



제20회 농림식품산업 미래성장포럼

# 더 나은 미래농업! 에너지기술로 충전한다

2018. 11. 7.(금) 14:00~17:00

대전컨벤션센터 중회의실(1F)

주최 농림식품산업 미래성장포럼  농림축산식품부 주관  IPET 농림식품기술기획평가원



# 일 정 표

시 간	분	프로그램	비고
13:30~14:00	30	등록 Registration	-
14:00~14:10	10	개회 Opening	이귀재 (미래성장포럼 대표) Lee, Kui Jae (Head of Future & Growth Forum)
			박수진 (농림축산식품부 농업생명정책관) PARK, Su-Jin (Ministry of Agricultural, Food and Rural Affairs)
기조강연 Keynote Speech			
14:10~14:50	40	[미국 농업의 재생에너지 현황과 전망] Toward a Carbon Negative Bioeconomy : Status and Prospects for Renewable Energy in US Agriculture	톰 L. 리처드 (펜실베이니아 주립대학교) Tom L. Richard (Pennsylvania State University)
주제발표 Lecture			
14:50~15:15	25	[식물유래 바이오매스를 활용한 농업 기술 전망] Biomass-based agricultural technology outlook for biorefinery	상병인 (한양대학교) Sang, Byoung-In (Hanyang University)
15:15~15:40	25	[재생에너지를 활용한 농업에너지 기술 전망 - 마이크로그리드 시스템 기술] Prospect of agriculture energy technology using renewable energy - Micro grid system technology	고재하 (재)녹색에너지연구원 Ko Jae-ha (Green Energy Institute)
15:40~16:05	25	[미활용 에너지를 활용한 농업 기술 - 발전소 온배수] Agricultural technology utilizing unexploited energy - power plant thermal effluent	장세홍 (전자부품연구원) Chang Se-Hong (Korea Electronics Technology Institute)
16:05~16:15	5	휴식 Coffee Break	-
16:15~16:55	40	Q&A 및 종합토론 Q&A and Discussion	〈좌장〉 이상훈 (한국에너지공단 신재생에너지센터) Lee Sang-Hoon (Korea Energy Agency New&Renewable Energy)
16:55~17:00	5	마무리 Wrap up & Closing	-



# 목 차

## 기조강연

미국 농업의 재생에너지 현황과 전망

Toward a Carbon Negative Bioeconomy : Status and Prospects for  
Renewable Energy in US Agriculture ..... 1

톰 L. 리차드(펜실베이니아 주립대학교) Tom L. Richard(Pennsylvania State University)

## 주제발표

1. 식물유래 바이오매스를 활용한 농업 기술 전망

Biomass-based agricultural technology outlook for biorefinery ..... 25

상병인(한양대학교) Sang, Byoung-In(Hanyang University)

2. 재생에너지를 활용한 농업에너지 기술 전망-마이크로그리드 시스템 기술

Prospect of agriculture energy technology using renewable energy  
- Micro grid system technology ..... 39

고재하((재)녹색에너지연구원) Ko Jae-ha(Green Energy Institute)

3. 미활용 에너지를 활용한 농업 기술-발전소 온배수

Agricultural technology utilizing unexploited energy  
- power plant thermal effluent ..... 63

장세홍(전자부품연구원) Chang Se-Hong(Korea Electronics Technology Institute)

종합토론 ..... 87



## 미국 농업의 재생에너지 현황과 전망

### Toward a Carbon Negative Bioeconomy : Status and Prospects for Renewable Energy in US Agriculture



**Tom L. Richard**

**소속 및 직위**

펜실베이니아 주립대학교 교수

**연구 분야**

바이오에너지 활용을 통한 지속가능 농업,  
바이오매스 정책 개발, 에너지 하베스팅





## **Toward a Carbon Negative Bioeconomy : Status and Prospects for Renewable Energy in US Agriculture**

Tom Richard, Ph.D.  
Professor of Agricultural and Biological Engineering  
Director, Institutes of Energy and the Environment  
Pennsylvania State University

The global drive to reduce carbon emissions is nearing a tipping point, with the costs of wind energy already cost competitive with conventional energy resources in most of the world, and solar photovoltaics close behind. In the United States this year about half of new energy generation will be from renewable, and most of these new solar and wind energy facilities are being built in rural agricultural regions. Wind farms, solar farms, and bioenergy farms now dot the rural landscape across America.

The solar industry has experienced over a decade of exponential growth, beating projections every year. But policies do matter: US had a 50% increase in total solar capacity in 2016, but in 2017 the amount of new solar installations dropped by 30%. Solar is rebounding this year and renewable energy growth will continue to accelerate, both because of economics and because companies, communities, and people across America are choosing renewables.

Wind, solar, and energy efficiency provide important emission reduction benefits, but at best they can achieve zero emissions. With fossil fuel use continuing at excessive rates, the world needs negative carbon strategies. This is where bioenergy and biomaterials from agriculture and forestry are uniquely valuable, taking advantage of a three billion year old biotechnology, photosynthesis, which used solar energy to collect dilute CO<sub>2</sub> from the air and make it into high carbon, energy rich materials or store it safely deep in the earth. By 2070 the world will need to “drawdown” as much carbon dioxide as residual fossil fuels emit, and the most practical pathways to achieve that goal include long lived biomaterials (including wood for structures and bioplastics) and negative carbon energy. There are many pathways by which this can be achieved, including biofuels and bioelectricity.

One important option is anaerobic digestion. This was once a technology focused on waste management, but can also serve as the keystone to integrated farming systems for enhanced nutrient recovery and water quality, increased soil organic matter, increased crop and food production, and also sustainable energy. In many anaerobic digestion systems half of the carbon is given off as CO<sub>2</sub>, which is easily captured and either stored in geologic formations or made into products. And the biomethane, CH<sub>4</sub>, is a highly functional molecule that can be used to fuel transportation, provide cooking and heating, be upgraded into chemicals and materials, and dispatched for electricity on demand. Anaerobic digestion could supply about 13% of US demand for natural gas from existing wastestreams including manures, crop residues, and double crops.

Renewable energy offers great hope and opportunities for sustainable agriculture and forestry. With supportive policy, technology development, and transfer, our agriculture, food and forest systems will play a tremendous role in solving the climate challenge.

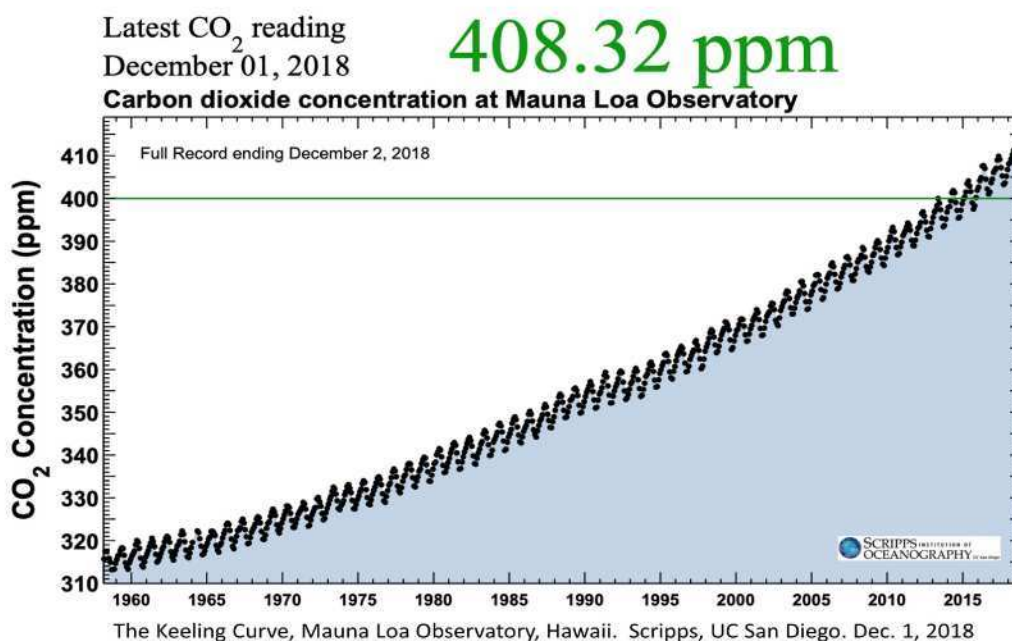


# Toward a Carbon Negative Bioeconomy: Status and Prospects for Renewable Energy in US Agriculture

**Tom Richard**

Professor of Agricultural and Biological Engineering  
Director, Institutes of Energy and the Environment

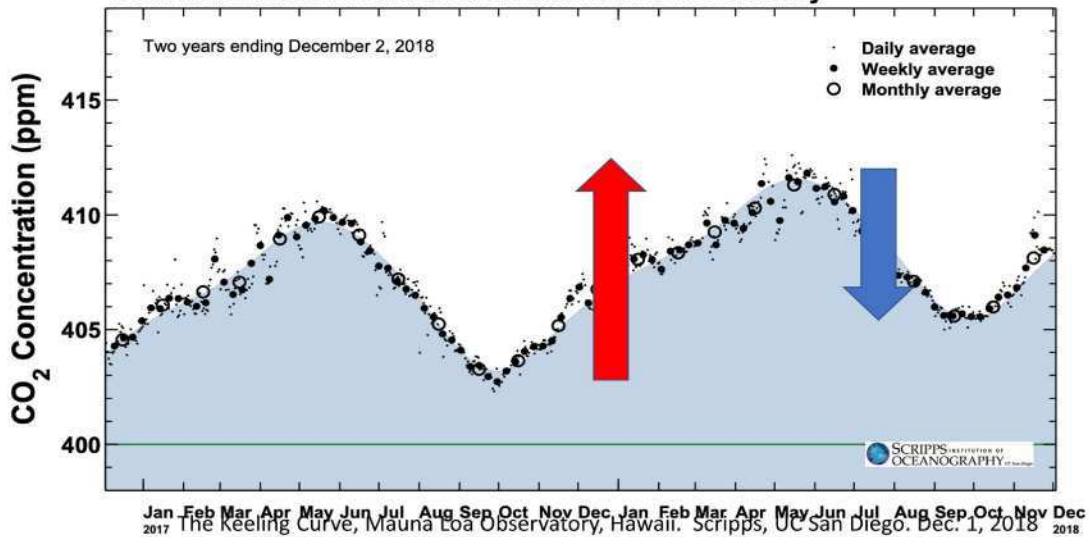
**Penn State University**



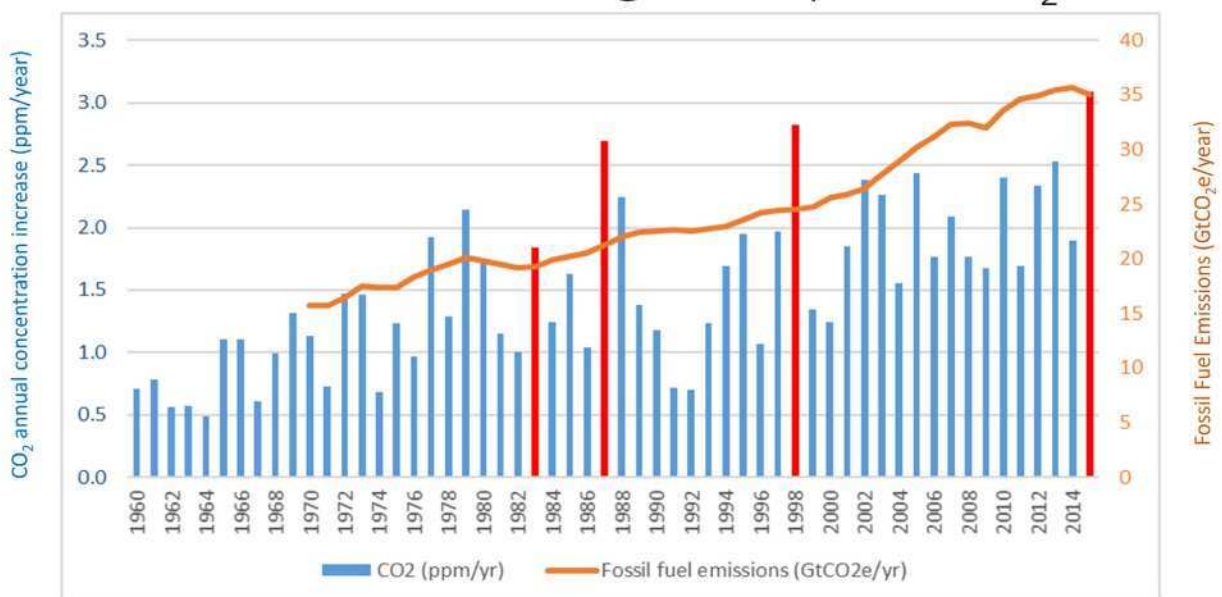
Latest CO<sub>2</sub> reading  
December 01, 2018

**408.32 ppm**

**Carbon dioxide concentration at Mauna Loa Observatory**



## Net Emissions Driving Atmospheric CO<sub>2</sub>

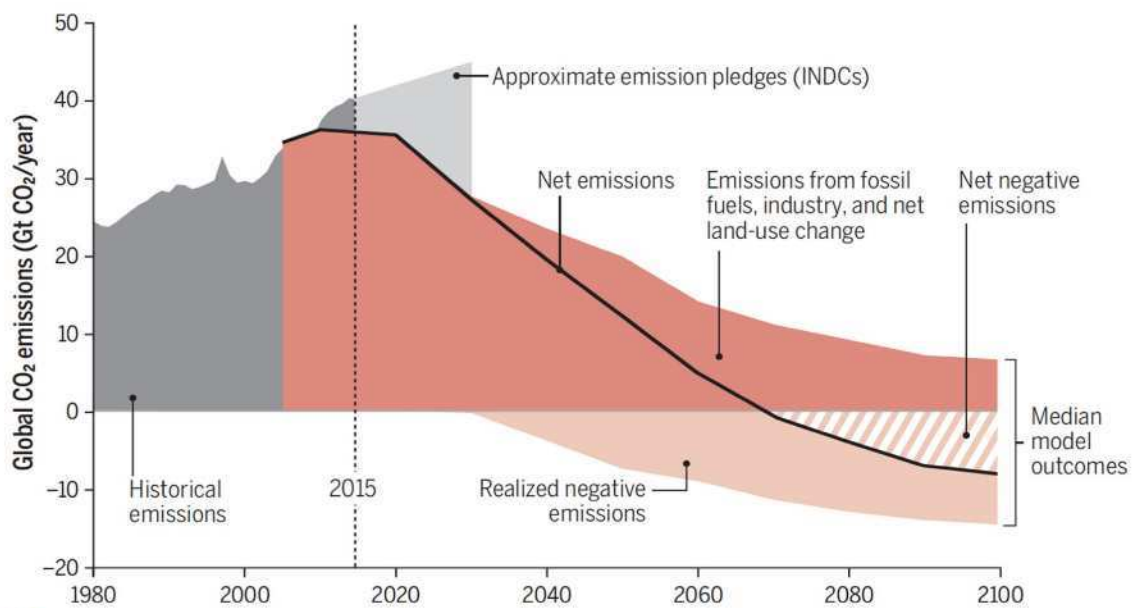


## The Global Carbon Budget

Avoiding the 'cliff edge' - time to act is limited

	GtCO <sub>2</sub> e (cumulative)	Temperature anomaly	Sources
1870 to 2015	2800		Den Elzen et al (1870 to 1990) + EDGAR (1990 to 2012)
1870 to 2100 – RCP 8.5	11400	+6.2 to +1.7°C	FT – Climate Change Calculator
1870 to 2100 – RCP 2.6	4660	+2.8 to +0.7°C	FT – Climate Change Calculator
Remaining budget	1990		FT – Climate Change Calculator
Current rate of emissions	49	per year	IPCC AR5

