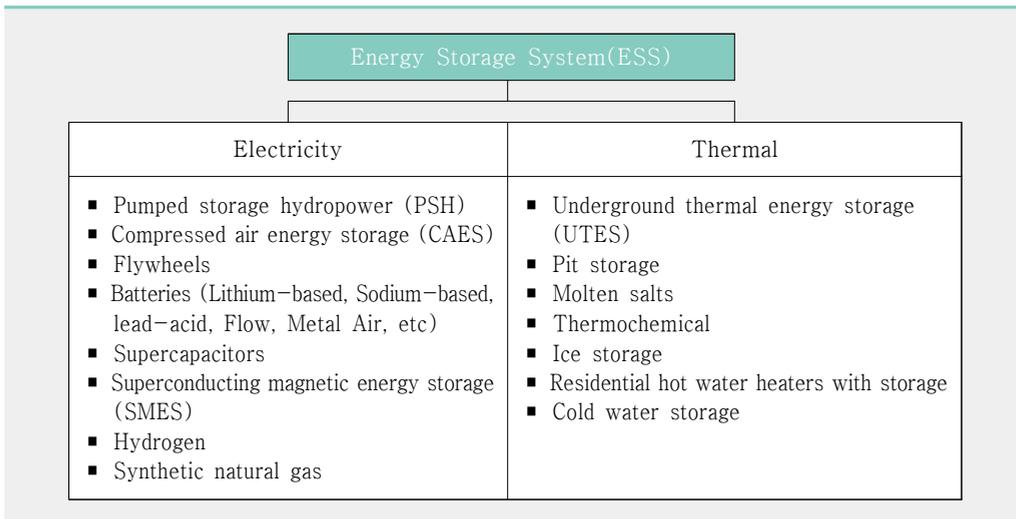
### ● 기술 정의

- 생산된 에너지를 저장 후 필요시 에너지를 공급하여 전력 피크 관리·감축 등의 효과를 나타내는 시스템
  - 전기·화학적, 전기적 또는 기계적인 저장 방법을 활용하여 에너지 활용효율성의 극대화를 이루며 온실가스 배출량을 획기적으로 절감할 수 있는 기술 분야

### ● 기술 범위

- (기술 분류) 에너지저장시스템(ESS)은 생산되는 에너지를 기준으로 하여 전기저장시스템과 열저장시스템으로 분류 가능

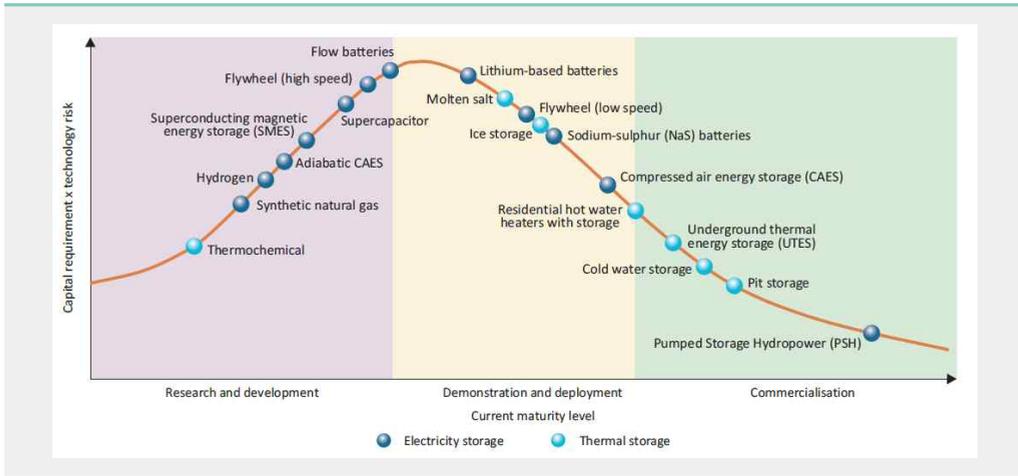
에너지저장시스템 구분





- (기술 성숙도) ESS에 적용되는 에너지 저장기술의 경우 기술 별로 개발, 실증, 상용화 단계에 있으며, 이중 가장 성숙된 에너지 저장기술은 양수발전 (PSH)으로 평가

에너지저장기술 성숙도<sup>1)</sup>



- 본 보고서에서는 전기저장시스템에 한하여 국·내외 기술개발 동향 및 시장·정책 현황 조사를 실시하였으며, 조사 결과를 바탕으로 선정된 유망(emerging) 기술에 대한 심층적인 조사·분석 진행

● 기술 활용 범위

- 전력계통망에서 전력 수요와 공급의 불균형으로 인해 발생하는 문제를 해결 하는데 활용 가능<sup>2)</sup>
  - 전력시장 내에서 기존 전력 발전기와 연계하여 추가 발전자원으로서 전력판매와 보조서비스 제공을 위해 활용 가능
  - 전기 저장 후 필요시 공급하는 기술 특성을 활용하여 피크 수요 시점의 전력 부하 조절을 통해 전력 운영 효율 최적화 지원 가능
  - 송배전망 내 전력설비로 활용되어 송배전 서비스의 안정적 운영 및 전력계통의

1) IEA (2014) Technology roadmap: Energy storage. IEA.

2) 이성인 (2014) 에너지저장시스템(ESS) 수요 관리 효과분석 및 시장조성 방안 연구. 에너지경제연구원.



신뢰성 및 안전성 확보 지원

- 신재생에너지 활용 등으로 인해 발생하는 전력수급 변동성 및 이로 인한 전력망의 불안정성 문제를 해결하기 위해 전기 공급·수요를 조절하고 수시로 변화하는 주파수를 조정하여 전력망의 신뢰도 향상에 기여
- 단기적 비상 전력원 및 장기적 자체 전원으로써 정전 등 전력 계통의 비상 상황 발생 시 활용 가능
- 전력 수용가의 경우 ESS를 설치·활용함으로써 전력 공급자에게 의존하던 상황에서 벗어나 자체공급을 통해 전기요금 절감 및 외부 전력계통망으로 인한 피해 발생 저감 효과 발생 가능

ESS 활용 서비스 분야 3)

활용 분야	세부 활용 서비스
발전서비스	전력공급 이전(Electric Energy Time-shift): Arbitrage
	전력공급 용량(Electric Supply Capacity)
전력계통 보조 서비스	주파수 조정(Regulation)
	예비력 용량(Reserve)
	전압 보조(Voltage Support)
	발전기 기동(Black Start)
	기타(Other Related Uses)
송전망 서비스	송전망 투자 지연(Transmission Upgrade Deferral)
	송전망 혼잡 완화(Transmission Congestion Relife)
배전망 서비스	배전망 투자 지연(Distribution Upgrade Deferral)
	전압 보조(Voltage Support)
신재생 보조 서비스	신재생에너지 순간 출력 변동 완화(Renewable Capacity Firming)
	지속적 출력 변동 완화(Renewable Grid Integration)
수용가 에너지관리 서비스	전력 품질(Power Quality)
	전력 신뢰도(Power Reliability)
	전력부하 이동(Retail Electric Energy Time-shift)
	피크수요 부과금관리(Demand Charge Management)

3) 이성인 (2014) 에너지저장시스템(ESS) 수요 관리 효과분석 및 시장조성 방안 연구. 에너지경제연구원.



## 02 기술종류 및 장단점

### ● 기술 종류

- 에너지 저장방식에 따라 전기·화학적 에너지 저장(리튬 이온계 배터리, 비리튬 이온계 배터리), 전기적 에너지 저장, 기계적 에너지 저장으로 구분 가능

에너지 저장방식 구분

저장방식		기술종류
전기·화학적 에너지 저장	리튬 이온계 배터리	리튬이온전지
	비리튬 이온계 배터리	납축전지(Lead acid, Advanced lead acid)
		Na based 전지(NaS, Sodium metal halide 등)
		흐름전지(RFB)
		Metal air 전지(Li-Air 전지 등)
		리튬-황 전지
전기적 에너지 저장	슈퍼커패시터	
	Superconducting magnetic energy storage(SMES)	
기계적 에너지 저장	양수발전(PSH)	
	압축공기저장장치(CAES)	
	플라이휠	

### ● 전기·화학적 에너지 저장

- (리튬이온전지) 이온 상태로 존재하는 리튬이온(Li+)이 양극과 음극 사이로 이동하면서 전기를 생성
  - 양극재, 음극재, 전해질, 분리막으로 구성되며, 4대 소재 비용이 전체 생산원가의 50% 차지<sup>4)</sup>

4) 강정화 (2014) 리튬 이차전지 산업 동향. Issue Briefing, Vol. 2014-G-01, 한국수출입은행 해외경제연구소.



- 무게 대비 에너지 밀도가 크고, 자가 방전으로 인하여 발생하는 전력 손실이 적으며 기억효과(memory effect)가 발생하지 않는 장점이 있으나, 안정성과 수명성 검증이 필요하며 높은 비용이 단점<sup>5)</sup>
- (납축전지) 산화납을 포함한 납의 격자를 전극으로 하고 묽은 황산(비중 12.5)을 전해질로서 사용
  - 다공질 납을 음극의 활물질로 이산화납을 양극의 활물질로 활용하며 자동차용 등으로 활용 중
  - 낮은 비용과 높은 안정성이 장점이나 에너지 밀도가 낮은 것이 단점
- (Na based 전지) 나트륨(Na)을 이용한 에너지 저장장치로 NaS, Sodium metal halide(ZEBRA전지), 나트륨 용융염 전지(Sodium molten salt battery)와 나트륨이온전지(Sodium ion battery) 등이 존재<sup>6)</sup>
  - (NaS, Sodium Metal Halide) 300~350°C의 온도에서 용융상태의 나트륨 이온이 전해질을 이동하면서 전위차 발생
  - (나트륨 용융염 전지) 100°C 이하에서 작동하는 이온성 액체를 전해액으로 사용하여 기존 NaS, Sodium Metal Halide에서 발생하는 재료열화와 Na 폭발 등의 문제가 해결 가능한 전지
  - (나트륨이온전지) 리튬이온전지를 대체할 수 있는 2차 전지로서 연구 진행 중이며 충전시 양극에서 나트륨 이온이 음극으로 이동하며 방전시 음극에서 양극으로 나트륨 이온이 이동
  - 높은 에너지 밀도와, 낮은 비용, 대용량화가 용이하다는 장점이 있는 반면 고온 시스템 활용으로 인한 안정성 및 에너지 효율이 낮은 것이 단점
- (RFB) 전해질 내 이온의 전기화학적 산화·환원 전위차를 이용하여 전기를 저장
  - 활용되는 산화, 환원 반응 물질(레독스 커플)에 따라 전지의 전위가 결정되고 전해조의 크기에 따라 전기 저장량이 결정되며, 스택의 크기에 따라 출력량이 결정<sup>7)</sup>
  - 대용량, 장시간 사용이 가능하고 상대적으로 낮은 비용이 장점이나 에너지밀도와

5) 이성인 (2014) 에너지저장시스템(ESS) 수요 관리 효과분석 및 시장조성 방안 연구. 에너지경제연구원.

6) 유철휘 외 (2015) 나트륨을 활용한 이차전지 연구동향. 한국 수소 및 신에너지학회 논문집, Vol. 26, No. 1, pp. 54~63.

7) 이성인 (2014) 에너지저장시스템(ESS) 수요 관리 효과분석 및 시장조성 방안 연구. 에너지경제연구원.



에너지효율이 낮은 것이 단점

- (Metal air 전지) 아연, 알루미늄, 리튬 등을 공기 중의 산소와 결합시켜 전기를 발생하는 전지
  - 전지 내부에 화학산화제 대신 안정된 금속이 들어감으로 인하여 폭발, 화재염려가 없고 기존 2차 전지보다 높은 에너지 밀도를 나타냄
- (리튬-황 전지) 황을 양극 활성물질로 활용하며 황과 리튬 사이에 가역성 전기화학 반응을 이용하는 에너지 저장 장치

## ● 전기적 에너지 저장

- (슈퍼캐퍼시터) 소재의 결정 구조 내에 저장되는 일반 전지와는 달리 소재의 표면에 대전되는 형태로 전력 저장이 이루어짐
  - 높은 출력밀도, 긴 수명 및 안정성을 보이는 장점이 있으나 에너지 밀도가 낮고 높은 비용이 단점
- (SMES) 전기저항이 없는 초전도 코일에 전류를 흘려서 만든 자기장 내에 전기를 저장하는 기술
  - 충방전에 있어 시간 지연이 거의 발생하지 않기 때문에 필요시 전력을 즉시 사용 가능
  - 높은 출력밀도를 보이나 낮은 에너지 밀도와 높은 비용이 단점

## ● 기계적 에너지 저장

- (PSH) 위치에너지를 활용하는 기술로서 하부 저수지의 물을 상부로 끌어올려 저장하고 낙차를 이용하여 전력을 생산
  - 가장 오래된 대표적 에너지 저장기술로서 전 세계적으로 활용되는 전력 저장장치의 95% 이상이 양수발전으로 이루어짐<sup>8)</sup>
  - 대용량 발전이 가능하고 비상 예비 전력용으로 활용가능하며 발전단가가 낮은 장점이 있으나 환경부담 발생 및 입지적 제약이 단점
- (CAES) 잉여 전력을 활용하여 공기를 압축·저장 후 필요시 저장된 압축 공기를 이용하여 전력을 생산

8) 이성인 (2014) 에너지저장시스템(ESS) 수요 관리 효과분석 및 시장조성 방안 연구. 에너지경제연구원.



- 암반공동, 암염공동, 대수층, 천연동굴, 폐 갱도 등이 압축 공기 저장공간으로 활용 고려
- 대용량 에너지 저장이 가능하며, 발전단가가 낮고 유지·보수가 용이하나 지리적 제약 및 높은 초기 구축비용 등이 단점
- (플라이휠) 전기를 회전에너지로 저장 후, 회전력을 이용하여 다시 전기를 생산하는 에너지 저장장치
  - 에너지 효율이 높고 긴 수명이 장점이나 높은 초기 구축비용과 낮은 에너지 밀도가 단점

에너지저장 기술별 성능 특성<sup>9)</sup>

기술종류	성숙도	출력(MW)	Efficiency(%)	수명(년)
리튬이온전지	설치	0.001~5	80~90	10~15
Na based 전지	설치	1~200	75~85	10~15
RFB	설치	0.001~5	65~85	5~20
슈퍼캐퍼시터	실증	<1	85~98	20~30
SMES	실증	<10	90~95	20
PSH	성숙	100~5000	70~85	30~50
CAES	설치	100~300	50~75	30~40
플라이휠	설치	0.001~20	85~95	20~30

에너지저장 기술별 장단점<sup>10)</sup>

기술종류	장점	단점
리튬이온전지	높은 에너지밀도, 높은 에너지효율	안정성·수명 미검증, 높은 비용
납축전지	낮은 비용, 안정성 및 신뢰성	낮은 에너지 밀도
Na based 전지	높은 에너지 밀도, 낮은 비용, 대용량화 용이	고온 시스템 필요, 낮은 에너지효율
RFB	낮은 비용, 대용량화 용이, 장시간 사용가능	낮은 에너지밀도, 낮은 에너지효율
슈퍼캐퍼시터	높은 출력 밀도, 긴 수명, 안정성	낮은 에너지밀도, 높은 비용
SMES	고출력	낮은 에너지 밀도, 높은 운영비용
PSH	대용량화 용이, 낮은 발전단가	낮은 에너지효율, 환경부담, 입지제약
CAES	대용량화 용이, 낮은 발전단가	낮은 에너지효율, 입지제약, 높은 초기 비용
플라이휠	높은 에너지효율, 긴 수명, 급속 저장가능	초기 구축비용 과다, 낮은 에너지밀도

9) 이성인 (2014) 에너지저장시스템(ESS) 수요 관리 효과분석 및 시장조성 방안 연구. 에너지경제연구원.

10) 이성인 (2014) 에너지저장시스템(ESS) 수요 관리 효과분석 및 시장조성 방안 연구. 에너지경제연구원.

### 03 Value chain





## II. 기술개발동

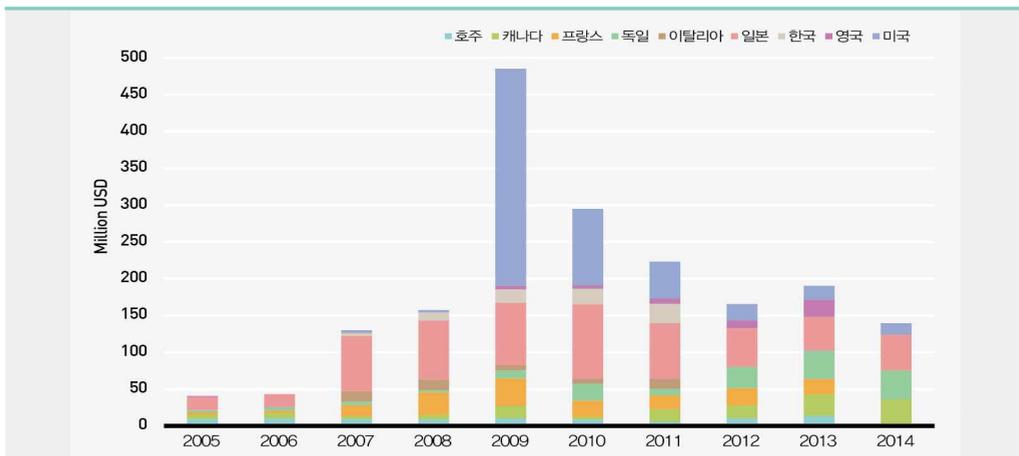
### 차

#### 01 해외 기술개발 동향

##### ● 해외 R&D 투자 현황

- OECD 국가별 환경관련 기술 R&D 예산<sup>11)</sup>내에서 에너지 저장장치(이차전지)에 투자비율이 높은 국가는 일본과 미국이며, 그 뒤를 이어 프랑스와 독일 캐나다 등으로 나타남
  - 한국의 경우, '12년 이후 데이터 입력이 되지 않은 상황임에도 불구하고 높은 투자액을 나타내고 있음
- 주요국별 '09년 가장 높은 R&D 예산이 집행되었으며, 독일, 영국, 캐나다 등의 예산은 증가하는 추세

주요국별 에너지 저장장치(이차전지) 민간/국가 R&D 투자



11) OECD Factbook 2014, 본예산은 국내총연구개발비(GERD)이며, 국민, 연구기관, 대학 및 정부 연구소 등에서 수행하는 총 R&D지출/ IEA, <http://www.oecd-ilibrary.org/energy/data>

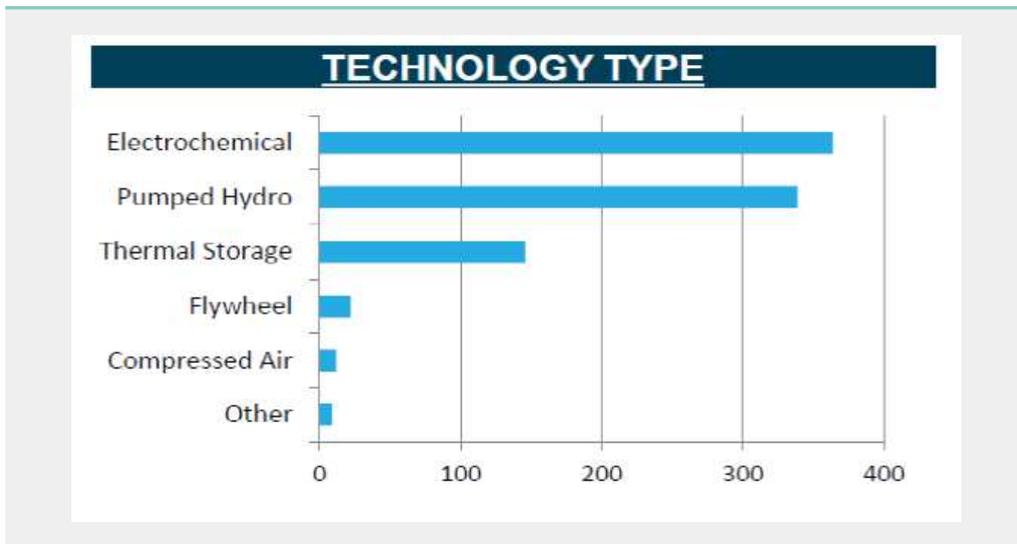


## ● 산업 동향 및 연구 동향

### 가) 총괄현황

- 전세계적으로 '14년 5월 기준 893개<sup>12)</sup>(185GW)의 에너지 저장기술 관련 프로젝트가 진행 중이며 전기·화학적 에너지 저장과 기계적 에너지 저장기술 분야가 주요 관심 분야로서 프로젝트 진행 중
  - 국가별로 살펴보면, 미국이 350건 정도로 가장 높게 나타났으며 그 뒤를 이어 중국, 일본 등이 개발에 참여
  - 한국은 에너지 저장장치 관련 프로젝트를 진행 중인 국가 순위에서 상위 10위에 포함

기술분야별 프로젝트 현황<sup>13)</sup>

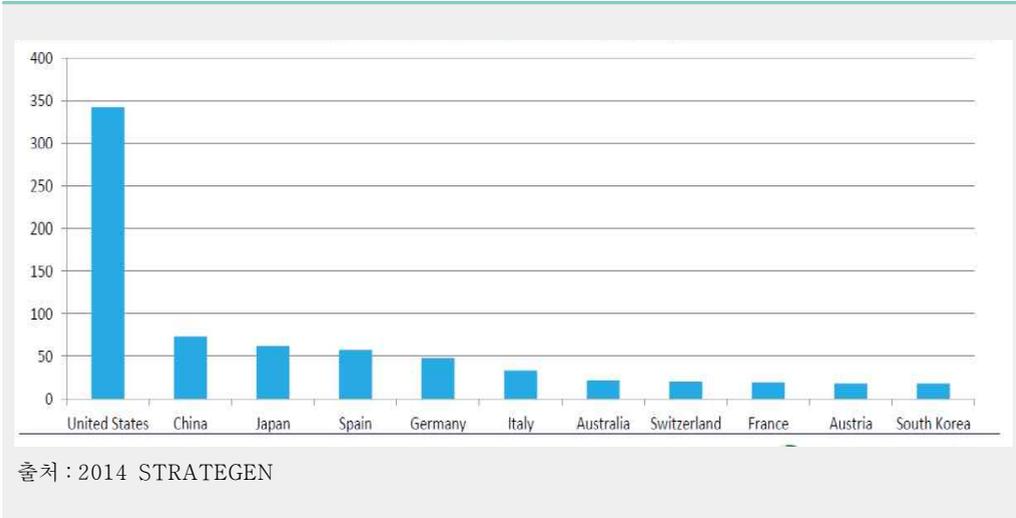


12) 윤용환(2015) 전력회사의 ESS활용과 전망. Korea ESS Conference 2015 자료집, INI R&C.

13) 윤용환(2015) 전력회사의 ESS활용과 전망. Korea ESS Conference 2015 자료집, INI R&C.



국가별 ESS 프로젝트 Top 10 현황<sup>14)</sup>



### 나) 전기·화학적 에너지 저장(리튬 이온계 배터리)

- Saft사에서 Intensium® Home 10M 리튬이온 ESS 출시
  - 주거용, 소형 태양광 등 성능향상, KACO사의 신형 삼상 인버터와 결합 자가소비를 극대화 하는 prosumer 실현
  - 240V, 리튬이온 모듈 5개로 구성, 정격 10kW, 인버터 결합시 최대 출력 30kW 수개의 분산형 ESS를 결합해서 수요와 공급을 조정함으로써 grid 안정성 개선 기여
  - 주파수 조정 등 망조정 기술 구현 및 스마트폰을 활용하여 주파수나 자가소비모드 원격조정 가능
- Stanford Univeristy 연구진은 용액도포를 활용하여 과열이나 폭발 방지가 예방되는 리튬이온전지 개발
  - 배터리가 손상되거나 과충전되면 발열반응으로 화재나 폭발이 일어나는데 이는 전극사이에 dedrite라는 물질이 형성돼서 극간막을 손상시키기 때문임

14) 윤용환(2015) 전력회사의 ESS활용과 전망. Korea ESS Conference 2015 자료집, INI R&C.



- 기존에 쓰던 lithium nitrate에 lithium polysulfide를 혼합하면 dendrite 침착방지 용액이 탄생. 용액 도포시 capacity와 효율이 향상됨
- 기존 nitrate만 도포시 효율 180회 방전후 92% 효율기록, 신형 용액 도포시 300회 방전후 99% 효율 기록
- 아직 소형 coin cell battery에서만 실험중이나, dendrite에 취약한 lithium air나 lithium sulfur 배터리에도 활용 가능
- MIT 연구팀에 의해서 수명연장과 관련한 나노물질 발견
  - 리튬이온전지의 수명단축은 흑연전극의 팽창을 통한 리튬이온의 소실과 관련있음
  - 현재 사용되는 흑연 유력한 대안물질인 알루미늄의 경우 수축팽창율이 크고 공기 노출시 불필요한 화합물이 침착되는 문제가 있음
  - MIT 연구팀이 이 문제 해결을 위해 sulfuric acid와 titanium oxysulfate에 알루미늄 나노물질을 담궈두는 실험을 하던중 실수로 기준시간 이상 됐더니 새로운 물질이 발견됨
  - 티타늄 dioxide shell에 알루미늄 yolk가 쌓여있는 달걀모양의 물질인데 yolk와 shell 사이에 적절한 공간이 있어 yolk 팽창 수축시 shell에 영향을 주지 않게되며 리튬이온 손실없이 알루미늄의 정상적인 충방전 가능하게 됨
- 미국을 비롯한 주요국들에서 리튬이온전지 관련한 실증사업 증가
  - 미국 Tehachapi 풍력발전소에 SCE사가 8MW(32MWh) 용량의 리튬이온전지로 구성하였으며 에너지부(DOE)와 1:1 매칭으로 지원됨
  - 유럽 Solion Project Saft, Coenergy사의 ruddnm 5~15kW급 태양광 연계 가정용 Lib-ESS75개의 실증 진행

#### 다) 전기·화학적 에너지 저장(비리튬 이온계 배터리)

- (Na based전지) 미국 GE는 Sodium halide 전지 제조확장을 위해 7천만 달러를 추가 배정하여 투자
  - “Durathon”이란 Na 전지는 납축전지보다 부피는 작지만, 10배 이상 오래 사용할 수 있는 전지로 UPS뿐만 아니라 Heavy-duty-hybrid Application에 사용가능
- 일본의 NGK는 NaS 전지 시스템의 생산이 가능한 유일한 곳으로 '16년 10



조원 수준으로 예상



- 미국, 유럽 등은 과거 전기자동차 등에 NaS 전지를 적용하기 위한 연구를 진행하였으나 시장 출시에는 실패
  - 최근 에너지 저장에 대한 관심으로 NaS에 대한 연구개발 및 실증을 진행 중
- 중국의 SICCAS에서 '80년부터 NaS 전지에 대한 연구가 진행 중으로, 최근 단전지 (20~650Ah)와 모듈 제작에 성공
  - 또한 MW급 NaS 전지 시스템 개발을 상해전력과 공동으로 진행 중
- 독일 Ilmenau 공대 연구팀 리튬이온전지를 대체할 나트륨이온전지 개발
  - 기존 Na-ion의 단점이 충방전시간이 길고, 전력밀도가 낮다는 것이었는데 새로운 배터리는 가장 최근 보고된 나트륨이온전지 보다 전류밀도가 약 1,000배(10 A/g)이며 용량도 약 72 mAh/g으로 대폭 향상됨
  - 가역용량 160 mAh/g이며 400회 충·방전 후에도 70%의 retention을 기록할 정도로 축전용량이 뛰어나
- (RFB) Pacific Northwest Laboratory 연구팀이 기존 고체전극을 두 개의 액체 전극으로 대체하여 기존 대비 두배 높은 에너지밀도를 나타내는 새로운 RFB 개발
  - Black zinc-polyiodide liquid와 Clear zinc-iodide liquid 가 액체전극으로 사용
  - 각각의 탱크에서 흘러나온 액체가 스택으로 들어오고 porous membrane을 사이에 두고 화학 반응을 나타냄
- ViZn Energy System에서 Hecate Energy와 손잡고 온타리오 전력망의 보조 예비전원으로 2MW Zinc-Iron RFB 공급
  - '16년 취역예정이며 유럽과 북미 최대의 전력망 취역 RFB를 목표로 함
- (Metal air 전지) IBM은 2009년부터 "The battery 500 project"를 통해 기존 전지보다 에너지밀도가 10배 증가된 전지 개발을 위해 노력
  - 1번 충전으로 500마일을 주행하는 전기자동차용 배터리를 개발하는 것을 목표로 알곤국립연구소, 로렌스, MIT, PNNL 등 미국 내 유수의 연구소 및 대학들과 협력 연구를 진행
  - '11년부터는 폭스바겐, 센트럴글라스, 아사히케미컬 등의 기업 및 한국화학연구원이 해당 프로젝트에 합류하여 연구개발을 공동으로 수행



- 미국 DOE의 알곤국립연구소는 리튬공기전지가 방전과 충전을 반복하는 동안 양극의 특성을 연구한 결과 발표
  - 미국 에너지부는 전기자동차의 리튬공기전지 연구를 위하여 보조금을 승인하 바 있으며 이에 관한 지속적인 연구가 이루어지고 있음
- PolyPlus는 LISICON(Li Super-ionic Conductor) 형의 이온 전도성 세라믹 박막을 리튬 전극에 코팅하여 전해질의 반응을 억제함으로써 리튬금속 전극의 안정성을 크게 향상 할 수 있음을 보고
  - PolyPlus는 리튬금속 음극의 표면에 Li<sub>2</sub>N, Li<sub>3</sub>P, LiPON 등의 이온전도성 세라믹 박막을 형성하여 리튬음극의 덴드라이트 성장을 억제하고 안정화하는 기술을 원천 특허로 확보
  - PolyPlus는 최근 PLE(Protected lithium electrode)를 개발하여 리튬공기전지에 적용하는 연구를 진행 중
- 일본의 AIST 연구소는 고용량의 리튬공기전지 개발을 위하여 NEDO를 중심으로 학연 협동으로 장기적 연구를 진행 중
  - AIST에서는 '11년 그래핀을 공기극으로 사용한 리튬공기전지의 성능 개선을 발표
  - 기존의 공기극은 귀금속 촉매를 함유한 반면, AIST는 촉매를 전혀 포함하지 않은 그래핀 전극을 사용하여 안정한 충방전 사이클을 나타냄
  - '13년에는 CNT와 이온성액체를 기반으로 하는 Crosslinked network gel을 전해질로 이용하는 리튬공기전지에 관한 연구결과 발표
  - 일반적인 공기 중에서 수분의 침투를 억제하여 10,000 mAh/g의 방전 용량을 보임
- '13년 프랑스의 국영전기공사 연구팀에서는 공기극 설계를 개선한 리튬공기 전지에 관한 내용을 전기화학회에 발표
- 독일 BASF는 스위스 전지업체와 함께 공동개발을 통하여 양극과 분리막, 전해질 같은 소재뿐만 아니라 리튬공기전지 등의 차세대 전지 개발 추진 중
- '12년 중국과학원은 응용화학연구소에서 수행한 리튬공기전지 전해액 분해 억제, 삼상의 계면 제어, 리튬공기전지 시스템 및 구조 최적화 연구를 통하여 도출된 리튬공기전지의 수명 향상 관련 연구 결과를 발표
  - 바이오 에너지 및 바이오 프로세스 연구소에서는 질화물 재료를 이용한 음극재료를 개발하여 여러 건의 특허 취득



- (리튬-황 전지) 미국 DOE는 '10년부터 현재까지 연간 350만달러 규모로 오 크리지국립연구소(ONRL)에 자동차용 전지의 미래기술로 리튬-황 전지에 대한 연구 지원
- 독일 BASF에 5,000만불에 인수된 미국의 Sion Power 사는 '00년 초부터 ARPA-E 과제로 연간 500만불 규모의 리튬-황 전지 관련 연구를 수행 중
  - 2.5 Ah급 리튬-황 전지로 350 Wh/kg 수준의 에너지 밀도를 실현
- 미국 PolyPlus 에서는 450만불 규모로 ARPA-E 및 영국 국방부 과제를 진행 중이며 수계 전해질에서도 사용 가능한 리튬 보호막 기술 보유
- 일본 도요타 자동차는 동경공대와 공동으로 전고체 전해질을 적용한 리튬-황 전지에 대한 연구 개발 진행 중
- 중국의 경우 난카이대 등을 중심으로 활발한 연구가 진행되고 있으며 특히 Carbon-sulfur nano-composite를 중심으로 양극 소재 개발 연구 진행 중
- 영국의 Oxis Energy는 '14년 300 Wh/kg 의 에너지 밀도를 갖는 5 Ah급 전지 개발을 완료하였다고 발표
  - 고에너지 5 Ah 셀의 경우 300 Wh/kg의 에너지 밀도와 수명은 100회 내외 수준이며 장수명 5 Ah급 전지의 경우 160 Wh/kg과 1,000회 (DOD 80% 충방전)의 수명 보유
  - Oxis Energy는 리튬금속 및 Sulfur cathode, 난연성 전해질 및 리튬금속 보호 기능을 갖는 첨가제 등 특화된 기술에 대해 50 여개의 특허 군 보유

라) 전기적 에너지 저장

- (슈퍼커패시터) 기술선진국들의 주도하에 진행중이며, 미국의 경우, 다양한 기술력 검증이 진행중
  - 미국 센트럴플로리다대학은 슈퍼커패시터의 용량을 향상시키고 전기전도도를 개선하기 위해 나노구조 전극을 넓은 표면에 프린트하는 기술을 개발
  - 미국 UCLA 대학은 에너지저장 부품의 크기 축소를 가능하게 하는 '그래핀 마이크로 슈퍼커패시터'를 대량 생산할 수 있는 공정을 개발하였으며, 이를 태양전지 뒷면에 제작된다면 낮에 생산된 전력을 저장하여 밤에 사용하는 효율적인 에너지 운영이 가능



- 미국 MIT는 빛과 열 등의 동력원을 통해 운전이 가능한 에너지를 결합하는 회로를 개발하였고 이를 슈퍼커패시터 에너지 저장에 사용한다면 배터리가 없는 모니터링 시스템 구현이 가능
- 호주의 모나쉬대학은 그래핀 기반의 슈퍼커패시터를 개발을 통해 기존대비 12배 이상의 에너지저장 밀도를 갖는 새로운 물질개발에 성공
- 중국은 탄소나노튜브 슈퍼커패시터 개발에 성공
- Rice University와 Queensland University 연구팀이 현재의 배터리를 대체할 슈퍼커패시터 film 개발
  - 강성이 뛰어난 초박막 graphene film을 만들고 그 사이에 electrolyte layer를 둠, 단시간에 다량의 에너지를 방출할 수 있게 됨
  - 기존배터리가 공간을 차지하는 데 반해 차체, 지붕, 바닥이나 문등에 설치가능하며, 차체는 가볍게 에너지는 필요한 만큼 공급 가능으로 수분내에 충전이 가능하며 기존 배터리보다 방전속도가 훨씬 빠름

#### 마) 기계적 에너지 저장

- (플라이휠) 아일랜드 정부와 아일랜드 SchwungradEnergie사는 European Commision Horizon 2020 으로부터 2.55 백만 유로를 지원받아 First Hybrid-Flywheel ESS Plant를 유럽에 도입
- 앵커리지의 Beacon Power사는 Alaskan Energy Storage Project에 플라이휠 활용
  - 신재생에너지원의 Intermittency를 해결하기 위한 pilot project로서 기존 화학연료 전지와 flywheel을 결합한 320kW 시스템 구축



## 02 국내 기술개발 동향

### ● 국내 국가R&D 투자 현황<sup>15)</sup>

- 국가R&D 추진실적을 살펴보면, '10년~'14년까지 현재 6,131억원이 지원되었으며, 초기에는 ESS용 리튬이온전지 기술개발에 집중하였으나, 현재는 장주기 RFB, NaS 등의 개발로 다변화 추세

- 지원비율: LIB 53%, SC 17%, Na-based 13%, RFB 12%, 기타 5%

에너지 저장장치(이차전지) 연구개발투자(2010 ~ 2014년)

(단위:백만원)						
구분	10년	11년	12년	13년	14년	합계
국가R&D투자	66,579	96,438	127,350	178,641	144,131	613,140

- 연구개발단계로 살펴보면, '14년 개발연구(54.0%) 비중이 가장 높게 나타남
- 지원 초기에는 기초연구비중이 높았으나, 점차 응용과 개발연구 비중이 증가추세

에너지 저장장치(이차전지) 연구개발단계별 투자비중



15) 녹색기술센터 (2015) 2014 녹색기술 국가연구개발사업 조사분석 보고서. 녹색기술센터.



- ESS 과제에 참여한 주체는 '14년 현재 중소기업이 비중이 34.0%로 가장 높게 나타났으며, 초기에는 출연연구소 대학 대기업 등과 고른 분포에서 점차 중소기업으로 증가하고 있음

ESS 연구개발단계별 투자비중(2010~2014년)

(단위:백만원)

구분	10년		11년		12년		13년		14년	
	금액	비중	금액	비중	금액	비중	금액	비중	금액	비중
출연연구소	16,454	24.7	16,244	16.8	20,414	16.0	29,129	16.3	22,584	15.7
대학	11,261	16.9	11,906	12.3	14,591	11.5	27,538	15.4	25,313	17.6
대기업	15,865	23.8	21,299	22.1	35,198	27.6	24,452	13.7	16,899	11.7
중소기업	17,271	25.9	32,476	33.7	37,443	29.4	53,137	29.7	48,980	34.0
중견기업	-			0.0	-		22,430	12.6	21,701	15.1
기타	5,728	8.6	14,514	15.0	19,704	15.5	21,955	12.3	8,655	6.0
소계	66,579	100.0	96,438	100.0	127,350	100.0	178,641	100.0	144,131	100.0

- 부처별로 살펴보면, 산업통상부는 주로 개발연구에 중심으로 투자했으며, 미래창조과학부와 교육부는 기초연구의 비중이 높으며, 중소기업청은 개발연구에만 집중되어있음

연구개발단계별 부처별 현황(2014년)





## ● 국내 기술 수준<sup>16)</sup>

- '15년 현재 우리나라의 기술수준은 세계최고기술포유국(일본) 대비 87.6%로 주요 5개국 중 4위를 차지<sup>17)</sup>
  - 일본(100.0%), 미국(96.2%), EU(88.1%)에 비해 기술수준이 낮은 반면, 중국(75.5%) 보다는 12.1%p 우위 유지
  - 3년후 주요 5개국 간의 기술 수준 순위는 세계최고기술포유국(일본) 대비 미국(98.6%), 한국(94.0%), EU(91.7%), 중국(84.8%) 순일 것으로 전망

주요 5개국별 2015년도 기술수준 및 기술격차 비교



- (전략 제품·서비스 기술 수준) 3개의 전략제품 서비스 기술 중 우리나라의 리튬계 에너지 저장시스템 기술이 세계최고기술포유국(일본)에 버금\*가는 기술 수준을 보유

16) 녹색기술센터 (2015) 15년 녹색기술 수준조사 보고서. 녹색기술센터.

17) 최종 생산물을 기준으로 리튬계 에너지 저장시스템, 비리튬계 에너지 저장시스템, 기계적 에너지 저장시스템으로 구분하여 기술 수준조사 실시



- \* 해당 분야 주요 5개국별 기술수준 순위 : 일본(100.0%) > 한국(94.0%) > 미국(87.2%) > 중국(78.9%)
- 비리튬계 에너지 저장 시스템의 기술수준은 현재 80.0%로 낮은 편이나 3년 후에는 10.3%p 상승한 90.3%에 도달하여 EU와 함께 3위를 차지할 것으로 전망
- ※ '15년 기술수준이 유사했던 기계적 에너지 저장 시스템 기술수준(80.0%)의 3년 후 기술수준은 85.0%로 전망된 것과는 대조적인 상황

전략제품·서비스별 주요 국가의 기술수준 비교

전략제품 서비스	최고 기술 보유국 (*15)	최고 기술 보유국 (*18)	(단위 : %)														
			한국			미국			일본			중국			EU		
			15년 (A)	18년 (B)	B-A	15년 (A)	18년 (B)	B-A	15년 (A)	18년 (B)	B-A	15년 (A)	18년 (B)	B-A	15년 (A)	18년 (B)	B-A
리튬계 에너지 저장시스템	일본	일본	94.0	97.3	3.4	87.2	90.6	3.4	100.0	100.0	0.0	78.9	85.6	6.7	80.5	85.6	5.0
비리튬계 에너지 저장시스템	일본	일본	80.0	90.3	10.3	91.7	95.3	3.7	100.0	100.0	0.0	73.3	80.3	6.9	85.0	90.3	5.3
기계적 에너지 저장시스템	미국	미국	80.0	85.0	5.0	100.0	100.0	0.0	90.0	90.0	0.0	66.7	80.0	13.3	90.0	90.0	0.0
평균	일본	일본	87.6	94.0	6.4	96.2	98.6	2.4	100.0	100.0	0.0	75.5	84.8	9.3	88.1	91.7	3.6

- 요소기술별 기술진입장벽에 대한 전문가 응답 현황을 살펴보면, 리튬계 및 비리튬계 소재기술에 대한 진입장벽이 높은 것으로 인식(79.1%, 78.1%)
  - 비리튬계 에너지 저장 시스템 분야의 경우에는 셀 제조 기술에 대한 진입장벽이 타 분야 대비 상대적으로 높은 수준(40.5%)
  - 기계적 에너지 저장 시스템 분야의 경우에는 Value Chain 전반적으로 보통 수준의 난이도를 가지는 것으로 평가



요소기술별 기술진입장벽에 대한 전문가 응답 현황

요소기술		낮은 편	보통	높은 편
리튬계 에너지 저장 시스템	리튬계 에너지 저장 시스템 분야 소재 기술	8.7	12.2	79.1
	리튬계 에너지 저장 시스템 분야 셀 제조 기술	15.0	75.4	9.7
	리튬계 에너지 저장 시스템 분야 시스템 기술	4.7	65.4	29.9
비리튬계 에너지 저장 시스템	비리튬계 에너지 저장 시스템 분야 소재 기술	0.0	21.9	78.1
	비리튬계 에너지 저장 시스템 분야 셀 제조 기술	3.5	56.0	40.5
	비리튬계 에너지 저장 시스템 분야 시스템기술	2.8	77.1	20.1
기계적 에너지 저장 시스템 분야	기계적 에너지 저장 시스템 분야 소재 기술	0.8	80.6	18.6
	기계적 에너지 저장 시스템 분야 저장장치 제조 기술	3.1	77.6	19.3
	기계적 에너지 저장 시스템 분야 시스템기술	6.9	63.3	29.8

### ● 산업 동향 및 연구 동향

#### 가) 전기·화학적 에너지 저장(리튬 이온계 배터리)

- 리튬이온전지 제조관련 세계최고기술보유국으로 20~60Ah 급 전지를 대량 생산하고 있으며, 100Ah 이상 전지도 개발 진행 중
- LG화학은 美 최대 전력회사 및 유통업체와 강력한 비즈니스 생태계 구축을 바탕으로 가정용, 전력망용에 이어 상업용까지 ESS전 영역 배터리 공급을 통해 북미 시장 주도권 강화 기반 마련
  - Gexpro 社가 개발중인 45kWh급 ESS제품에 LG 화학 배터리 탑재하여 美 학교·병원·오피스 빌딩 등 상업용 건물에 공급예정



- 삼성SDI은 전력설비, 자동화 기술분야에서 글로벌 기업인 스위스 ABB社와 마이크로그리드에 최적화된 ESS 솔루션 개발 및 판매하기 위한 MOU체결 등을 실시

'15년 국내 리튬이온전지 주요기업 동향<sup>18)</sup>

국내 기업	주요 내용
삼성 SDI	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 샤프가 영국에 출시한 태양광+ESS 결합모델에 ESS 공급계약 체결(1월)</li> <li>■ 스위스 ABB와 MOU 체결(3월)</li> <li>■ ESS와 UPS 결합한 'UES' 개발(4월)</li> <li>■ 미국 듀크에너지에 36MW 규모 ESS 프로젝트 수주(7월)</li> </ul>
LG 화학	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 홋카이도 태양광 발전소 ESS 배터리 공급업체 선정(2월)</li> <li>■ 북미 PCS업체 Eguana Technologies와 ESS 협력 MOU 체결(4월)</li> <li>■ 미국 Gexpro 45kWh급 상업용 ESS에 배터리 공급 MOU 체결(5월)</li> <li>■ 듀크에너지에 2MW 규모 ESS 공급(5월)</li> <li>■ 가정용 ESS 신제품 유럽·호주시장 출시(6월)</li> </ul>
SK 이노베이션	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 호남화력에 주파수조정용 1MWh ESS 및 현대자동차 울산공장 부하 조정용 100kWh ESS 설치 예정</li> <li>■ 청주공장 리튬이온전지 생산라인 재가동</li> </ul>
코삼	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 미국 ESS기업 Sunverge 지분 일부 인수, 파트너십 체결(1월)</li> <li>■ 호주 전력회사 파워코호주에 ESS용 배터리 2.2MWh 공급(7월)</li> <li>■ 호주 퀸즐랜드대 태양광발전소에 800kWh 배터리 공급</li> <li>■ 호주 전력회사 트랜스그리드에 전력피크 수요관리용 배터리 435kWh 공급</li> </ul>

- 한국전력공사는 '17년까지 석탄화력발전으로 생산되는 주파수 조정 용량 1.1GW 중 500MW 정도를 리튬이온전지 기반 ESS로 대체하기 위한 로드맵을 구축하고 기술개발 진행 중
- 나노구조 필름형 슈퍼전지 핵심 원천기술개발 사업(미래부)의 성과로 고성능 플렉서블 이차전지 개발<sup>19)</sup>
  - 신개념 스마트 전자기기용 전지에 적용 가능한 양극·음극 전극물질, 집전체 각각에 대한 최적화 설계 및 이를 통한 고속충전·고에너지 특성을 보유
  - 신기술융합형 성장동력사업의 일환으로 Flexible High-Energy Li-ion BAtteries with

18) 출처 : 한국전지산업협회 (2015)

19) 출처 : 기후변화 대응 6대 기술R&D 성과발표회 자료집 (2015)



fast-charging Capabilbity, Nano lett게재하였으며, 특허출원('14년 5월 28일)

- 신개념 이차전지 양극 활물질 소재개발
  - 소재의 인터페이스 안정화 연구를 통해 기존 상용화된 NMC 조성의 양극활물질보다 그 성능이 향상된 1차 nano-rod shape을 갖는 전체 농도 구배형 양극 활물질 개발
  - 이를 통해 국내 특허 4건, 국외 2건, 기술이전 1건(주)엘지화학, 정약기술료 20억원 발생

#### 나) 전기·화학적 에너지 저장(비리튬 이온계 배터리)

- (납축전지) 한국에너지기술평가원의 에너지기술개발 사업으로 대용량 전력 저장용 Na-base전지 시스템을 개발 중(120W/600Wh급 단전지 및 10kWh급 전력저장 시스템)
- (RFB) 롯데케미칼은 10MWh/yr RFB 스택용 Pilot line을 보유하고 있고 '14년 이후 100~250kWh RFB 시스템 자체 실증연구를 진행 중이며 50kWh급 모듈 및 1MWh 시스템 개발 중
- 동양 OCI는 5kW급 스택개발 및 100kWh급 실증연구를 진행 중이며 현대중공업은 5kW급 스택개발 진행 중
- (Metal air 전지) 삼성전자 종합기술원은 차세대 이차전지 프로젝트로 리튬공기전지 개발 프로젝트를 진행 중
  - '12년부터 매년 리튬공기전지 관련 국제 심포지움을 주관하여 세계 유수의 연구자들의 발표 및 토론의 장 마련
- 한양대학교는 꾸준히 금속공기전지 연구를 진행하여 TEGDME 전해질을 사용하여 사이클 수명 특성이 매우 향상된 연구결과 발표
- KAIST는 경기대 연구팀과의 공동연구를 통해 리튬공기전지 나노섬유/그래핀 복합촉매 개발 연구 결과 발표
- 서울대학교는 산화환원보조제 등을 사용하여 에너지효율을 향상시키고 사이클 수명을 높인 연구결과를 발표함
  - CNT 쉬트를 공기극으로 사용하여 용량을 향상시켰으며 율속 특성을 증대한 연구



#### 결과도 발표함

- (리튬-황 전지) 국내의 리튬-황 전지 관련 연구는 경상대, 한국기술교육대, 울산과기대 등에서 양극 소재 위주로 연구 개발이 진행되고 있음
- 탄소-유황 나노 복합체의 경우 용량 800~ 1200 mAh/g 내외 및 코인셀 기준 수명 100회 미만의 기초 연구단계의 결과를 발표하고 있음
- KIST 및 KETI 등의 연구 기관에서는 정부 과제 및 기업 과제로 '11년부터 소규모 proto-type 전지를 제조하는 연구 수행
- 최근 LG화학 및 현대자동차 등에서 차세대 고에너지밀도 리튬-황 전지 연구를 진행하는 등 산업계의 관심 증대

#### 다) 전기적 에너지 저장

- (슈퍼캐퍼시터) 광주과학기술원 연구팀은 graphene으로 만든 슈퍼캐퍼시터를 개발하여 충방전 소요시간 단축하고 충전용량도 향상시킴
  - Graphene은 작은양으로도 전체영역을 커버할 수 있기 때문에 supercapacitor물질로 적합하며, 1그램으로 2,675m<sup>2</sup>를 커버할수 있어서 기존 Li-ion보다 키로그램당 에너지 저장량이 훨씬 많음
  - 연구팀은 supercapacitor에 사용할만큼 충분한 양의 graphene을 생산에 성공하였고, graphite oxide를 만든후 열을 가해 쪼개서 graphene sheet를 만들고 surplus oxygen을 제거한 후 graphene sheet를 supercapacitor에 결합, 그 결과 충전용량이 훨씬 많아지고 4분안에 충전이 가능

#### 라) 기계적 에너지 저장

- (CAES) '14년 에너지를 저장했다가 전력수급 비상시 사용 가능한 CAES 실증 사업에 정부 자금 700억원 등 총 2,200억원의 자금 투입 결정
  - 실증사업을 통해 구축될 CAES 용량은 100MW급으로 원자력 발전기 1기의 10% 수준
- (플라이휠) '14년 (주) 씨피이셀은 '잉여전력을 이용한 프라이휠 저장장치'에 대한 특허 등록

### Ⅲ.

## 시장현황

### 01 세계시장 현황 및 전망

#### ● 총괄

- '15년 세계 에너지 저장장치 시장 규모는 '13년 대비 약 74% 증가하여 1,172.8 M\$로 추정

※ ('13년) 673.9 M\$ → ('15년) 1,172.8 M\$ → ('17년) 2,678.5 M\$ → ('19년) 5,637.5 M\$

- 에너지 저장장치는 신재생에너지 활용 및 분산 전원 시스템 운영에 대한 필요성 증가와 연계되어 지속적으로 시장 규모가 증가될 것으로 전망

※ 리튬 이온계 배터리 : ('13년) 137.6 M\$ → ('15년) 214.9 M\$ → ('17년) 590.5 M\$ → ('19년) 1,269.0 M\$  
( '13 ~'19년 CAGR : 15.7%)

※ 비리튬 이온계 배터리<sup>20)</sup> : ('13년) 279.7 M\$ → ('15년) 499.5 M\$ → ('17년) 1,191.1 M\$ → ('19년) 2,672.7 M\$ ('13 ~'19년 CAGR : 15.2%)

※ 전기적 에너지 저장장치 : ('13년) 8.4 M\$ → ('15년) 15.0 M\$ → ('17년) 23.6 M\$ → ('19년) 76.1 M\$  
( '13 ~'19년 CAGR : 15.9%)

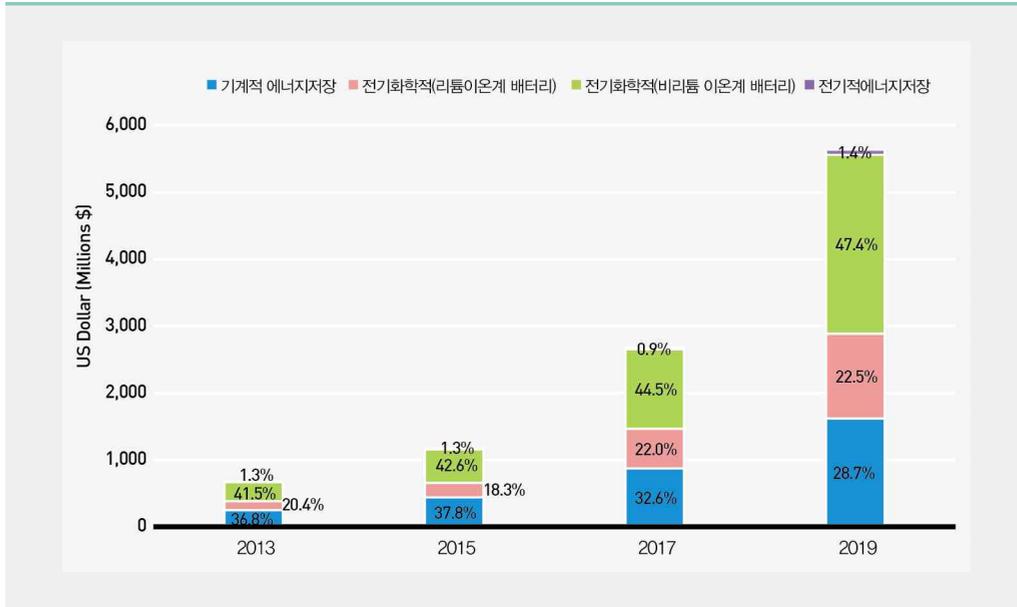
※ 기계적 에너지 저장장치 : ('13년) 248.3 M\$ → ('15년) 443.3 M\$ → ('17년) 873.2 M\$ → ('19년) 1,619.7 M\$ ('13 ~'19년 CAGR : 21.0%)

- '15년 기준 비리튬 이온계 배터리가 다른 에너지 저장장치와 비교하여 상대적으로 높은 시장규모를 나타내고 있으며 '19년까지 지속될 전망

20) 비리튬이온계 배터리 중 시장현황 데이터 확보가 가능한 RFB, Lead acid, Advanced lead acid, NaS, Sodium metal halide 및 Metal air 전지에 대해 조사 수행



## 에너지 저장장치 전체 세계시장 규모



### ● 전기·화학적 에너지 저장장치(비리튬 이온계 배터리)

- '15년 비리튬 이온계 배터리 시장규모는 499.5 M\$로 추정되며 지속적으로 시장규모가 증가할 것으로 예상

※ ('13년) 279.7 M\$ → ('15년) 499.5 M\$ → ('17년) 1,191.1 M\$ → ('19년) 2,672.7 M\$

- (NaS) '15년 현재 비리튬 이온계 배터리 중 가장 큰 시장 점유율을 보이고 있으며 '19년까지 지속될 전망

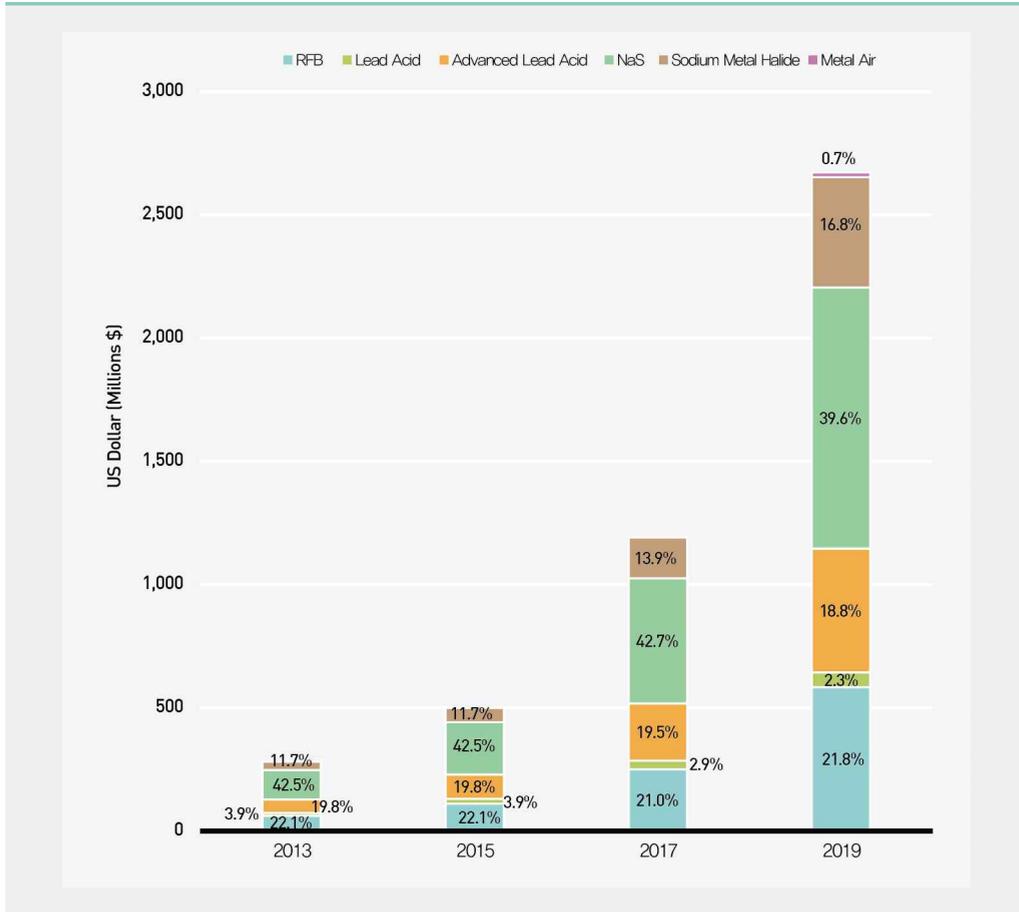
※ ('13년) 118.8 M\$ → ('15년) 212.2 M\$ → ('17년) 508.5 M\$ → ('19년) 1,059.6 M\$

- (RFB) 신재생에너지원(태양광, 풍력)과의 연계성 및 장기간 사용 가능한 이점으로 인하여 시장 규모가 지속적으로 증가될 것으로 예측

※ ('13년) 62.0 M\$ → ('15년) 110.6 M\$ → ('17년) 250.4 M\$ → ('19년) 583.4 M\$



전기·화학적 에너지 저장장치(비리튬 이온계 배터리) 전체 세계시장 규모



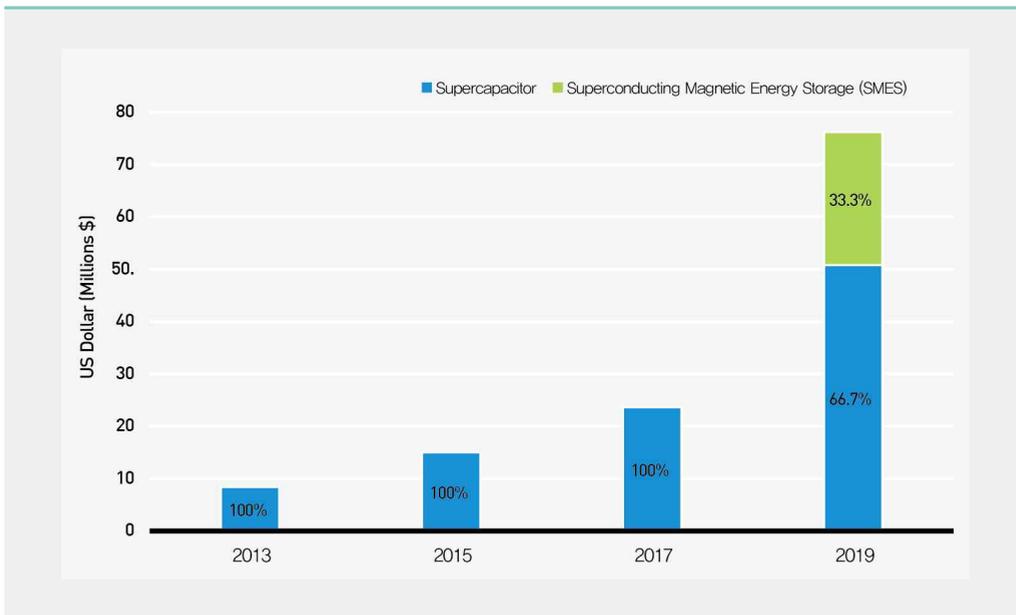


## ● 전기적 에너지 저장장치

- (슈퍼커패시터) 높은 에너지 출력 밀도와 안정성으로 인해 지속적으로 시장 규모가 증가될 것으로 예측되나 다른 에너지 저장장치(전기·화학적, 기계적)에 비해 시장 점유율은 미비할 것으로 전망

※ ('13년) 8.4 M\$ → ('15년) 15 M\$ → ('17년) 23.6 M\$ → ('19년) 50.8 M\$

전기적 에너지 저장장치 전체 세계시장 규모





## ● 기계적 에너지 저장장치

- (PSH) 에너지 저장장치 중 가장 성숙된 기술인 PSH의 경우 예비 전력용으로 활용되는 특성으로 인해 지속적으로 시장규모가 커질 것으로 예측

※ ('13년) 196.3 M\$ → ('15년) 350.6 M\$ → ('17년) 608.8 M\$ → ('19년) 1,020.6 M\$

- (CAES, 플라이휠) 높은 초기 구축비용에도 불구하고 '15년 시장 규모는 '13년 대비 각각 78.5%(CAES), 78.7%(플라이휠) 증가된 것으로 추정되며 '19년 시장규모는 각각 364.2 M\$(CAES), 234.9 M\$(플라이휠)로 증가 예상

※ CAES : ('13년) 31.2 M\$ → ('15년) 55.7 M\$ → ('17년) 149.8 M\$ → ('19년) 364.2 M\$

※ 플라이휠 : ('13년) 20.7 M\$ → ('15년) 37.0 M\$ → ('17년) 114.6 M\$ → ('19년) 234.9 M\$

기계적 에너지 저장장치 전체 세계시장 규모





## 02 국외시장 현황 및 전망

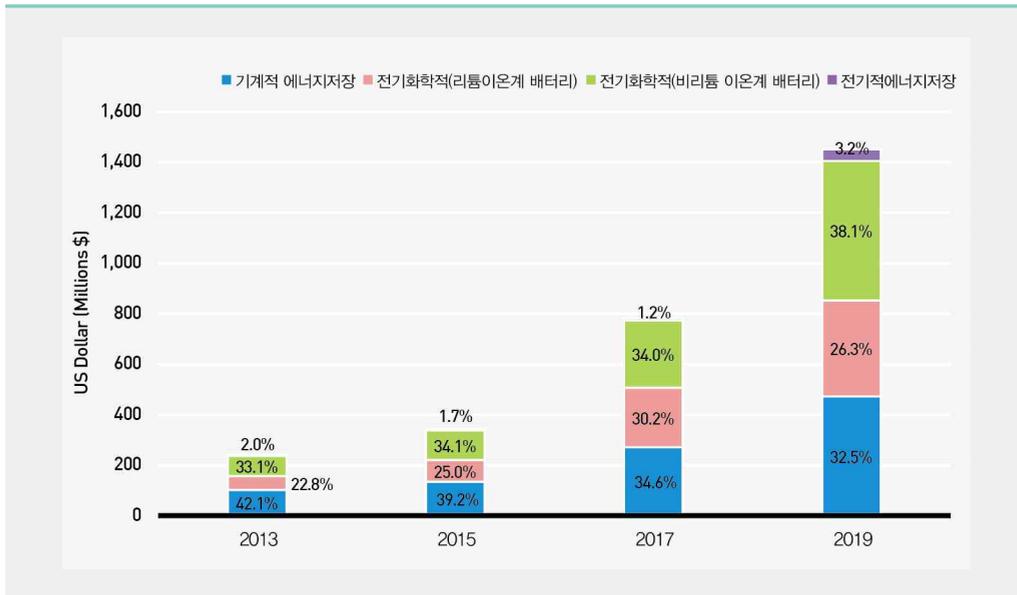
### 미국

- 미국의 내수 시장은 '15년 기준 343.8 M\$로 추정되며, 이는 세계시장의 29.1% 규모에 해당
- 비리튬 이온계 배터리의 시장규모가 리튬 이온계 배터리보다 상대적으로 크게 구성되어 있으며 '19년에는 전체 에너지 저장장치 내수 시장의 38.1% 규모로 증가될 것으로 예측

※ 리튬 이온계 배터리 : ('13년) 55.0 M\$ → ('15년) 86.0 M\$ → ('17년) 236.2 M\$ → ('19년) 380.7 M\$

※ 비리튬 이온계 배터리 : ('13년) 79.8 M\$ → ('15년) 117.2 M\$ → ('17년) 266.3 M\$ → ('19년) 552.0 M\$