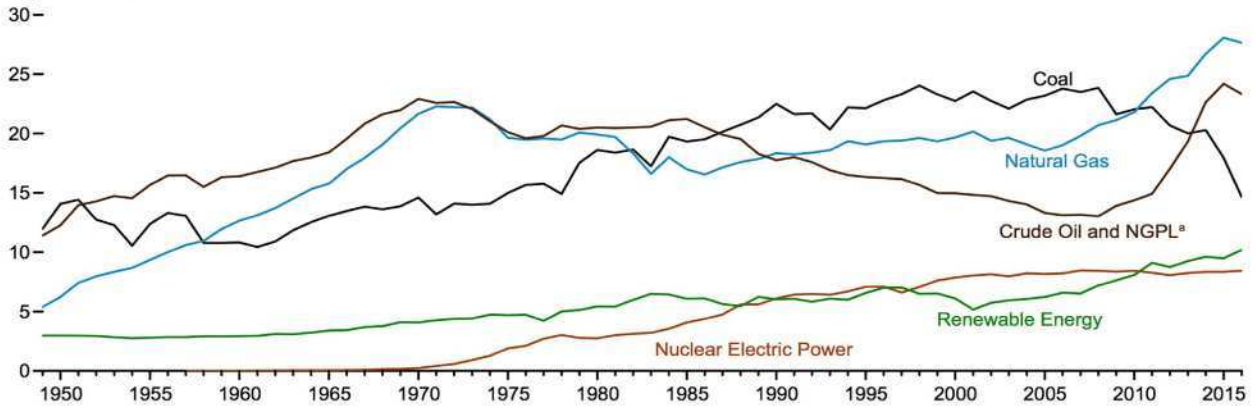
Based on Financial Times Climate Change Calculator (2015)



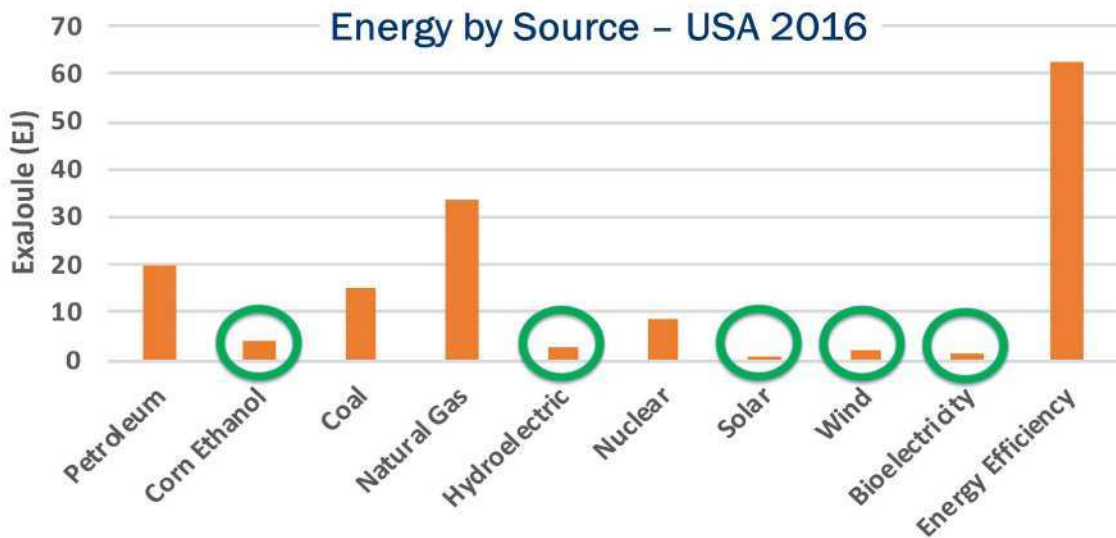
Anderson and Peters. 2016  
sciencemag.org **SCIENCE**

# USA Primary Energy Production (Quadrillion Btu)

By Source, 1949–2016



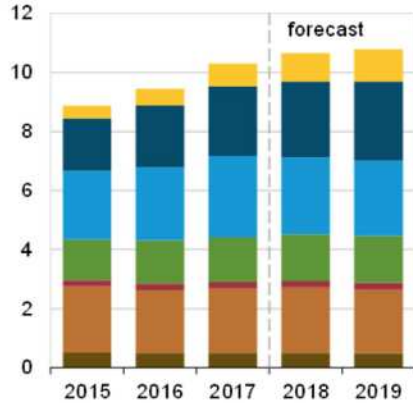
US EIA, Monthly Energy Review, Dec. 2017



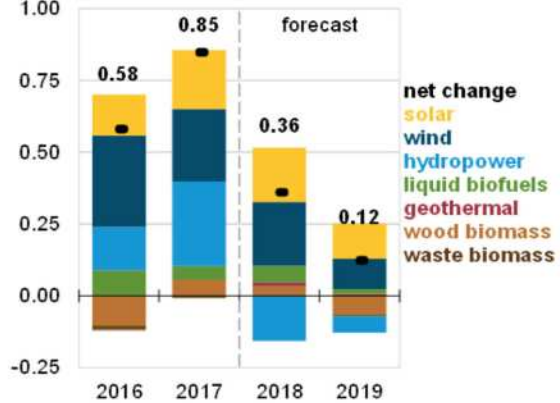
US EIA 2017, ACEEE 2016



**U.S. renewable energy supply**  
quadrillion British thermal units



**Components of annual change**  
quadrillion British thermal units



Note: Hydropower excludes pumped storage generation. Liquid biofuels include ethanol and biodiesel. Other biomass includes municipal waste from biogenic sources, landfill gas, and other non-wood waste.

Source: Short-Term Energy Outlook, November 2018



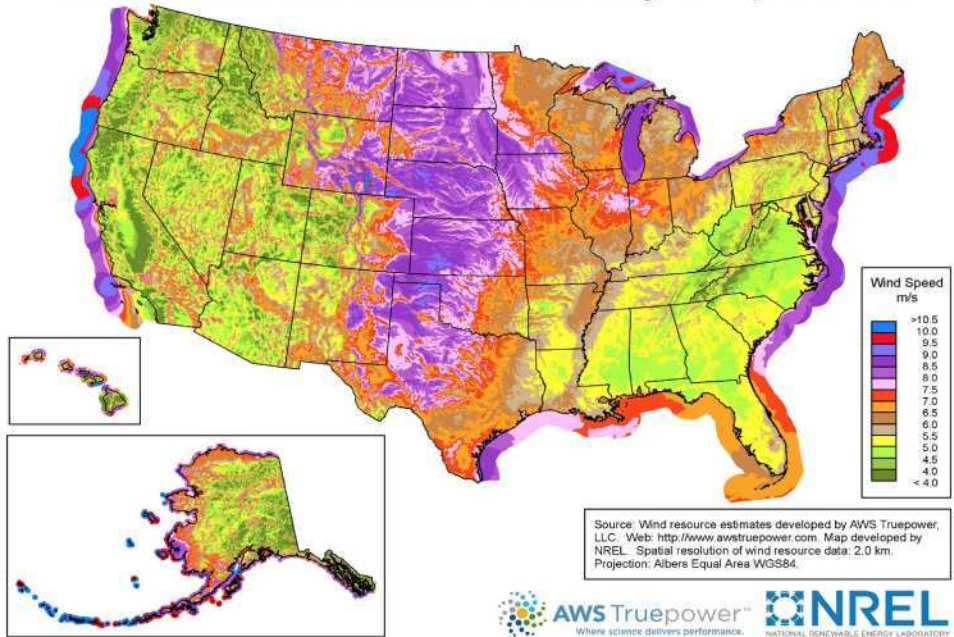
PennState



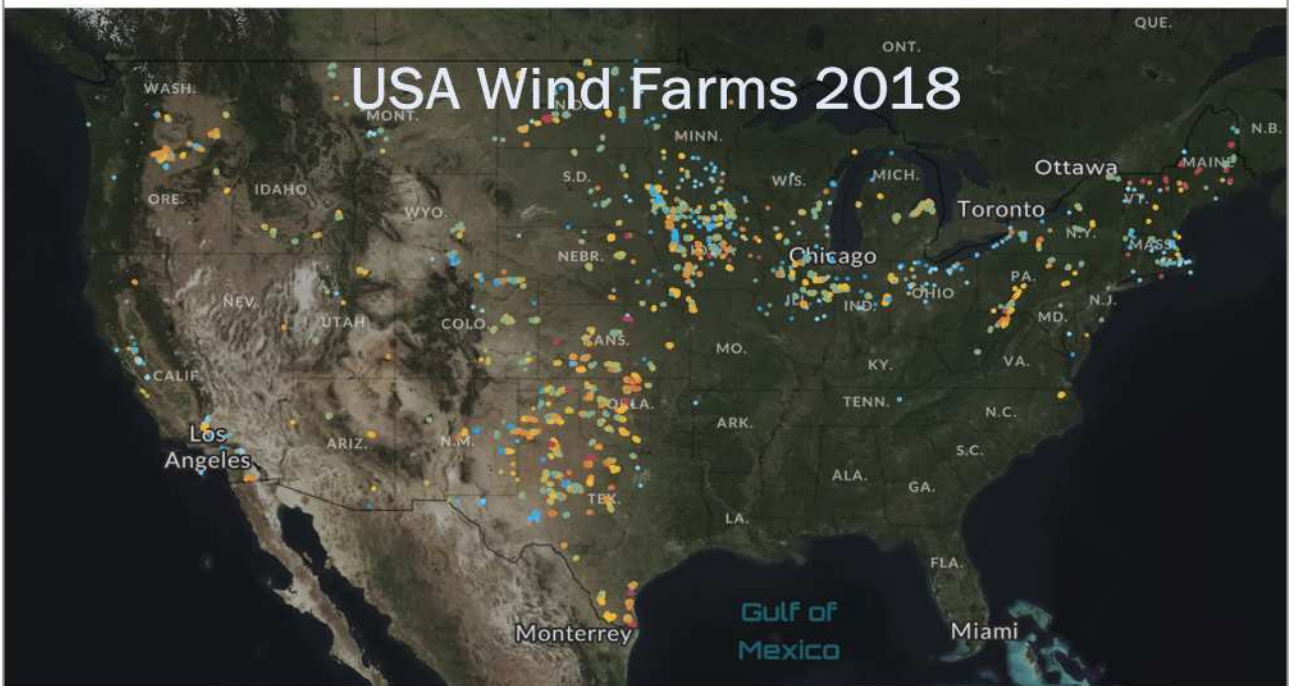
United States - Land-Based and Offshore Annual Average Wind Speed at 100 m

## US wind

Resources are greatest in the middle of the country and offshore in the ocean



## USA Wind Farms 2018



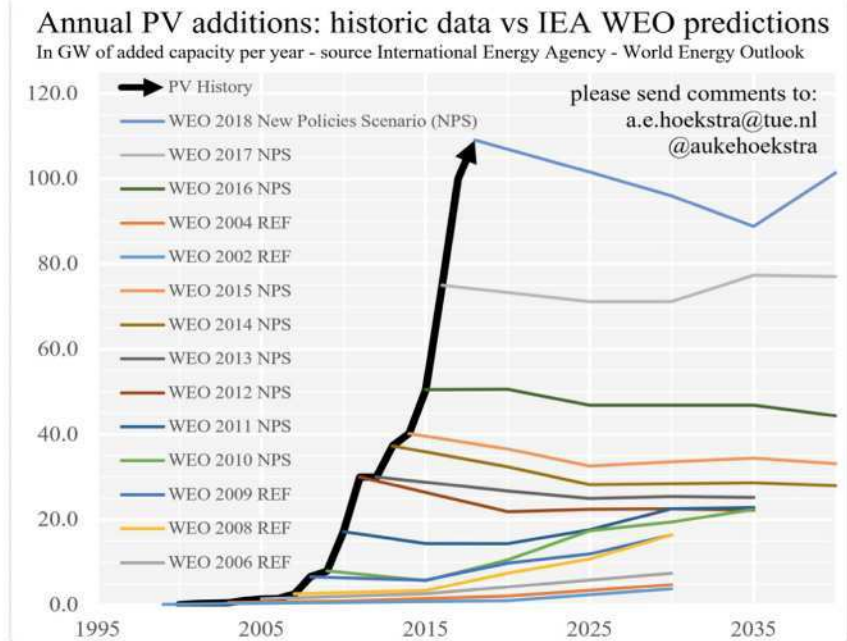


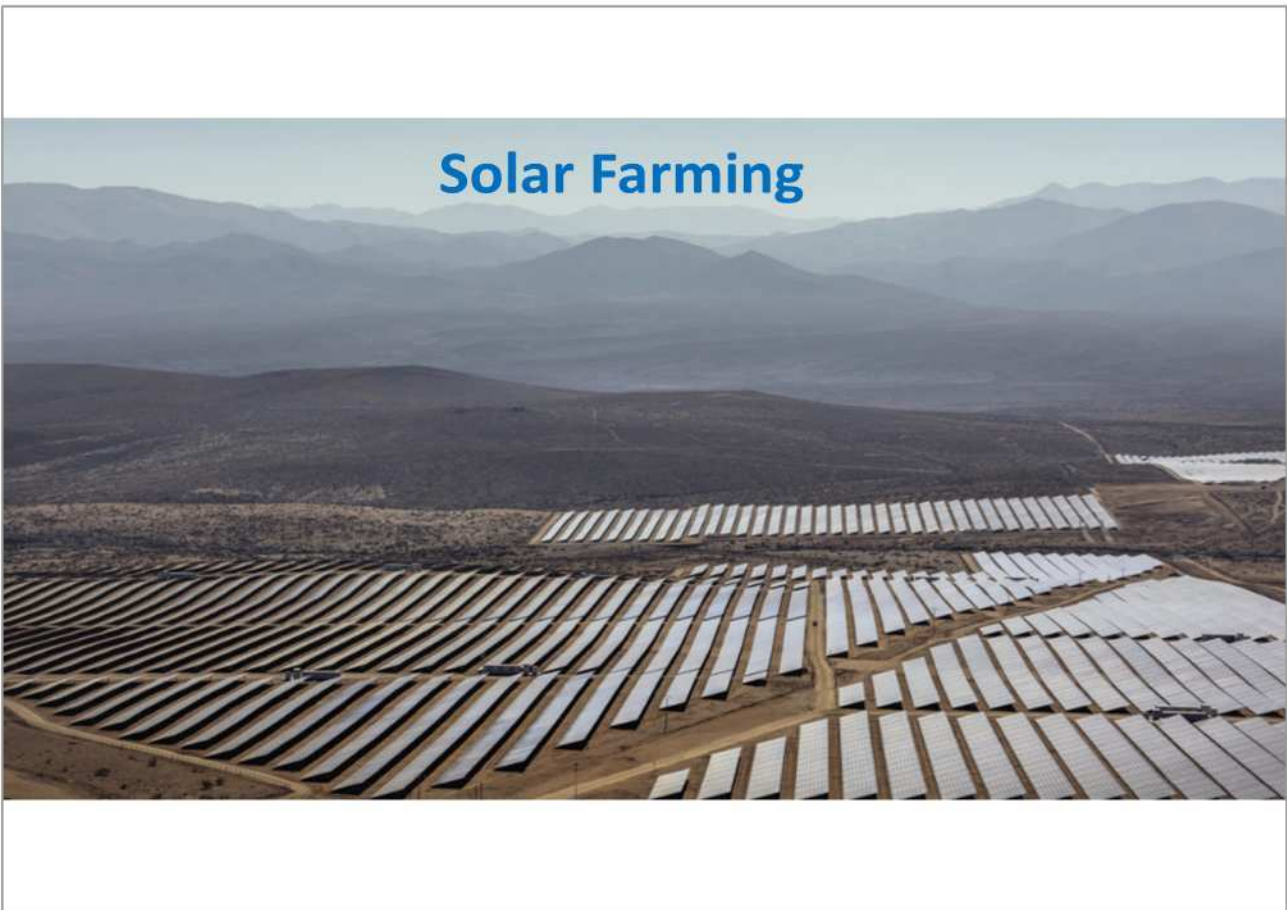
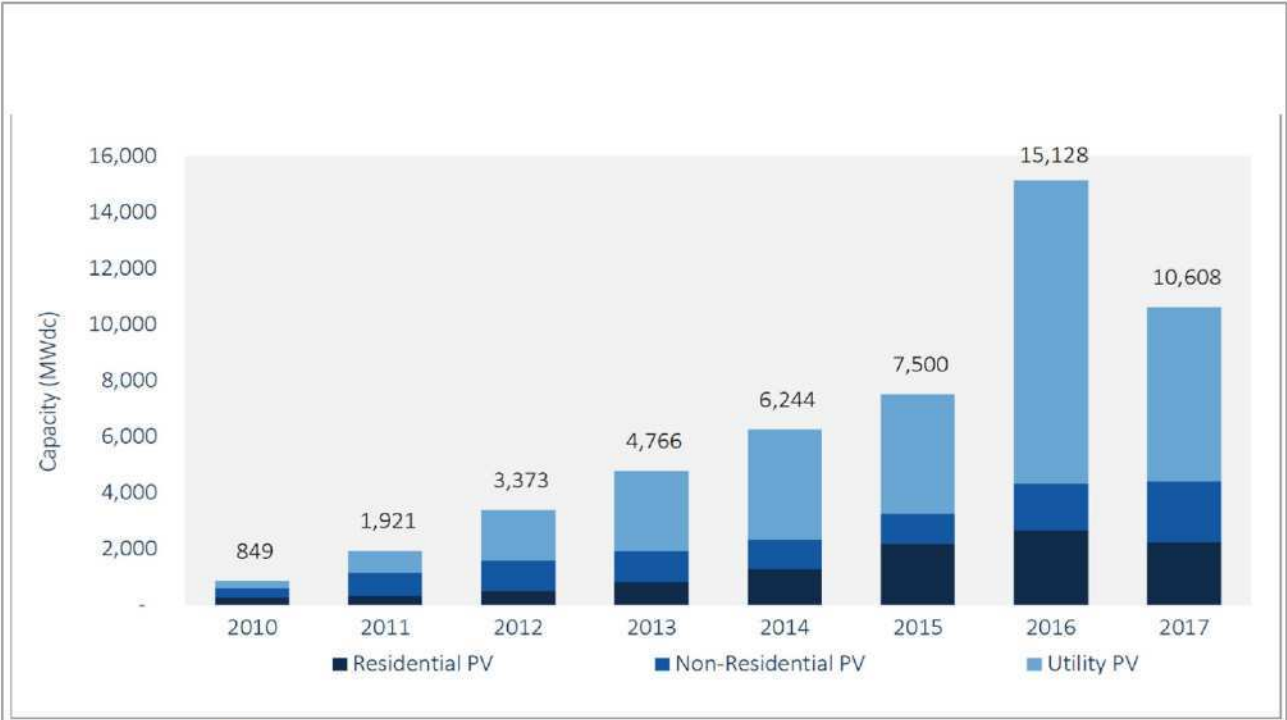
# Wind Farming

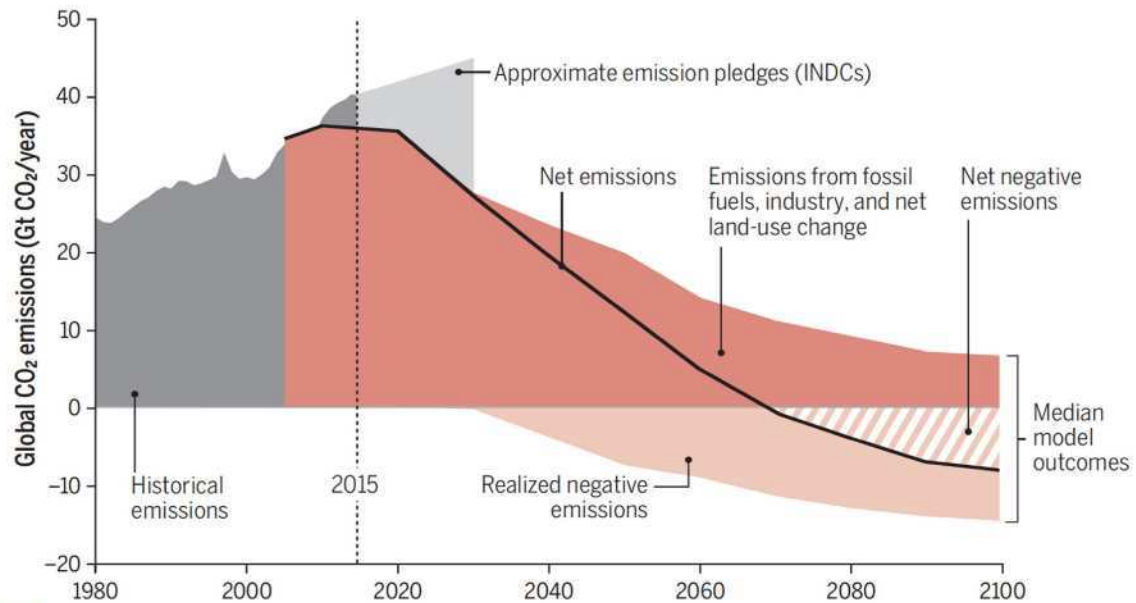


**Solar Photovoltaic:**  
A decade of exponential growth – beating projections every year.

Policies do matter: US had a 50% increase in total capacity in 2016, but in 2017 the new installation rate dropped by 30%. But even with the drop, 2017>>2015





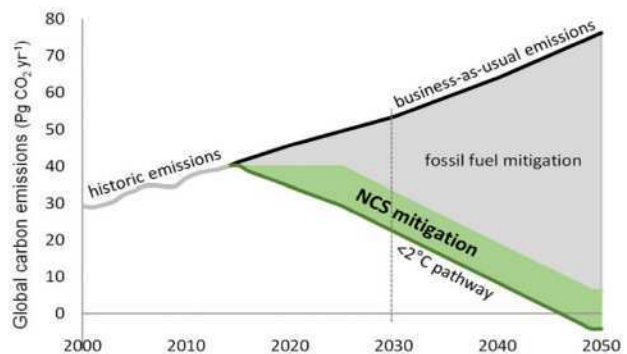


Anderson and Peters. 2016  
sciencemag.org **SCIENCE**

## Speaking of Farming... Natural Climate Solutions

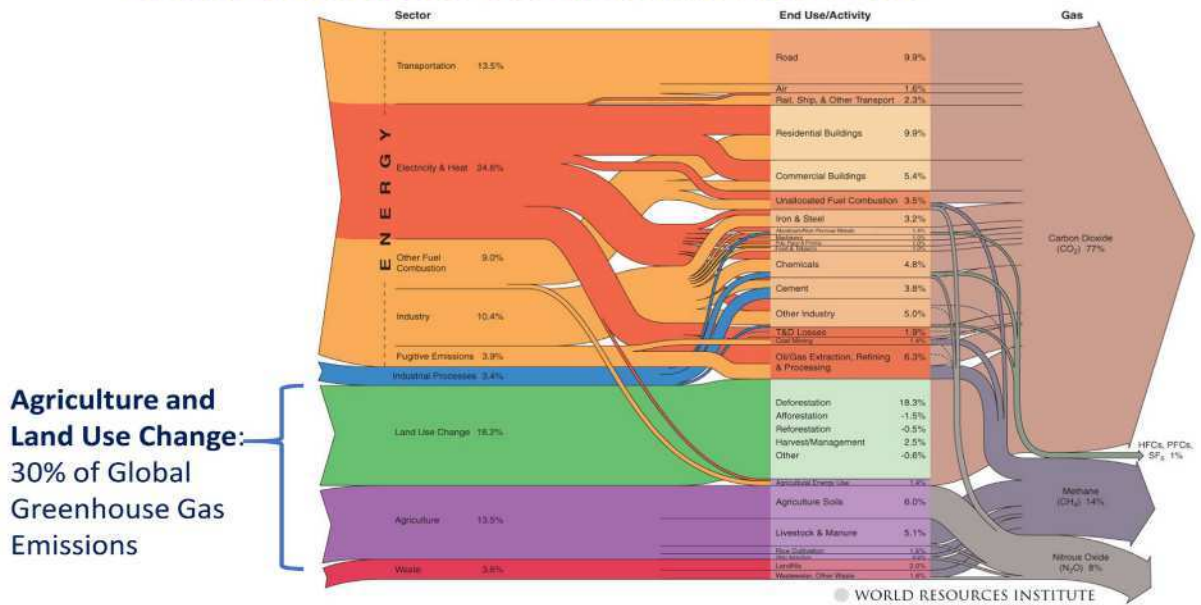
Griscombe et al. 'Natural Climate Solutions.'  
PNAS, 2017

- The green area shows cost-effective NCS (aggregate of 20 pathways), offering:
- 37% of needed mitigation through 2030,
- 29% at year 2030,
- 20% through 2050, and
- 9% through 2100.

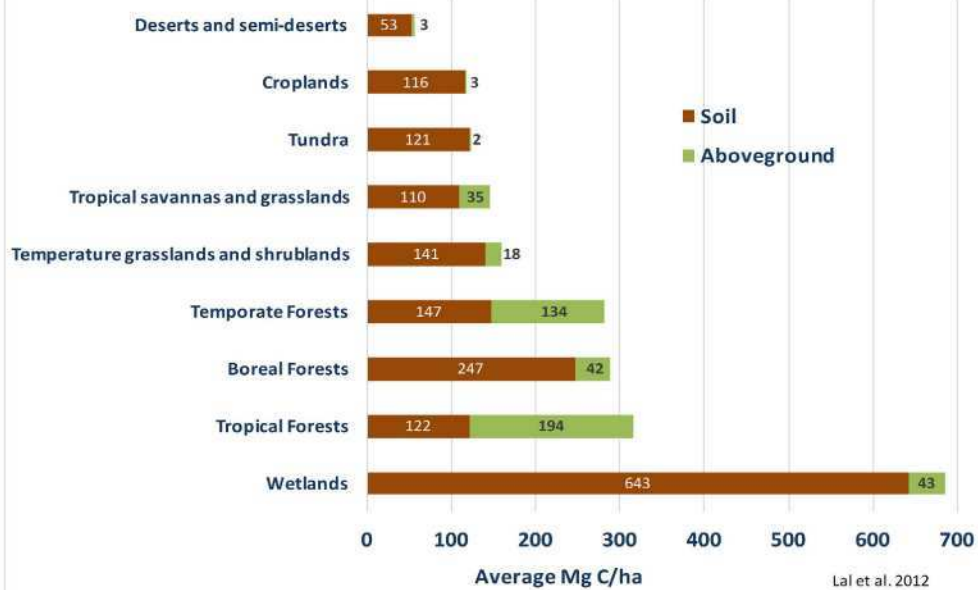


**Fig. 2.** Contribution of natural climate solutions (NCS) to stabilizing warming to below 2 °C. Historical anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions before 2016 (gray line) prelude either business-as-usual (representative concentration pathway, scenario 8.5, black line) or a net emissions trajectory needed for >66% likelihood of holding global warming to below 2 °C (green line). The green area shows cost-effective NCS (aggregate of 20 pathways), offering 37% of needed mitigation through 2030, 29% at year 2030, 20% through 2050, and 9% through 2100. This scenario assumes that NCS are ramped up linearly over the next decade to <2 °C levels indicated in Fig. 1 and held at that level (=10.4 PgCO<sub>2</sub> y<sup>-1</sup>, not including other greenhouse gases). It is assumed that fossil fuel emissions are held level over the next decade then decline linearly to reach 7% of current levels by 2050.

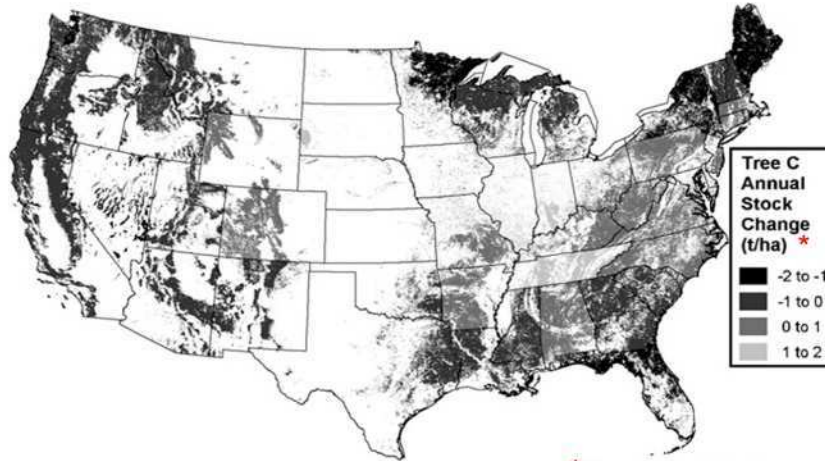
## Global Greenhouse Gas Emissions Flow Chart