미국 에너지 저장장치 시장 규모





## ● 일본

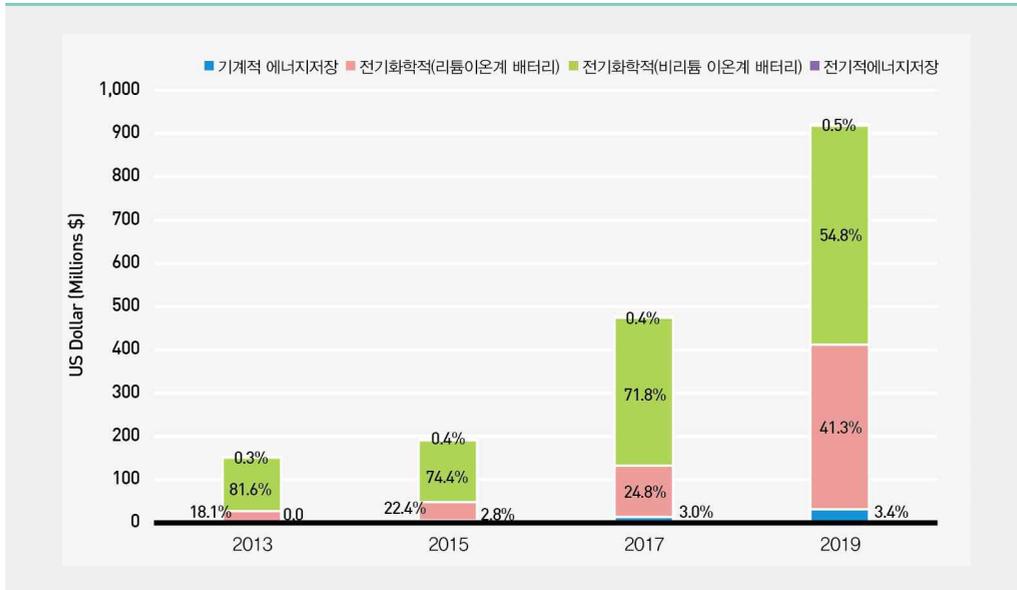
- NaS 관련 최고기술보유국인 일본의 경우 '15년 비리튬 이온계 배터리의 내수 시장 점유율은 74.4%로 추정되며 '17년 이후 시장 점유율이 점차적으로 낮아질 것으로 예상

※ ('13년) 123.7 M\$ → ('15년) 143.0 M\$ → ('17년) 341.7 M\$ → ('19년) 505.7 M\$

- '15년 리튬 이온계 배터리의 내수 시장 비중은 '13년 대비 53.6% 증가된 것으로 추정되며 '19년에는 380.7 M\$까지 성장될 것으로 예상

※ ('13년) 27.5 M\$ → ('15년) 43.0 M\$ → ('17년) 118.1 M\$ → ('19년) 380.7 M\$

일본 에너지 저장장치 시장 규모





## ● 독일

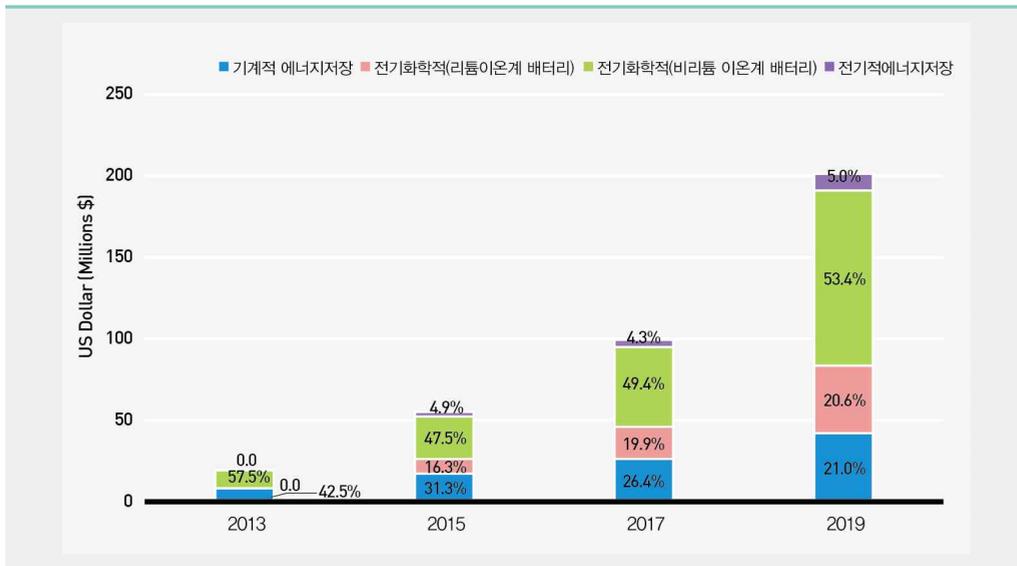
- '15년 비리튬 이온계 배터리의 내수 시장 점유율이 다른 에너지 저장장치와 비교하여 상대적으로 높게 나타났으며 '19년에도 지속될 전망

※ ('13년) 11.1 M\$ → ('15년) 26.2 M\$ → ('17년) 49.1 M\$ → ('19년) 107.4 M\$

- 기계적 에너지 저장장치의 내수 시장 점유율이 지속적으로 감소하고 있으며 '19년에는 전체 내수 시장 중 21.0%를 차지할 것으로 예측

※ ('13년) 8.2 M\$ → ('15년) 17.3 M\$ → ('17년) 26.2 M\$ → ('19년) 42.1 M\$

독일 에너지 저장장치 시장 규모



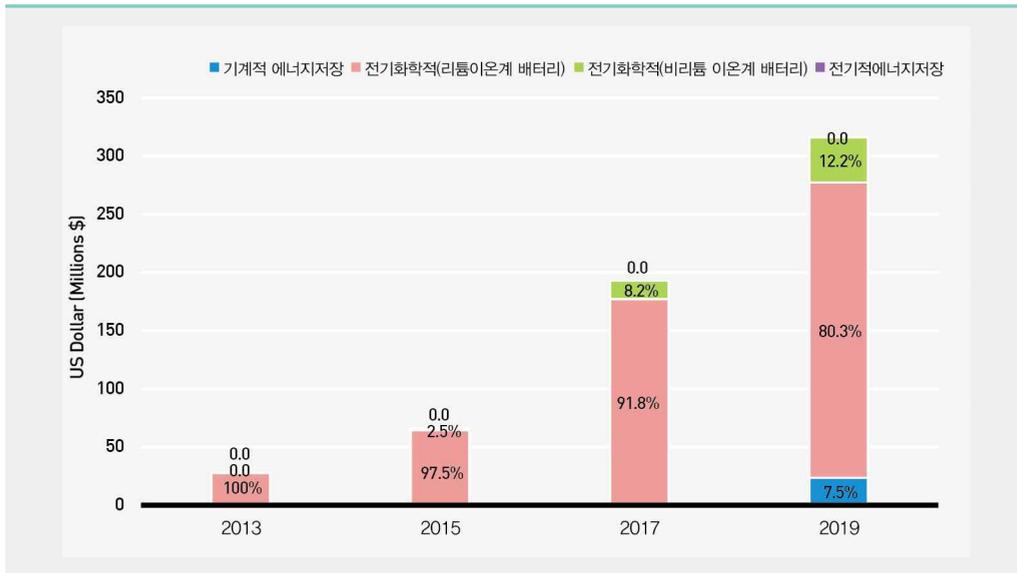


## 03 국내시장 현황 및 전망

### 총괄

- '15년 리튬 이온계 배터리의 내수 시장 점유율이 압도적으로 높게 나타나고 있으며 '17년 이후부터 점유율이 점차적으로 낮아질 전망  
 ※ ('13년) 27.5 M\$ → ('15년) 64.5 M\$ → ('17년) 177.2 M\$ → ('19년) 253.8 M\$
- 신재생에너지 활용과 연계한 에너지 저장장치의 장수명화 및 대용량화 필요성으로 인하여 비리튬 이온계 배터리의 내수 시장 점유율이 점차적으로 증가될 것으로 예측  
 ※ ('15년) 1.7 M\$ → ('17년) 15.8 M\$ → ('19년) 38.6 M\$

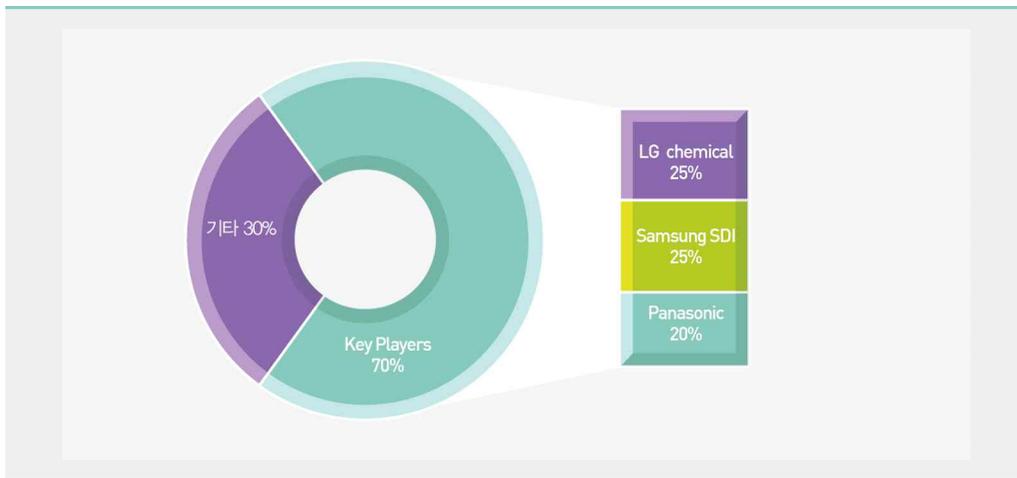
한국 에너지 저장장치 시장 규모



## 04 주요 Key Player 시장 점유율

- 전기·화학적 에너지 저장장치(리튬 이온계 배터리)
  - 전세계 리튬 이온계 배터리의 3대 주요 Key Players는 LG Chemical, Samsung SDI와 Panasonic이며, 전세계 리튬 이온계 배터리 시장의 70%를 점유
  - Navigant Research (2015)는 3대 Key Players의 전세계 시장 점유율이 '19년까지 지속될 것으로 전망

리튬 이온계 배터리 Key Players 시장점유율 추정치(2015년)



## IV.

### 저채허화

#### 01 국외 정책

##### ● 주요국별 ESS관련 정책현황

국가 (건수)	계획 명	
	명칭 (원어 : 국문)	구분
미국	energy storage procurement programs : 에너지저장구매 프로그램	프로그램
	Self-Generation Incentive Program (SGIP) : 자가발전인센티브제도	프로그램
영국	Energy Storage Technology Demonstration programme : 에너지저장기술 프로그램	프로그램
	Low Carbon Networks Fund : 저탄소 네트워크 펀드	프로그램
호주	Advanced Electricity Storage Technologies Program : 전력 저장 기술 프로그램	프로그램
일본	4th The basic energy plan : 일본 제 4차 에너지기본계획	종합계획
	NEDO 二次電池技術開發ロードマップ2013 : 이차전지 기술개발 로드맵(2013)	세부계획
	Stationary Li-ion battery program : 고정형 리튬이온 배터리 개발 프로그램	프로그램
	Large-scale battery program : 대용량 배터리 개발 프로그램	프로그램
	Stand alone renewable energy generation (with batteries) program : 독립형 신재생 에너지 생산	프로그램
	Smart Energy System program : 스마트 에너지 시스템	프로그램
	Smart Community program : 스마트 커뮤니티	프로그램



국가 (건수)	계획 명	
	명칭 (원어 : 국문)	구분
	Renewable energy generation (with batteries) program : 신재생 에너지 개발	프로그램
	Storage battery for renewable energy generation program : 신재생에너지생산을 위한 저장배터리	프로그램
	Renewable energy in local area program : 지방의신재생에너지	프로그램
	end-user subsidy programme : 최종 소비자 보조금제도	프로그램
중국	Notice on the continuous development of the promotion of application of the new energy vehicles : 신에너지자동차 보급 응용 업무 관련 통지	종합계획 및 세부계획
	The Twelfth Five-Year Plan for Renewable Energy : 신재생 에너지를 위한 12차 5개년 계획(規劃)	종합계획 및 세부계획
독일	the German Renewable Energy Sources Act (EEG) : 신재생 에너지 촉진법	종합계획 및 세부계획
	French-German Sol-ion project : 솔이온 프로젝트	프로그램
	the Electricity Grid Development Plan 2012 (NEP2012) : 전력 그리드 개발 계획 2012	프로그램
	배터리 기술개발 지원프로그램 (리튬이온 배터리 시험생산 플랜트 건립)	프로그램
	Comprehensive Energy Research Programme : 광범위한 에너지 조사 프로그램	프로그램
캐나다	Smart Grid Fund project : 스마트그리드 펀드 프로젝트	프로그램
프랑스	European Framework Programme for Research and Technological Development (FPRTD 7) and the Strategic Energy Technologies Plan(SET PLAN) : 제7차 연구, 기술개발을 위한 공동 프로그램	종합계획
	energy Storage system Strategic roadmap : 에너지저장시스템전략 로드맵	세부계획
	the simstock programme : 심스톡 프로그램	프로그램
	European Framework Programme for Research and Technological Development (FPRTD 8) and the Strategic Energy Technologies Plan(SET PLAN) : 제8차 연구, 기술개발을 위한 공동 프로그램	종합계획
	the Research and Innovation Programme for Land Transport	프로그램



국가 (건수)	계획 명	
	명칭 (원어 : 국문)	구분
	: 토지 수송에 대한 연구 및 혁신 프로그램	

- (미국) Self-Generation Incentive Program (SGIP), Energy Storage Technology Demonstration programme와 같은 지원책 외에도 energy storage procurement programs, energy storage procurement programs 등의 R&D 프로그램을 통해 이차전지 보급 및 기술개발에 힘쓰고 있음
- 전력시장에서 ESS가 가지는 편익이 알려지면서 주의회, 주 미 연방규제기관 등에서 ESS집입장벽 해소를 위한 조치 시행중
  - (워싱턴 주의회, 2013) HB1296발표를 통해 전력회사는 자원계획 수립시 ESS를 포함하여 평가하도록 규정
  - (하와이 주의회, 2014) SB2932, HB2649에서 하와이 PUC는 신재생에너지 표준과 같은 ESS포트폴리오 기준 수립하도록 요구
- 美, SNL에서는 ESS 응용분야를 5개그룹\*, 17개 항목으로 분류
  - \* Electric Supply, Ancillary Services, Grid system, End User/Utility Customer, Renewable Integration
  - 항목별로 요구되는 storage power 와 Discharge 시간이 다르기 때문에 분야별 맞춤형 전략이 필요함
  - ESS는 제품이기 이전에 산업으로 공급자시장과 소비자시장으로 구분되며 경제성 확보가 관건
  - 소비자시장은 보조금이 필수(일본: 10kW이하/독일: 30kW/한국:1MWh)로 대부분 배터리 ESS(리튬이차전지)가 채용
  - 공급시장은 전력안정화 및 품질 Needs로 소비자시장보다는 먼저 형성이 예상되며, 특히 미국의 경우 Grid용으로 리튬이차전지 실증이 활발
- (일본) 3.11 후쿠시마 사태 이후 ESS보조금이 활성화 되었으며, 대부분 PV등 신재생과 융합시 보조금이 지원
  - 신재생에너지 발전설비 등 도입 촉진지원부흥대책사업(태양광협회, JPEA등), 316억엔
  - 가정용 ESS업체는 28개로 1~6kWh 저장캐패를 중심으로 공급중이며 100% 리튬이차전지 채용



- 경제산업성은 혁신 에너지 기술개발 및 상용화 촉진하기 위해서 일본 제 4차 에너지기본계획을 수립하고, 이를 근거로 경제산업성 산하 NEDO에서 이차전지 기술개발 로드맵(2013)을 수립하여 이차전지 R&D 프로그램을 활발히 운영 중
  - 고정형 리튬이온 배터리 개발 프로그램, 대용량 배터리 개발 프로그램, 독립형 신재생 에너지 생산, 스마트 에너지 시스템, 스마트 커뮤니티, 신재생 에너지 개발, 신재생 에너지 생산을 위한 저장 배터리, 최종 소비자 보조금제도 등 다양한 프로젝트와 지원제도를 운영하여 이차전지 개발 및 상용화에 박차를 가하고 있음
- (독일) 지난 10년간 독일의 전기료는 75% 이상 상승하고 있으며, 향후에도 전기료 상승 가능성이 높아 신재생에너지 발전원 설치가 증가
  - PV 시스템 설치수의 70% 이상이 10kWp 이하로 가정용 수요가 증가중이며, 독일 및 근간 국가를 포함하여 약 60개소의 배터리 센터 운영
  - 연간 3,500 kWh전력 사용하는 가정일 경우 5kWp PV + 6 kWh ESS 설치를 통해 여름철에는 100%, 겨울철에는 ~20%까지 전력 독립가능으로 연간 75% 전력가능
  - '13년 5월 PV에너지 저장을 위한 ESS설치 보조금 사업 시행
- 연방교육연구부 총괄관리 하에 Germany's Voltwerk, France's Tenesol, E-ON, ISEA과 같은 다수의 기업들이 협력하여 신재생에너지 기술개발 추진을 장려하기 위해 독일 정부는 the German Renewable Energy Sources Act (신재생에너지 촉진법, EEG)을 제정함이를 통해 온실가스 배출량 1990년대 대비 21% 감축, 2010년까지 신재생 에너지로부터 에너지의 125% 조달, 신재생에너지로부터 생산되는 총 전력량을 최소 27%이상으로 증가 등의 목표를 세움으로써 광산가스 뿐만 아니라 수력, 지열, 바이오매스, 태양복사, 풍력을 이용한 전력 생산 기술의 시장 출시를 가속화시키고자 함
  - 주요 정책 아래 French-German Sol-ion project, the Electricity Grid Development Plan 2012, Comprehensive Energy Research Programme 등의 활발한 연구개발 활동을 통해 이차전지 상용화 및 기술개발 등의 목표를 이루고자 함
- (호주) 산업과학부는 이차전지 기술개발 및 상용화를 위하여 Advanced Electricity Storage Technologies Program과 같은 R&D 프로젝트를 수행하고, 이를 총괄관리하며 기술 실증 및 지원책을 펼치는 중



- (중국) 공업정보화부는 신재생 에너지를 위한 12차 5개년 계획(規劃)을 바탕으로 신에너지자동차 보급 응용 업무 관련 통지와 같은 국가 정책을 수립하여 에너지 사용량 절감, 이산화탄소 배출량 감축과 같은 목표를 달성하고자 이차전지 R&D 프로그램을 지원 중
- (캐나다) 스마트그리드 기금 프로젝트 등을 통해 에너지 부문의 혁신 기술 개발과 경제 발전 촉진하고, 고용 창출에 긍정적 영향을 주고자 이차전지 관련 연구를 수행 중
- (프랑스) 환경에너지관리청(ADEME)는 유럽 기업의 과학·기술 기반 강화와 EU 정책을 지지하는 연구 촉진과 국제경쟁력 향상시키기 위해 국가 정책을 수립하여 이차전지 프로젝트를 수행 중
  - The simstock programme, the Research and Innovation Programme for Land Transport과 같은 프로젝트를 통해 에너지 저장 시스템에 대한 국가연구개발을 위한 기반을 마련하고, 환경 문제점 극복 및 이차전지 연구개발 추진 등의 목표를 달성하고자 함



## 02 국내 정책

### ● 총괄현황

- 정부는 ESS산업을 녹색분야의 핵심분야로 선정하여 다양한 정책을 통해 지원중

#### 국내 ESS 관련 주요 정책

계획명	주요내용
그린에너지 전략로드맵('11년)	LiB, Flow battery, SC, NaS, CAES, Flywheel 및 신규 ESS 기술
에너지저장 기술개발 및 산업화 전략(K-ESS2020) ('12년)	2020년 세계 3대 ESS강국도약 및 세계시장 30%점유, 1700MW보급
스마트그리드 기본계획('12년)	ESS보급계획(2016년 누적용량 200MWh)
ESS보급화 사업('13년)	'13년 165억 보조금 11MWh 보급
ICT 기반 에너지수요관리방안('13년)	ESS, EMS, DR, 고효율기기, 냉방 등 에너지정책 패러다임 전환(공급중심에서 수요관리 중심의 정책)
기후변화대응 핵심기술 개발전략('14년)	기술혁신을 통한 신시장 창출이 전략으로 ESS를 선정

- ESS산업의 Leading 전략으로 ICT를 활용한 수요관리\*와 그린빌리지\*\* 구축 분야가 신산업 모델로 제안
  - \* 전력수요관리, 에너지관리 통합서비스, 전기차 서비스 및 유료충전
  - \*\* 태양광 렌탈, 독립 마이크로그리드, 온배수열 활용
- (법적지위인정) 신에너지 및 재생에너지 개발, 이용 보급 촉진법 개정을 통해 ESS를 신재생에너지 설비에 포함('14년 1월)
- (REC가중치)풍력발전 설비에 ESS를 연계하여 피크시간대에 방전량에 대해 우대 가중치 부여('14년 9월)



- (발전원 인정) 전기설비기술기준의 ‘발전소’ 정의에 전기저장장치를 포함(’14년12월)
- (전력거래) ‘소규모 신재생에너지발전전력 등의 거래에 관한 지침’개정으로 ESS에 충전된 전력의 판매허용(’14년12월)
- (금융지원) 고효율기자재 인증을 받은 ESS설치시 에너지절약 용자지원 및 투자세액 공제(대기업 3%, 중견기업 5%, 중소기업 10%)
- 신재생 융복합 지원사업으로 ’13년부터 도서지역에 신재생과 연계한 ESS 모델보급

도서지역 신재생에너지 및 ESS 보급 현황

’13년	인천백야도	태양광 250kW, 풍력 30kW, ESS 1,125kWh
	해남 삼마도	태양광 120kW, 풍력 30kW, ESS 1,200kWh
’14년	인천 덕적도	태양광 144kW, 풍력 33kW, ESS 500kWh
	신안 상태도	태양광 110kW, 풍력 50kW, ESS 500kWh

- 차세대 대용량이차전지 개발을 위해 실증 단계인 레독스 플로우 전지 생산 기술을 고도화하고, 차세대 대용량 전지 (고용량 탈리튬계 이차전지 등의 개발을 추진
  - 성과지표: 설치비용 현재 120만원/kWh에서 40만원/kWh(’20sus)  
전지수명 현재 10년에서 ’20년 20년 사용
- 전기자동차 산업의 기반이 되는 이차전지를 민간의 소재 생산 비용 절감 및 성능 고도화를 위한 기술개발지원
  - 성과지표: 에너지밀도 현재 170Wh/kg에서 ’20년 400Wh/kg
- 또한 고용량·저가화가 가능한 차세대 이차전지(리튬황전지, 리튬공기전지 등) 개발을 위한 전해질, 촉매 및 생산 공정연구 지원



## V. 요약 및 시사점

- 전력 계통 내 주파수 조정과 피크부하 절감뿐만 아니라 신재생에너지의 보급 및 설치가 확산되고 있는 상황에서 안정적인 계통 연계를 위해 ESS와 관련 에너지 저장장치 기술개발 진행 중
- (기술동향) 전세계적으로 전기·화학적 에너지 저장장치 기술개발 및 실용화를 위해 다양한 프로젝트가 진행 중이며 국내의 경우 한국전력공사를 중심으로 리튬이온전지를 활용한 주파수 조정 ESS 사업 추진 중
- (시장 현황) 신재생에너지 활용과 전력수요 증가에 따른 분산 전원 시스템 운영에 대한 필요성으로 인하여 ESS 시장 규모가 확대
  - 국외의 경우 비리튬 이온계 배터리가 다른 에너지 저장장치와 비교하여 상대적으로 높은 시장규모를 나타내고 있으며 '19년 이후에도 지속될 전망
  - 국내의 경우 정부정책을 기반으로 리튬 이온계 배터리의 시장 규모가 높게 나타나고 있으나 에너지 저장장치의 장수명화 및 대용량화 필요성으로 인하여 비리튬 이온계 배터리의 시장 점유율이 점차적으로 증가될 것으로 예상
- (정책 현황) 전세계적으로 ESS가 전력 서비스 시장에 참여할 수 있도록 제도개선, 세금감면, 보조금 지급 등의 정책 추진 진행 중
- 세계 1위의 리튬이온전지 기술력 보유와 함께 차세대 에너지 저장장치 개발을 위한 연구진행 필요
- 전세계적으로 전력계통내 피크부하 저감과 관련하여 장주기용 차세대 에너지 저장장치에 대한 연구개발이 활발하게 진행 중
  - ※ 장주기용 차세대 에너지 저장장치로서 Na based 전지, RFB, CAES 관련 연구개발 진행 중
- 국내의 경우 국가 정책을 바탕으로 리튬이온전지 중심의 기술개발을 진행 중에 있어 향후 세계 에너지 저장장치 시장 점유에 어려움 발생 가능성 존

재

- 국내의 기술력 및 시장 진입 가능성을 고려 시 다른 에너지 저장장치에 비해 상대적으로 높은 기술 수준을 보이고 있는 RFB를 장주기용 차세대 에너지 저장장치로서 육성 고려 필요
  - RFB는 낮은 발전단가, 장주기, 대용량화가 가능한 에너지 저장장치로서 피크부하 저감을 위한 경제적으로 최적화된 제품으로 고려 가능
- ※ (국내 기술수준) Na based 전지 (50%), RFB (70%), CAES (50%)<sup>21)</sup>
- 다른 장주기용 에너지 저장장치와 비교하여 RFB는 조기 상용화가 가능하나 낮은 에너지밀도 향상을 위해 고농도의 전해액 기술개발 등의 연구수행이 이루어져야 하며 이를 위한 정부차원의 지원 필요

---

21) 산업통상자원부 & 한국에너지기술평가원 (2014) 2014 에너지기술 이노베이션 로드맵 : 에너지수요관리(수요대응형 ESS). 한국에너지기술평가원.

## VI. 심층동

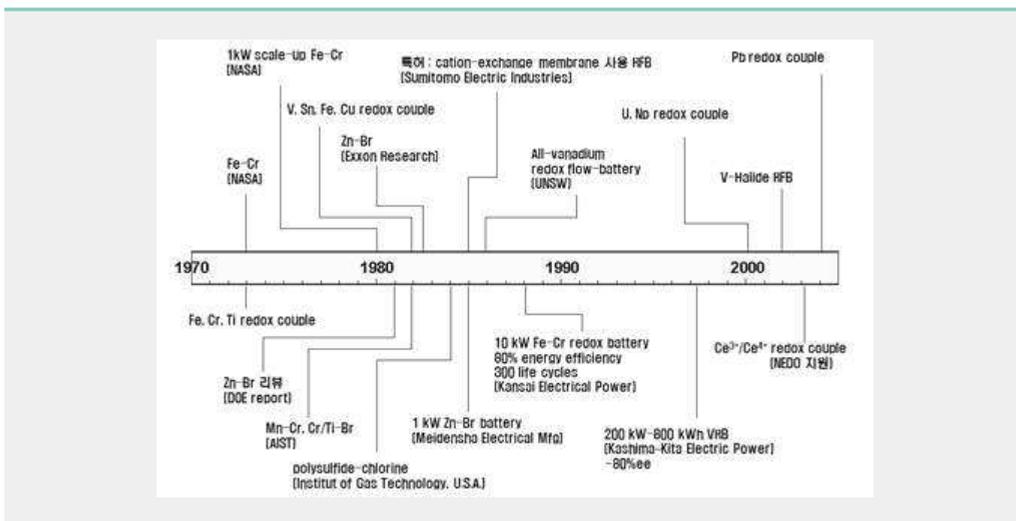
### 향

#### 01 흐름전지(RFB)

##### 세부기술개요

- 충전된 액체 전해액(charged liquid electrolyte) 내 이온들의 산화 환원 전위차를 이용하여 전기에너지를 충·방전 가능한 에너지저장 장치
  - 전해액에 용해되어 있는 활물질이 전자를 주고받으면서 충·방전이 되는 구조로서 전해액의 화학적 에너지를 전기적 에너지로 저장하는 장치
  - 전이금속을 강산 수용액에 용해하여 제조한 전해질을 활물질로 사용하며 제조된 전해질은 외부 탱크에서 액체 상태로 저장되어 있다가 충·방전시 펌프를 통해 셀 내부로 공급됨

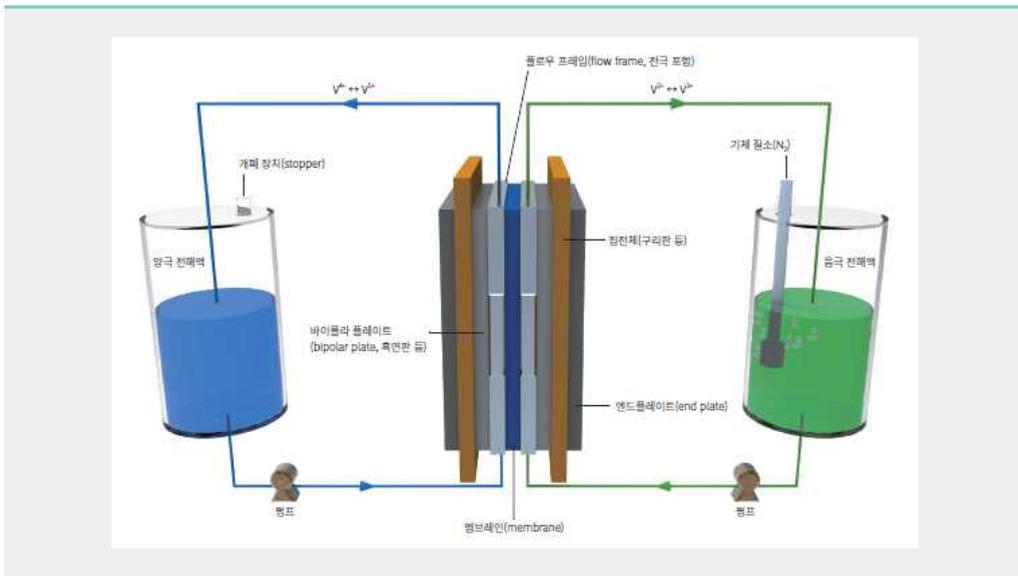
RFB 개발 역사<sup>22)</sup>



22) 김상원 (2014) 플로우 전지 기술 및 연구 동향 조사. 한국과학기술정보연구원.

- 전력의 출력을 담당하는 스택과 양극 및 음극 전해액 탱크, 전해액을 스택에 공급하는 펌프로 구성
  - 양극·음극 전해액에 포함되어 있으면서 전기에너지를 저장할 수 있는 물질을 통칭 레독스 커플(redox couple)라 통칭

RFB의 기본구조<sup>23)</sup>



- 현재까지 개발되어있는 주요 레독스 커플에는 Fe/Cr, V//V, V/Br, Zn/Br, Zn/Ce 등이 존재

주요 레독스 커플과 반응식<sup>24)</sup>

Redox couple	Reaction	Standard potential vs. SHE
Fe/Cr	$Fe^{2+} - e \rightleftharpoons Fe^{3+} / Cr^{3+} + e \rightleftharpoons Cr^{2+}$	$E^0 = 0.77 \text{ V} / E^0 = -0.41 \text{ V}$
V/V	$VO^{2+} + H_2O - e \rightleftharpoons VO^{3+} + 2H^+ / V^{3+} + e \rightleftharpoons V^{2+}$	$E^0 = 1.0 \text{ V} / E^0 = -0.26 \text{ V}$
V/Br	$2Br - 2e \rightleftharpoons Br_2 / V^{3+} + e \rightleftharpoons V^{2+}$	$E^0 = 1.065 \text{ V} / E^0 = -0.26 \text{ V}$
Zn/Br	$3Br - 2e \rightleftharpoons Br_3^- / Zn^{2+} + 2e \rightleftharpoons Zn$	$E^0 = 1.09 \text{ V} / E^0 = -0.76 \text{ V}$
Zn/Ce	$2Ce^{3+} - 2e \rightleftharpoons 2Ce^{4+} / Zn^{2+} + 2e \rightleftharpoons Zn$	$E^0 = 1.44 \text{ V} / E^0 = -0.76 \text{ V}$

23) 녹색기술센터 (2014) 에너지저장시스템, 새로운 세상을 연다. Green Tech. Horizon, Vol.01, 녹색기술센터.