## Carbon Stocks in Global Biomes



# Change in Forest Carbon Stocks

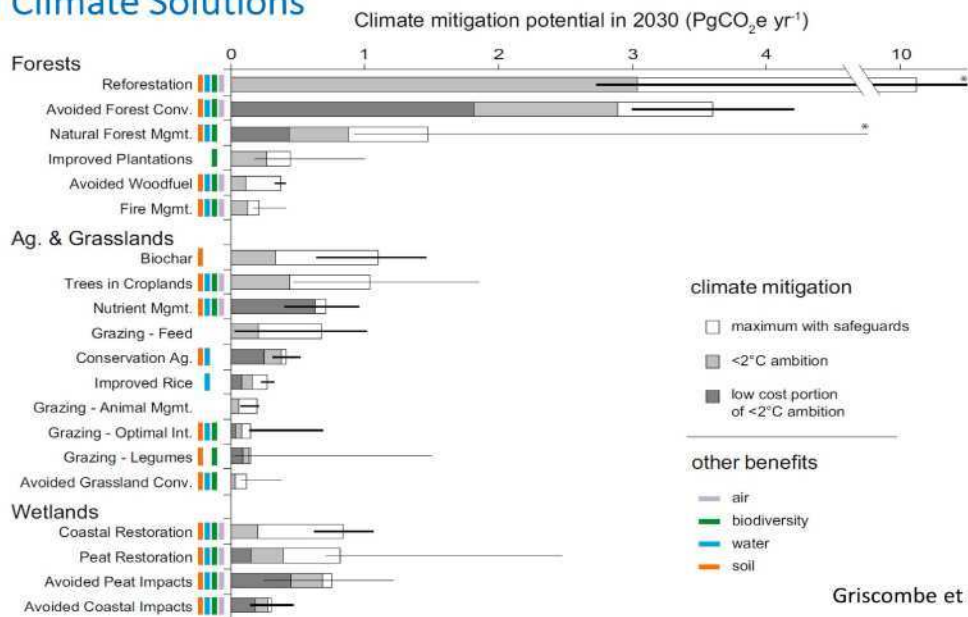


80 – 100 million Mg/year in forest,  
plus 30 – 70 million Mg/year encroachment

\*Negative values indicate sequestration

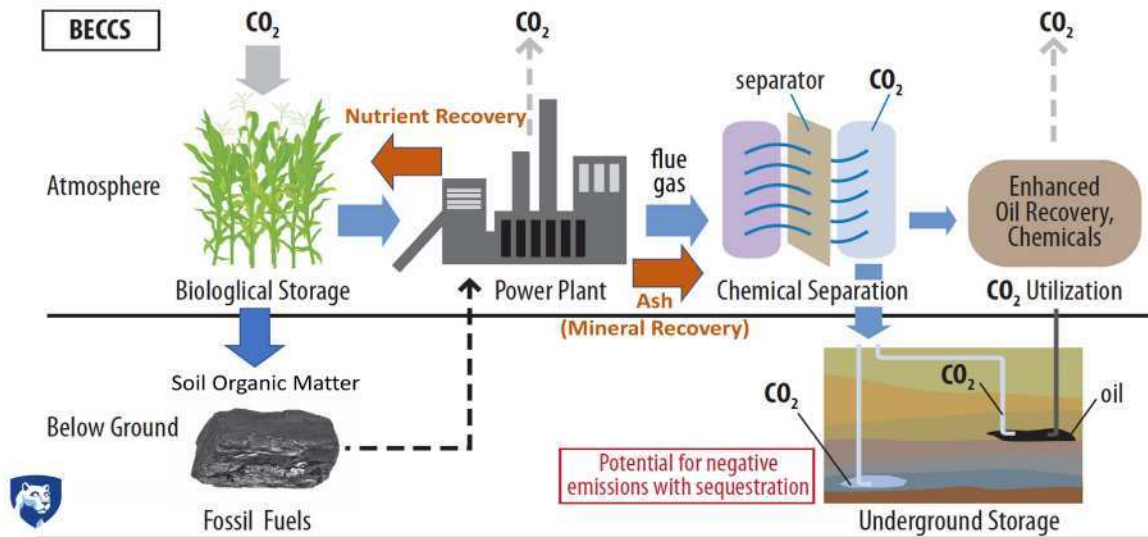
Woodbury et al. 2007

# Natural Climate Solutions

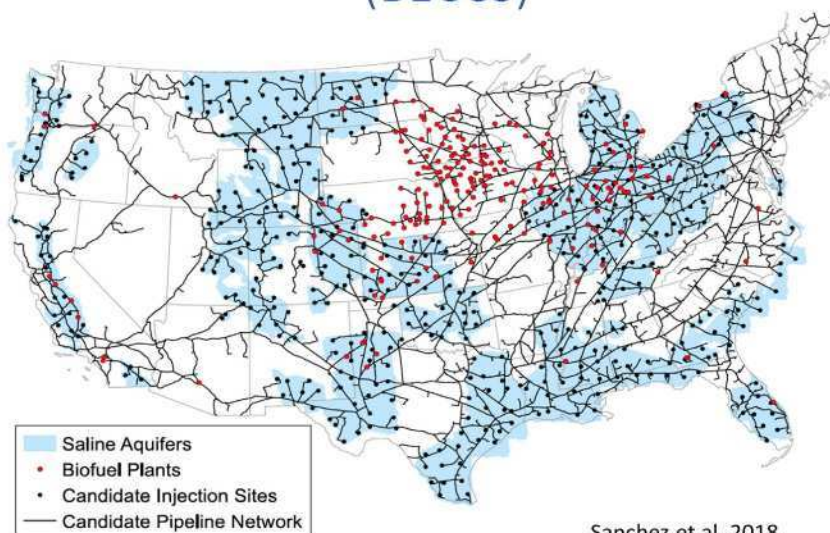


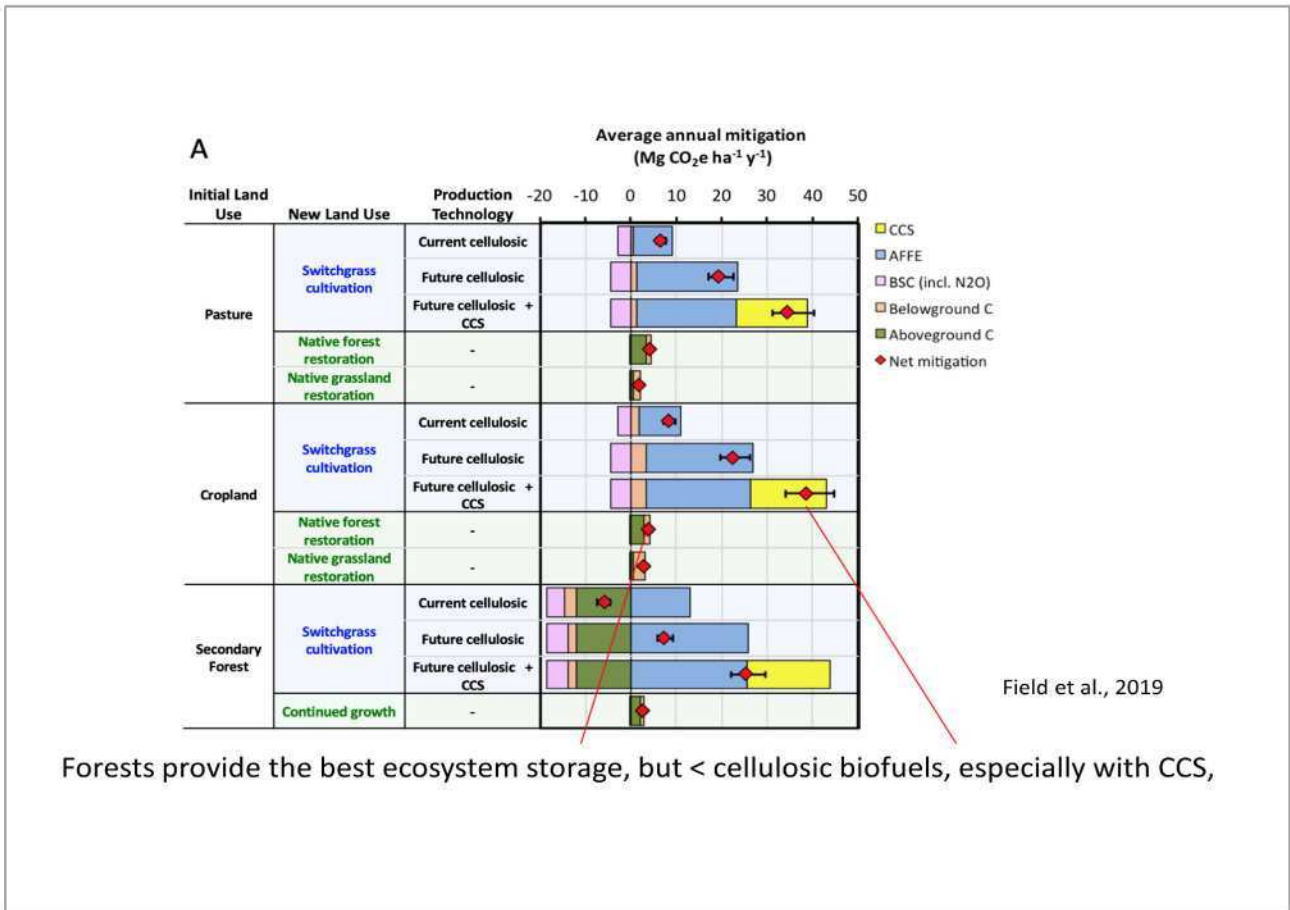
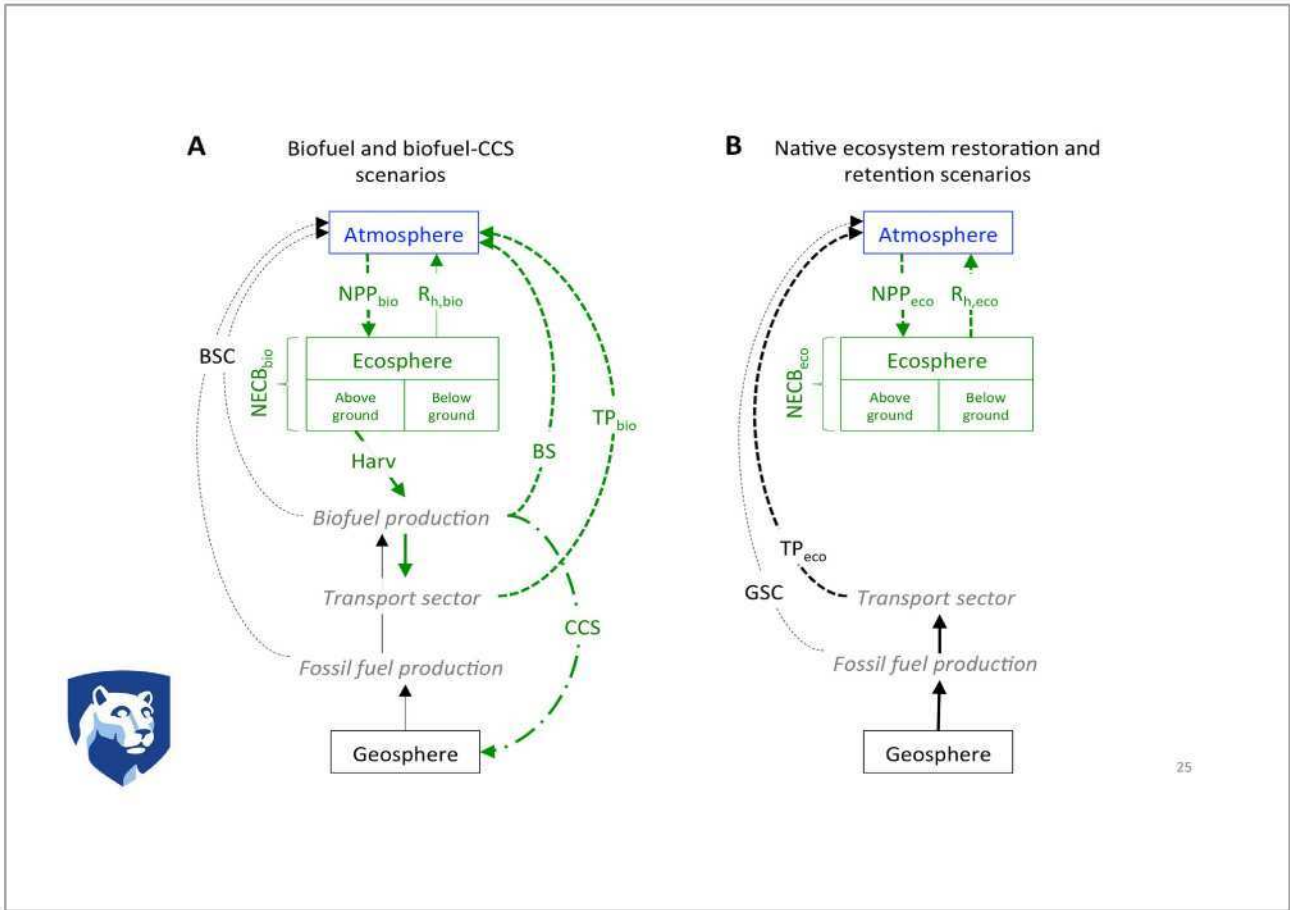
Griscombe et al. 2017

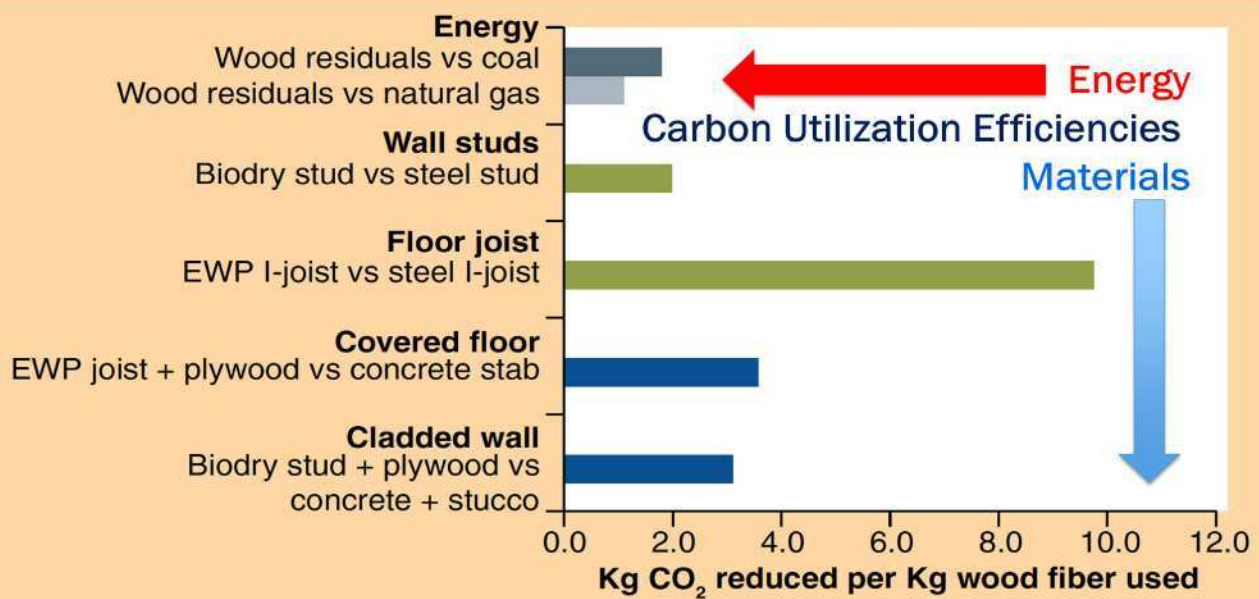
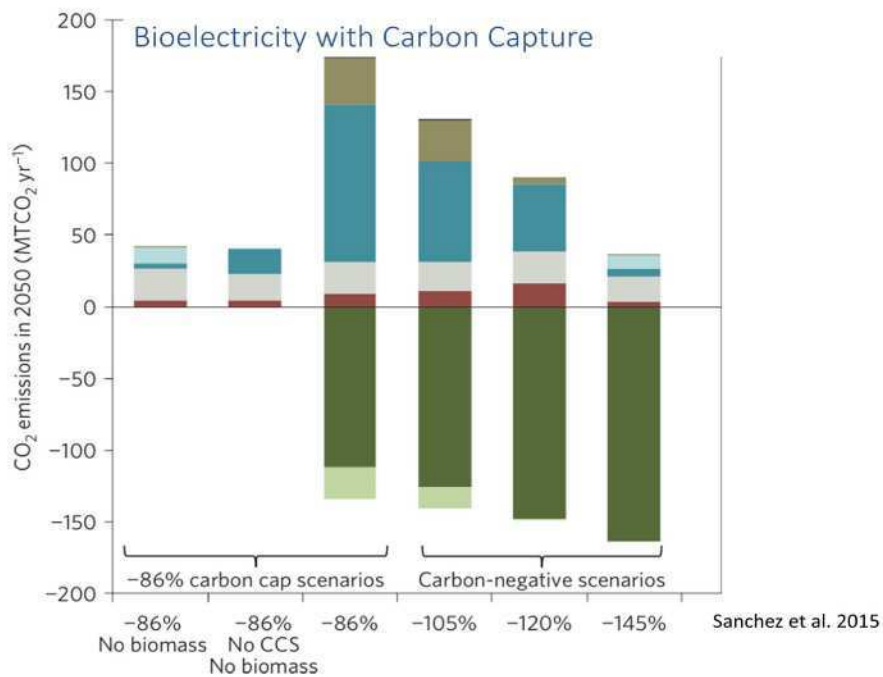
# Biomass Energy Carbon Capture and Storage



## Near Term Biomass Energy Carbon Capture and Storage (BECCS)

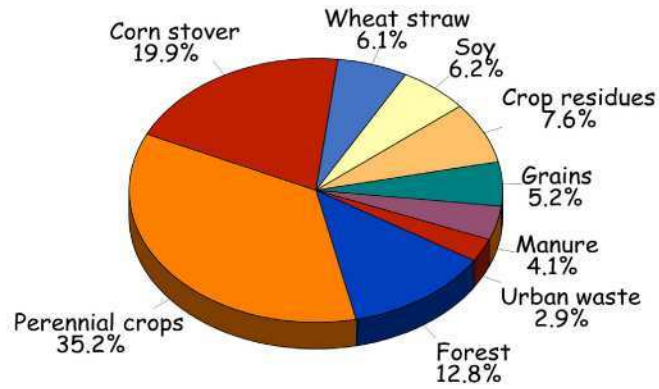






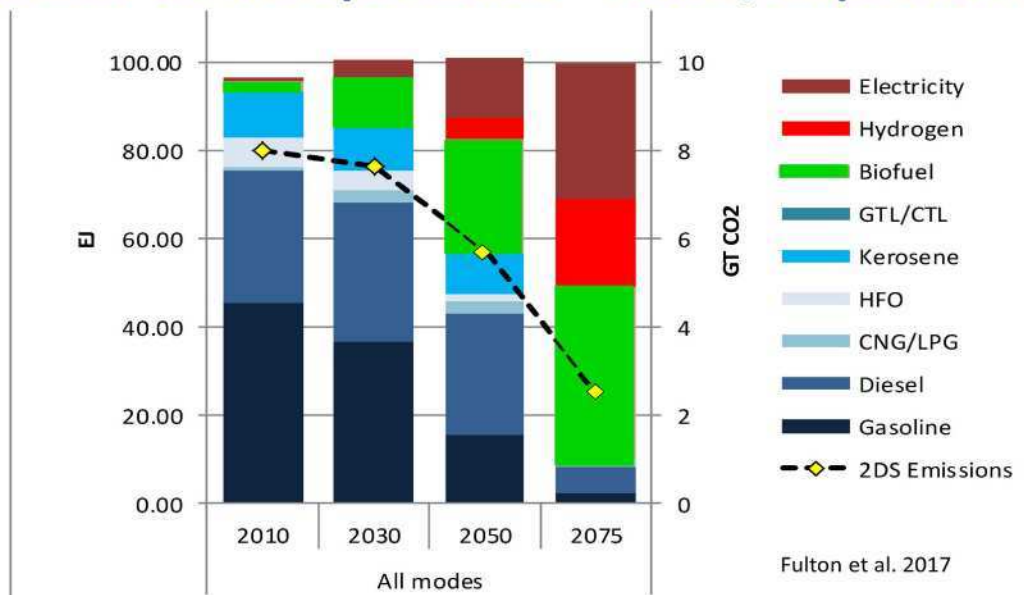


## US Biomass Potential > 1.3 billion tons

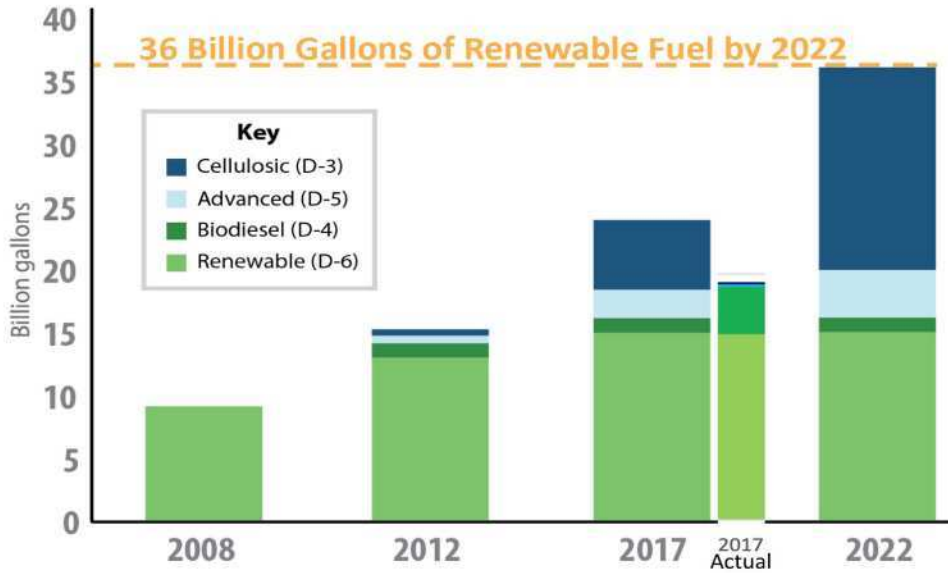


From: Billion ton Vision, DOE & USDA 2005 (projections to 2030)

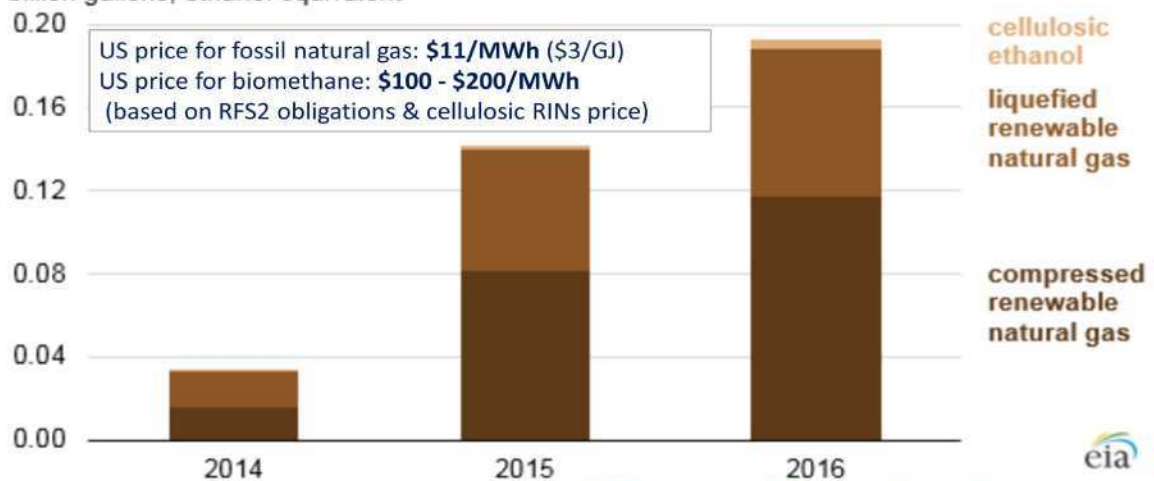
## Biofuels for Transportation – Trucks, Ships and Aviation



### Congressional Volume Target for Renewable Fuel



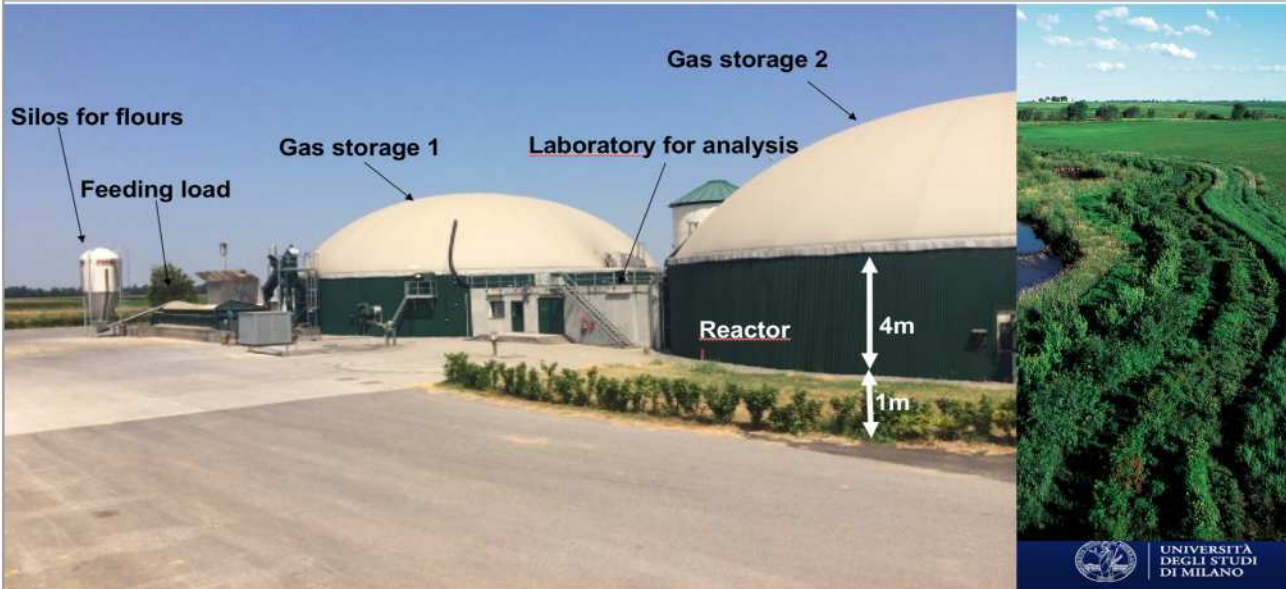
### Cellulosic biofuel production (2014-2016) billion gallons, ethanol equivalent



Source: U.S. Energy Information Administration, based on U.S. Environmental Protection Agency

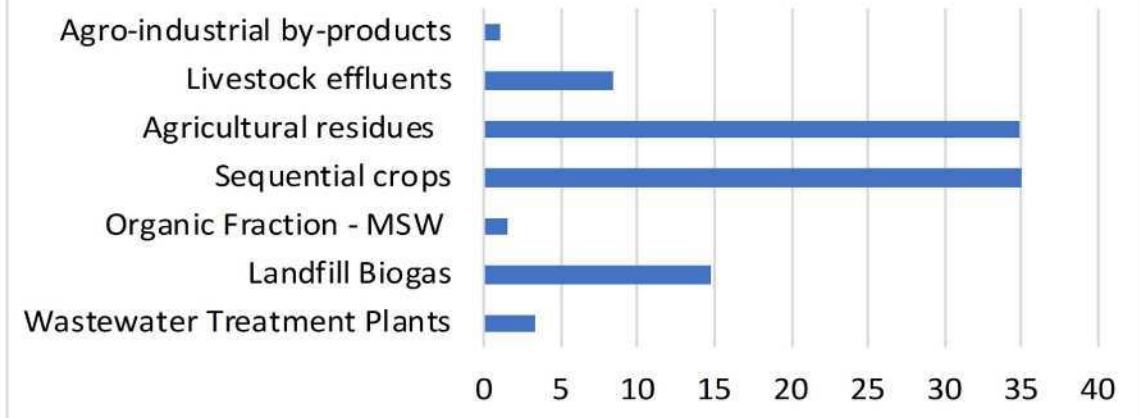


## Thoeni facility (operated since 2009)



### BiogasDoneRight™:

#### US Biomethane Potential (billion m<sup>3</sup>)



Current Fossil CH<sub>4</sub> (Natural Gas): 756 billion m<sup>3</sup>/year  
 Bio-CH<sub>4</sub> (Natural Gas): 98 billion m<sup>3</sup>/year  
 Fraction of current Natural Gas: 13%



## **Biomethane Advantages**

- Easy to produce and transport
- Half of carbon available for CCS or utilization
- Burns clean at point of use
- Natural gas (CH<sub>4</sub>) infrastructure and storage
- Quickly dispatched for electric demand



PennState

## **Renewable Energy & Agriculture**

- Rapid growth of wind, solar and biomass
- Many opportunities for agricultural development with zero and negative carbon energy systems
- Synergies with food production in space and time
- Integrated systems connect crops with livestock
- Sustainable energy supports sustainable agriculture



PennState

# Credits

**Penn State Faculty & Staff:** Armen Kemanian, Kate Zipp, Jon Duncan, Heather Gall, Saraubh Bansal, Clare Hinrichs, Lara Fowler, Gaby Gilbeau, Mike Jacobson, Christina Grozinger.

**Penn State Students:** Steph Herbstritt, Kyra Sciaudone, Veronika Vashnik, Ismar Amador Diaz.

**Sponsors:** DOE BETO: Landscape Design; USDA-NIFA: NEWBio; FAA-ASCENT: Supply Chain Analysis

## **Collaborators:**

**Drawdown**, Clearwater Conservancy, Agsolver, Antares, FDC Enterprises, Idaho National Lab, USDA ARS National Lab for Agricultural and Environment, Oak Ridge National Lab, USDA ARS Pasture Systems and Watershed Management Lab, NRCS, Cornell University, Dartmouth College, Colorado State University, Iowa State University, State University of New York Environmental Sci. & Forestry, West Virginia University, Commercial Aviation Alternative Fuels Initiative, Farm 2 Fly 2.0, Ernst Conservation Seeds, Renmatix, Enchi and many more.



**PennState**



# 식물유래 바이오매스를 활용한 농업 기술 전망

Biomass-based agricultural technology  
outlook for biorefinery



## 상 병 인

### 소속 및 직위

한양대학교 화학공학과 교수

### 주요경력

(현) 국가과학기술자문위원회 다부처특위 위원

(전) KIST 청정에너지연구센터 책임연구원





## 식물 유래 바이오매스를 활용한 농업기술 전망 - 바이오리파이너리 기술

석유, 천연가스 등 화석연료는 고갈 논란 확산, 특정지역에의 자원 편중성 및 산유지역의 지정학적 리스크 등으로 인해 가격 및 공급 면에서 항상 불안정한 상태이다. 개도국들의 급속한 경제성장 및 소득증대에 따라, 석유·가스 등 에너지와 식량확보 문제는 앞으로도 계속 인류 공통의 현안으로 남을 전망이다. 최근 국제유가가 급격히 하락하고 있으나, 유한한 자원인 석유는 중장기적으로 볼 때 추세적 상승세로 돌아설 것이 확실하다.

따라서 우리나라와 같은 비산유국으로서 에너지 안보 확립과 더불어 대체연료·원료 개발의 필요성이 절실하다. 또한, 석유기반 제품(연료, 화학제품 등)에서 배출되는 온실가스로 인한 대기오염 심화, 기후변화 및 지구온난화에 따라, 국내외적으로 지속가능한 개발에 대한 인식 고조와 함께 국제 환경규제가 갈수록 강화되는 추세이다. 일반 소비자들의 환경 및 건강에 대한 인식과 관심의 고조로 친환경 소재에 대한 선호도도 급속히 높아지고 있다. 중장기적으로 석유기반 화학산업을 대체·보완할 수 있는, 지속가능한 원료에 기반을 둔 새로운 산업군의 도입 필요성에 대한 인식이 증대되고 있다.

이에 따라, 친환경 적인 재생가능 원료인 바이오매스(biomass)를 이용한 바이오화학산업 이 중추적 역할을 수행할 것으로 기대된다. 21세기에 접어들면서 새롭게 부상하고 있는 바이오화학산업은 산업경제의 지속가능 성장을 실현하게 하는 산업으로, 석유·자원 고갈과 CO<sub>2</sub> 배출 및 기후변화 문제의 유력한 대안을 제시해 주며, 취약한 국내 화학산업에 새로운 돌파구를 제 공해 줄 수 있다. 하지만 원료인 바이오매스의 절대부족 등 해결해야 할 과제가 적지 않다. 바이오화학 분야에서 후발주자인 한국으로서는 기존 석유화학 대비 관점에서 바이오화학산업의 경쟁력 수준을 파악할 필요가 있다.

또, 공급면에서의 경쟁력 확보전략 및 수요면에서의 시장창출을 동시에 고려한, 종합적 정책대안 제시가 절실한 시점이다. 특히 바이오매스의 공급에 대한 막중한 역할을 감당해야 하는 농업분야에서의 수급 양면을 고려하는 글로벌 차원의 분석 틀을 활용하여 경쟁력을 파악한 다음, 이를 토대로 바이오화학산업을 신성장 동력으로 키워가기 위한 기본 정책방향 설정 및 세부정책 메뉴를 발굴 할 필요가 있다.