- 전력저장용 시스템으로서 주야간 부하변동 평준화, 순간 저전압 보상 및 풍력 발전에서 발생하는 출력변동의 균등화 등에 활용
- (장점) 전지 스택(출력)과 전해액 탱크(용량)가 분리될 수 있는 구조로서 탱크의 수를 늘려 추가 에너지를 저장 가능하여 상대적으로 저렴하고 대용량 전력저장이 가능하며 장시간 사용 가능
  - 장기 지속적으로 에너지 공급이 가능하여 분산전원 시스템에 적합한 에너지 저장장치로 고려
- (장점) 신재생에너지 발전과 연계하여 전략저장 및 피크관리, 장시간 부하관리를 용으로 활용가능하고 산업현장에서의 경우 대용량 비상 전원장치로 활용 가능
  - 태양전지 패널에 일반적으로 연결되어 있는 납축전지와 비교시 RFB는 에너지 효율이 높고 상대적으로 수명이 길며 비용이 저렴하여 태양전지 패널에 더 적합한 에너지 저장장치로 고려

24) 김상원 (2014) 플로우 전지 기술 및 연구 동향 조사. 한국과학기술정보연구원.



태양에너지와 RFB 연계 주요 설치 시설<sup>25)</sup>

Battery system	Company name	Customer	Basic specification	Application	Start date
All-vanadium	University of South New Wales, Thai Gypsum Pcl	Solar Demonstration House, Thailand	5 kW/ 12 kWh	Coupling with solar cell	1994
	Sumitomo Electric Industries Ltd.	Obayashi Corp., Japan	DC 30 kW × 8h	Hybrid with photovoltaic cells	April 2001
	VRB Power System Inc.	University of Aalborg, Denmark	5 kW × 4h	Coupling with wind turbines and solar cells	2006
		Risø TDU, Denmark	15 kW × 8h	Hybrid with wind turbines and solar cells	May 2007
	Prudent Energy	Zhangbei, Heibei, China	1 MWh	Hybrid with wind turbines and solar cells	May 2011
		California Public Utilities Commission (CPUC)	100 kW / 300 kWh	Hybrid with solar cells	After 2011
Zinc-bromine	ZBB Energy Corp.	A commercial customer facility, New York, USA	50 kW/ 100kW	Hybrid with solar cells for a demonstration project	NA
		Australian Inland Energy, Australia	500 kWh	Hybrid with solar cells	June 2002
		Power Light Corp., U.S.	2 × 50 kWh	Hybrid with solar cells	November 2003
		CSIRO research center, Newcastle, Australia	500 kW h	Hybrid with solar cells	End of 2009
	Redflow Limited	University of Queensland, Australia	12×120 kW h	Hybrid with solar cells	April 2011
	Department of Energy, US	Albuquerque, New Mexico, U.S.	2.8 MW h	Hybrid with 500 kW	After 2011

25) 김상원 (2014) 플로우 전지 기술 및 연구 동향 조사. 한국과학기술정보연구원.



RFB(5kW급)와 납축전지 사양 및 성능 비교<sup>26)</sup>

Type	RFB	납축전지
Current output	5kw (112A) × 4h	112A × 4h
Output voltage range (VDC)	42 ~ 56	42 ~ 60
Approx. dimension (in.)	34 × 86 × 80	32 × 30 × 90
Approx. weight (full, lbs.)	7,000	2,600
Thermal (Stg/Opg, oF)	32 ~ 100/32 ~ 100	32 ~ 100/32 ~ 100
Approx. DC-DC efficiency, round trip	75%	45%
Performance vs. Temp.	Flat response over temp. range	IEEE/ANSI and manufactures derating
Containment	Double containment of electrolyte storage	Cabinet drip tray
Lifetime (discharge cycles)	10,000 <sup>+</sup>	1,500
Depth of discharge	From full to 20% state of charge	From full to 80% state of charge
Recharge time	4h (optional 1:1 charge/discharge ratio)	20h (5:1 charge/discharge ratio)
Speed of response	1 ms	1 ms
Overload capability	2X nominal rating	1.25X nominal rating
Maintenance	Annual inspection if desired	At least 4 times per year

- 풍력 터빈과 RFB를 연결시 풍속 변화에 따른 에너지 공급 변동 조절이 가능하여 에너지 안정적 공급 극대화 가능

26) 김상원 (2014) 플로우 전지 기술 및 연구 동향 조사. 한국과학기술정보연구원.



풍력에너지와 RFB 연계 주요 설치 시설<sup>27)</sup>

Battery system	Company name	Customer	Basic specification	Application	Start date
All-vanadium	VRB Power System Inc.	Hydro Tasmania, Japan	200 kW × 4h	Hybrid with wind turbines	November 2003
		Tapbury Management (Letterkenny Co.), Ireland	2 MW × 6h	Hybrid with wind turbines	August 2006
		University of Aalborg, Denmark	5 kW × 4h	Coupling with wind turbines and solar cells	2006
		Risø TDU, Denmark	15 kW × 8h	Hybrid with wind turbines and solar cells	May 2007
	Prudent Energy	Zhangbei, Heibei, China	1 MWh	Hybrid with wind turbines and solar cells	May 2011
	Sumitomo Electric Industries Ltd.	Hokkaido Electric Power Wind Farm, Japan	170 kW /1MW	Wind turbine output power stabilization	2001
		Institute of Applied Energy, Japan	AC 170 kW × 6h	Stabilization of wind turbine output	March 2001
		J Power at Subaru Wind Farm, , Hokkaido, Japan	4 MW/ 6MWh	Wind energy storage and wind power stabilization	2005
	Pinnacle VRB	Hydro Tasmania, King island	250 kW/ 1MWh	Wind energy storage and diesel fuel replcement	2003
	Zinc-bromine	ZBB Energy Corp	Dundalk Institute of Technology, Ireland	125 kW, 500kWh	Hybrid with wind turbines

27) 김상원 (2014) 플로우 전지 기술 및 연구 동향 조사. 한국과학기술정보연구원.



- (장점) 리튬이온전지와 비교하여 열관리가 필요 없어 큰 안정성을 보이며, 활물질 자체에 수명 제한이 없어 유지보수 비용이 매우 낮음
- (단점) 보통 60-80% 사이의 낮은 에너지효율을 보이며, 낮은 에너지 밀도 보임
  - Fe/Cr계 RFB의 경우 전기·화학적 반응을 일으키는 부위에서 막 물질(membrane material)의 조기 분해(premature degradation) 문제 발생

### ● 세부기술동향

- (일본) '00년 이후 일본에서는 RFB가 풍력 발전기와 함께 설치
  - Sumitomo Electric Power는 초기에 170kW/1MWh의 바나듐 레독스 플로우 전지를 홋카이도에 설치
  - 2013년 7월 홋카이도 지역에 60MWh급 RFB를 건설해 실증 중
- (일본) NEDO에서는 '30년을 목표로 30MW급, 7~8시간의 충방전 가능, 약 20년의 수명, 가격 10만엔/kW(1.5만엔/kWh)의 RFB 개발 중
  - 풍력발전과의 연계를 위해 도마미에현 Winvilla 발전소에 RFB를 설치하여 2005년부터 실증실험 진행 중

※ (최대출력) 6,000kVA, (전지용량) 6,000kWh(1.5시간 분량), (효율) 84%

- (미국) EnSync Energy Systems는 미국 미네소타주 블루밍턴의 Open Access Technology International(OATI)에 하나 이상의 에너지 저장기술을 합친 하이브리드형 시스템 적용 중
  - 단기 지속성 에너지 공급을 위해 LiB을 활용하고 있으며 장기 지속성 에너지 공급을 위해 RFB 설치
- (미국) Imergy Power Systems는 슬래그(Slag, 광재)와 비산회(flag ash)와 같은 산업 부산물에서 추출된 98.5% 순수 바나듐을 활용하는 연구 성공
- (미국) Pacific Northwest Laboratory 연구팀이 기존 고체전극을 두 개의 액체 전극으로 대체하여 기존 대비 두배 높은 에너지밀도를 나타내는 새로운 RFB 개발
- (미국) ViZn Energy System에서 Hecate Energy와 손잡고 온타리오 전력



망의 보조 예비전원으로 2MW Zinc-Iron RFB 공급

- (독일) 바덴뷔르템베르크(Baden-Württemberg)주와 독일 연방 교육과학부(BMBF)는 공동으로 조성한 공적자금을 활용하여 “RedoxWind” 프로젝트 진행
  - 2MW의 풍력발전기에 개발된 대규모 바나듐 RFB(2MW/20MWh)를 연결하여 풍력 에너지를 저장 및 공급할 수 있는 지속가능시스템 구축
- (중국) 베이징 지역에 1GWh, 5GWh 급 RFB를 베이징 지역에 건설 후 실증 진행 중
- (한국) 롯데케미칼, 동양 OCI, 현대중공업 등의 대기업과 H2, 에너지와공조, 누리플랜 등의 중소기업이 RFB 제조와 생산 판매를 위한 스택, 모듈 및 시스템을 개발하고 있으며 자체 실증사업 진행 중

국내 RFB 주요기업 동향<sup>28)</sup>

국내 기업	핵심기술	주요 내용
롯데케미칼	ZnBr <sub>2</sub> Flow Battery	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 50kWh급 모듈, 1MWh 시스템 개발 중</li> <li>■ 100~250kWh 실증연구 진행 중</li> </ul>
동양 OCI	Vanadium Flow Battery	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 5kW급 스택개발</li> <li>■ 100kWh급 실증연구 진행 중</li> </ul>
현대중공업	Vanadium Flow Battery	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 5kW급 스택개발 중</li> </ul>
H2	Vanadium Flow Battery	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 독자적인 스택기술 보유</li> <li>■ 국내 최초로 100kWh급 실증연구 진행 중</li> </ul>

28) 산업통상자원부 & 한국에너지기술평가원 (2014) 2014 에너지기술 이노베이션 로드맵 : 에너지수요관리(수요대응형 ESS). 한국에너지기술평가원.



## ● 시장전망

- Navigant Research (2015)는 RFB가 '15년에 약 1억 1천1백만 설치 용량(전 세계 고급 배터리 시장의 16%)을 차지 할 것이며 '15 ~ '21년 동안 CAGR 54.2%로 빠르게 성장할 것으로 예측
  - '21년까지 RFB는 공공설비 분야 시장에서 15억 달러의 수익을 차지할 것으로 예상
- 전세계에서 아시아 지역(중국, 일본, 한국)이 공공설비 분야에 RFB를 위한 가장 큰 시장이 될 가능성 존재
  - Navigant Research (2015)에 따르면 '15 ~ '21년 기간 동안 새로운 RFB 설치를 위해 중국 11억 달러, 일본 2억4천6백만 달러, 한국 8천3백만 달러 투자 예상
- Navigant Research (2015)는 서유럽의 경우 '15 ~ '21년 사이에 9억6천9백만 달러, 북미의 경우 5억7백만 달러 투자 예상

## ● 정책동향

- RFB의 경우 공공설비 시설 및 분산전원 시설을 통해 생산된 에너지 저장(신재생에너지와의 연계)을 위해 활용됨에 따라 각 시설과 연관된 정책과 밀접하게 연관됨
  - (독일) Energiewende 프로그램을 통해 재생 가능에너지와 에너지 효율성을 높이는 분산전원 시스템으로의 전환을 위한 방안으로 보조금과 낮은 이자의 대출 제공을 통해 ESS 활용 장려
  - (미국) 캘리포니아 주는 Self-Generation Incentive Program(SGIP)를 통해 분산 에너지 자원 시설 설치·운영을 위해 지원

## ESS 분과위원

이 름	소 속
강 영 구	화학연구원
노 대 석	한국기술교육대학교
배 성 용	삼성SDI
손 종 태	충주대학교
진 창 수	한국에너지기술연구원
최 태 일	한국전력공사
홍 인 관	코캠



## II. 바이오에너지

### 01 기술의 정의

#### ● 기술정의 및 범위

- 바이오에너지는 동물, 식물, 또는 파생자원(바이오매스) 및 해양 바이오매스로부터 열화학적 또는 생물학적 전환기술을 이용하여 화석에너지를 대체할 수 있는 에너지원 기술을 지칭<sup>29)</sup>

※ 최근 미세조류에서의 지질 추출 등의 일부 과정에서는 열화학적·생물학적 전환 외 물리적 추출 방법도 혼용되고 있음

- 최근 바이오에너지 R&D는 장작, 우드칩 등과 같이 바이오매스를 바로 연소하여 열·전기로 전환하기 보다 바이오매스를 수송용 연료 등으로 전환하는 등 고부가가치를 창출할 수 있는 기술분야\*에 중점을 두어 추진 중<sup>30)</sup>

\* 바이오알코올, 바이오디젤, 바이오탄화수소, 바이오가스 등 주로 4개 분야로 나뉘어지며 이하에서 는 동 세부기술군을 전략 제품·서비스 기술로 지칭함

- (바이오알코올) 목·초본계, 해양 바이오매스 및 유기성 폐자원으로부터 발효 공정을 통해 얻는 알코올을 총칭

※ 가솔린을 대체할 수 있는 신재생연료로 평가되며 대표적으로 바이오에탄올과 부탄올이 있음

- (바이오디젤) 식물성, 동물성 유지로부터 얻는 기존 디젤 대체 연료를 의미

※ 바이오매스가 함유하고 있는 지방으로부터 전이에스테르화 반응(Trans-Esterification)을 통해 얻어지는 연료를 지칭하며, 대표적인 바이오디젤로 지방산메틸에스테르(FAME: Fatty Acid Methyl Ester)가 있음

- (바이오탄화수소) 기존 화석연료와 동등하거나 매우 유사한 파라핀(Paraffin)구조를 가진 바이오매스 유래 탄화수소 화합물을 지칭

※ 수첨바이오디젤(HBD: Hydrogenated Biodiesel), BTL(Biomass to Liquid) 및 바이오매스 열분해에 의해 생성되는 탄화수소 연료들이 이에 해당

29) 37대 녹색기술 분류체계상의 바이오에너지 기술 정의

30) 펠렛은 화력발전이 많이 활용되는 연료이나, 반탄화 기술 이외에는 기술 진입 장벽이 낮아 R&D 투자가 낮은 편에 속함



- (바이오가스) 바이오매스 및 유기성 폐자원에서부터 발효 혹은 열화학적 공정을 통해 생성된 가스연료

※ 바이오메탄, 바이오수소 등이 대표적인 바이오가스 연료임

## 02 기술종류 및 장단점

구분	장점	단점
바이오알코올	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 온실가스 및 대기오염물질 저감</li> <li>• 취급이 용이함</li> <li>• 기존 엔진에 적용 가능</li> <li>• 기존 공급 인프라 활용 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 가솔린 대비 에너지밀도가 낮음</li> <li>• 수분과의 혼입 가능성(금속 부식 및 상분리 현상)</li> <li>• 고무 및 합성수지 부식</li> <li>• 식량과의 경합 및 농업 생산물 가격 상승 유발</li> </ul>
바이오디젤	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 온실가스 및 대기오염물질 저감</li> <li>• 높은 세탄가</li> <li>• 기존 엔진에 적용 가능</li> <li>• 기존 공급 인프라 활용 가능</li> <li>• 저독성, 높은 생분해성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 원료에 따라 상이한 물성을 가짐</li> <li>• 저온에서의 낮은 유동성(동결기 문제)</li> <li>• 산화안정성 취약</li> <li>• 연소실에 찌꺼기 퇴적 가능성</li> </ul>
바이오탄화수소	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 온실가스 및 대기오염물질 저감</li> <li>• 이용 가능한 바이오매스가 광범위함</li> <li>• 구조적으로 기존 연료와 유사하여 엔진 개조 불필요(Drop-in Fuel)</li> <li>• 높은 품질, 안정성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수율 개선 문제 상존</li> <li>• 바이오알코올/바이오디젤 대비 다소 높은 생산 단가</li> <li>• 수요 대비 낮은 공급량</li> </ul>
바이오가스	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 온실가스 및 대기오염물질 저감 효과가 가장 우수</li> <li>• 불완전연소 가능성 낮음</li> <li>• 국내폐자원 100% 활용 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 가솔린 대비 낮은 발열량</li> <li>• 기체 상태에서의 저장 및 수송 문제</li> <li>• 유통인프라 구축 및 수급 문제</li> </ul>



### 03 Value Chain

- 바이오연료의 생산공정은 크게 원료 생산 및 확보, 전처리, 연료 전환, 후처리 등 4단계의 value chain으로 구성
  - (원료 생산 및 확보 단계) 바이오매스 생산 및 수집확보 기술, 에너지 작물 품종 개량·재배 기술, 유기성 폐자원 수집·확보 기술 등으로 구성
  - (전처리 단계) 바이오매스 및 유기성 폐자원 당화 기술, 지질 및 잔여 바이오매스 추출 기술, 독성 제거 기술 등의 요소기술 존재
  - (전환 단계) 생축매(효소)를 이용한 생화학적 전환 기술, 화학축매 및 열분해 등을 포함한 열화학적 전환 기술 등
  - (후처리 단계) 전환된 바이오에너지 분리, 정제 및 농축 기술이 이에 속함





## 04 기술의 경제사회적 활용 범위

- 바이오에너지는 석유와 마찬가지로 액체 연료 형태로 저장 가능하고 화학적 조성 또한 유사하여, 에너지원 뿐만 아니라 화학 원료로 활용 가능
  - 최근 바이오매스를 활용하여 바이오연료 및 바이오 화학소재를 생성하는 바이오 화학산업 부상
    - ※ 산업부에서는 바이오 화학 산업을 견인하기 위한 기술개발을 위해 바이오 화학 산업화 촉진기술포발 사업을 신규 추진('14~)
- 자체적인 에너지 조달이 가능하여 유가 변동 및 그로 인한 원자재 가격 변동이 야기하는 경제적 타격 완화 가능
  - 바이오 에너지는 가장 입수가 용이한 바이오매스를 활용하는 특성상 자체적·안정적 에너지 수급을 지원하여 에너지 자립도 향상에 기여
- 탄소 중립적(Carbon Neutral)인 바이오연료로 석유를 대체함으로써 온실가스 배출량 감축 및 환경오염 저감에 기여
  - 세계 전체 온실가스 배출량 중 수송 부분이 차지하는 비중(27%)를 고려할 때, 바이오연료를 활용할 경우 상당량의 온실가스 감축이 가능할 것으로 전망
    - 또한, CCS기술과 결합(BECC)될 경우 탄소음성(Carbon Negative) 에너지원으로서 온실가스 감축에 크게 기여 가능
  - 바이오연료 연소시 화석연료 대비 미세먼지, 황산화물(SOx) 및 휘발성 유기화합물(VOC) 등의 배출량이 화석연료 대비 적은 편이므로 대기중 오염물질 발생 감소
- Off-grid 환경에서도 자체적인 발전(發電) 및 연료 조달이 가능하여 격지에서 에너지 접근성 향상
  - 특히 육지와 떨어진 도서 지역에 거주민들의 에너지 접근권(Energy Access) 향상에 기여 가능
- 바이오매스 생산과 연관성이 깊은 농림수산물 분야의 산업활성화 견인 가능



- 작물, 임지잔재물, 해조류 등을 활용하여 연료로 전환하는 특성상 농림수산물식품분야와 연계성이 높은 편
  - 지역별로 가장 수확이 용이한 바이오매스를 활용하는 특성상, 해당 지역의 신규 고용 창출 등 경제적 효과도 함께 발생<sup>31)</sup>
  - 농임업 잔재물을 고부가가치가 높은 바이오 연료로 활용하는 등 농업의 6차 산업으로서의 패러다임 전환에 기여
  - 또한, 전분계 바이오매스를 발효하여 바이오 알코올을 생산하는 기술은 주류 제조 과정에서 주정(酒精) 제조 기술과 유사한 측면이 많아 주류 업체에서 사업 영역을 확장하기 용이한 분야
  - \* 우리나라에서도 주류 제조 업체인 보해양조에서 바이오 알코올을 생산하는 창해에탄올을 계열사로 운영 중

31)

[http://www.unep.org/bioenergy/Issues/BioenergyDrivers/EnergyAccess/tabid/79398/Default.aspx\(2015. 09. 16 검색 결과\)](http://www.unep.org/bioenergy/Issues/BioenergyDrivers/EnergyAccess/tabid/79398/Default.aspx(2015. 09. 16 검색 결과))



## II. 기술개발동

### 향

#### 01 해외 기술개발 동향

##### ● 주요국별 R&D 동향

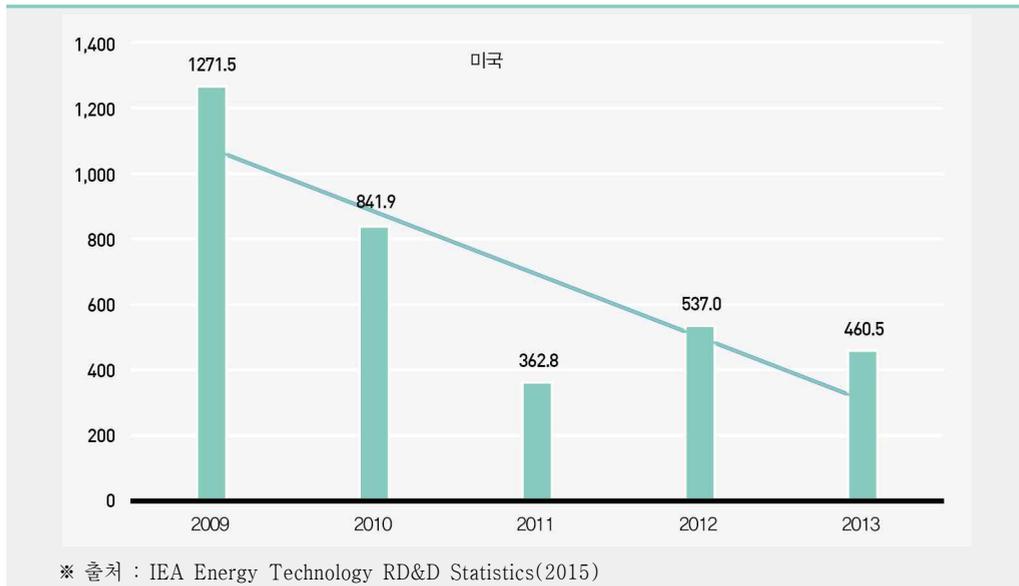
##### ● 미국

- 미국의 바이오에너지 분야 RD&D(Research, Development & Dissemination)를 살펴보면, 2009년 약1,271백만 달러 규모였으나, 2013년에는 약 460백만 달러 수준으로 감소

\* 2009년 이래로 연평균 18.4% 수준으로 지속적으로 감소하는 중

- 이는 실증 및 상용화 단계의 빠른 진입으로 인해 정부의 R&D 투자 위주에서 민간 투자로의 전환·확산되는 현상과 관련이 있는 것으로 추정

최근 5년간 미국의 바이오 에너지 분야 RD&D 투자 규모(2009~2013)





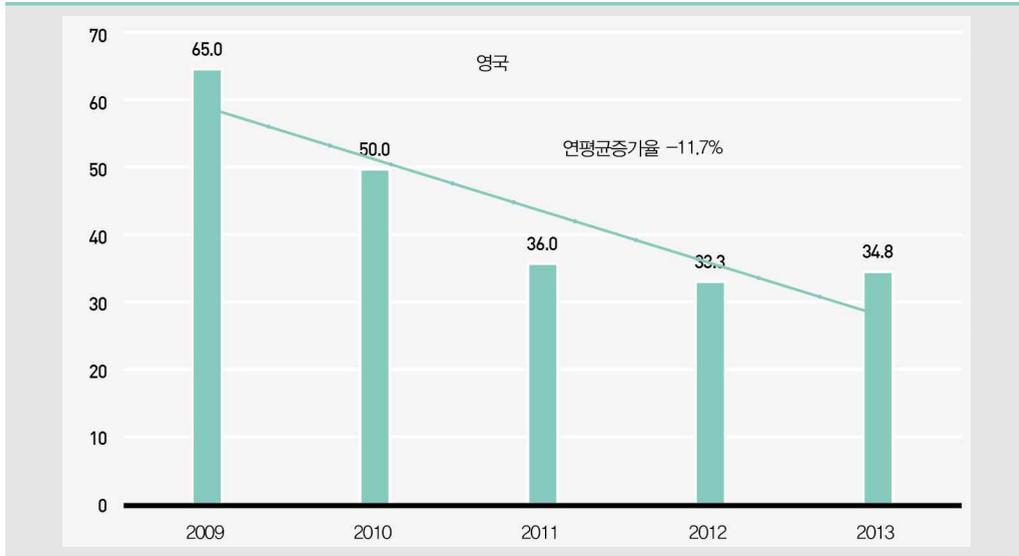
- 대체연료 및 재생가능 연료 및 차량 기술 프로그램(Alternative and Renewable Fuel and Vehicle Technology Program; ARFVTP)을 중심으로 바이오연료 개발에 박차
  - 동 프로그램은 청정 교통수단을 개발하기 위한 목적으로 수행되는 과제로, 바이오연료 개발은 그 일환으로 수행\*
    - \* 연구내용 : 플러그인 전기차, 수소 연료전지 차량, 천연가스와 신재생가스 차량, 프로판 차량, 바이오연료 등
  - 프로판 혹은 천연가스 이용 자동차와 전통적인 휘발유 또는 경유기반 자동차들의 비용차이를 줄이기 위한 목적에서 시행되는 사업으로 동 프로그램의 프로젝트들에 1천 5백만불 이상 투자 계획
- 바이오매스 탐색·개발 관련 주요 R&D 프로그램으로 미국 에너지부의 주관 하에 휴먼 게놈 이니셔티브(Human Genome Initiative) 및 미세조류 프로그램 (Algae Program) 등 수행
  - (휴먼 게놈 이니셔티브) 유전체 분야 연구개발의 일환으로 일부 프로젝트를 통해 지속가능한 바이오연료 생산, 탄소 저장 향상, 오염 물질의 생물학적 교정을 위한 미생물과 플랜트의 재구축을 가능케하는 유전자 정보가 기능적 작용으로 전환되는 과정 연구 중
  - (미세조류 프로그램) 바이오에너지 기술국(BETO)에서 추진되고 있는 사업으로 미세조류를 이용한 바이오연료 기술 개발 및 상용화 추진
    - \* (예산규모) 25.05백만 달러
    - \* (추진기간) 2010년부터 2030년까지 추진될 예정

## ● 영국

- 영국의 바이오에너지 분야 RD&D규모는 2009년 65백만 달러 규모였으나, 2013년에는 34.8백만 달러 수준으로 감소
  - \* 2009년 이래로 연평균 11.7% 수준으로 지속적으로 감소하는 중



최근 5년간 영국의 바이오 에너지 분야 RD&D 투자 규모(2009~2013)



※ 출처 : IEA Energy Technology RD&D Statistics(2015)

- 바이오연료 공급확대를 통한 운송수단의 온실가스 배출량을 저감하기 위하여 수송용 신재생 연료 의무 혼합제도(Renewable Transport Fuels Obligation; RTFO) 도입(2008)<sup>32)</sup>
  - 기업들은 매년 450,000L 이상의 연료를 신재생 에너지로 활용하도록 의무를 부과하고 수송 연료 공급자는 준수 여부 보고서를 매년 신재생 연료청 (Renewable Fuel Agency; RFA)에 매년 제출
  - \* 세계 최초로 바이오연료에 대한 지속가능성 관리를 위해 교통부 산하에 신재생연료청 (Renewable Fuel Agency) 설치('07)<sup>33)</sup>

영국 RTFO에서의 바이오디젤 기준

연 도	의무 혼합비율(%)
2009~2010	3.5
2010~2011	4.0
2011~2012	4.5
2013~2014	5.0

32) 전은진·한수현, 바이오 에너지 이슈 분석 및 정책제언, 2014.

33) 김재곤, 지속가능한 바이오연료의 보급정책과 기술개발 동향, KIC News, Volume 16, No.2, 2013



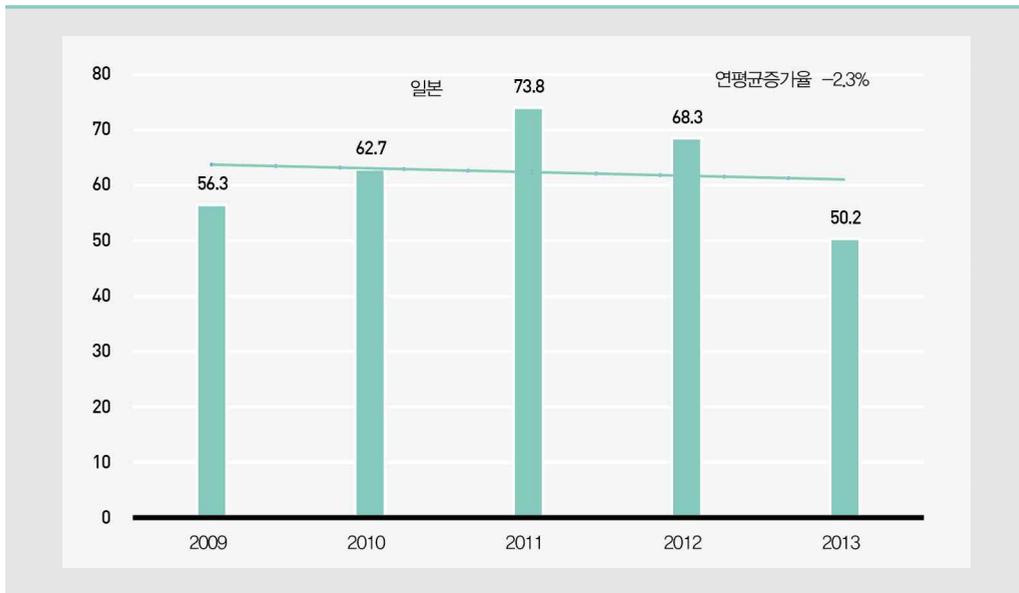
※ 출처 : 김재근(2013)



- 기후변화·에너지부(Department of Energy & Climate Change; DECC) 주관 하에 바이오가스 프로젝트(Bio gas Project) 및 바이오에너지 프로그램 추진
  - 양 프로젝트 모두 바이오가스를 활용한 전기시설 및 보일러 개발을 목적으로 추진 중
  - \* 특히 바이오에너지 프로그램의 경우 영국 에너지 기술 연구소(Energy Technology Institute; ETI)에서 수행하고 있으며 25% 순수 전기효율로 운영되는 시설 설계를 목표로 추진 중

● 일본

- 일본의 바이오에너지 분야 RD&D 투자액은 2009년 56.3백만 달러 규모였으나, 2013년에는 50.2백만 달러 수준으로 감소
- 2009년 이래로 연평균 -2.3%씩 감소한 것으로 나타나고 있으나, 연도별 투자 금액을 살펴보면 연도별로 투자 금액 증감 폭이 큰 편



※ 출처 : IEA Energy Technology RD&D Statistics(2015)

- ‘과학기술 이노베이션 종합전략 2014’을 통해 첫 번째 정책과제로서 “청정하고 경제적인 에너지 시스템 실현”을 제시하고 바이오연료 등 세부 분야에 대한 기술개발 목표 제시<sup>34)</sup>



- 바이오연료 분야 요소기술개발을 크게 미세조류 유래의 연료제조기술개발 및 셀룰로오스계 연료제조기술개발로 나누고 있으며, 실용화 기술개발 대상으로서 셀룰로오스계 연료 생산시스템 제시
- 현재 일본 정부는 제5기 과학기술기본계획 수립과정에서 경제·사회적 과제에의 대응을 위해 에너지·자원·식량의 안정적 확보를 중요 정책과제로 설정 검토
- 동 중요 정책과제의 일환으로 바이오매스 및 폐기물 등으로부터의 연료 및 화학품 등 제조·이용 기술에 대한 연구개발 논의 중<sup>35)</sup>

## ● 산업 동향 및 연구 동향

### ● 총괄

- (바이오에탄올) 1세대 바이오에탄올 기술은 1970년대부터 상용화되었으나 식량 자원과의 중복성에 대한 윤리적 문제로 인해 목·초본계(2세대) 및 조류 바이오매스(3세대)를 에너지 원료로 이용하려는 연구 수행
  - 곡물·전분계 바이오매스 잔여 부산물(옥수수대, 보리짚)을 이용하거나, 기존 곡물 대체 원료로 억새, 단수수(Sweet Sorghum), 수수(Sorghum)에 대한 관심이 증대
  - 에너지 작물 개발과 함께 리그노-셀룰로오스 화합물을 당화하는 기술개발에 박차를 가하는 중
  - 3세대 바이오매스에서는 갈조류 및 홍조류 등의 거대조류를 이용한 바이오알코올 생산 연구가 진행되었으며, 바이오디젤 원료로 각광받고 있는 미세조류 기반 바이오매스에 대해서도 지질 추출 공정 이후 잔여 바이오매스 성분을 이용한 에탄올 발효 기술이 등장
- (바이오디젤) 전통적으로 폐유 및 유지작물을 이용한 바이오디젤 생산에 치중하였으나 최근에는 다양한 원료로부터 디젤을 생산하는 연구가 시도
  - 에너지 원료의 다양화와 탄소 저감 이슈에 상응하여 팜 부산물(EFB : Empty Fruit Bunch), 자트로파(Jatropha)와 오일 성분이 함유된 수수와 같은 기름 작물들을 이용하여 바이오디젤을 생산하는 연구가 진행

34) 일본종합과학기술혁신회의, 과학기술 이노베이션 종합전략, 2014

35) 종합과학기술혁신회의, '과학기술기본계획에 관하여'에 대한 답신(안), 2015.