제20회 농림식품산업 미래성장포럼

# 식물 유래 바이오매스를 활용한 농업기술 전망 바이오리파이너리 기술

2018.12.07.

한양대학교  
상병인

## I 바이오에너지 현황

### 1-1 바이오에너지

- 바이오에너지는 바이오매스를 원료로 하여 열, 전기, 수송연료 등과 같은 다양한 에너지와 기존 석유 화학제품의 대체 물질을 생산하는 기술

#### ○ 세계 바이오에너지 시장 규모

- 바이오가스 시장 규모: 약 30조원 ('15) 11.5 %/년 성장
- 바이오연료 시장 규모: 약 850조원 ('11) 5.5 %/년 성장

#### ○ 국내 바이오에너지 시장 규모 및 현황

- 바이오에너지 시장 규모: 약 1조 5,000억원 ('15년)
- 신재생에너지 생산량과 발전량, 모두 2위 ('17년)로 국내 신재생에너지 보급에 중요한 역할 담당

#### ○ 타 BT 분야 대비 관련 연구 예산 현저히 낮음

- 바이오에너지 관련 연구예산은 대략 400억원 (전체 BT 예산의 1.2%) 규모임



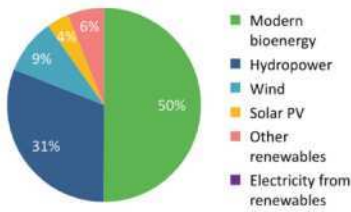
# I 바이오에너지 현황

## 1-1 바이오에너지 특성

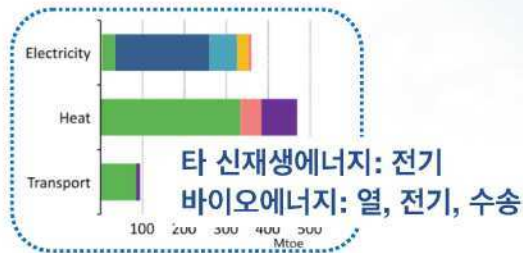
바이오에너지가 세계 재생에너지의 50% 차지

- 바이오에너지 기여도: 50% (2017) → 48% (2023)
- 바이오에너지 활용 에너지 분야 기여도: 전기(10%), 열(75%), 수송(95%)

Total final energy consumption from renewables, 2017



Total final energy consumption from renewables by sector, 2017



### 온실가스 기여도

- 바이오 수송연료: 생산/보급 인프라 추가 투자없는 현실적 온실가스 감축 기술
- 전환, 건물, CCUS 등: 타 재생에너지 대비 다양한 분야 기여 가능

# I 바이오에너지 현황

## 1-1 바이오에너지 특성

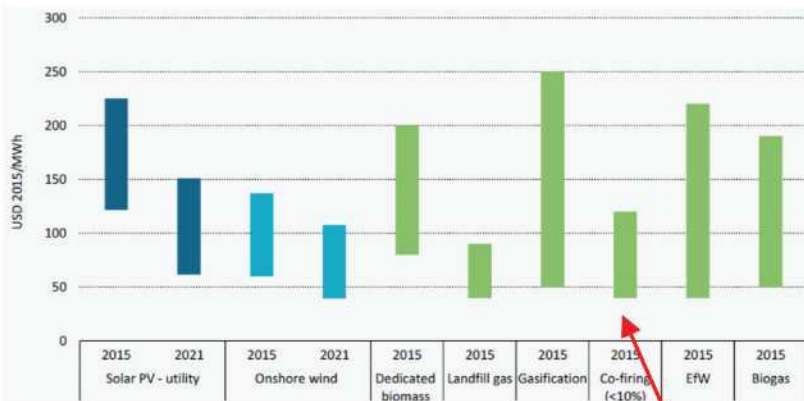
▶ 가장 많이 보급이 이루어졌으며, 비용 절감 측면에 있어 잠재력이 높음

■ 태양광, 풍력과 더불어 재생에너지 3020 정책에 부합하는 에너지원

- 열의 활용이 가능한 소규모 발전 확대, 발전효율과 가동률 향상을 통한 단가절감 필요

\* 바이오가스 50~190 USD/MWh, 목질계 전소 80~200 USD/MWh, 가스화 50~250 USD/MWh

매립지가스 40~90 USD/MWh, 혼소 40~120 USD/MWh(바이오매스 10% 미만 기준)



\* 출처 : IEA, Energy Technology Perspectives(2017)

국내 바이오매스 발전단가는 171원/kWh으로 경쟁력 확보 필요

# I 바이오에너지 현황

## 1-1 바이오에너지 특성

### ○ 재생에너지 3020 및 에너지 수급계획 관련 조기 기여 가능

- 바이오가스 + 연료전지/가스엔진 이용 MW급 분산발전 가능
- 바이오매스(바이오중유) + 열병합 발전을 통한 열, 전기 동시 공급 가능

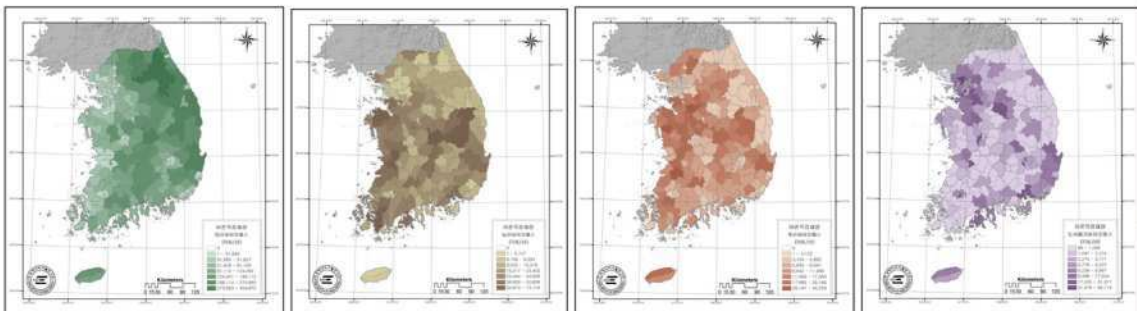


# I 바이오에너지 현황

## 1-1 바이오에너지 특성

### ▶ 국내 바이오 발전 잠재량

- 바이오매스의 잠재량은 바이오가스, 고형연료 등의 연료로 수집가능한 발열량으로 임산, 농산, 축산, 도시폐기가 해당
- 바이오매스의 이론적 잠재량은 임산(61TWh), 농산(16TWh), 축산(7TWh), 도시폐기(6TWh)로 총량 89TWh, 설비용량 기준 12GW임
- 생산효율을 적용한 기술적 잠재량은 임산(47TWh), 농산(16TWh), 축산(6TWh), 도시폐기(3TWh)로 총량 72TWh, 설비용량 10GW임

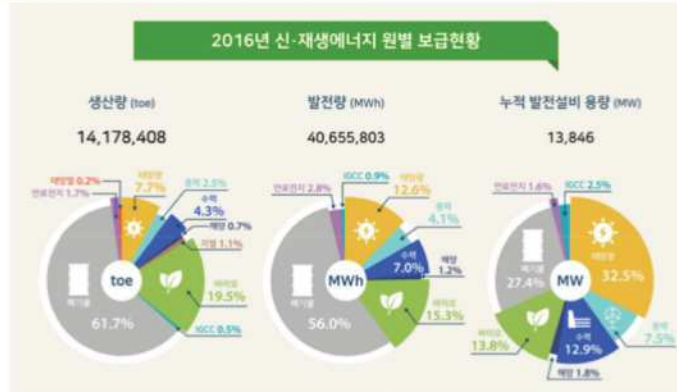


<임산, 농산, 축산, 도시폐기 바이오매스 잠재량 지도>

\* 출처 : 신재생에너지 자원지도 고도화 및 시장 잠재량 분석(한국에너지기술연구원)

# I 산업현황 및 동향

## 1-7 국내 바이오에너지 현황



- 신재생에너지 생산량과 발전량 2위 ('16년): 국내 신재생에너지 보급에 중요한 역할 담당
- 바이오에너지는 전기, 열, 수송연료 공급 가능
  - 플랜트 설계 및 시공, 공정제어, 운영관리 및 보험 등의 서비스산업을 포괄하는 전방위 산업의 확장을 유도하여 일자리 창출 효과의 극대화 가능
  - 중국, 동남아 등 중소기업 중심의 수출 산업화 가능

# I 바이오에너지 현황

## 1-4 바이오에너지 기여 가능성



수송 30.8 백만톤

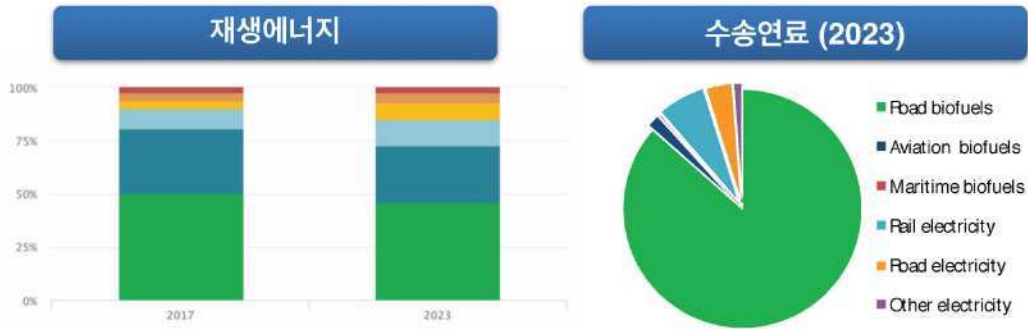
- 전기차 보급 확대(100만대→300만대)
- 전기버스 상용화 및 대중교통 운영확대
- 도로 중심 화물운송 체계 개선 등

### 온실가스 기여도

- 바이오 수송연료: 생산/보급 인프라 추가 투자없는 현실적 온실가스 감축 기술
- 전환, 건물, CCUS 등: 타 재생에너지 대비 다양한 분야 기여 가능

# I 바이오에너지 현황

## 1-5 바이오에너지 전망 (IEA/OECD)



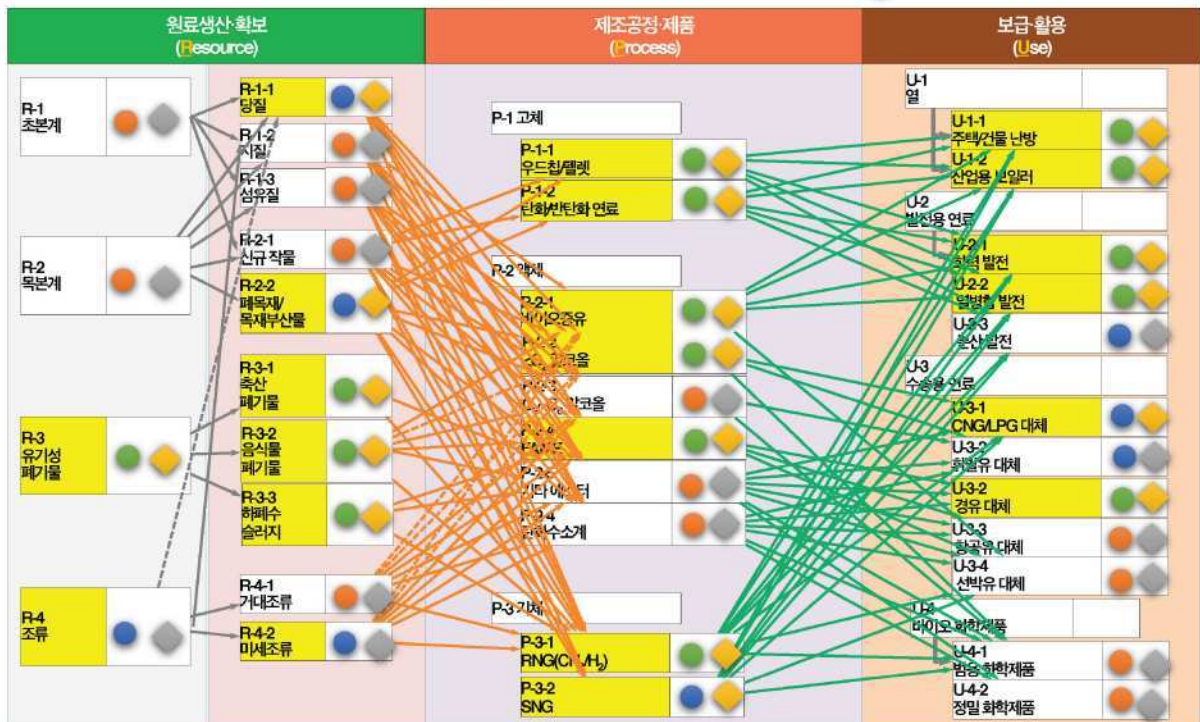
### 다양한 에너지 분야 기여 가능

- 2023년에도 재생에너지 기여의 48%는 바이오에너지임
- 2023년 수송연료분야 기여도: 85% 이상 바이오연료임 (전기 기차: 10%, 전기차: 5%)

# I 산업현황 및 동향

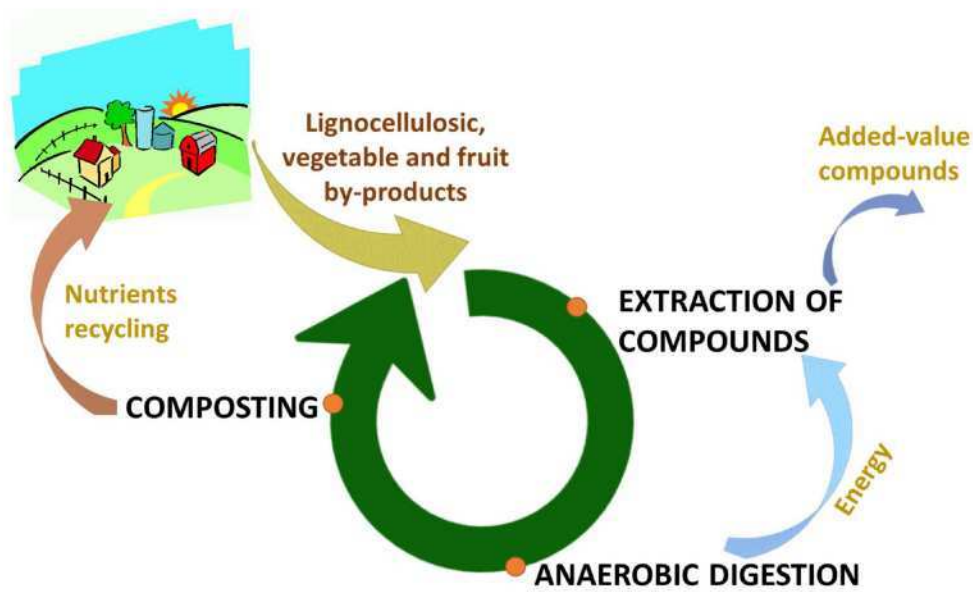
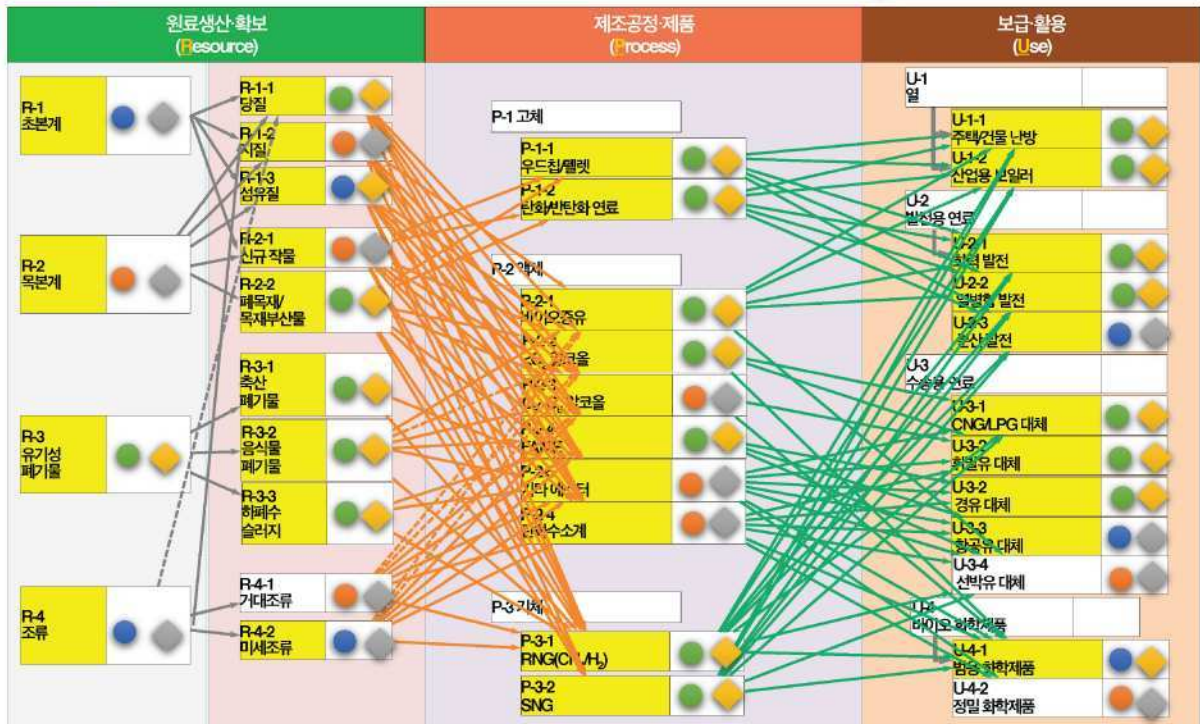
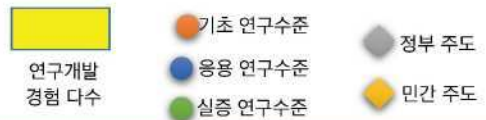
## 1-8 국내 바이오에너지 가치사슬