- 특히, 3세대 바이오매스인 미세조류 기반 바이오디젤 생산 연구가 주목받으면서 미세조류 배양 시스템 개발 및 디젤 전환 수율을 높이기 위한 기술들이 2000년 중·후반부터 출현
- (바이오탄화수소) 수첨바이오디젤(HBD 혹은 그린 디젤), BTL(합성 디젤) 및 바이오오일로부터 석유 연료와 동등하거나 매우 유사한 연료를 생산하려는 연구 수행
  - 기존의 전통 바이오디젤에서 나타나는 단점(유동성 및 산화안정성)을 개선하기 위해 석유기반 디젤과 매우 유사한 구조를 갖는 수첨바이오디젤을 개발
  - BTL 연료 생산 기술인 경우 2000년 중·후반부터 미국과 유럽을 거점으로 하는 몇몇 기업들의 주도로 상업화 공정단계까지 도달
  - 최근에는 바이오매스의 종류에 상관없이 급속 열분해(Pyrolysis) 공정을 통해 바이오오일을 제조한 후 바이오탄화수소를 추출하는 연구 수행
- (바이오가스) 바이오메탄 생산에 집중하는 반면, 바이오수소 생산 기술은 전 세계적으로 미약한 단계에 위치
  - 바이오가스는 열병합발전의 연료로 주로 활용되었으나 최근 EU 및 미국에서는 바이오가스를 고순도로 정제하여 액화 바이오메탄(LBM)/압축 바이오메탄(CBM)의 수송연료로 활용하는 고질화기술\*을 개발 및 상용화
    - \* 바이오가스를 정제하여 메탄농도가 95% 이상인 바이오메탄을 생산하는 기술로서, 흡수법, 흡착법, 막분리법, 심냉분리법이 있음
  - 농·임업 부산물, 오·폐수 및 기타 바이오매스와 폐기물을 이용하여 바이오메탄을 전환하는 연구가 지속적으로 수행 중

## ● 미국

- 바이오알코올
  - 셀룰로오스 기반 목·초본계 바이오매스를 이용하여 바이오알코올 생산 기술 상용화를 위한 가시적인 기술 개발 성과들이 도출
    - \* 토착 식물 종의 개량을 통한 바이오매스 함량 증대
    - \* 효율적인 리그노-셀룰로오스 화합물의 당화를 위한 용매 개발
    - \* 당화 및 전처리 과정에서 리그닌 분리와 제거 방법 개발
    - \* 발효 균주에 당화기술을 도입하여 셀룰로오스 및 헤미셀룰로오스 단위의 다당류를 직접 발효하는 통합공정기술(CBP, Consolidated bioprocessing) 개발



- \* 셀룰로직 부탄올/에탄올 상업화 공정기술 개발
- 일부에서는 미세조류(남조류)로부터 발효당을 추출하여 에탄올로 발효하는 기술을 개발하는 등 원료의 범위를 제3세대 이상의 바이오매스까지 확장



- 바이오디젤

- 오일이 함유된 초본계 바이오매스의 개량 연구가 진행 중이며, 미세조류 대량 배양 시스템을 구축하는 기술과 더불어 준상업화 수준의 바이오디젤 생산을 시도
  - \* 오일 함유 수수작물 개발
  - \* 미세조류 바이오매스 생산을 위한 테스트베드 구축 및 배양 표준화 연구
  - \* 단순 당류를 바이오디젤 특성에 맞게 지방산 및 오일로 전환하는 방법 개발
  - \* 미세조류를 대량 생산 후 바이오디젤 생산 원료로 활용하는 기술의 상용화를 위한 실증연구 수행 중

- 바이오탄화수소

- 수소첨가반응을 통한 파라핀 탄화수소 형태의 바이오디젤 대량 생산 기술과 바이오매스를 바이오오일로 전환하는 기술을 확보 중이며, 미생물 발효를 통해 가솔린과 디젤을 직접 합성하는 연구가 진행 중
  - \* 수첨바이오디젤 상업화 공정 기술 개발
  - \* 유전자재조합을 통한 미생물의 탄화수소 합성 유도
  - \* 다양한 바이오매스 원료를 바이오오일로 전환하는 기술 개발

- 바이오가스

- 바이오가스를 고순도의 수송용 메탄으로 정제하는 기술을 보유하고 있으며, 바이오가스를 생산하기 위한 새로운 박테리아 균주를 탐색하는 등의 노력이 일어나는 편
  - \* 바이오가스를 정제하여 초저온 상태에서 액화바이오메탄을 생산하는 기술 개발
  - \* 폐기물로부터 바이오메탄을 생산하기 위한 혐기 소화조 구축 기술 보유
  - \* 바이오메탄을 생산하기 위한 새로운 종의 박테리아 탐색

● EU

- 바이오알코올

- 풍부한 목질계 바이오매스와 부산물을 기반으로 에탄올 및 부탄올 생산 요소 기술 개발이 이루어지는 편
  - \* 목질바이오매스 전처리에 적합한 효소 콕테일 개발
  - \* 양조과정에서 파생된 부산물을 이용한 부탄올 발효 기술 개발
  - \* 목질계 부산물을 이용한 알코올 발효 기술 개발



- 바이오디젤
    - 주로 1세대 바이오매스에 기반한 바이오디젤 생산에 집중하고 있으며, 대두유, 유채유가 원료로 사용되고 있으나 최근에는 폐식용유 활용을 장려하는 경향이 나타나고 있는 실정
      - \* 원료 오일로 동물유지, PFAD(Palm Fatty Acid Distillate), trap grease, 폐식용유 등을 이용하여 비균질계 촉매를 이용한 고산가 오일 전환기술을 개발하는 사례가 보고
  - 바이오탄화수소
    - 몇몇 선도기업들을 중심으로 수첨바이오디젤(HVO) 및 BTL 상업화 공정 기술을 확보하고 있으며, 풍부한 목질계 바이오매스를 기반으로 바이오오일을 생산하고자 하는 연구 경향이 산발적으로 발생
      - \* 수첨바이오디젤 및 BTL 상업화 공정 기술 개발
      - \* 미생물의 탄화수소 합성에 관여하는 효소의 메카니즘 규명
      - \* 목질계 바이오매스를 바이오오일로 전환하는 기술 개발 연구
  - 바이오가스
    - 바이오가스를 고순도의 수송용 메탄으로 정제하는 기술을 보유하고 있으며, 농업 생산물 혹은 폐기물 유래 혐기 소화조를 통한 바이오메탄 생산과 수송 연료 적용 사례들이 보고
      - \* 밀짚을 이용한 바이오메탄 생산 기술 개발
      - \* 바이오가스 고질화기술 개발
      - \* 폐기물 유래 바이오메탄 생산 및 수송연료로의 적용
- 일본
- 바이오알코올
    - 학교 및 연구소를 중심으로 비식량 바이오매스로부터 에탄올과 부탄올을 생산하는 기술들이 개발 중
      - \* 부패된 실과를 이용한 부탄올 발효 기술
      - \* 비식량 바이오매스로부터 고체발효를 통한 에탄올 발효 기술
  - 바이오디젤
    - 산업계 연구소를 중심으로 미세조류 유래 바이오디젤 생산 연구가 진행 중
      - \* 미세조류 유래 바이오디젤 생산



- \* 미세조류 대량 배양 시스템 구축
- \* 고지질 함유 우량 미세조류 개량

- 바이오탄화수소

- 학교 및 산업계 등지에서 바이오탄화수소 생산과 관련한 요소기술들이 개발 중에 있으며, 수첨바이오디젤, 바이오오일 생산과 관련한 기술들이 출현
  - \* 수첨바이오디젤 제조 기술 개발
  - \* 조류로부터 연료용 바이오탄화수소를 생산하는 새로운 방법 개발

● 중국

- 바이오알코올

- 농업 생산물을 이용한 바이오에탄올 생산 연구가 행해져왔으며, 최근에는 농업 부산물을 이용한 셀룰로직 에탄올 발효 공정 기술 개발 확립
  - \* 동남아시아로부터 수입한 카사바(Cassava)를 이용한 에탄올 생산
  - \* 사탕수수 버게스와 옥수수대의 리그노셀룰로오스를 이용한 바이오알코올 전환 공정 기술 개발

- 바이오디젤

- 자트로파, 폐유, 미세조류로부터 촉매 반응을 통한 바이오디젤 생산 연구가 진행 중

- 바이오탄화수소

- 유전변이된 미생물을 이용한 바이오탄화수소 합성 기술 및 바이오매스 유래 플랫폼 화합물로부터 탄화수소 생산 기술 개발 사례가 보고
  - \* 유전자변형 대장균을 이용한 항공유 원료물질 생합성
  - \* 바이오매스로부터 얻은 감마-발레로락톤(GVL)로부터 가솔린 생산 기술 개발



각 대상국 품목별 최근 기술개발 예

대상국	품목	최근 기술개발 예
	바이오알코올	<ul style="list-style-type: none"> <li>•미 농무부 산하 농업연구원(ARS)은 복미 다년생 식물인 지팡이풀(switch grass)를 개량하여 기존에 비해 43% 많은 바이오매스 함량을 확보</li> <li>•노스캐롤라이나 주립대학의 연구진이 바이오연료 생산비용을 낮추어 줄 간단하고 효율적이며 상대적으로 저렴한 리그닌 제거 방법을 개발.</li> <li>•위스콘신-메드슨 대학 J. Dumesic 교수 연구팀에서 식물유래 무독성의 감마-발레로락톤(Gamma-Valerolactone)에 약간의 황산을 첨가함으로써 분해가 어려운 목·초본계 바이오매스를 용해할 수 있는 용매를 개발</li> <li>•Energy Biosciences Institute(EBI)에서는 새로운 대사경로를 효모에 도입하여 셀룰로오스 및 헤미셀룰로오스 발효하는 기술을 개발</li> <li>•NREL에서는 에탄올 발효 박테리아 Zymomonas 속 미생물에 오타당 대사경로를 삽입하여 5탄당과 6탄당을 동시에 발효하는 재조합 미생물을 개발</li> <li>•Butamax社에서 높은 수율의 옥수수 기름 분리 기술을 이용하여 바이오부탄올을 생산하는 공정 구축</li> <li>•Syngenta社에서 옥수수 낱알 안에서 당화 효소가 직접 발현하도록 하는 새로운 셀룰로직 에탄올 공정기술을 개발</li> <li>•Algenol社에서 남조류를 이용하여 에탄올을 생산하는 공정 구축</li> </ul>
미국	바이오디젤	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Piedmont Biofuel社, Blue Sun社, VIESEL社 등은 자유지방산 100% 수준의 yellow grease, 폐식용유 등을 이용하여 효소 바이오디젤 공정을 상용화함</li> <li>•Sapphire Energy社: 뉴멕시코주에 세계 최대 규모의 본격적인 실증 플랜트(약 120ha의 부지)</li> <li>•솔릭스(Solix Biofuels, Inc.)社は 듀랑고(Durango)시 부근에 실증단지를 짓고 폐수를 이용한 통합적인 배양 시설을 운영</li> <li>•에리조나 주립대학에서 ATP3 파트너십을 결성하여 미세조류 바이오매스 생산을 위한 테스트베드 구축 및 배양 표준화 연구를 수행 중</li> <li>•텍사스 대학 H. Alper 연구팀에서 단순 당류를 바이오디젤 특성에 맞게 오일과 지방의 형태로 전환시키는 효모를 개발</li> <li>•일리노이대학이 주도한 공동 연구진은 사탕수수를 변환하여 분포지역을 확장하고 광합성 비율을 30% 증가시킨 바이오디젤 생산용 내한성 사탕수수를 개발</li> </ul>
	바이오탄화수소	<ul style="list-style-type: none"> <li>•UOP에서 Ecofining 공정을 통해 "Green Diesel" 대량 생산 기술 확보</li> <li>•LS9社에서 유전자재조합된 박테리아를 이용하여 기존 바이오디젤보다 우수한 바이오탄화수소 형태의 합성 디젤을 개발</li> <li>•KiOR는 기존 정유공장의 FCC(Fluid Catalytic Cracking) 공정과 수첨공정(Hydrotreating) 기술을 응용하여 바이오매스로부터 가솔린, 디젤, 연료유를 생산한 바 있음</li> <li>•Systems LLC에서 세계최초로 폐수와 조류 및 다른 바이오매스 원료를 이용하여 바이오오일로 전환하는 탄소-저감형 기술 개발</li> <li>•Pacific Northwest National Labortory(PNNL)에서 미세조류를 직접 바이오원유화하는 기술 개발</li> </ul>



		<ul style="list-style-type: none"> <li>●미 에너지부(DOE) 산하의 바이오에너지연구소(JBEI)에서 유전적 변형 대장균으로부터 바이오가솔린 생산에 관여하는 유전자를 규명</li> </ul>
	바이오 가스	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Prometheus Energy, Acrion Technology社를 중심으로 바이오가스를 정제하여 초저온으로 액화시켜 액화바이오메탄(LBM)을 생산하는 기술을 성공적으로 개발</li> <li>●캘리포니아 데이비스 대학에서 폐기물을 연료로 변환하는 바이오소화조를 개발 (처리용량: 50톤/일)</li> <li>●버지니아 공대 및 버클리 대학 연구진들에 의해 바이오메탄을 생성하는 심해 서식 내열성 고세균 발견</li> </ul>
	바이오 알코올	<ul style="list-style-type: none"> <li>●(영국) 노팅엄 대학에서 바이오에탄올 생산을 목적으로 목질 바이오매스에 전처리에 적합한 맞춤형 효소 콕테일 개발</li> <li>●(영국) Celtic Renewables社에서 위스키 부산물로부터 바이오부탄올을 생산하는 기술 개발</li> </ul>
	바이오 디젤	<ul style="list-style-type: none"> <li>●(네덜란드) BDI-Bioenergy사는 원료오일로 동물유지, PFAD, trap grease, 폐식용유 등을 이용하여 균질계 K 계열 촉매를 이용한 고산가 오일 전환기술을 개발</li> </ul>
EU	바이오 탄화 수소	<ul style="list-style-type: none"> <li>●(핀란드) Neste Oil社에서 식물유와 동물성 지방을 원료로 사용하여 NExBTL(Next generation biomass to liquids)이라는 수첨바이오디젤 상업화 공정 개발</li> <li>●(영국) 맨체스터 생명공학기술원 연구진에 의해 효모로부터 바이오탄화수소를 생산할 수 있는 기작과 이를 관여하는 주요 효소의 구조 규명</li> <li>●(스웨덴-노르웨이) 연구개발 클러스터 구축을 구성하고 리그닌 열화학공정을 통해 바이오오일로 변환하고자 하는 연구개발 진행 중</li> </ul>
	바이오 가스	<ul style="list-style-type: none"> <li>●(독일) Verbio AG社에서 밀짚을 이용한 바이오메탄 생산 기술 개발</li> <li>●(스웨덴) Malmberg社는 Water scrubbing 방식의 고질화기술을 보유</li> <li>●(노르웨이) Wast silica社에서 폐기물 유래 액화가스로 버스용 바이오메탄 생산 기술 개발</li> </ul>
	바이오 알코올	<ul style="list-style-type: none"> <li>●미에 대학 생물자원학과 연구팀에서 썩은 굴을 이용한 바이오부탄올 생산 기술을 개발</li> <li>●일본 농업환경기술 연구소에서 비식량 바이오매스로부터 고체발효를 통한 에탄올 생산 공정 기술을 확립</li> </ul>
	바이오 디젤	<ul style="list-style-type: none"> <li>●렌소社에서는 2008년부터 Algae Green Project를 통하여 저온에서 미세조류 오일 유래 바이오디젤 전환 공정 개발 중</li> <li>●젠포社에서는 2010년부터 미세조류 대량 배양 시스템을 설치하여 운전 중이며, 고지질 우량 미세조류 개발을 위한 연구도 진행 중</li> </ul>
	바이오 탄화 수소	<ul style="list-style-type: none"> <li>●츠크바 대학에서 바이오탄화수소를 생산하는 종을 탐색하여 탄화수소를 생합성하는 연구 시도 중</li> <li>●도호쿠대학 대학원 공학연구과 연구팀과 츠크바대학 생명환경계 연구팀에서 조류가 생산하는 탄화수소 스쿠알렌을 휘발류 및 제트연료로 변환하는 새로운</li> </ul>



		<p>방법을 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•신일본석유에서 BHD(Biohydrotreated Diesel)이란 이름으로 수첨바이오디젤 제조 기술을 개발</li> <li>•선박 등 제조기업인 IHI는 진엔진 테크놀로지, 네오모건 연구소와 함께 IHI NeoG Algae사를 설립, 2013년 A 중유와 유사한 바이오 오일을 생산하는 조류의 옥외 배양에 성공</li> </ul>
	바이오 알코올	<ul style="list-style-type: none"> <li>•동중국대학의 Bao 교수 팀에서 사탕수수 버게스와 옥수수대의 리그노셀룰로오스를 이용한 바이오피파이너리 전환 공정 기술 확보(처리용량: 2,000톤/일)</li> </ul>
	바이오 디젤	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Lvming社는 자유지방산 80% 이상 폐식용유를 고정화 촉매(Candida sp. 99-125 효소)를 활용하여 전환수율 90% 이상의 FAME 생산 기술 확보</li> <li>•칭화대 연구팀에서 자트로파, 미세조류 및 폐유로부터 효소반응을 통한 바이오 디젤 생산 연구 수행 중</li> </ul>
	바이오 탄화 수소	<ul style="list-style-type: none"> <li>•칭다오 바이오에너지 및 바이오공정기술연구소의 연구진은 유전자변형 대장균을 이용하여 사탕무유래 사비넨(C10H16, 항공유 원료물질) 생합성에 성공</li> <li>•중국과학원의 과학자들이 이온성 액체를 사용하여 바이오매스로부터 얻은 감마-발레로락톤(GVL)으로부터 95.4의 옥탄가를 갖는 가솔린 연료를 생산하는 기술 개발</li> </ul>



## 02 국내 기술개발 현황

### ● 정부R&D 투자 현황

- 바이오에너지에 대한 국가 R&D 투자규모('10~'14)는 '10년 81,432백만원에서 연평균 약 3.5%씩 증가한 결과, '14년에는 93,425백만원 수준에 도달

※ 연도별로 다소 유동은 있으나 대체적으로 800억 초반~900억대 초반 규모 유지

- 유가가 안정세에 접어든 기간임에도 불구하고 R&D 투자 규모의 변동이 적은 편이 특색

바이오에너지 국가 R&D 투자 추이('10~'14)



- 최근 5년간 연구수행주체별로 바이오에너지 R&D 투자 누계를 분석해보면, 출연연구소(29.7%), 대학(29.0%), 중소기업(20.4%)의 수행 비중이 높은 편



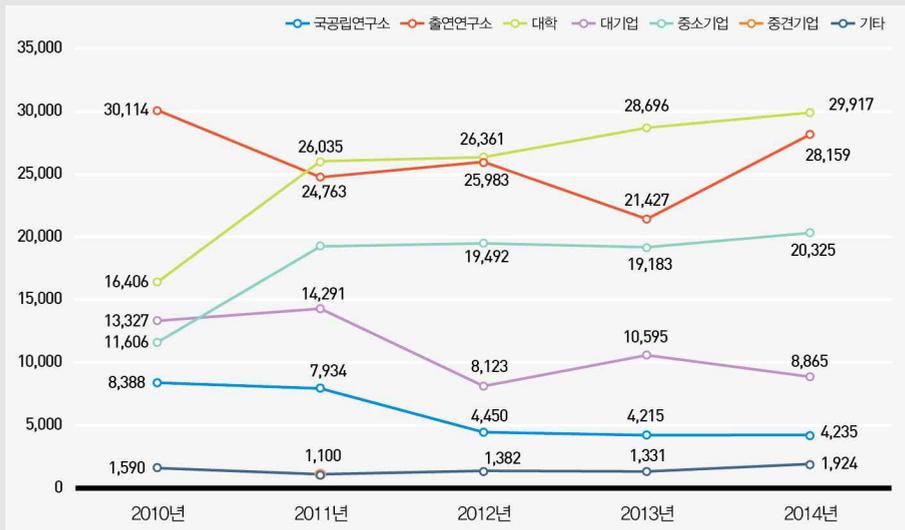
- '10년 당시 대학의 R&D 수행규모는 출연연구소의 절반 수준에 불과하였으나, '11년부터 가파르게 수행규모가 증가하여 출연연구소를 역전

※ 미래부의 글로벌 프론티어 사업에서 수행되는 차세대바이오메스연구단 출범('10.10) 등의 요인이 반영된 결과로 보임

바이오에너지 분야 연구수행주체별·연도별 R&D 투자 규모('10~'14)

	10년	11년	12년	13년	14년	소계	비중
국공립연구소	8,388	7,934	4,450	4,215	4,235	29,222	6.6%
출연연구소	30,114	24,763	25,983	21,427	28,159	130,447	29.7%
대학	16,406	26,035	26,361	28,696	29,917	127,416	29.0%
대기업	13,327	14,291	8,123	10,595	8,865	55,200	12.6%
중소기업	11,606	19,257	19,492	19,183	20,325	89,864	20.4%
기타	1,590	1,100	1,382	1,331	1,924	7,328	1.7%
총계	81,432	93,380	85,792	85,448	93,425	439,477	100.0%

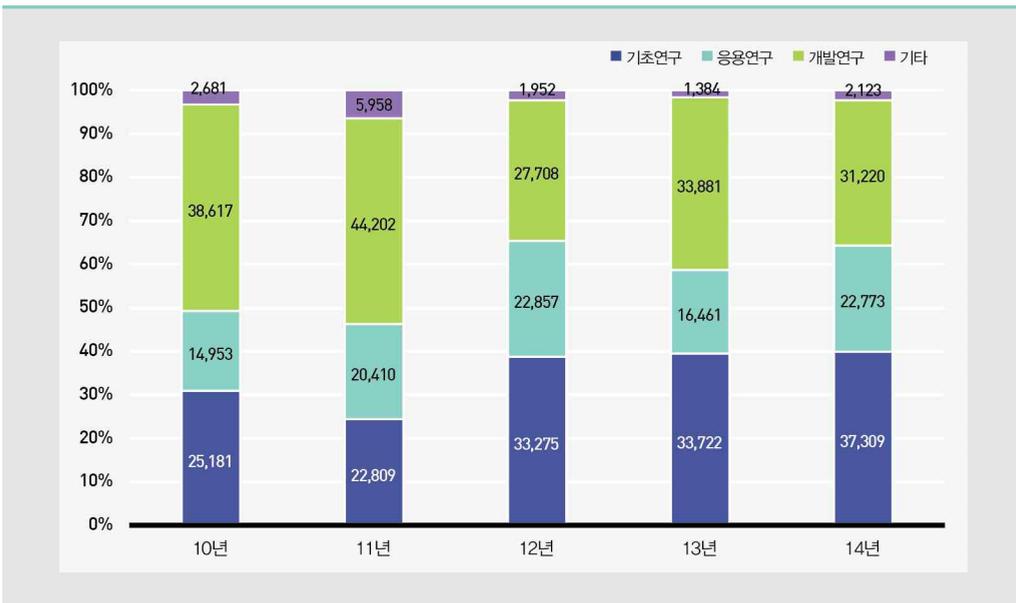
바이오에너지 분야 연구수행주체별 R&D 수행 규모 변화 추이('10~'14)





- 연구개발단계별로 살펴보면, '10~'11년에는 개발연구의 비중이 높았으나, 점차 기초연구 및 응용연구의 비중 증가
  - '12년부터 기초연구의 규모는 큰 변동 없이 300억원대로 수준을 유지하는 경향을 보임

바이오에너지 분야 연구개발단계별 R&D 투자 변화 추이('10~'14)



- '14년도 부처별·연구개발단계별 R&D 투자현황을 살펴보면, 미래부에서 기초연구에 가장 많은 투자(21,282백만원)를 하고 있으며, 그 다음 환경부(5,144백만원), 산업부(4,045백만원) 순
  - 개발연구단계에서는 산업부가 가장 많은 9,940백만원을 투자하였으나, 미래부 역시 이와 비등한 규모인 9,842백만원을 투자
  - ※ 산업부는 응용연구단계에도 가장 많은 투자(10,701백만원)를 진행



## ● 국내 기술별 기술수준

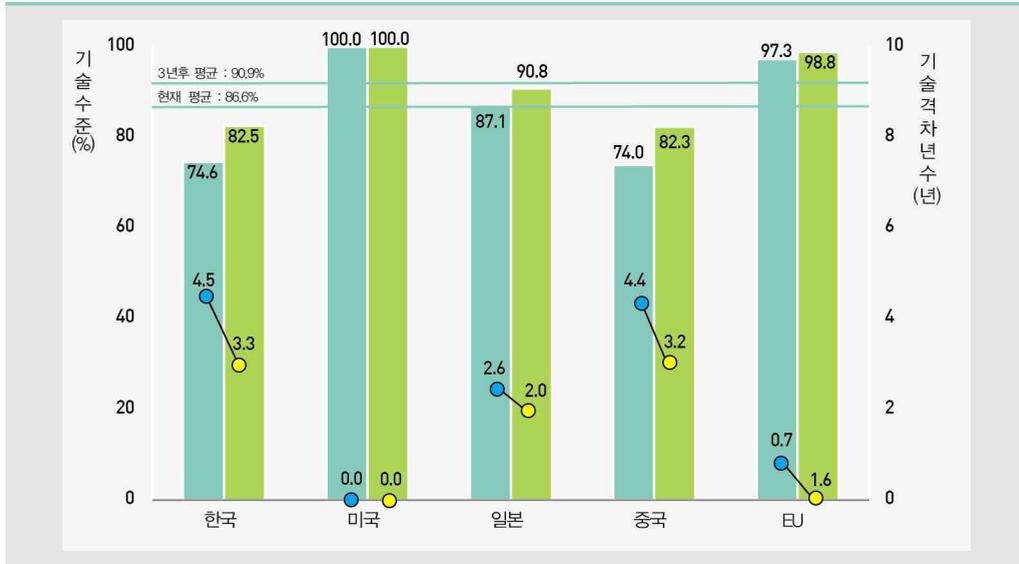
- '15년 현재 우리나라의 바이오에너지 분야 기술수준은 중 세계최고기술보유국(미국) 대비 한국(74.6%)로 주요 5개국 중 4위\*를 차지

\* 미국(100.0%), EU(97.3%), 일본(87.1%)에 비해 기술수준이 낮은 반면, 중국(74.0%) 보다는 0.6%p 차로 근소한 우위 유지

- 주요 5개국 간의 기술 수준 순위는 3년 후에도 그대로 유지 되어, 세계최고기술보유국(미국) 대비 EU(98.8%), 일본(90.8%), 한국(82.5%), 중국(82.3%) 순일 것으로 전망



주요 5개국별 '15년도 기술수준 및 기술격차 비교



- (전략 제품 · 서비스 기술 수준) 4개의 전략제품 서비스 기술 중 우리나라의 바이오 디젤기술 수준이 78.8%로 가장 높은 편

\* 해당 분야 주요 5개국별 기술수준 순위 : 미국(100.0%) > EU(97.3%) > 일본(87.1%) > 한국(74.6%) > 중국(74.0%)

- '15년 현재 바이오 알코올 및 바이오 탄화수소의 기술수준은 낮은 편이나(각각 68.8%, 70.0%)이나, 3년 후에는 약 10.0%p 가량 가파르게 기술수준이 상승할 것으로 전망



전략제품·서비스별 주요 국가의 기술수준 비교

전략 제품 서비스	최고 기술 보유 국 ( '15)	최고 기술 보유 국 ( '18)	(단위 : %)														
			한국			미국			일본			중국			EU		
			15 년 (A)	18 년 (B)	B- A	15년 (A)	18년 (B)	B- A	15 년 (A)	18 년 (B)	B- A	15 년 (A)	18 년 (B)	B- A	15년 (A)	18년 (B)	B- A
바이오 알코올	미국	미국	68.8	78.8	10.0	100.0	100.0	0.0	81.3	88.8	7.5	70.0	80.0	10.0	88.8	92.0	3.3
바이오 디젤	미국	미국	78.8	84.5	5.8	100.0	100.0	0.0	85.0	88.8	3.8	76.3	82.5	6.3	97.0	98.5	1.5
바이오 가스	EU	EU	72.5	78.8	6.3	88.8	90.3	1.5	87.5	89.3	1.8	71.3	78.8	7.5	100.0	100.0	0.0
바이오 탄화수 소	미국	미국	70.0	80.0	10.0	100.0	100.0	0.0	85.0	87.5	2.5	70.0	80.0	10.0	92.5	95.0	2.5
평균	미국	미국	74.6	82.5	7.9	100.0	100.0	0.0	87.1	90.8	3.6	74.0	82.3	8.4	97.3	98.8	1.5



- 요소기술별 기술진입장벽에 대한 전문가 응답 현황을 살펴보면 전반적으로 요소기술별 진입장벽이 보통 수준으로 평가
  - 세부적으로 살펴보면 바이오 알코올은 전처리 단계가, 바이오 가스·바이오 탄화수소의 경우 전환 단계가 타 단계 요소기술 대비 진입장벽이 높다고 인식하는 경향
  - 바이오 디젤의 경우에는 타 분야와는 다르게 원료 생산 및 확보 단계가 기술진입장벽이 높은 것으로 평가된 점이 특색

요소기술별 기술진입장벽에 대한 전문가 응답 현황

요소기술		낮은 편	보통	높은 편
바이오 알코올	바이오 알코올 분야 원료 생산 및 확보 기술	20.1	54.1	25.7
	바이오 알코올 분야 전처리 기술	2.3	57.2	40.6
	바이오 알코올 분야 전환 기술	16.3	53.7	30.0
	바이오 알코올 분야 후처리 기술	30.5	56.6	12.9
바이오 디젤	바이오 디젤 분야 원료 생산 및 확보 기술	9.5	48.5	42.0
	바이오 디젤 분야 전처리 기술	10.3	70.3	19.4
	바이오 디젤 분야 전환 기술	10.1	61.0	28.9
	바이오 디젤 분야 후처리 기술	32.6	53.0	14.5
바이오 가스	바이오 가스 분야 원료 생산 및 확보 기술	20.7	51.9	27.4
	바이오 가스 분야 전처리 기술	14.0	79.6	6.4
	바이오 가스 분야 전환 기술	12.0	47.3	40.7
	바이오 가스 분야 후처리 기술	3.5	50.7	45.9
바이오 탄화수소	바이오 탄화수소 분야 원료 생산 및 확보 기술	11.5	55.5	33.0
	바이오 탄화수소 분야 전처리 기술	5.9	78.8	15.4
	바이오 탄화수소 분야 전환 기술	0.0	36.1	63.9
	바이오 탄화수소 분야 후처리 기술	9.7	70.4	19.9



## ● 산업 동향 및 연구 동향

### ● 바이오알코올

- 정부에서는 국내 바이오매스관련 산업의 수요에 대응하기 위한 국내에 적합한 바이오매스 선발, 품종육성 및 개량, 재배기술 등에 중점을 둔 연구를 수행 중
- 대학의 경우 대부분 바이오에너지 관련 연구에 목적을 두고, 바이오매스 전처리와 당화기술을 위주로 하는 영역에서 깊이 있는 연구 수행
- 정부출연연구기관에서는 목질계 바이오매스를 원료로 사용하여 바이오에너지, 바이오화학제품과 관련된 연구를 중점적으로 수행하고, 국내 중소기업들과 협동연구를 통하여 바이오기업의 기술개발을 추진
- 산업계에서는 CJ, SK 이노베이션, GS 칼텍스, 대상 등이 바이오에너지의 개발을 위하여 바이오매스를 원료로 하는 '통합 셀룰로직 바이오리파이너리' 추진
- 1997년에 대학 및 국가 연구소를 중심으로 '목질계 수송용 알코올 제조공정 실용화에 관한 기초 연구'(예기연, '97. 01 ~ '99. 12)과제를 통해 셀룰로오스 바이오매스로부터 연료용 바이오에탄올을 생산 연구가 진행되었으나, 전처리 시스템과 전처리 당화액의 저해물질에 의한 발효 효율 저하 등의 문제가 발생하여 상업화로의 진입은 미약한 상태
- 농촌진흥청에서는 2009년 바이오에너지용 역새 '거대1호'를 개발하고, 2011년부터 3년에 걸쳐 금강 유역에 대규모 역새 생산 단지를 조성하였으며, 하루 100kg의 역새 원료를 처리해 15리터의 무수에탄올을 생산하는 Pilot 공정을 2013년에 건설

국내 비식용 목질계/초본계 바이오알콜 연구 지원현황

지원기관	사업 내용	연구기간
교과부	목질계 바이오에탄올 원천기술 개발	2010~2019
산업통상자원부 (구 지경부)	팜 부산물의 에탄올 전환 기술 개발 (Pilot 연구, 바이오에탄올 생산 용량 약 100L/일)	2010~2014
	비식용 바이오매스를 이용한 바이오부탄올 생산기술 개발 (Pilot 규모, 80L/일 규모)	2010~2012
	해조류 바이오에탄올 상용화 설비 Engineering 및 생산 공정 개발 (Pilot 규모, 500L/일 규모)	2009~2012

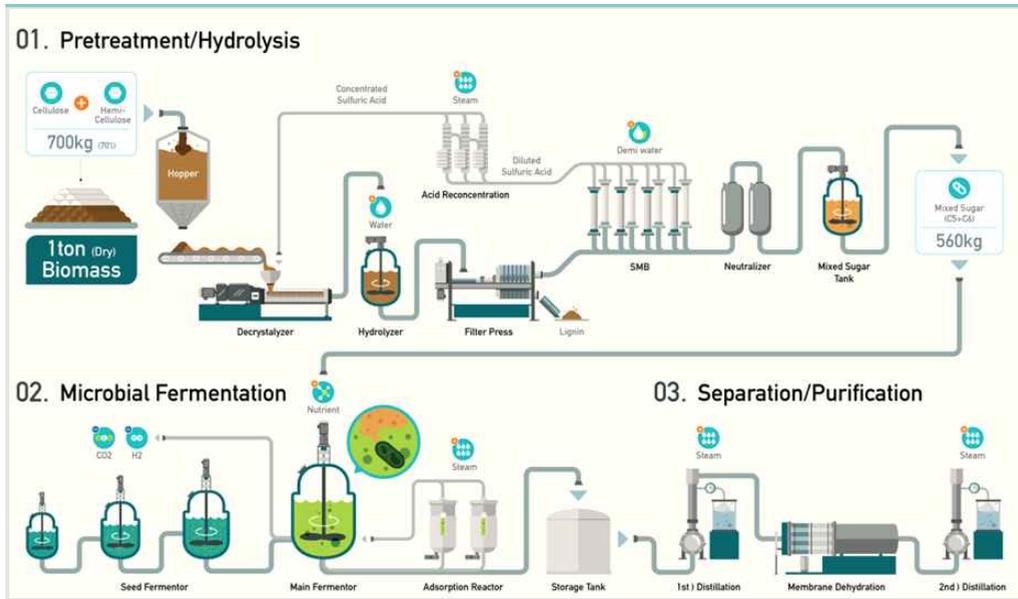


- 2000년대 중반부터 산업통산자원부, 산림청, 농촌진흥청 등 정부의 지원을 받아 셀룰로직 바이오연료 개발에 대한 연구가 진행 팜부산물, 역새, 헤조류 등 다양한 바이오매스를 활용하는 기술 개발이 진행되었으며 대부분의 바이오에탄올 생산에 역점을 두고 연구개발 수행 중
- 최근 GS 칼텍스에서 세계 최초 준상용화급, 세계 최고효율(33.1%)의 목질계 바이오부탄올 연료화 원천 기술을 확보
  - 향후 몇 년 이내의 상용화를 위해 전라남도 여수시에 데모 플랜트(400톤/년 생산규모)를 건설하는 등 가시적인 기술성과가 도출되고 있는 상황

GS칼텍스 바이오부탄올 연구동



GS칼텍스 2세대 바이오부탄올 전체 공정 흐름도



– 기타

- 강원대학교와 국립산림과학원이 목질계 바이오매스를 초임계수 처리로 가수분해하여 당화액을 형성하고 이를 바이오에탄올로 전환하는 기술을 개발
- 바이올시스템즈社は 해조류(거대조류)를 이용한 바이오에탄올 생산기술을 개발하고 전라남도 고흥에 500L/일 규모의 과일렛 플랜트를 건설하였음. 하지만 원료 수급, 일부 기술의 문제점 등으로 Pilot 규모에서 기술 시험은 아직 미약한 상태



주요 연구기관/기업

분류	세부 기술별	국내 기업/기관	외국 기업
1차 품목	바이오부탄올, 바이오에탄올	국내 정유회사	외국 정유회사
2차 품목	원료전처리/당화	GS칼텍스, CJ제일제당, 대상, 창해에탄올, SK에너지, 하이텍스, 삼성중공업, 삼양제넥스, 바이오시스템즈, 국립산림과학원, KIST, 농촌진흥청	Arkenol, Novozymes, Granbio, Abengoa, BetaRenewables, Danisco, Andritz
	미생물개발	에탄올 : 창해에탄올, 진로발효, 마크로젠 부탄올 : GS칼텍스, KAIST	에탄올 : Granbio, Abengoa, BetaRenewables, Dupont-Danisco, 부탄올 : Gevo, Butamax, GreenBiologics
	분리/정제	창해엔지니어링, 에젤, 코오롱엔지니어링	
	연료유 혼합	국내 정유회사	외국 정유회사
3차 품목	전처리/발효설비	코바이오텍, 바이오트론, 창성피엔알, 바이오시스템이엔지, 창해에너지어링, 건조기술, 슈가엔	

● 바이오디젤

- 폐식용유, 하수 슬러지 오일 및 동남아시아로부터 수입한 팜 부산물 오일 등을 이용하여 바이오디젤 사용을 위해 고체축매, 생축매를 활용해 대량생산 공정을 위한 R&D 진행 중.

※ 2015년 7월 31일부터 신재생에너지연료 혼합의무화제도(RFS)를 시행하여 자동차용 경유에 바이오디젤 2.5%를 의무혼합하여 공급하고 있는 실정

- 2010년도에 글로벌프론티어 사업의 일환으로 '차세대바이오매스연구단'이 발족되어 미세조류로부터 바이오디젤을 생산하는 요소기술 개발에 박차를 가하고 있으며 미세조류 배양, 전처리 및 디젤 전환기술 부문에서 유효성 있는 성과가 도출
  - 한국생명공학연구원에서 에너지 절감형 이산화탄소 공급시스템을 이용한 10톤 규모의 미세조류 배양 시스템(Raceway Pond)을 개발
  - 한국에너지기술연구원에서 저가형 비닐 광생물반응기를 개발하여 혼합 영양 배양에 적합한 우수균주 4종 선별 및 특성을 규명하고 배가스(CO2)를 이용한 혼합영양 고지질 미세조류 옥외배양 실증을 수행



- 경북대학교 연구팀에서는 한국의 지형과 기후 조건에 맞는 한국형 미세조류 바이오매스 대량 배양 시스템 모델을 제시하고자 236톤 규모의 담수 미세조류 대량배양시설을 구축하고 바이오매스 생산 실증연구를 수행
- (주)엔엘피에서는 미세조류 대량배양 시스템 실증을 위해 부산 본사의 15톤 규모의 미세조류 대량배양 test-bed 설비 및 하동 경남지사의 1ha 규모의 미세조류 대량배양시설을 구축하고, 미세조류 생산에서 수확 농축까지의 공정을 적용한 바이오매스 생산 실증연구를 수행
- KAIST 연구팀에서는 기존의 건조 단계 없이 상온, 상압에서의 에탄올 전처리 공정을 통한 바이오디젤 직접전환 공정 기술을 확보함.
  - ※ 공정효율에 있어서 세계 최고 수준으로 평가되며, 생산비 측면에 있어 전통적인 디젤 전환 기술 수준과 비교했을 때 40% 이상 절감할 수 있을 것으로 전망
- 2009년 11월 ‘저탄소 녹색성장 정책’과 ‘해양신산업 창출’을 위한 사업의 일환으로 국토해양부가 주관하는 국책연구과제를 수행하기 위한 연구기관으로 인하대학교 해양바이오에너지(MBE) 생산기술개발연구센터가 출범하였으며 해양 미세조류 실증배양과 해양바이오에너지(바이오디젤) 원천 기술을 확보하는데 주력
- 온실가스 및 해양 무기영양염류 흡수 가능한 대규모 해양 미세조류 배양시스템 설계
- 바이오매스의 함량 및 지질함유량 증진을 위한 바이오디젤 생산용 해양 미세조류 개량 연구
- 해양 미세조류를 이용한 바이오디젤 생산 연구
- 미세조류 유래 바이오디젤의 상업적 이용을 위한 품질관리 및 규격화 연구
- 국내 바이오디젤 생산 기술은 ‘15년 기준 국내 바이오디젤 생산업체는 9개사로 조사됨. 원료의 대부분을 식물성 수입산 팜유/PFAD와 국산 폐식용유에 의존, 대부분 균질계 촉매를 기반으로 하는 전환공정 보유 (수입기술 또는 기술사별 공정변형 및 노하우 보유)
- 효소이용 전환 기술은 엠에너지社가 고산가 저급 원료를 사용하기 위해서 이스라엘 Transbiodiesel社와의 협력을 통해 고정화 효소 촉매를 공급받아 효소/화학촉매 2단계 방식으로 바이오디젤을 생산
- 전체 공정을 효소 촉매를 이용하여 바이오디젤로 전환하는 공정을 보유한

국내 바이오디젤 업체는 없는 실정

- 미활용 원료 활용 및 효소이용 전환 기술은 RIST에서 하수슬러지 유래 지질을 이용한 바이오디젤 생산 기술, 생명공학연구원, ㈜제노포커스, ㈜대경에스코가 CalB 기반의 신규 효소 바이오디젤 촉매 개발, 한국생산기술연구원, 고려대 등이 초임계 유체를 이용한 효소이용 바이오디젤 전환 기술 개발을 추진

● 바이오탄화수소

<수첨바이오디젤>

- 현재 SK에너지만이 제조기술과 관련하여 독자적인 촉매기술을 확보
- 산업통상자원부 기술혁신사업으로 ‘차세대 바이오디젤 생산기술 실증연구’(2010.6 ~ 2012.5)을 수행하였으며, 최소 20 B/D 규모의 실증 플랜트 완공 및 시운전, 촉매 특화기술 실증, 시제품을 활용한 실차평가를 수행

SK에너지 울산공장의 수첨바이오디젤 생산 플랜트 전경



<BTL>

- 국내 BTL 디젤 관련 연구는 산업통상자원부 주도로 2007년부터 2012년



까지 에너지·자원 기술개발사업의 일환으로 한국화학연구원을 중심으로 “합성 가스로부터 BTL 합성원유 제조 기술 개발”연구 추진

- BTL 연료 합성을 위한 1단계(2007년 ~ 2010년) 연구에서 0.1(배럴/일) 반응기를 개발하여 강원도 횡성에 설치해 BTL 연료를 1차적으로 합성
- 이를 바탕으로 2단계(2010년 ~ 2012년)에서는 1(배럴/일) 반응기를 개발하여 연속운전을 수행(연구수행주체: 한국화학연구원, 한국생산기술연구원)
- BTL 연료를 국내 자동차용 경유의 대체연료로 사용하기 위한 BTL 디젤의 품질 최적화 연구를 통한 일반 경유 승용차량의 차량성능, 연비/배출가스 평가를 통하여 경유 대체연료로서 가능성 제시(한국석유관리원)

#### <급속 열분해오일>

- 국내에서는 대경에스코에서 정부과제의 지원으로 1kg/시간 규모의 실험실 장치를 시작으로 하여 기포유동층(BFB) 열분해 기술을 개발하고 2012년 충북 괴산에 말레이시아에서 구입한 팜 EFB를 원료로 하는 2(톤/일) 규모의 열분해 장치를 설치, 운전을 실시
- 또한, 국내에서는 2014년 6월부터 대경에스코, 한국석유관리원, KIST, 서울시립대 및 연세대로 구성된 연구진이 정부 R&D를 통하여 순환유동층(CFB) 급속열분해 기반 바이오오일의 고품질화를 통한 수송용 연료화 개발을 추진 중
- 한국기계연구원에서 열분해유의 품질 향상을 위하여 디젤 및 바이오디젤과 유화한 유상액(Emulsion)을 제조하여 디젤엔진에 적용하는 연구를 수행하였으며, 디젤, 부탄올, 열분해유를 혼합한 혼합연료를 제조하여 디젤엔진에 적용 테스트 수행



국내연구기관 기술개발 동향

기술명	기관명	기관분류	주요 연구내용	비고
열분해유 제조	한국기계연구원	연구소	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pilot-scale 급속열분해 반응기 제작 및 열분해유 생산</li> </ul>	15 kg/hr급, 수율 63%
	연세대학교	대학	<ul style="list-style-type: none"> <li>Micro-scale 급속열분해 반응기 제작</li> <li>반응기 전산해석 수행</li> </ul>	-
	한국에너지기술연구원	연구소	<ul style="list-style-type: none"> <li>Micro-scale 급속열분해 반응기 제작</li> </ul>	-
열분해유 고급화	한국에너지기술연구원	연구소	<ul style="list-style-type: none"> <li>디젤유와 열분해유를 유화한 유상액을 버너에 적용</li> <li>수침공정 이용한 업그레이딩 기술 기초연구 수행 중</li> </ul>	CO : 4 ppm, NOx : 84 ppm
	한국기계연구원	연구소	<ul style="list-style-type: none"> <li>디젤엔진 적용을 위하여 디젤유, 바이오디젤유와 열분해유 유상액 제조</li> </ul>	최대 30% 혼합
열분해유 디젤엔진 적용	한국기계연구원	연구소	<ul style="list-style-type: none"> <li>디젤 및 바이오디젤과 열분해유 유화한 유상액 커먼레일 디젤 엔진 적용</li> <li>이중분사기가 장착된 디젤엔진에 열분해유 적용</li> </ul>	디젤 대비 NOx 60%, Soot 80% 감소

● 바이오가스(메탄)

- 우리나라 또한 몇 년 전부터 해외기술을 도입하여, 서남하수처리장 차량연료화 사업, 수도권매립지 수송연료화 사업 등 바이오가스 정제 플랜트 사업이 시범적으로 추진
- 국내의 바이오가스 정제 및 고질화를 통한 수송연료화기술 개발사례를 살펴보면, 한솔이엠이(주)가 바이오가스를 정제하고 액화시켜 액화바이오메탄(LBM)을 생산할 수 있는 기술을 개발하였으며, 한국가스공사는 흡착법을 통한 바이오가스 정제기술을, 한국화학연구원은 멤브레인을 이용한 바이오가스 정제기술을 개발 중
- 해외기술 도입사례를 보면, (주)에코에너지홀딩스는 스웨덴 Flotech사의 Water scrubbing 방식의 기술을 도입하여 서울시 서남물재생센터에 플랜트를 설치하여 운영하고 있으며, (주)한라산업개발은 캐나다 Xebec사의 흡착



기술인 Pressure Swing Adsorption 방식의 기술을 도입하여 현재 수도권매립지에 플랜트를 설치

- (에코에너지홀딩스) 스웨덴 업체인 Flotech사로부터 물 흡수 방식의 이산화탄소/메탄 분리기술을 도입하여 서울시 서남물재생센터의 혐기성소화조에서 발생하는 바이오가스를 2,940 Nm<sup>3</sup>/일 수준으로 정제하는 플랜트를 2009년에 완공하여 바이오메탄을 생산. 생산되는 바이오메탄은 초기에 마을버스에 공급하여 시범운영하다가 최근에는 영업용 택시에 공급 중
- (한라산업개발) 현재 수도권매립지에 캐나다 업체인 Xebec사의 흡착공정인 PSA 기술을 도입하여 음식물 폐수에서 생산되는 바이오가스를 고질화하여 바이오메탄을 생산하는 플랜트를 2011년 6월 완공. 하루 약 800톤의 음식물 폐수에서 생산된 바이오가스(약 1만 Nm<sup>3</sup>/일)을 정제하여 충전소에서 CNG와 바이오메탄(약 6,500 Nm<sup>3</sup>/일)을 77:23 비율로 혼합하여 자동차연료로 공급 중
- (Potlatch사)는 대구 하수처리장에 26,000 Nm<sup>3</sup>/hr 국내 최대규모로 PSA 공법에 의해 고질화된 바이오메탄을 생산하여 CNG 버스에 공급 중

국내 바이오가스의 고질화 플랜트 현황(2014)

시공사	최종 생산물	BG 사용량 (Nm <sup>3</sup> /d)	설치지역	분리 공정	진행사항	수요처
한솔이엠이(주)	LBM	4,800	수도권 매립지	PSA	운전 중	R & D
한라산업개발	CBM	14,400	수도권 매립지	PSA	운전 중	CNG버스 천연가스 배관 연결
	CBM	14,400	부산 수영 하수처리장	PSA	운전 중	CNG버스 천연가스 배관 연결
에코에너지홀딩 스	CBM	5,040	서울 서남하수처리장	물 흡수	운전 중	CNG 버스
	CBM	10,000	창원 덕동 하수처리장	물 흡수	운전 중	CNG 버스
한국화학연구원	CBM	1,440	-	막 분리	운전 중	R & D
한국가스공사/ 현대건설	CBM	4,000	원주 하수처리장	PSA	운전 중	R & D
Potlatch	CBM	26,000	대구 하수처리장	PSA	운전 중	시내버스 공급 중



### III.

## 시장현황

### 01 시장현황

#### ● 세계시장 현황 및 전망\*

\* 세계시장 전망 및 예측은 Navigant 시장 보고서 예측치에 기반하여 작성

- '15년 세계 바이오에너지 시장 규모는 '13년 대비 약 46.3% 증가하여 3,789 M\$로 추정되며, 17년에 최대치를 기록할 것으로 전망
  - ('13년) 2,590 M\$ → ('15년) 3,789 M\$ → ('17년) 4,105 M\$ → ('19년) 3,667 M\$
- 바이오에너지 산업은 최근 원유 가격의 하락으로 인해 일시적으로 위축되는 듯이 보이나, 온실가스 감축 목표 달성이라는 전 세계적 이슈로 인해 바이오에너지 시장이 점진적 성장을 이룰 것으로 예상('13년부터 '19년까지 CAGR : 6.0%)
  - 바이오알코올 점유율은 '13년 대비 '15년도에 8.0% 상승할 것으로 전망되며, 이는 '13년 대비 연간 생산량이 급격히 상승될 것이라는 예측에 기반함. 바이오알코올 시장은 '19년까지 15%의 점유율 선에서 유지될 것으로 전망함
    - (바이오알코올 전망치) '13년 202 M\$ → '15년 600 M\$ → '17년 600 M\$ → '19년 600 M\$
  - 바이오디젤 점유율은 '13년 대비 '15년도에 5.8% 상승할 것으로 전망되나, 이후 정체되어, '19년에는 '15년 대비 3.8% 하락할 것으로 예상
    - (바이오디젤 전망치) '13년 301 M\$ → '15년 659 M\$ → '17년 475 M\$ → '19년 499 M\$
  - 바이오가스인 경우, 바이오에너지 생산 품목 별 중에 가장 높은 점유율을 차지하고 있으며, 이는 수송분야 이외에 발전분야에 걸쳐 범용적으로 사용하기 때문에 바이오가스 점유율은 65% 선에서 꾸준히 유지될 것으로 전망
    - (바이오가스 전망치) '13년 1,979 M\$ → '15년 2,440 M\$ → '17년 2,626



M\$ → '19년 2,485 M\$

- 바이오탄화수소인 경우 '15년 이후에 본격적으로 시장이 형성되어 '17년에는 '15년 대비 그 점유율이 9.8%로 급속도로 증가하며, 이는 Neste Oil 社, Renewable Energy Group(REG) 등이 형성한 수첨바이오디젤 생산 컨소시엄 및 프로젝트 상의 생산/공급 인프라에 기반
- (바이오탄화수소 전망치) '15년 90 M\$ → '17년 404 M\$

바이오에너지 전체 세계시장 규모



※ 출처 : Navigant Research 2015

## ● 국외시장 현황 및 전망

- (미국) '13년도 기준으로 미국 내 바이오에너지 시장은 500 M\$ 이상의 규모를 갖추고 있으며, 향후 바이오알코올 혼합장벽과 바이오탄화수소 생산 및 유통 인프라의 확충 여부에 따라 전체 내수시장의 크기가 좌우될 것으로 예상
  - 시장보고서에 따르면 바이오알코올 시장의 경우 '15년 204.4 M\$ 규모에서 '17년 85.2 M\$ 규모로 축소될 것으로 예측되며 이는 E10 혼합장벽에 따른 생산 및 공급이 감소될 것이라는 전망에 근거함
  - 바이오탄화수소의 경우 주로 준상업화 단계에 있는 업체들이 향후 상업화



성공과 시장진입 여부에 따라 탄력을 받을 것으로 전망



- (EU) '13년도 기준으로 유럽 전체 바이오에너지 시장은 1,200 M\$ 이상의 규모를 갖추고 있으며, 미국과 같은 혼합장벽 문제가 크게 대두되지 않고 있으므로 미국에 비해 시장의 규모가 대체로 안정적으로 유지될 것으로 전망
  - 현재까지 '신재생에너지 지침(REDE)' 이행을 위해 각 나라들이 협조적이며, 바이오연료 혼합 기준 상향 이슈에 따라 시장규모가 결정될 것으로 예상
  - 목질계 바이오매스 이용 바이오오일/바이오탄화수소 생산 규모 증가가 예상
    - (바이오탄화수소 전망치) '15년 90 M\$ → '17년 176 M\$
- (일본) 연구단계에서의 바이오에너지 기술 개발은 지속적으로 이루어지고 있으나, 타 주요국에 비해 바이오연료의무혼합 등의 강력한 바이오에너지 보급정책이 뒤따르지 않아 향후 몇 년간 내수시장은 소규모 수준에 머무를 것으로 전망
  - '13년 일본 바이오에너지 전체 시장은 16 M\$ 이며 '19년에는 37 M\$로 예상
  - 바이오알코올과 바이오가스 보급 위주로 시장이 형성될 것으로 예상
    - (바이오에탄올 전망치) '17년 약 23 M\$ 정도로 추산되며, 2020년 가솔린의 3%를 바이오연료로 대체한다는 보급 정책 이슈에 기반
- (중국) 몇 년간 바이오에너지 산업의 급성장과 함께 시장 규모도 지속적으로 증가할 것으로 전망
  - 현재 바이오가스 보급 위주의 시장 구조이나 바이오알코올 및 바이오디젤 실증단계의 업체들의 출현으로 향후 중국 내 바이오에너지 시장이 커질 것으로 예상
    - '13년 520 M\$에서 '17년 1,000 M\$ 규모로 성장
- 국내시장 현황 및 전망
  - 국내 바이오에너지 시장은 주요국들에 비해 규모가 작으며, 신재생연료혼합 의무에 따른 법제에 따라 바이오디젤에 한해 생산자와 공급자 및 소비자와의 소규모 시장 형성
    - (바이오알코올) 바이오매스 원료 확보 및 보급 정책의 부재로 인해 양조산업에서의 생산·소비만 이루어지는 편임



- 국내 2세대 에탄올 기술개발은 아직 시작단계로서 상용화에 시간이 필요할 것으로 보이지만, 부탄올 기술은 상용화 단계\*에 진입한 상태이며, 공급인프라 유효성 검증과 보급 정책이 뒷받침된다면 몇 년 안에 내수시장 형성 가능성도 존재

\* 폐자원에너지화기술개발사업을 통해 GS칼텍스(주)에서 세계 최고 생산수율(33.1%)의 폐목재 바이오부탄올 연료화 원천 기술을 확보하였으며, 상용화를 위한 플랜트 건설이 진행됨에 따라 2~3년 이후 국내 시장 공급이 가능한 수준의 바이오부탄올 생산 현실화

- (바이오디젤) 현재 보급 의무화 정책에 의해 향후 바이오에너지 내수시장을 이끌어 갈 수 있는 유력한 품목
  - 생산 및 유통이 활발한 국내 바이오디젤인 경우 9개의 업체가 참여
    - \* 2002년부터 바이오디젤 시범사업이 진행되면서 바이오디젤 생산 설비 및 인프라 구축과 함께 바이오디젤 생산기업들이 등장. 시범사업 기간 동안 한 때 15개의 생산업체가 참여하였으나, 현재('15년)는 9개의 기업만이 국내 바이오디젤 생산을 담당
    - ※ 주요기업: 엠 에너지, 단석산업, 애경유화, SK 케미칼 등
- (바이오가스) 혼합의무화 정책이 미시행중이나 몇몇 업계들에 의해 현재 상용화 규모의 플랜트를 가동하여 CNG 버스 및 택시에 공급 중
  - 향후 바이오디젤 보급이 성공적으로 이루어질 경우 바이오가스 혼합의무화 정책이 탄력받게 되어 내수시장이 커질 것으로 전망
- 바이오탄화수소의 경우 뚜렷한 Market Player가 없는 상황이며, 현재 수요도 없는 편. 상기 바이오에너지 품목에 비해 기술 및 시장의 성장 속도가 가장 느리며 향후 몇 년간 내수시장이 형성되지 않을 것으로 전망
  - SK 에너지의 수첨바이오디젤(HBD)는 국내 RFS 적용시 자동차용 경유에 적용될 수 있는 기술로 평가받고 있으나 이에 대한 실증연구와 적용방안이 필요한 상태

## ● 주요 Key Player 시장 점유율

- 미국을 중심으로 바이오에너지 시장 Key player들이 활동하고 있으며, 바이오알코올, 바이오디젤, 바이오가스, 바이오탄화수소에 걸쳐서 상용화 수준의 설비를 갖춘 업체들이 골고루 활동 중
  - (바이오알코올 Key player) Archer-Daniels-Midland(ADM), POET Bio



refining, Abengoa Bioenergia, Gevo 등이 있으며 이들을 포함한 바이오알코올 Key player들의 정보는 다음과 같음 \

전 세계 바이오알코올 Key Player 현황

회사	매출규모	거점 시장
Valero	\$126 billion	전세계
Archer-Daniels-Midland	\$89 billion	북미
Cosan	\$15 billion	북미, 남미
Abengoa Bioenergia	\$10 billion	유럽
Pacific Ethanol	\$872 million	북미
Gevo	\$7.9 million	북미
BlueFire Renewables	\$1.1 million	북미
POET Bio refining	N/A	북미
Coskata	N/A	북미
Qteros	N/A	북미
Enerkem	N/A	북미
Zechem	N/A	북미

\* 출처 : Navigant Research

- (바이오디젤 Key player) Sapphire Energy, Algenol Biofuels, Solazyme 등이 있으며, 대부분이 미세조류를 이용한 바이오디젤 생산업체들임

전 세계 바이오디젤 Key Player 현황

회사	매출규모	거점 시장
Archer-Daniels-Midland	\$89 billion	북미
Renewable Energy Group	\$1 billion	북미
Solazyme	\$34.9 million	북미, 남미
Algenol Biofuels	\$3.1 million	북미
Sapphire Energy	N/A	북미
Solix Biofuel	N/A	북미
OriginOil	N/A	북미
Pacific Biodiesel	N/A	북미
Imperium Renewables	N/A	북미



- 바이오가스 대표 Key player로 Infinis Energy, Waste Managemer, Fortistar가 있으며, 유럽과 미국을 중심으로 생산업체들이 형성되어 있는 편



### 전 세계 바이오가스 Key Player 현황

회사	최종산물	거점 시장
Acrona-Systems	메탄	유럽
Air Liquide	메탄	유럽
CarboTech	메탄	유럽
Cirmac	메탄	유럽
GtS	액화메탄	유럽
HAASE	메탄	유럽
Lackeby Water Group AB	메탄	유럽
Malmberg Water	메탄	유럽
MT-Energie	메탄	유럽
Prometheus	액화메탄	북미
Terracastus Technologies	메탄	유럽
Xebec(QuestAir)	메탄	유럽
Acron Technology	액화메탄	북미
Flotech	메탄	유럽
Purac	메탄	유럽
DMT	메탄	유럽

※ 출처 : Navigant Research

- 대표적인 바이오탄화수소 Key player로 Petrobas, UOP, Neste Oil, Amyris, KiOR 등이 있으며, Petrobas와 Neste Oil인 경우 수첨바이오디젤 (HBO) 대량 생산을, UOP, Amyris 업체들은 바이오 항공유 대량 생산을 맡고 있음
- 수첨바이오디젤 생산업체: Petrobas, Neste Oil 등
- BTL 및 급속열분해 오일 생산: UOP, Amyris, KiOR 등



전 세계 바이오탄화수소 Key Player 현황

회사	매출규모	거점시장
Petrobras	\$144 billion	남미(브라질)
UOP	\$2 billion	북미
Renewable Energy Group	\$1 billion	북미
Amyris	\$73.7 million	북미
Neste Oil	\$24.4 million	유럽
LanzaTech	\$4 million	북미, 아시아
KiOR	\$1.1 million	북미
Chevron Lummus Global	\$0.4 million	북미
Virent Energy Systems	N/A	북미
AltAir Fuels	N/A	북미

※ 출처 : Navigant Research



## IV.

### 정책현황

#### 01 국외 정책

##### ● 글로벌 동향 및 이슈 분석

- 최근 셰일가스 개발 및 유가 안정세로 인해 화석연료 대비 바이오에너지의 가격 경쟁력 약화
  - 향후에도 장기간 동안 유가 안정세가 전망됨에 따라 신재생 에너지 정책 추진 동력이 약화되어 인해 바이오에너지 분야 뿐만 아니라 신재생 에너지 전반의 투자규모가 감소하고 있는 상태
  - 바이오연료는 신재생 에너지 중 화석연료와 가장 직접적인 대체재 관계를 형성하는 특성상, 유가와 가장 밀접한 관계를 가지므로 이로 인한 정책상의 부침도 격심
    - \* 특히 신재생에너지연료 혼합의무화제도(Renewable Fuels Standards: RFS) 제도 상의 바이오연료 의무혼합 도입 시기 및 혼합비율에 대한 정책 변경 다수 발생
- 유가 안정으로 인해 바이오에너지 확산에 대한 정책적 동기가 약화되어, 바이오에너지 RD&D에 대한 투자 규모 감소 추세
  - OECD 회원국의 바이오에너지 RD&D(Research, Development & Demonstration)에 대한 투자 추이를 살펴보면, 대체적으로 투자액이 감소하는 경향을 보임

OECD 회원국의 바이오에너지 RD&D 투자 현황

연도	2009	2010	2011	2012	2013	합계	연평균 증가율(%)
투자금액	1,915	1,516	1,114	1,186	1,023	6,755	-11.8

※ 출처 : OECD(2015)



- 기존 바이오연료는 식량작물을 주원료로 활용하는 경우가 많아, 직접적인 식량 가격 상승 요인으로 지목
  - 현재 추세로 기후변화가 진행될 경우 세계 곡물생산량이 감소될 것으로 예상되며, 이로 인해 2050년까지 세계 기아 인구가 10%~20% 늘어날 것으로 전망(WFP,10)<sup>36)</sup>
    - 이러한 상황에서 콩·옥수수 등 곡물 기반 바이오연료에 대한 수요가 늘어날 경우 식량난을 더욱 가중시킬 우려
  - 또한 Monsanto Syngenta, Cargill 등 글로벌 종자 및 농업 기업에서 품종 개량 기술과 대규모 자금·인프라를 기반으로 바이오연료 제조를 신규 사업으로 검토 중
    - \* 그러나, 동 기업들은 대중들에게 부정적인 인식이 높은 GMO(유전자변형) 종자를 주로 활용하고 있어, 바이오연료 생산이 GMO종자 확산에 기여한다는 대외적인 명성 위험(reputation risk) 일조한다는 논란 촉발 가능
- 식량작물이 아닌 바이오 에너지 작물 재배에 대해서도 여전히 간접적 토지이용변화(Indirected Land Use Change; ILUC)로 인한 논란 존재
  - 직접적으로 식량작물을 연료 생산에 활용하지는 않으나, 농민들이 식량작물보다 수익성이 더 높은 바이오 작물 경작으로 선회하여 결과적으로 식량 생산 감소
    - 또한 바이오에너지 작물 재배를 위해 산림을 개간할 경우, 막대한 탄소흡수원 상실과 더불어 생물 다양성을 심각하게 훼손할 우려
  - 사바나 등 일조량이 높은 곳을 개간·활용할 수록 탄소환불시간(Carbon Payback Time)<sup>\*</sup>이 길어지게 되므로, 이 경우 바이오연료 활용을 통한 온실가스 감축 효과를 기대하기 어려운 것으로 규명<sup>37)</sup>
    - \* 초기 농지 개간 과정에서 배출되는 이산화탄소를 바이오연료로 회수하는데 걸리는 시간을 지칭하는