■ 기초 연구수준    ● 정부 주도  
■ 연구개발 경험 다수    ● 응용 연구수준  
■ 실증 연구수준    ● 민간 주도



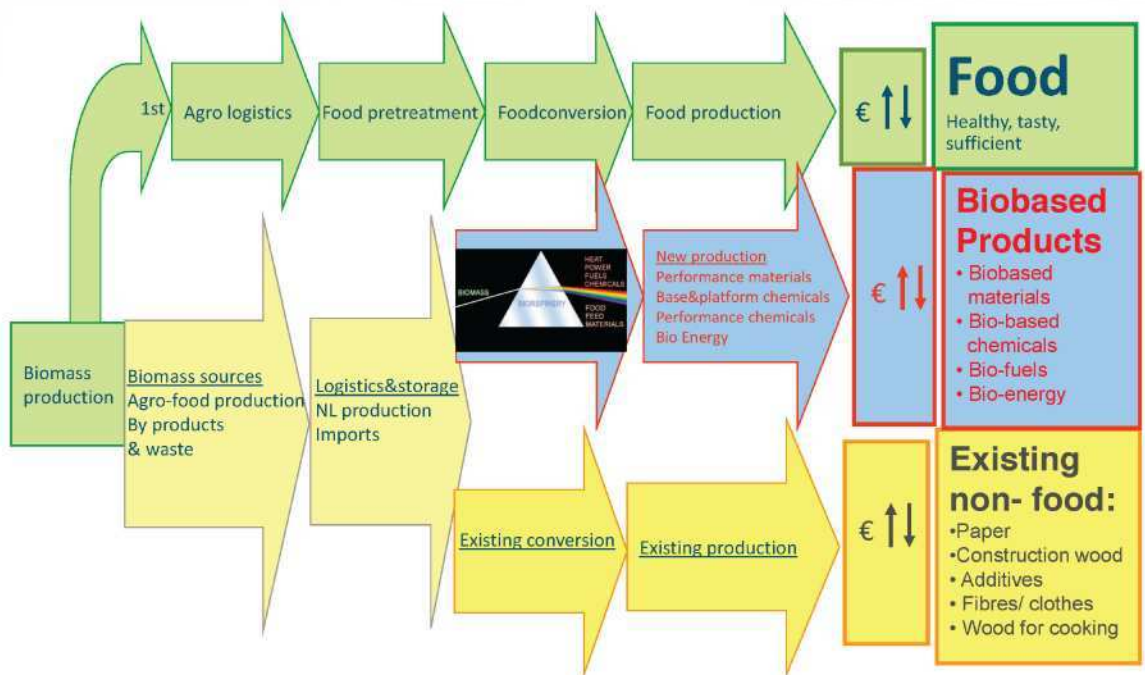
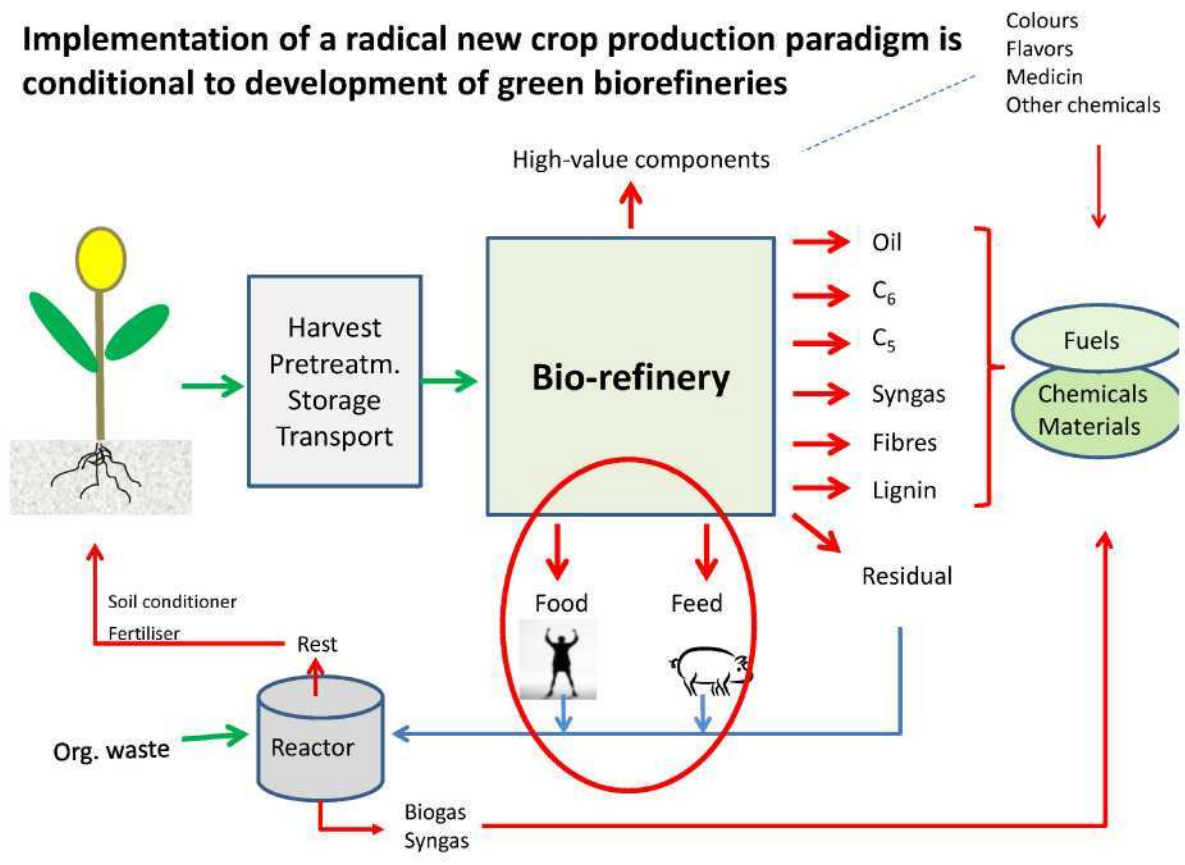
# I 산업현황 및 동향

## 1-9 해외 바이오에너지 가치사슬





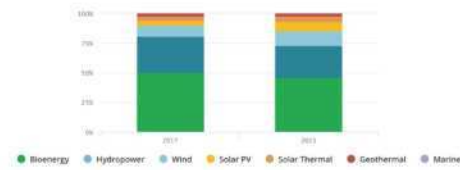
**Implementation of a radical new crop production paradigm is conditional to development of green biorefineries**



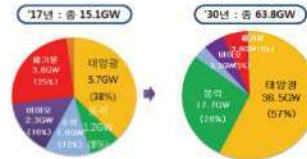
### 3 바이오에너지 분야 문제점

#### 3-1 선진국 대비 국내에서 소외받는 바이오에너지

- 재생에너지 발전의 단점인 간헐성을 보완 할 수 있는 상시 발전원이나, **3020 재생에너지 발전 목표에서의 바이오에너지 기여도 낮음**
- 추가적 인프라없이 온실가스 감축량이 1,220만톤/년 저감가능 하나, **온실가스 감축 목표에서의 바이오에너지 기여도 낮음**



해외 바이오에너지 기여도: 50% (2017) → 48% (2023)



국내 바이오에너지 기여도: 16% (2017) → 5% (2030)

**2016년 신 재생에너지 원료 보급현황**

생산업 (mmt): 14,178,408  
 발전량 (mmw): 40,655,803  
 누적 발전량에 용량 (mmw): 13,846

간헐성을 보완 할 수 있는 상시 발전원

**추가적 인프라없이 온실가스 감축가능**

수송: 30.8 백만톤  
 전기차 보급 확대(100만대→300만대)  
 전기버스 상용화 및 대중교통 운영확대  
 도로 중심 화물운송 체계 개선 등

### 3 바이오에너지 분야 문제점

#### 3-2 국내 바이오매스 잠재 보유량 저평가 및 미활용

- 국내 바이오매스 기술적 잠재량이 국내 휘발유 사용량과 동일함에도 불구하고, **국내 바이오매스가 없다고 인식 됨**
- 체계적인 바이오매스 유통 시스템 부재로 **국내 바이오매스 활용도가 낮음**

(단위 : 10 <sup>3</sup> toe/년)				
구분	이론적 잠재량	지리적 잠재량	기술적 잠재량	
풍력	태양	11,370,987	3,767,130	1,161,080
	육상	76,562	24,186	7,713
	해상	95,628	47,750	16,711
바이오	367,094	16,590	11,481	
폐기물	14,091	13,386	10,360	
<b>국내 휘발유 소비량: 12,967 X 10<sup>3</sup> TOE</b> <b>국내 경유 소비량: 26,874 X 10<sup>3</sup> TOE</b> <b>(2013년 기준)</b>				
해양 에너지	조력	7,878	3,033	1,893
	파력	17,597,206	3,519,441	106,468
	해수 온도차	6,006	5,410	4,847
총 계	35,424,166	9,732,492	1,371,675	

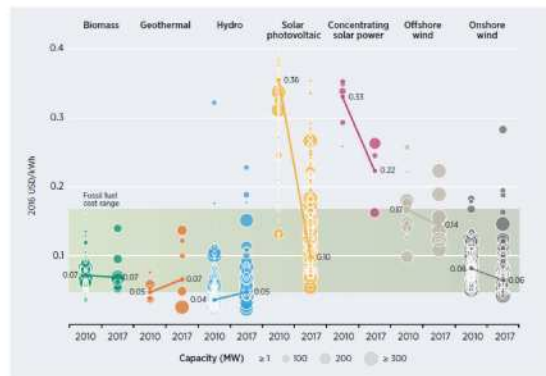
자료: 신재생에너지 백서 (2014)

### 3 바이오에너지 분야 문제점

#### 3-3 높은 요소 기술수준 대비 국내 보급 활성화 지연

- 제한적 정책 및 보급시장으로 인하여 **산업화 연계 실증 경험 부족**
- 보급시장 부재로 인하여 **적절한 경제성 평가 어려움**
- **원료 확보부터 생산/보급을 아우르는 전주기적/포괄적 지원체계 구축 필요**

Figure ES.1 Global levelised cost of electricity from utility-scale renewable power generation technologies, 2010-2017



Source: IRENA Renewable Cost Database.

### 3 바이오에너지 분야 문제점

#### 3-4 다양한 규모/형태의 에너지원 공급원이지만 제한적으로 보급/활용

- MW급 분산 열병합 발전에 적합하여 에너지 믹스 생태계 구축에 적합하나, 수백MW ~ GW 급 **대용량 분산발전 정책으로 인하여 보급이 제한 됨**
- 다양한 형태의 에너지원을 공급할 수 있음에도 **열, 수송 관련 국가 에너지 정책 미흡으로 혼소발전/경유 혼합에 한정**





## 재생에너지를 활용한 농업에너지 기술 전망 - 마이크로그리드 시스템 기술

Prospect of agriculture energy technology using  
renewable energy - Micro grid system technology



### 고 재 하

#### 소속 및 직위

녹색에너지연구원 에너지신산업팀장

#### 주요경력

(현) 녹색에너지연구원

에너지신산업융합연구센터 선임연구원

(전) 전남대학교 전기공학과 겸임교수



## 재생에너지를 활용한 농업에너지 기술전망 - 마이크로그리드 시스템 기술

정부의 재생에너지 3020 정책의 큰 기조는 태양광, 풍력이 주요 발전원 역할을 수행하며, 보급을 획기적으로 늘리기 위해서 농가 태양광, 대규모 프로젝트를 발굴하겠다는 계획을 수립하였고, 최근 4GW급 새만금 재생에너지 프로젝트와 같이 기존 농업 기반의 부지를 활용한 농가 태양광의 역할이 크게 요구되고 있다.

농촌은 태양광 보급 용량의 약 63%를 담당하고 있으나 막상 태양광 발전 수익은 오히려 외지인들이 가져가는 형태이므로 농촌에서 재생에너지 주체로서 역할을 제고하고 재생에너지 사업을 효율적이고 기존 농업과 병행되는 형태로 사업을 발굴하여 추진하는 것이 필요하다.

농촌에서 능동적으로 에너지를 생산하고 직접 사용하며 잉여에너지는 주변 마을, 산업단지, 도시에 공급하고, 계통에 연계하여 발전 수익을 창출할 수 있는 모델을 수립하기 위하여 관련 각 요소 분야별 기술현황을 살펴보고 특히 기존의 마이크로그리드 기술을 중심으로 살펴 보았다. 이를 통해 농가형 마이크로그리드 발전 방향 및 연계방안을 제시하였다.

끝으로 대규모 재생에너지사업에서 농촌은 도심지에서 할 수 없는 물리적 공간 요소를 가지고 있으므로 앞으로도 재생에너지의 한축을 담당할 것이므로 이를 수동적 형태가 아닌 농촌이 재생에너지를 선도하는 공간으로 변화할 수 있도록 농어업인의 인식개선과 관련 프로젝트 및 지원 사업이 요구된다.