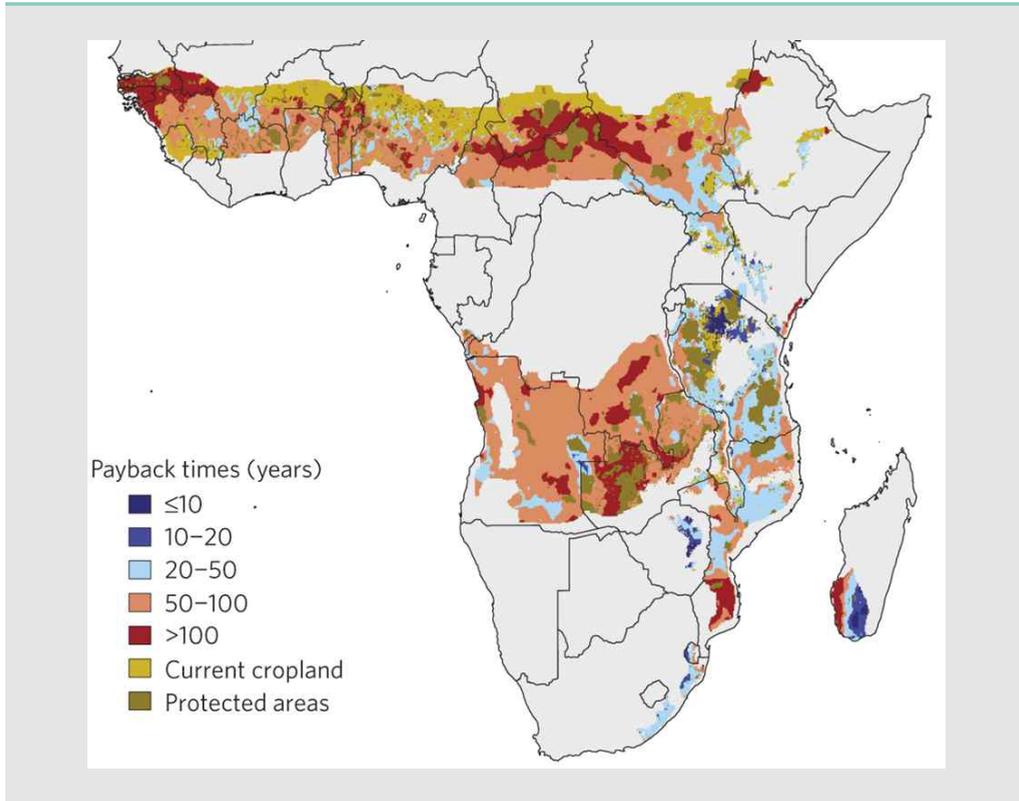
36)

<http://ko.wfp.org/%EB%89%B4%EC%8A%A4/%EB%89%B4%EC%8A%A4%20%EB%A6%B4%EB%AC%EC%8A%A4/%EA%B8%B0%EC%95%84%EB%AC%B8%EC%A0%9C%EC%9D%98-%ED%94%BC%ED%95%A0-%EC%88%98-%EC%97%86%EB%8A%94-%ED%98%84%EC%8B%A4%EC%9D%B4-%EB%90%9C-%EA%B8%B0%ED%9B%84%EB%B3%80%ED%99%94> (검색일 : 2015. 09. 18)

37) Timothy D. Searchinger, Lyndon Estes, Philip K. Thornton, Tim Beringer, An Notenbaert, Daniel Rubenstein, Ralph Heimlich, Rachel Licker & Mario Herrero, High carbon and biodiversity costs from converting Africa's wet savannahs to cropland, Nature Climate Change, doi:10.1038/nclimate2584

것으로 기온 및 일조량이 높고 수량이 풍부한 지역일수록 자체적인 온실가스 흡수/저장량이 높아 바이오연료로 인한 온실가스 감축분을 통한 상쇄 시간이 길게 나타남

### 아프리카 사바나 지역의 탄소감축시간



※ 출처 : Nature Climate Change(2015)

- 바이오에너지 생산으로 인한 물부족 현상 심화 및 지력 감소 우려 존재
  - 바이오에너지 작물 경작 및 바이오에탄올 생성 과정에서 물을 다량으로 소모하므로 바이오연료가 물부족 현상을 심화시킬 수 있음<sup>38)</sup>
    - \* 개도국의 경우 물 부족 현상이 심각한 경우가 많으므로, 바이오 연료 실증사업 추진 시 이를 사전에 고려할 필요가 있음
  - 바이오에너지 작물을 효율적으로 관리하지 못할 경우 토양 산성화 등으로 인하여 지력 감소 등의 부작용을 유발 가능<sup>39)</sup>

38) <http://www.unep.org/bioenergy/Issues/BioenergyRisks/Water/tabid/79446/Default.aspx>

39) <http://www.unep.org/bioenergy/Issues/BioenergyRisks/Soil/tabid/79447/Default.aspx>



\* 지력을 향상시킬 수 있는 품종 위주로 경작하거나, 토양 유기 물질 모니터링 등을 통해 지력을 유지·향상시킬 수 있는 방안 모색 필요

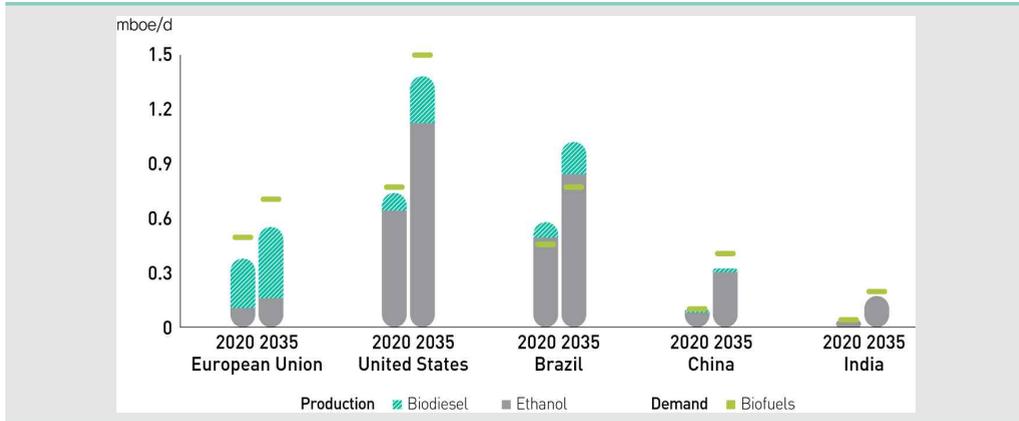


- 바이오에너지 활용이 온실가스 감축에 기여하는 수준에 대한 논란은 현재 진행 중이나, 전세계적으로는 여전히 바이오에너지를 온실가스 감축을 위한 주요 수단으로서 주목
  - 온실가스 배출의 27%를 차지하는 수송 분야의 온실가스를 감축하기 위해서는 바이오연료 사용량 증대가 불가피
    - 최근 UNFCCC의 CDM(Clean Development Mechanism)에서도 바이오에너지 포괄(15)
  - 최근 미국 EPA에서 시행한 조류 유래 에탄올(Algenol Ethanol)의 LCA 평가 결과, 가솔린 대비 69% 온실가스 감축 효과가 있는 것으로 발표<sup>40)</sup>
- 유가 안정세로 인해 전세계적으로 바이오연료 혼입 비중에 대한 재검토·조정 현상\*이 있었으나, 국제기후변화협약상의 온실가스 감축 목표 달성을 위해 바이오에너지에 대한 연구개발 및 보급·확산 노력 경주
  - \* 유가 안정세로 인한 정책적 동기 약화 이외에도 Blend Wall 등 기존 인프라가 혼입비중이 향상된 연료를 관리 예로 등의 원인 존재
- 이에 따라 각국별로 가장 온실가스 감축 효과가 높으면서도 생산 비용 감소에 효과적인 바이오매스 발굴 및 생산기술 개발 방안 모색 중
  - 미국, 브라질, 중국, 인도 등 주요 농업국가인 경우에는 바이오에탄올이, 상대적으로 경작지가 좁고 산업화된 지역이 많은 EU는 바이오디젤의 비중이 높은 편임
    - EU 내에서도 독일, 프랑스, 에스파냐 등 농업이 발달한 국가에서는 유채 등 바이오에너지 작물 경작을 통해 자체적으로 에너지원 조달

40) 단, 해당 LCA에는 간접적 토지이용 변화의 영향은 고려되지 않은 상태임



특정 지역별 바이오연료(디젤/에탄올) 수요 및 생산 전망



※ 출처 : World Energy Outlook (IEA, '13)

### ● 미국의 바이오연료 관련 정책

- 녹색기술 분야에서 최고 수준의 기술력을 보유한 제조업 국가인 동시에, 광활한 경작지로 인해 농업생산량 역시 세계 최고 수준
  - 풍부한 곡물생산량을 활용하여 바이오연료를 활용<sup>41)</sup>하고 있으며, 바이오에탄올 생산량은 세계 1위 수준\*
    - \* 바이오 에탄올 세계 2위 생산량인 브라질은 사탕수수를 주로 하는 반면, 미국은 옥수수를 주로 활용한다는 차이점 존재
  - 최근 Cargill, Monsanto 등 초국적 농기업 역시 농업부산물\*을 활용한 바이오연료 실증 플랜트를 건설하는 등 신규 사업으로 바이오연료 분야 검토 중
    - \* 기존에 단순 폐기되었던 대량의 농업부산물을 새로운 수익원으로 활용 가능한 이점 존재
- 중동의존형의 에너지 정책 탈피 등을 목적으로 에너지 정책법(2005년)<sup>42)</sup>을 제정하여 신재생 연료 혼합 의무제(RFS)\* 도입<sup>43)</sup>
  - \* 연방 정부 차원에서 수송부문의 RFS 프로그램을 운영하고 있으며, 48개 주 모든 수송용 화석 연료 공급업자인 정제사업자, 수입사업자 및 혼합업자에게 적용

41) 현재 차세대 바이오연료에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나 상용화 단계에 이르지 못하고 있어, 2020년 경까지는 전분계 바이오매스 유래 바이오에너지가 시장을 지배할 것으로 전망 존재

42) Energy Policy Act of 2005(EPAct). 이후 에너지 자립 및 안보법(Energy Independence and Security Act of 2007; EISA)를 통해 2022년에는 360억 갤런까지 사용의무량을 수정·확대하였음. 미국의 바이오연료는 크게 옥수수 기반 전통적 바이오연료와 차세대 연료(셀룰로오스계 바이오에탄올, 바이오디젤, 기타)로 구별하는 것은 EISA로부터 기인하였음

43) 일본 농무성, 바이오에타놀先進国と日本の取組の比較, 2014



- 2007년에는 에너지 자립·안전보장법(EISA)를 통해 2009~2022년까지의 목표량 RFS2를 책정<sup>44)</sup>

미국 RFS 프로그램 개요

구분	내용
시행시기	- RFS 1 program : '07. 9. 1 ~ '10. 11. 30 종료 - RFS 2 program : '10. 12. 1 ~
목표	목표연도('20) : 수송용 연료의 20% 바이오연료 혼합의무
의무대상자	수송용 화석연료 공급업자 - 정제사업자, 수입사업자, 혼합업자(blender)
대상연료	에탄올, 바이오디젤 등의 바이오연료
의무기간	1년 단위
감독기관	환경보호청(Environmental Protection Agency, EPA)

- 미국 EPA에서는 에너지부 산하 에너지정보국(Energy Information Administration)의 수급 예측 데이터를 기반으로 매년 11월에 차년도 사용 의무량을 검토·조정

※ EISA에 의거하여 환경보호청(EPA)에 매년 의무량·비율을 결정할 권한과 경제적·사회적으로 심각한 영향을 미칠 우려가 있는 경우에는 의무를 면제할 수 있는 권한을 함께 부여

- E10 규격 도입으로 미국 내 에탄올 도입량은 이미 가솔린 도입량에 10%에 가깝게 도달이 되어 있는 상태로, 도입량 증가를 위해서는 E10보다 고농도의 혼합 필요한 시점<sup>45)</sup>
  - 그러나, 현재 미국의 급유 인프라는 E10을 기준으로 운영되고 있어 에탄올 혼합율을 높게 책정할 경우 인프라 교체에 대한 부담이 존재
  - 높은 에탄올 혼합율은 자동차 엔진계통의 부식작용 역시 야기할 우려
    - 2011년 EPA에서는 DOE의 자동차시험결과 등을 수용하여 플렉스 연료차(FFV)와 2001년 이후의 차종에 대해서 E15의 사용을 승인하였으나, 미국자동차협회(AAA)에서는 엔진에의 영향을 이유로 E15사용을 강력 반대
- DOE 산하 조직인 BETO(Bioenergy Technolgoey Office)의 주관하에 차세대 바이오연료 연구개발에 대한 10년 계획으로서 Multi-Year Program

44) ㈜미쯔비시종합연구소, 바이오연료에 관한 제외국의 동향과 지속가능성 기준의 제도 운용등에 관한 조사 보고서, 2015.

45) ㈜미쯔비시종합연구소, 바이오연료에 관한 제외국의 동향과 지속가능성 기준의 제도 운용등에 관한 조사 보고서, 2015.



Plan을 매년 책정·변경 중

- 바이오에너지 원료 공급, 에너지 전환, 실증 및 보급, 횡단적 연구 분야 등에 대해서 정량적 연구개발목표를 제시·대응 중

※ 2014년 2월 현재 미국 BETO의 지원 하에 차세대 바이오 에탄올 생산 플랜트는 파이어니어 플랜트 4기, 실증 플랜트 1기, 파일럿 플랜트 5기 구동 중

### ● EU의 바이오연료 관련 정책

- '09년 재생가능에너지지령(Renewable Energy Directive)에 따라 '10년까지 수송연료의 5.75%, 2020년까지 10%까지 의무혼합비율 상승 조정 검토
  - 특히 10%의 수송연료의 목표 중, 90% 이상을 바이오연료로 달성 추진

- 동 지령 내 연료 품질 지침을 통하여 지속가능성 기준에 부합되는 연료만을 바이오연료로서 인정·취급

- (기준 1) 기존의 가솔린 및 디젤 대비 온실가스 감축효과가 35% 이상 ('16년까지\*)

\* '17년부터 50% 이상인 연료

- (기준 2) 원시림 등 생물다양성 보호 필요성이 있는 지역에서 생산된 원료를 활용하여 생산되었을 경우 바이오연료 불인정

- 바이오연료 보급 확산을 위해 혼합경유 과세경감조치 및 에너지작물 재배\*에 대한 국가 보조프로그램 운영

\* 유채, 폐식용유, 목질계 바이오매스를 활용한 바이오 디젤 및 바이오 가스 생산이 활성화되어 있으며 특히 디젤은 전세계 공급량의 41% 점유

- 저탄소 에너지 기술 개발 및 상용화 촉진을 위해 '유럽 전략적 에너지 기술 계획(European Strategic Energy Technology Plan; SET Plan)\*' 수립('10)

\* 주요 분야 : 바이오에너지, CCS, 전력 그리드, 수소연료전지, 원자력, 스마트 시티, 태양광, 풍력

- 바이오에너지 분야의 경우 2020년까지 상업적으로 활용가능한 혁신적 바이오 에너지 밸류 체인에 관한 장기간 연구 및 실증 추진\*

\* '20년까지 해당 계획을 위해 총 9억 유로 투자 예정

### ● 브라질의 바이오연료 관련 정책



- 바이오연료 연구는 1950년대부터 이미 시작하였으며 1980년대 세계 최초로 수송 연료용 바이오 디젤 관련 특허 취득<sup>46)</sup>
  - '10년 브라질에서 생산된 차량의 72%가 플렉스\* 자동차로, 총 290만대의 판매량 기록
    - \* 플렉스 자동차(Flex-Fuel Vehicle; FFV) : 2003년 폭스바겐사가 브라질에서 최초로 출시한 '이중연료 자동차'로서 플렉스 자동차의 등장으로 실제적인 에탄올 수요가 급등하기 시작, 이 후 피아트, GM 등도 앞다퉈 플렉스 자동차 모델을 선보임
  - 현재까지는 사탕수수 및 대두유를 활용한 바이오연료 생산이 주를 이루고 있으나, 안정적인 전력 공급을 위해 셀룰로오스계 에탄올 생산·도입이 함께 진행중
  
- 제1차 오일쇼크(1975년) 이후 에탄올 육성정책인 '프로알콜 프로그램(Proalcool Program)'을 수립 운영한 결과 세계 2위 바이오 에탄올 생산국\*으로 성장<sup>47)</sup>
  - \* 미국과 함께 세계 전체 에탄올 생산량의 80% 이상 차지하고 있으며 사탕수수를 주요 바이오 매스로 활용
  - 에탄올 가격 보조, 전국 공급망 건설을 위한 금융 지원, 에탄올 연료 자동차 생산에 대한 인센티브 지원 제도 등으로 구성
  
- 알코올위원회(CIMA)에서 바이오 에탄올의 혼합률을 결정하며, 혼합률은 18~27.5%\* 사이 구간에서 설정하도록 법률상 규정<sup>48)</sup>
  - \* 본래 25%가 최대의무혼합률이었으나 2014년도 7월 1일부터 27.5%로 인상
  - 국립석유천연가스바이오연료청(National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuels(ANP))에서 연료유통업자에 대해 연료유통업자에게 구입 목표에 부합하는 연공급계약을 채택·운용하도록 요구
  
- 최근 세계 설탕 가격 급등으로 에탄올 혼합비율을 지난해 25%에서 20%로 하향조정
  - 바이오 디젤의 경우 6%로의 혼합비율 향상이 지속적으로 시도되었으나, 현행 혼합비율(5%) 유지 중<sup>49)</sup>

46) 정보통신산업진흥원 정책분석, 브라질 바이오에너지 산업 정책, 제25호, 2012

47) 정보통신산업진흥원, 브라질 바이오에너지 산업 정책, 정책분석 제25호, 2012

48) ㈜미쯔비시중합연구소, 바이오연료에 관한 제외국의 동향과 지속가능성 기준의 제도 운용등에 관한 조사 보고서, 2015.



\* 최근 바이오 디젤의 주요 생산원료인 대두 생산 면적 확대로 생산량이 크게 증가하고 있어<sup>50)</sup>, 향후 바이오 디젤 혼합비율 상향 조정을 압박하는 요인으로 작용할 가능성 존재

- 2009년 브라질 정부에서 세계유산으로서의 생태계 보호 및 브라질산 에탄올에 대한 부정적 이미지 제거를 위한 ZAE(the Agro-ecological zoning of Sugarcane) 제도를 시행<sup>51)</sup>

- 아마존 삼림 지역 및 펜타널 습지, 자생식물지구에서의 사탕수수 재배 확장을 금지

### ● 일본의 바이오연료 관련 정책

- '02년부터 바이오매스를 종합적으로 활용, 지속가능한 사회를 실현하기 위해 '바이오매스 일본 종합전략' 등 바이오에너지 개발·보급 정책 적극 추진<sup>52)</sup>

- 이후 바이오매스 활용시책의 종합적·계획적 추진을 위해 '바이오매스 활용 추진 기본법('09)'을 제정

※ '에너지 공급구조 고도화에 따른 비화석 에너지원의 이용에 관한 석유정제업자의 판단기준' 고시를 통해 석유 정제 업자에게 일정량의 바이오연료 도입 의무 부과(RFS)

- 에너지 공급구조 고도화법 상의 바이오 연료 도입 목표 달성 및 바이오 연료의 원활한 도입을 촉진하기 위해 인프라 정비 지원 및 세제 정비\*<sup>53)</sup>

\* 에너지 공급 사업자에 의해 비화석에너지원의 이용 및 화석에너지 원료의 유효한 이용을 촉진하기 위한 법률(2009.7월 제정)로 전기사업자, 가스 사업자, 석유정제사업자에 대해 비화석에너지원의 이용목표등을 규정

- 비화석에너지원의 이용에 관한 석유정제업자의 판단 기준(2010년 경제산업성 고시 제242호)를 통해 에탄올의 이용목표등 규정

- 바이오에탄올 및 ETBE를 혼합한 가솔린에 대한 면세조치를 5년 연장

### ● 중국의 바이오연료 관련 정책

49) 한국바이오안전성정보센터 동향정보, [국제] 세계 각국의 바이오연료 혼합비율 기준-2014, 2014. 1. 6일자

50) 한국농촌경제연구원 해외곡물시장 뉴스 및 브리핑, 브라질 기록적인 대두 생산으로 바이오 디젤 혼합유 증가할 듯, 2013. 11. 6일자

51) ㈜미쯔비시중합연구소, 바이오연료에 관한 제외국의 동향과 지속가능성 기준의 제도 운용등에 관한 조사 보고서, 2015.

52) 윤영만 외, 일본 바이오매스 활용 정책 및 기술현황, 한국유기농업학회 제20권 제4호, 2012.

53) 주일대사관 경제과, 일본의 신·재생에너지 정책 동향, 2015.



- 중국 정부는 재생에너지 이용을 촉진하기 위하여 2006년 재생에너지법(中华人民共和国可再生能源法<sup>54)</sup>)을 제정
  - 중장기적 목표 설정을 위해 12년 ‘재생가능에너지발전 제12차 5개년 계획(2011~2015)’을 발표하여 2015년에 바이오 에탄올 4백만톤(생산능력), 바이오 디젤 1백만톤(생산능력) 목표를 설정하고 바이오연료 도입 가속화
- <국민경제 및 사회발전 제13차 5개년 계획\*(2015)>를 통해 비화석에너지 비중을 높이고 석탄 등 화석 에너지의 친환경·고효율 이용 추진 중
  - \* 중국 경제발전 목표와 방향을 제시하는 경제계획으로 1953년도부터 5개년 단위로 추진
  - 동 계획상에서 저탄소 순환발전을 위해 풍력에너지, 태양에너지, 바이오매스 에너지, 수력 에너지, 지열에너지, 안전·고효율의 원자력 발전 가속화 명시
- 현재 바이오 에탄올에 대한 이용 비중이 높은 편이며, 2002년 일부지역에서 E10이 시험도입된 이래 점차 도입지역을 확대
  - 현재 흑룡강성, 길림성, 요녕성, 하남성, 안휘성, 광서 치완족 자치구 등의 6개 성/자치구 및 호북성, 하북성, 산둥성, 강소성, 광둥성 등의 5개성 30개 도시에서 E10의 사용을 의무화<sup>55)</sup>
- 2000년초부터 바이오연료 도입을 추진한 배경에는 당초 잉여곡물의 이용처로서의 관점이 중시되었으나, 점차로 식량과의 경쟁을 염려하여 비곡물계 원료에 의한 바이오연료 생산 추진중
  - ‘재생가능에너지 발전 제12차 5개년 계획’에서는 미세조류에 의한 바이오 디젤 개발 계획 추진을 천명
  - \* 바이오 디젤 사용량을 '20년 200만톤으로 확대 계획<sup>56)</sup>
- 국가에너지국은 징진지, 장삼각, 주삼각 등 대기오염 방지 중점구역에서의 바이오 디젤 사용 확대를 제시하는 ‘바이오 디젤산업 발전정책’ 발표
  - \* 징진지(京津冀 : 베이징-톈진-허베이), 장삼각(长三角 : 장강 삼각주), 주삼각(珠三角 : 주강 삼각주)
  - 바이오 디젤이 지구유(地沟油) 재사용 문제를 해결하고 대기 스모그 관리에

54) 중화인민공화국 중화인민정부 공식 홈페이지 내 법령정보

55) ㈜미쯔비시중합연구소, 바이오연료에 관한 제외국의 동향과 지속가능성 기준의 제도 운용등에 관한 조사 보고서, 2015.

56) 한국수출입은행, 2010 신재생에너지 분야별 산업현황과 해외진출/수출화 전략, 2010



### 중요한 기여를 할 것으로 기대

- \* 반복적으로 재사용하는 튀김용 기름 등과 같은 생활 중에 존재하는 각종 저질 기름을 일컫는 용어로, 하수구에서 기름을 채취하거나, 음식점에서 남은 갖가지 찌꺼기들을 수거해 한 데 넣어 기름을 짜내는 가공을 거쳐 식용유로 재활용되고 있음
- 바이오 디젤을 이용한 자원 종합 이용 상품 및 기타 유관상품의 부가가치세, 소비세 세수에 대한 우대 정책 제시



## 02 국내 정책

- 최근 3년간 전체 바이오에너지 R&D 투자는 '11년 93,380백만원을 투자한 이래 연평균 4.3%감소하여 '13년에는 85,448백만원 규모로 축소
  - 그러나, 전체 바이오에너지 분야 중 전략·제품 서비스 기술군이 차지하는 비중은 '13년에는 63.8% 수준으로 높게 나타남
  - 전체 바이오에너지 R&D투자 증대에 대해서는 소극적인 대신, 실제 시장에 서활용가능한 주요 바이오연료 개발에 집중하고 있는 것으로 해석됨

'11~'13년간 전체 바이오에너지 및 주요 바이오연료별 R&D 투자 현황

	단위 : 백만원, %				
	2011	2012	2013	합계	연평균 증가율
전체 바이오에너지(A)	93,380	85,792	85,393	264,565	-4.4%
주요 바이오연료(B)	47,164	41,018	54,593	142,775	7.6%
비중(B/A)(%)	50.5%	47.8%	63.9%	54.0%	-

- 제4차 신재생에너지기본계획('14.9)을 통해 수송부분에 신재생에너지연료 혼합의무화제도(RFS)('15.7.31부터 시행) 정책을 도입을 통해 바이오에너지에 대한 수요 견인 중
  - 바이오매스의 확보가 어려운 국내 여건을 고려하여 미세조류 기반 바이오연료 생산에 초점을 맞추는 한편, 바이오 부탄올, 바이오가스 등 바이오연료 생산 플랜트 기술을 대량생산이 가능한 수준까지 고도화 지향
- 우리나라의 바이오연료 보급정책은 바이오디젤부터 시작되었으며, '15년 7월 31일부터 1단계로 바이오디젤 자동차용 경유에 의무혼합 하는 신재생에너지연료 혼합의무화제도(RFS) 시행 중, 향후 2단계에서 바이오알코올과 바이오가스 도입을 검토할 예정
  - '07년 9월 재정부 및 관계부처 합동으로 제1차 바이오 디젤 중장기 보급계획을 통하여 최초로 바이오 디젤 중장기 로드맵 및 혼합비율 목표 제시

- 이후 '10년 제2차 바이오 디젤 증장기 보급계획을 통해 RFS제도 도입을 추진
- '신에너지 및 재생에너지 개발 이용·보급 촉진법'을 개정된 결과, '15년 7월 31일부터 시행하여, 자동차용 경유에 바이오디젤을 2.0%에서 2.5%로 상향하여 '17년까지 유지하다가, '18년부터 '20년까지 3.0%로 상향 예정

- ▶ 신재생에너지연료 혼합의무화제도(RFS) 주요내용
- 석유정제업자 또는 석유 수출입업자(혼합의무자)에게 일정비율 이상의 신재생에너지 연료를 수송용 연료에 혼합
  - 혼합의무자가 혼합의무비율을 충족시키지 못한 경우에는 과징금 부과
  - 혼합의무 이행을 효율적으로 관리하기 위하여 혼합의무 관리기관 지정
  - 유예기간 2년 부여

- 제1차 바이오 디젤 증장기 보급 계획상으로는 유채, 폐식용유 기반 바이오 디젤에 중점을 두었으나, 제2차 바이오 디젤 증장기 보급 계획부터 바이오 디젤 원료 다양화 기술 개발 추진 강화



## V. 요약 및 시사점

- 활용 가능한 바이오매스의 범위가 비식용작물로 확대됨과 함께 다양한 에너지 생산 기술들이 등장하고 있으며, 각 국가별로 이를 지원하기 위한 R&D 프로그램과 바이오연료 혼합의무화 정책이 시행되고 있음
- (기술 동향) 전 세계적으로 비식용작물 기반 바이오에너지 생산에 주력하고 있으며, 특히 목·초본계 바이오매스를 이용한 알코올 발효 기술 및 조류 바이오매스 이용 바이오디젤과 알코올 생산 기술 연구가 활발히 진행 중
- (시장 동향) 최근 유가의 하락에도 불구하고 온실가스 감축 목표를 달성하기 위한 각국의 바이오에너지 생산 및 보급 촉진이 이루어질 것으로 예상되며, 바이오에너지 세계시장은 향후 몇 년간 성장할 것으로 전망
- (정책 동향) 미국과 유럽을 중심으로 각 국가별 신재생에너지연료 혼합의무화제도(RFS)를 시행중이며, 국내의 경우 바이오디젤 의무혼합(BD 2.5)제도를 '15년 7월 31일 부터 시행 중
- 바이오에너지는 탄소중립적이므로 온실가스 저감 차원에서 매우 효과적인 재생에너지이며, 에너지 안보 차원에서 유사시 석유, 석탄과 같은 전통에너지를 대체할 수 있는 연료로서의 역할 가능하므로 중장기적인 기술 개발계획 수립 및 이를 뒷받침할 수 있는 정책적 지원이 필요
- 각 국가별로 바이오매스 확보 조건에 따라 전략적으로 바이오에너지 R&D 프로그램을 운영하고 있으며, 우리나라의 경우 농·임산 부산물 및 조류 바이오매스를 이용한 에너지화 기술 개발에 대한 지속적인 투자가 필요한 상황
  - 특히, 현재 운영중인 역새 및 조류 바이오매스 기반 바이오리파이너리 국가연구개발사업에 대한 지속적인 투자를 통해 에너지 공급 가능한 수준의 바이오매스 확보 및 에너지 전환 기술에 대한 국산화 촉진이 필요한 실정

- 바이오에너지 경제성 확보를 위한 통합바이오리파이너리 공정 구축 마련이 필수적임
- 중장기적인 바이오에너지 R&D 계획 수립을 통해 원천기술 개발 단계부터 실증 및 상용화 단계까지의 구체적인 투자 방향 설정 필요
- 미국의 경우 에너지부의 바이오에너지 기술국(BETO)에서 주관하는 바이오에너지 중장기 계획(MYPP: Multi-Year Program Plan)을 통해 원천기술부터 상용화 단계까지의 장기적인 기술 투자 방향안을 제시하고 있음
- 전 세계 바이오시장의 규모에 비해 국내의 경우 소규모 바이오디젤 업체의 생산 및 공급에 의한 극히 제한된 규모의 시장만이 형성되어 있으므로 이를 촉진하기 위한 사업 전략 및 정책적 지원 필요
  - 바이오매스 자원은 풍부하나 에너지화 원천 기술의 부재로 인해 에너지 확보가 어려운 개도국 중심의 기술협력 사업화 모델 구축이 요구됨
  - 바이오디젤 혼합 비중 상향 촉진 및 바이오알코올 의무 혼합 도입 시 고려되어야 할 생산 및 공급 시스템 설정에 대한 논의 필요
- 바이오에너지 생산업자와 기존 석유 정제업자들과의 공존 가능 모델(예: 일본의 ETBE(Ethyl *tert*-butyl ether)연료 생산 및 공급 시스템)
- 현재 정부에서 주도하고 있는 바이오에너지 기술개발사업 중 '미세조류 기반 바이오디젤 생산 기술'이 정책적으로 가장 부합되며, 원천 기술 확보 및 바이오매스 대량 확보를 통한 바이오에너지 산업의 과급 효과가 클 것으로 기대되므로 지속적인 동향(기술, 시장, 정책)조사가 필요

## VI.

### 심층동향

#### 01 미세조류 기반 바이오디젤

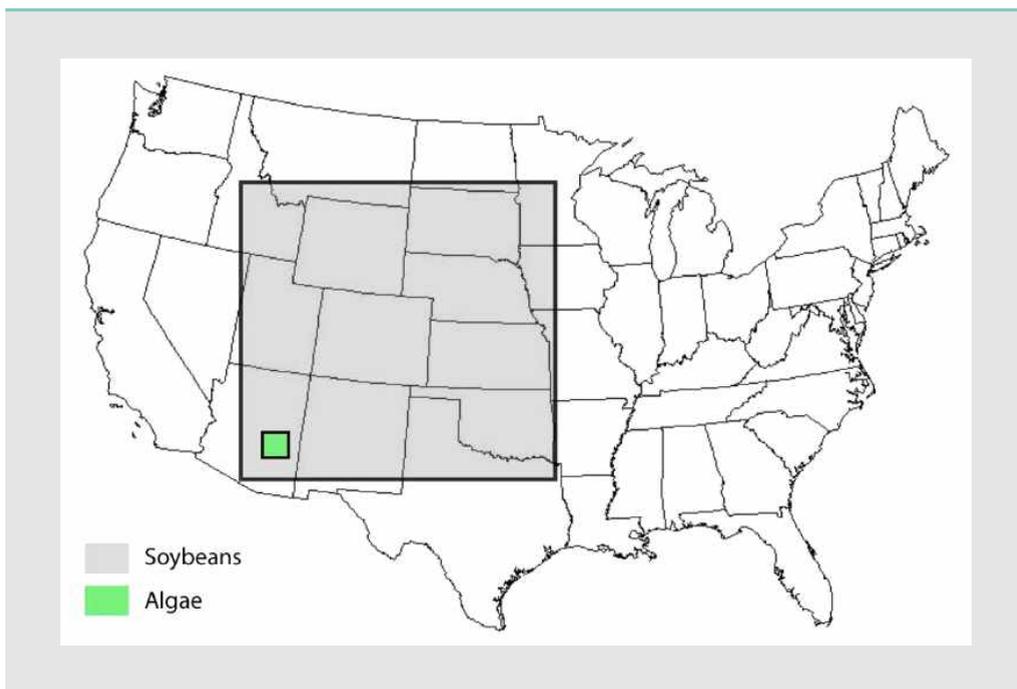
##### 세부기술개요

- (미세조류 바이오디젤) 바이오매스 중에서도 해양 및 담수에서 자라고 있는 식물성 단세포 플랑크톤인 미세조류(Microalgae 혹은 Phytoplankton)안의 유지 성분을 추출하여 기존 디젤 엔진에 적용할 수 있도록 전환한 연료
  - 전이에스테르 교환반응(Trans-esterification)에 의해 생성된 지방산메틸/에틸 에스테르(FAME/FAEE)를 지칭
  - 식물성 기름 이용 바이오디젤 전환 과정과 본질적으로 동일
- 미세조류는 다음과 같은 특성으로 인해 차세대 바이오에너지 원료로 각광받고 있는 상황
  - 비식용원료로서 식량 문제로 인한 사회적, 경제적 부담 경감(1세대 바이오매스 대체)
    - 해양이나 황무지를 이용하여 배양하므로 육상 식물과의 경쟁관계 개선
    - 해조류로부터 얻은 유지 성분은 식물성 기름과 구조적으로 매우 유사하며, 트리글리세라이드(Triglyceride)와 기타 지방산으로 구성
  - 물, 햇빛, CO<sub>2</sub>를 활용하여 광합성 성장을 하므로 탄소포획의 장점을 가지고 있으며 담수, 해수 및 각종 환경에서 성장할 수 있는 바이오매스 자원
    - 유지 식물에 비해 태양에너지 이용 효율이 약 25배, CO<sub>2</sub> 고정능력 15배 가량 증가
  - 식물에 비해 5-10배의 바이오매스 생산성이 높으며, 배양 조건에 따라 지질을 체내에서 최대 70%까지 축적이 가능하여 단위면적당 지질 생산량이

식물에 비해 50-100배 이상 높음

- 미세조류는 1 헥타르(1만 평방미터) 당 최대 58,700 리터의 바이오디젤을 생산할 수 있으며, 이는 1세대 원료 중 가장 효율이 높은 팜유보다 약 10배 이상 높은 수준

대두와 조류의 바이오매스 생산 당 단위면적 비교



출처 : Frost&sullivan, World Algae Biofuels Market - Strategic Assessment, August 2010



농작물과 미세조류의 바이오매스 생산성 비교

Oil Source	Biomass (Mt/ha/Yr)	Oil-content (% dry mass)	Bio-diesel (Mt/ha/Yr)	Energy Content (boe/1000ha/day)
Soya	1-2.5	20	0.2-0.5	3-8
Rapeseed	3	40	1.2	22
Palm-Oil	19	20	3.7	63
Jatropha	7.5-10	30-50	2.2-5.3	40-100
Microalgae	140-255	35-65	50-100	1,150-2,000

바이오디젤의 생산 수율 비교

Crop	Oil yield (L/ha)	Land area needed (M ha) <sup>a</sup>
Corn	172	1,540
Soybean	446	594
Canola	1,190	223
Jatropha	1,892	140
Coconut	2,689	99
Oil palm	5,950	45
Macroalgae <sup>b</sup>	136,900	2
Microalgae <sup>c</sup>	58,700	4.5

출처 : Yusuf Chisti, *Biotechnology Advances* 25 (2007), 294-306

<sup>a</sup> 미국 내 전체 수송연료의 50%를 대체하기 위한 면적으로 산정

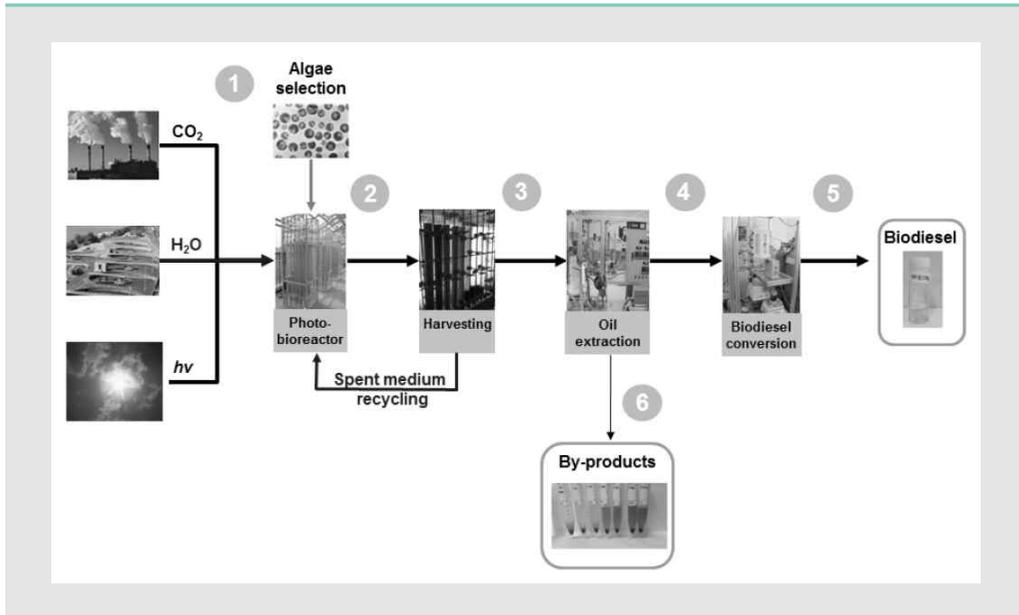
<sup>b</sup> 70%(바이오매스 중량 기준) 지질함유 바이오매스

<sup>c</sup> 30%(바이오매스 중량 기준) 지질함유 바이오매스

● 제조 공정

- 미세조류 기반 바이오디젤 생산 공정은 (1) 배양, (2) 수확, (3) 오일 추출, (4) 디젤 전환, (5) 분리 및 정제의 5단계로 구성

미세조류 기반 바이오디젤 생산 공정 흐름도



※ 출처: 오유관 외 1, 「미세조류 바이오디젤 생산 공정기술」, KIC News, Volume 18, No. 3, 2015

● 세부기술동향

- 미국에서 가장 먼저 미세조류 이용 바이오디젤 생산 연구 프로그램을 가동
  - 국립재생에너지연구소(NREL)에서 미세조류로부터 바이오디젤을 생산하려는 해양생물종프로그램(ASP)을 1978년부터 18년 간 수행
  - 온난화 위기 및 식량 문제와 더불어서 새로운 바이오에너지 원료의 탐색이 요구되어 최근 들어 본격적으로 미세조류이용 연료 생산에 박차를 가하고 있는 편
- 조류 바이오의 경제성을 확보하기 위해 현재 전 세계적으로 미세조류 대량 배양 시스템을 구축하는 기술과 더불어 준상업화 수준의 바이오디젤 생산이 이



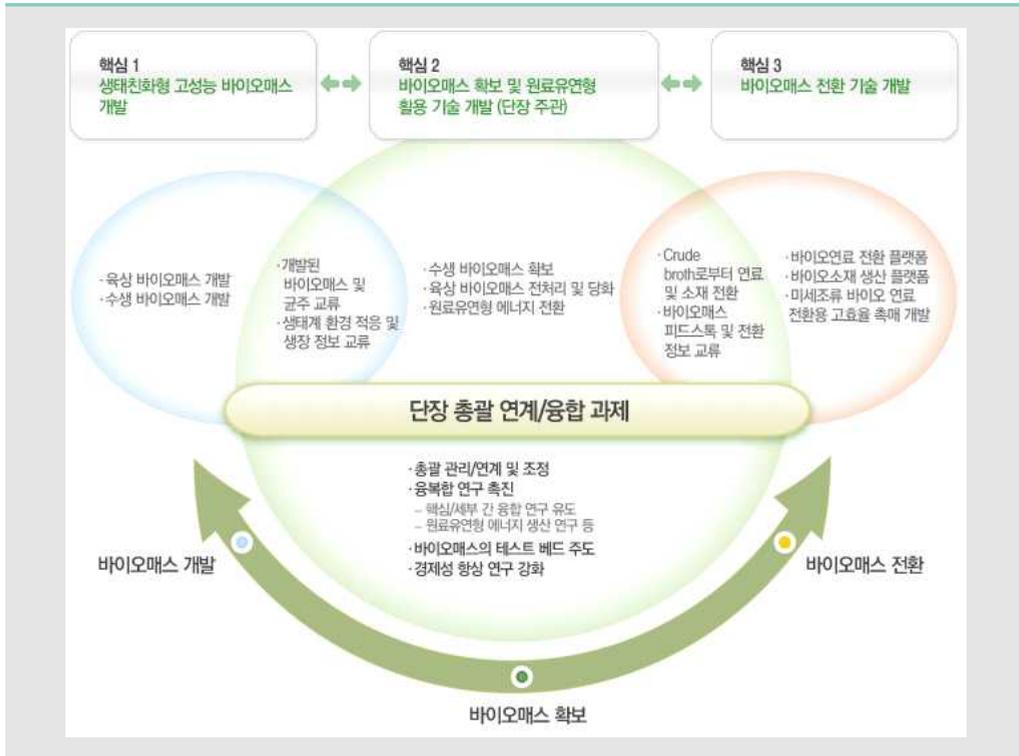
루어지고 있음

- (미국) 대표주자로 하여 미세조류 기반 바이오디젤 생산기술개발 연구 및 준 상업화 규모의 미세조류 대량 배양장 구축
  - 미국의 Sapphire Energy와 Aurora Biofuels는 생산능력이 높은 해조류를 찾아, 좋은 종을 확보하는 연구 개발을 진행
  - 미국의 Desert Sweet Biofuels는 Sonora 사막\*에서 미세조류 재배에 대해 연구 하며, Solix는 광생물 반응기(Photo Bioreactor)의 표면적을 확대하는 방법을 연구하고 있음
    - \* Sonora 사막은 미국과 멕시코 국경 지대에 위치한 사막
  - “Advancement in Sustainable Algal Production (ASAP)” 사업으로 옥외배양 (90일 이상 실증) 및 500 kg 조류 바이오매스/년 설비를 구축할 예정
- (일본) 30년 전 미세조류 프로그램을 가동했으나 경제호황과 유가안정으로 중단상태에 놓여있었으며, 최근에 신에너지 및 산업기술개발기구(NEDO) 프로그램을 통해 연구 프로그램 가동 중
  - 2010년부터 유글레나를 이용 바이오디젤 생산기술개발을 수행 (참여기업: JX 닉코 일본 석유에너지, 히타치 플랜트 테크놀로지, 유글레나 3사; 2020년 실용화 목표)
  - IHI 등 3개사와 에노모토 연구팀에서 오일 생산용 조류 옥외 배양에 성공
- (유럽) 프랑스, 네덜란드, 독일 등지에서 미세조류 이용 바이오리파이너리 기술개발연구 수행 중
  - 프랑스: GreenStars 프로그램으로 미세조류 바이오리파이너리 기술개발
  - 독일: IGB\*에서 조류 바이오매스 생산공정의 자동화 연구 진행 중
    - \* Frounhofer Institute for Interfacial Engineering and Biotechnology
- (중국) National Key Technology R&D Program, National Natural Science Foundation of China 등을 통해 적극적인 산학연 협력연구가 진행 중
- 국내 미세조류 바이오디젤 생산 연구는 2000년대부터 개시되었으며, 산발적인 연구 동향을 보이다가 2009년 “인하대학교 해양바이오에너지(MBE) 생산기술 개발연구센터”와 “2010년 “(재)차세대바이오매스연구단”이 발족되면서 본격적인 미세조류 기반 바이오디젤 생산프로그램을 가동



- 2010년도에 글로벌프론티어 사업의 일환으로 '차세대바이오매스연구단'이 발족되어 미세조류로부터 바이오디젤을 생산하는 요소기술 개발에 박차를 가하고 있으며 미세조류 배양, 전처리 및 디젤 전환기술 부문에서 유효성 있는 성과가 도출
  - 한국생명공학연구원에서는 에너지 절감형 이산화탄소 공급시스템을 이용한 10톤 규모의 미세조류 배양 시스템(Raceway Pond)을 개발하고 CO<sub>2</sub> 공급 조절을 이용해 최적 배양과 수확 pH를 조절함으로써 자연응집을 유도하여 간편하고 비용절감 수확 공정을 확립
  - 한국에너지기술연구원에서는 저가형 비닐 광생물반응기를 개발하여 혼합 영양배양에 적합한 우수균주 4종 선별 및 특성을 규명하고 배가스(CO<sub>2</sub>)를 이용한 혼합영양 고지질 미세조류 옥외배양 실증을 수행
  - 경북대학교 연구팀에서는 한국의 지형과 기후 조건에 맞는 한국형 미세조류 바이오매스 대량 배양 시스템 모델을 제시하고자 236톤 규모의 담수 미세조류 대량배양시설을 구축하고 바이오매스 생산 실증연구를 수행
  - (주)엔엘피에서는 한국형 미세조류 대량배양 시스템 실증을 위해 다양한 형태의 광생물반응기 개발 및 1ha 규모의 배양단지를 구축하여 한국형 미세조류 대량배양 최적 조건을 탐색하며 미세조류 바이오매스 생산 실증 연구를 수행
  - KAIST 연구팀에서는 기존의 건조 단계 없이 상온, 상압에서의 에탄올 전처리 공정을 통한 바이오디젤 직접전환 공정 기술을 확보. 공정효율에 있어서 세계 최고 수준으로 평가되며, 생산비 측면에 있어 전통적인 디젤 전환 기술 수준과 비교했을 때 40% 이상 절감할 수 있을 것으로 전망

(재)차세대바이오매스연구단 연계전략



출처: (재)차세대바이오매스연구단(<http://www.biomass.re.kr/>)

- 2009년 11월 ‘저탄소 녹색성장 정책’과 ‘해양신산업 창출’을 위한 사업의 일환으로 국토해양부가 주관하는 국책연구과제를 수행하기 위한 연구기관으로 인하대학교 해양바이오에너지(MBE) 생산기술개발연구센터가 출범하였으며 해양 미세조류 실증배양과 해양바이오에너지(바이오디젤) 원천 기술을 확보하는데 주력
- 온실가스 및 해양 무기영양염류 흡수 가능한 대규모 해양 미세조류 배양시스템 설계
- 바이오매스의 함량 및 지질함유량 증진을 위한 바이오디젤 생산용 해양 미세조류 개량 연구
- 해양 미세조류를 이용한 바이오디젤 생산 연구
- 미세조류 유래 바이오디젤의 상업적 이용을 위한 품질관리 및 규격화 연구

● 대표 업계 현황(1) - Sapphire Energy, Inc.

- Sapphire Energy, Inc.社は 2007년 설립하였으며, 2008년 American Society for Testing and Materials (ASTM) certification standards에 적합한 91-octane 가솔린은 조류로부터 생산에 성공
  - 콘티넨탈항공사와 일본항공사는 Sapphire Energy, UOP Renewable사와 공동개발한 조류 이용 항공유 JET A를 보잉 747기와 737기와 같은 민항기에 적용하는 시험을 성공적으로 수행
- 조류를 원료로 신재생에너지를 생산하는 특허기술을 기반으로 독자적인 플랫폼을 구축해오고 있으며, 조류 에너지 생산을 위해 대규모 조류의 배양, 수확, 추출 등의 다수의 특허기술을 보유
- 최근에 미국 에너지부와의 협력을 통해 뉴멕시코주 콜럼버스에서 융합 조류 바이오 정제(Integrated Algal Bio-Refinery)로서 알려진 300에이커의 상업용 시연 녹색 원유 농장(Green Crude Farm)의 1단계를 운전하기 시작
  - 녹색 원유 농장은 매일 100배럴의 녹색 원유를 생산할 것으로 기대

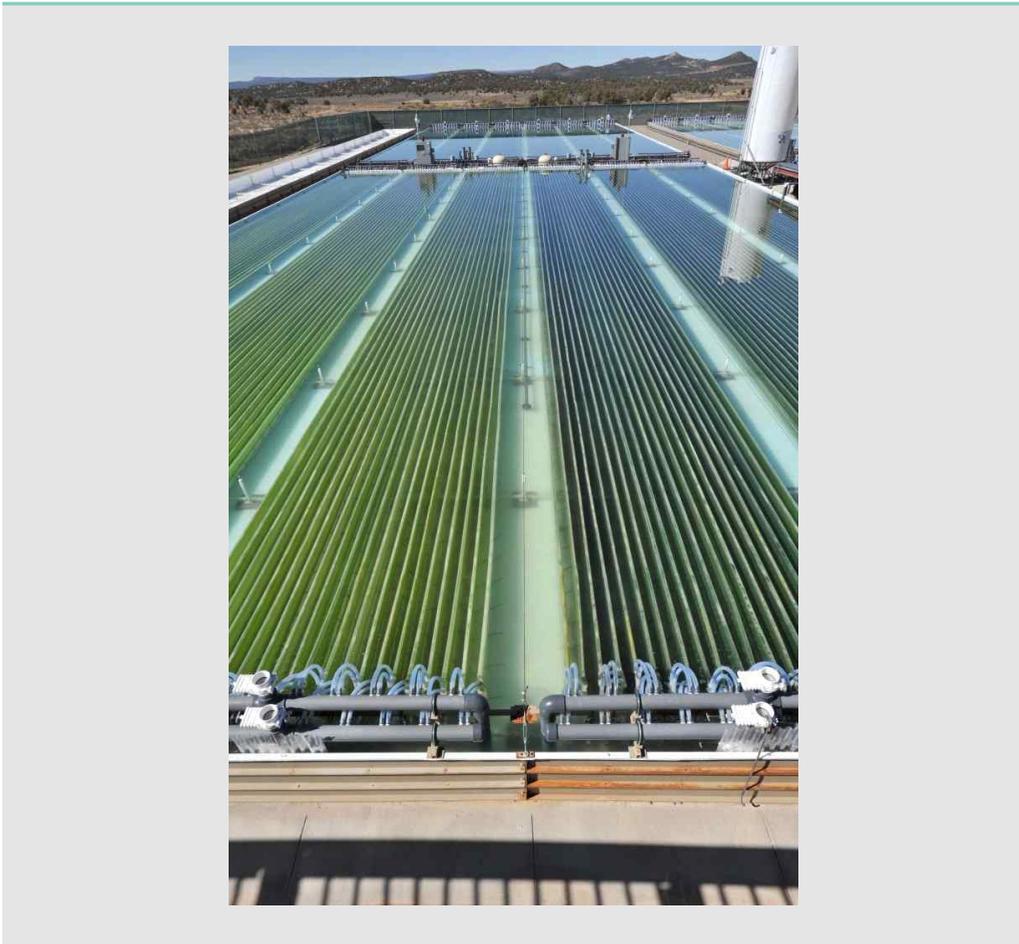
Sapphire Energy 조류변환공정



※ 출처 : Katie Fehrencacher, 15 Algae Fuel Startups, Gigaom, 2010

- 대표 업계 현황(2) - Solix Algreredients(구 Solix Biofuels)
  - Solix Algreredients 社は 2006년 광합성 미세조류를 이용한 시스템 개발을 위해 2006년 설립. 발전소 또는 산업체에서 배출되는 이산화탄소를 기질로 미세조류를 대량 생산 후 기름을 추출하여 바이오디젤 생산원료로 활용하는 기술개발 및 파일럿 연구를 수행
  - Solix 社の 기술핵심은 조류 바이오매스의 생산을 위한 효과적이고 검증된 시스템인 독점적인 AGS기술\*로 구성.
    - \* Solix의 독점 Lumian™ photobioreactor 패널을 통합하는 확장된 배양 시스템

Solix의 조류 배양 시스템



※ 출처 : Solix 홈페이지(<http://www.solixalgreredients.com/>)에서 발췌



## ● 시장전망

- 시장분석 전문업체인 미국 SBI사의 최근 자료에 의하면, 조류 바이오연료 시장은 2010~2015년 사이 약 4.1억 달러의 시장을 형성할 것으로 전망
- 조류를 이용한 바이오연료 중 두 번째로 큰 시장을 형성할 것으로 기대되는 기술분야는 바이오디젤 생산 분야로 2010~2015년 사이 1.3억 달러의 시장을 형성할 것으로 전망

Algae Biofuels Production Facility Market Shares

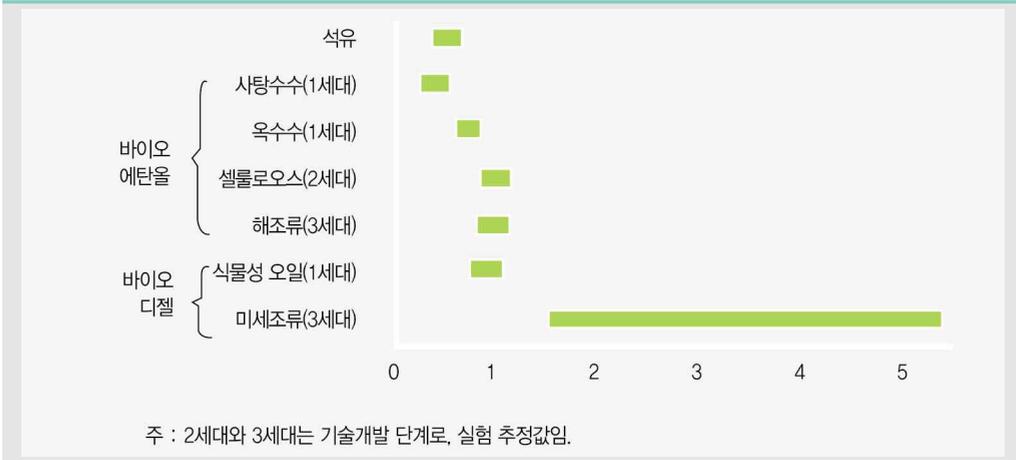
Algae Biofuels Production Technology	2010-2015 Market Value (in million \$)	Share of the 2010-2015 Algae Biofuels Production Technologies Market (%)
Hydrotreating Facilities (Biorefineries) (Renewable Diesel, Aviation Biofuel, Biogasoline)	\$156	38%
Biodiesel (Transesterification) Production Facilities	\$130	31%
Fermentation Facilities (Ethanol, butanol)	\$77	19%
Gasification (Syngas [Hydrogen], F-T Fuels)	\$42	10%
Anaerobic Digesters (Biomethane)	\$10	2%

※ 출처 : 생명공학정책연구센터, 해양생명공학 -조류(Algae) 바이오매스 활용기술

- 조류 연료가 다른 연료 대비 경쟁력을 지니기 위해서는 석유가 배럴당 80달러 일 때, 생산 비용이 리터당 0.55달러를 넘으면 안 된다고 보고 있으나, 현재 해조류 에탄올의 생산 비용은 리터당 0.77~1.1달러, 미세조류는 리터당 1.48~5.38달러로 추정



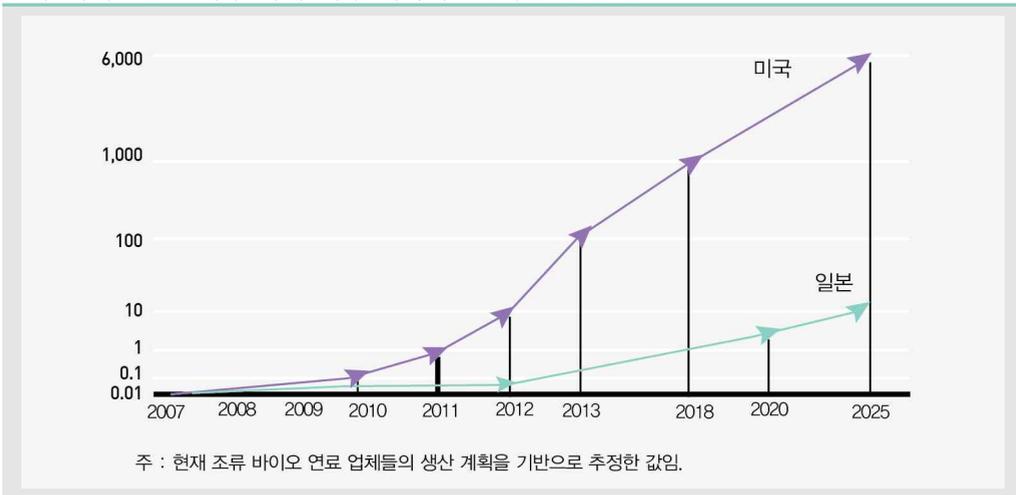
바이오연료의 생산 비용 비교 (\$/L)



※ 해조류는 Oilgae(2009), 미세조류는 한국에너지기술연구원, 나머지는 IEA(2006) 참조

- 조류 바이오연료 시장은 점진적으로 빠르게 시장에서 영향력을 확대해 나갈 것으로 예측되며, 현재 기업들의 투자로 파일럿 플랜트를 건설하고 있는 시장 형성 도입기로 판단
- 미국 조류 바이오연료 시장은 2012년에서 2018년 사이 연평균 115%라는 매우 빠른 속도의 성장세를 보일 것으로 추정되며, 일본은 2~3년 이후 성장할 전망

조류 바이오연료 시장 확대 예상 시나리오 (백만 갤런/년)





※ 출처: Algae 2020, Emerging Markets Online(2009), Biofuels Digest



## ● 정책동향

### ● 미국

- DOE는 2010년 바이오매스 프로그램의 일환으로 ‘국가 조류바이오연료기술 로드맵’을 작성해 미세조류 분야에 대한 국가 차원의 체계적 기술 개발 및 지원을 추진 중
  - DOE에서 “Algae Program : 미세조류 프로그램”을 운영 중

미국의 미세조류 대표 R&D 프로그램

프로그램명	Algae Program : 미세조류 프로그램[CODE: BE_US_RD_1001no01]
형태/추진단계	• 단일/상용화실증
목표	• 미세조류를 이용한 바이오연료 기술개발
목적	• 바이오연료 상용화 추진
추진내용	• BETO가 관련 워크숍 등을 주최하여 추진전략 수립, 자금조달 공고를 통해 자금을 모으고 관련 기반 및 모델링 방법 구축
계획기간	• 2010년, 2030년
관리부처	• Department of Energy(DOE) : 미국 에너지부
연구기관	• The Office of Energy Efficiency and Renewable Energy(EERE) : 에너지 효율·재생에너지국 • Bioenergy Technologies Office(BETO) : 바이오에너지 기술국
예산	• 25.05million 달러
출처	• <a href="http://www.energy.gov/eere/bioenergy/algae-biofuels">http://www.energy.gov/eere/bioenergy/algae-biofuels</a>
키워드	• bioenergy,Algae Program

### ● 유럽

- 제7차 Framework Program의 지원으로 조류 바이오연료를 개발하는 국제 프로젝트를 착수하여 진행중(The BIOfuel From Algae Technologies(BIOFAT) project, 2011년)
  - BIOFAT는 환경 영향을 최소화하면서 조류로부터의 이익을 극대화함을 목표로 하고 있으며, 지속가능성(sustainability)을 통해 Algorefinery 개념을 소개
  - 7개국의 9개 기관이 참여하여 조류로부터 대용량의 에탄올, 바이오디젤 및



bioproducts 생산을 목표로 설정

- Abengoa Bioenergia Nuevas Tecnologias(ABNT)가 프로젝트의 코디네이터로, University of Florence, Fotosintetica & Microbiologica, IN SRL(all Italy), A4F-AlgaFuel(Potugal), Ben-Gurion University(Israel), Evodos(Netherlands), AlgoSource Technologies(France) and Hart Energy(Belgium)의 대학과 산업계 및 민간이 참여
- 일본
  - ‘에너지 기본계획’(‘09년 7월) 아래 미세조류 기반 바이오연료 생산기술 개발 프로그램들이 가동 중



일본의 미세조류 대표 R&D 프로그램

프로그램명	Development of a Biofuel Production System Using Genetically Engineered Marine Diatoms : 바이오연료 생산시스템 개발[CODE: BE_JP_RD_10011301]
형태/추진단계	• 단일/기술실증
목표	• 미세녹조류를 활용한 연료 생산을 위하여 경제성 분석 및 생산을 향상
목적	• 미세녹조류를 활용한 연료 생산
추진내용	• 유전 조작된 규조류의 생산과 분리, 바이러스 게놈 분석과 규조류에 영향을 끼치는 바이러스의 분리, 유용한 화학물질의 확인과 탄화수소 바이오합성에 관여하는 유전자 분리, 바이오연료 생산을 향상, 수중 미세 녹조류를 이용한 연료 생산의 경제학적인 타당성 조사
계획기간	• 2010년, 2013년
관리부처	• New Energy and Industrial Technology Development Organization(NEDO) : 신에너지·산업기술총합개발기구
프로그램명	R&D of a Biofuel Production Process for Microalgae Utilizing Symbiosis : 공생하는 미세조류를 위한 바이오연료 생산 프로그램 [CODE: BE_JP_RD_10021301]
형태/추진단계	• 단일/기술실증
목표	• 미세녹조류에 관한 기본연구를 통해 활용가능성 연구
목적	• 미세녹조류 연구 종합 시스템의 구축
추진내용	• 미세녹조류에 관한 기본연구, 생물반응기 구성 연구, 미세녹조 잔여물의 활용, 종합 시스템의 구축
계획기간	• 2010년, 2011년
관리부처	• New Energy and Industrial Technology Development Organization(NEDO) : 신에너지·산업기술총합개발기구

● 국내

- 미래창조과학부와 해양수산부를 중심으로 담수 및 해양 미세조류이용 바이오디젤 생산개발기술 투자가 지속적으로 실시 중
- (미래창조과학부) 미세조류 기반 바이오디젤 R&D 투자 현황('15년도)
  - \* (글로벌프론티어사업) 차세대바이오매스연구단을 통해 미세조류를 이용한 바이오연료 및 고부가가치 화학소재 기술개발(98.7억원)
  - \* (중견연구자지원사업) 바이오에너지 생산 1개(1억원)의 신규과제를 선정하고 조류를 적용한 지속가능한 바이오에너지 생산 등 계속과제 5개(6.8억원) 지원
  - \* (신진연구자지원사업) 2015년 신규과제로 바이오연료 1개 과제(0.5억원)
- (해양수산부) 미세조류 기반 바이오디젤 R&D 투자 현황('15년도)
  - \* (해양 미세조류 이용 바이오디젤 생산기술 개발) 미세조류 해양 배양을 통한 경제성 있는 바이오디젤 생산기술 개발(39억원)
  - \* (해양 초고온 고세균 이용 바이오수소 생산기술 개발) 해양 미생물 이용 산업 부생가스를 원료로 하는 수소 생산기술 개발(35억원)

## 바이오에너지 분과위원

이름	소속
김 재 곤	한국석유관리원
박 민 성	KAIST
서 미 정	전남대학교
손 정 훈	한국생명공학연구원
신 용 안	GS칼텍스
오 경 근	단국대학교
오 희 목	한국생명공학연구원
윤 지 현	(주)엔엘피
조 영	바이오에너지협회