## 재생에너지를 활용한 농업에너지 기술전망 - 마이크로그리드 시스템 기술

2018. 12. 7(금)

(재)녹색에너지연구원  
에너지신산업팀 고재하



### Content

1 / 개요

2 / 재생에너지를 활용한 농업에너지 현황

3 / 마이크로그리드 시스템 기술

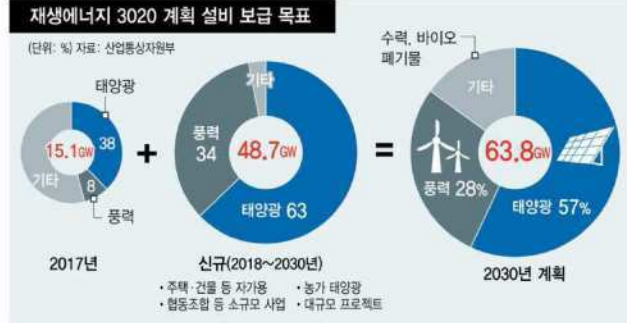
4 / 미래형 마이크로그리드

5 / 기타

2

# 1. 개요 (정책)

## ☑ 재생에너지 3020 / 새만금 재생에너지



- ☑ 태양광, 풍력이 주요 역할
- ☑ 농가태양광, 대규모 프로젝트



새만금 내측에 총 3GW 태양광 설치



새만금 외측에 총 1GW 태양광 설치

# 1. 개요 (농가 태양광 현황)

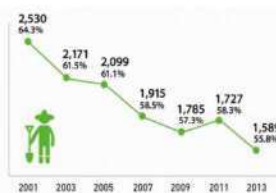
## ☑ 농가 태양광

- 감소하는 경지면적 (~170만ha)



\* 절대농지 100만ha, 일반농지 70만ha 통계청 경지면적조사(147)

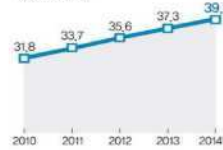
- 농촌의 생산가능인구 추이(단위: 천 명)



\* 출처: 통계청

- 농촌 고령화율 추이(단위: %)

\* 고령화율: 농가인구에서 만 65세 이상이 차지하는 비율



(농가수: 1백만 호, 농민 250만 명)

1. 현 태양광 보급용량(4.1GW) 중 63%가 농촌에 설치되었으나, 수익은 외지 유출
2. 영농여건의 지속적 악화(FTA 비준, 쌀 소비량 감소, 고령화 등)로 소득감소가 예상되는 농가에 새로운 소득사업 필요
3. 농업인이 주체가 되는 농가 태양광 등을 통한 수익 창출 추진
4. 정부의 적극적인 농가 및 농업인의 재생에너지 인센티브 확대

## 2. 재생에너지를 활용한 농업에너지 현황 (분산전원)



### ☑ DER(Distributed energy resources)

- 여러 분산 발전원중에서 검증된 태양광이 가장 많이 사용
- 풍력, CHP, 바이오, 폐기물, 소수력 발전 등이 주변 여건에 따른 발전원 가능
- 공장에서 나오는 잉여에너지(폐열, 전력, 부생가스 등) 활용하여 주변 시설원에 연계
- 태양광과 농업을 병행할 수 있는 영농형 태양광 추진
- 풍력발전단지는 예전부터 목장에 추진되고 있음



< 영농형 태양광 >



< 풍력 목장 >

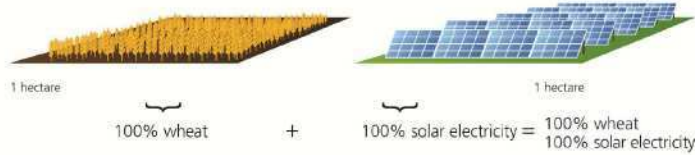
5

## 2. 재생에너지를 활용한 농업에너지 현황 (분산전원)

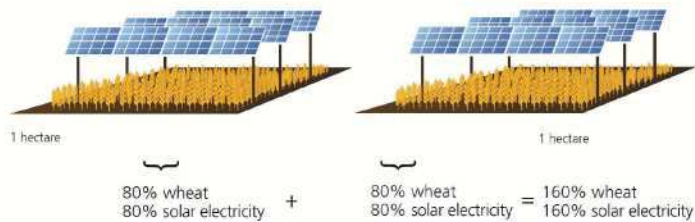


### ☑ DER(Distributed energy resources)

Separate Land Use on 2 Hectare Cropland



Combined Land Use on 2 Hectare Cropland: Efficiency increases over 60%



< 영농형 태양광 개념도 >

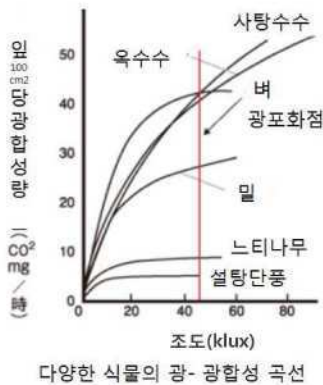
6

## 2. 재생에너지를 활용한 농업에너지 현황 (분산전원)



### ☑ DER(Distributed energy resources)

식물의 광포화점을 초과하는 태양광을 태양광 발전에 사용하여  
농작물 재배와 태양광을 공유



- 여분의 광은 광합성 증대에 공헌 하지 못함
- 농작물 재배에 적합한 태양광 모듈 및 구조물을 배치

7

## 2. 재생에너지를 활용한 농업에너지 현황 (분산전원)



### ☑ DER(Distributed energy resources)

#### ■ 유럽 / 일본 / 미국

- ☑ 프랑스의 France Ginseng, Akuo Energy사에서 다양한 식물의 생육특성에 맞게 태양광 발전 시스템의 구조를 변화하여 식물의 광합성에 적합한 환경을 조성하는 연구를 진행



<인삼>

<레몬밤>

<제라늄버번>

<패션프루트>

<양봉용 꽃>

- ☑ 일본에서는 2003년 Akira Nagashima가 제안하여 Solar Sharing이라 명명하고, 2013년 6개소 설치를 시작으로 2015년 600 여개소가 설치됨
  - 일본 2013년 4월1일 농수성에서 영농은 계속 하면서 태양광발전설비의 농지전용에 대한 가이드 발표 (갑종농지, 1종농지)



- ☑ 유럽(프랑스, 스페인 등)에서는 태양광 발전과 작물의 공동재배를 위한 대단위 시범 사업 실시 중
- ☑ 미국의 NREL은 2013년 태양광과 식생 재배의 공존 가능성을 고찰한 바, 농업 유휴지를 활용하는 방안, 목초지를 대상으로 공존형 가능성을 검토

8

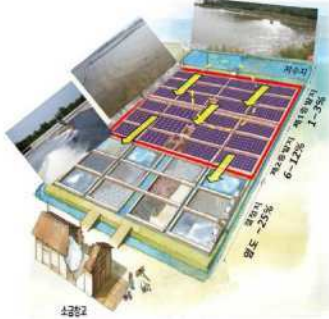
## 2. 재생에너지를 활용한 농업에너지 현황 (분산전원)



### ☑ DER(Distributed energy resources)

< 태양광발전, 염전생산 최적의 환경 >

① 일조량 多, ② 그림자 無, ③ 바람 多



전국 연간  
연산 용량 84% 일조  
(2,159만kw)



- ✓ 타일, 장판 형태의 증발지
- ✓ 바닥을 태양광 모듈로 변경
- ✓ 수증형태로서 방열 효과로 인한 발전량 증대
- ✓ 수증 태양광 관련 기술은 향후 근접한 해상태양광으로 발전 가능

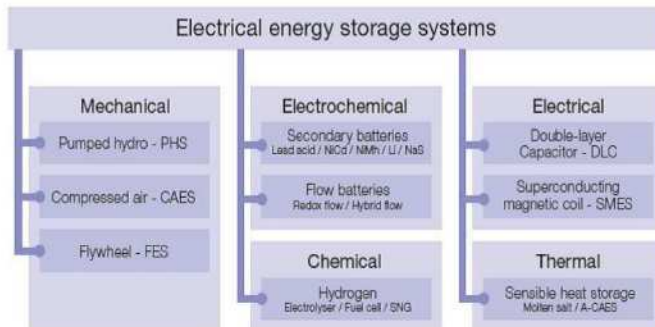
9

## 2. 재생에너지를 활용한 농업에너지 현황 (ESS)



### ☑ EES(Electrical Energy Storage)

- (정의)발전소에서 과잉 생산된 전력을 저장하여 일시적으로 전력이 부족할 때 송전해 주는 저장장치로써 전기를 모아두는 배터리와 배터리를 효율적으로 관리해 주는 관련 장치
- 전력의 능동적인 관리 요소
- 전력 저장을 통한 수요에 따른 적절한 대응 가능 요소
- 마이크로그리드 핵심 요소 : 다양한 상황별 알고리즘 도출
- 농가형 마이크로그리드에서는 전기 뿐만 아니라 열을 저장하는 것도 고려



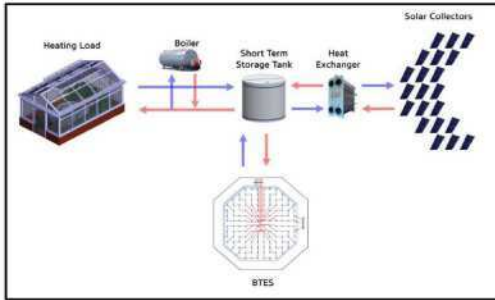
10

## 2. 재생에너지를 활용한 농업에너지 현황 (ESS)

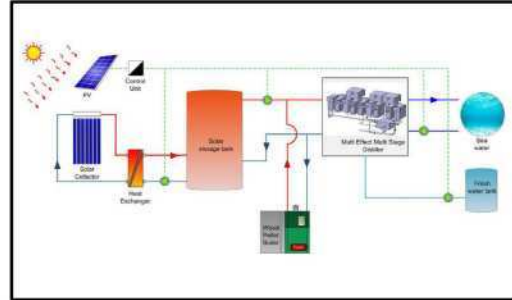


### ☑ EES(Electrical Energy Storage)

- 열을 보존하는 축열조를 통하여 시설원예 등에 활용 가능
- 태양열과 축열조를 이용하여 해수담수화 등의 설비도 가능



< 시설하우스에 사용되는 축열조와 계간축열 >



< 태양열을 이용한 해수담수화 설비 프로세스 >



11

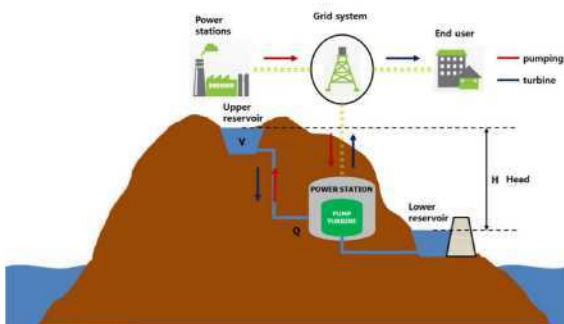
## 2. 재생에너지를 활용한 농업에너지 현황 (ESS)



### ☑ EES(Electrical Energy Storage)

- 기계적인 에너지저장장치 시스템으로 양수발전시스템이 있음.
- 내륙 지역의 댐 또는 산의 저수지를 만들어 양수발전 추진

#### CONVENTIONAL PUMP-TURBINE ESS SYSTEM



전통적인 양수발전시스템



적정산 양수발전소

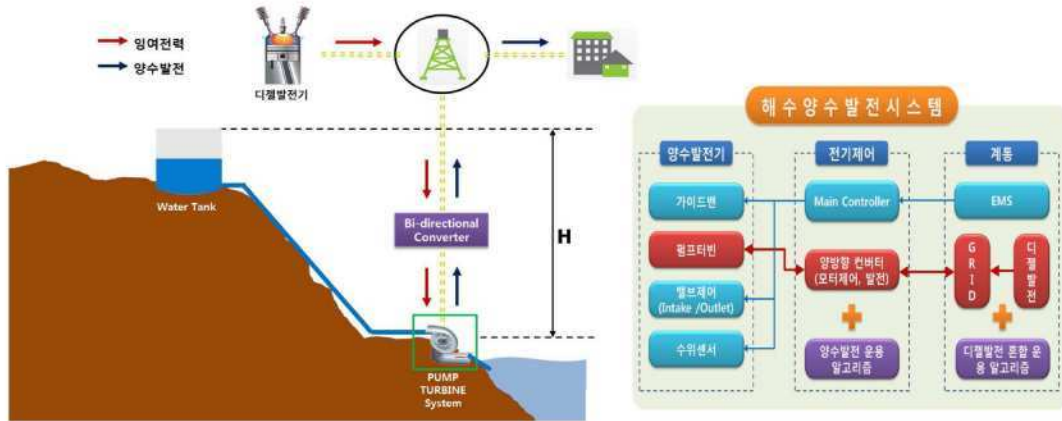
12

## 2. 재생에너지를 활용한 농업에너지 현황 (ESS)



### ☑ EES(Electrical Energy Storage)

- 배터리계열의 ESS를 기계적인 에너지저장장치 시스템으로 해수양수발전시스템 적용



< 해수를 이용한 기계적저장시스템 / 잉여에너지를 위치에너지로 변환 >

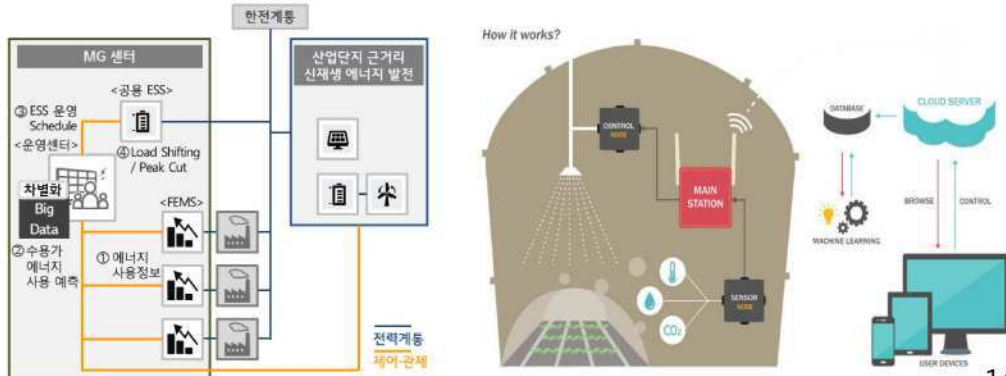
13

## 2. 재생에너지를 활용한 농업에너지 현황 (EMS)



### ☑ EMS(Energy Management System) / 스마트팜 연계 가능

- 다양한 분산전원 : 발전량 예측
- 에너지저장장치 : 충방전 결정
- 수요공장 : 부하 사용량 예측
- 공장간 잉여전력 거래 시점 및 과금 계산
- 최적 운전 조건 도출 및 경제성 분석
- 정성적 파라미터에 따른 EMS 알고리즘 우선순위 정의
- 부가적인 수익원 창출 / DR, VPP 등



14

## 2. 재생에너지를 활용한 농업에너지 현황 (IoT)



### ☑ IoT 진화

- 4차 산업혁명의 핵심
- 다양한 설비로 구성되는 에너지 설비 최적 제어를 위해서는 여러가지 상황 정보 필요
- 다양한 이종간 정보를 수합하는 형태의 기술 및 표준 추진
- 다양한 정보간 수집 및 처리가 가능한 Big data 분석 도출
- Deep Learning(딥러닝) 기술에 따른 에너지 관련 분야 적용 가능
- 발전예측, 수요예측, 날씨, 환경 정보, 이벤트 정보, 전력 패턴분석 등 복합적인 인관관계 요소 도출을 통한 최적 운전 수행
- (Goal)최종 무인 상황 관리 형태 도출



15

## 3. 마이크로그리드 시스템 기술



### 전남 분산전원 및 MG 현황



- ▶ 전남의 우수한 일사량으로 전국의 1/4 태양광 발전을 담당 -> 단순 계통연계형으로 차기발전원으로 역할 미비
- ▶ 전남 에너지자립섬(독립형 MG)을 기반으로 캠퍼스, 산업단지, DC Grid 마이크로그리드 분야 선도
- ▶ 기존 독립형 MG는 안정성을 확보하는 솔루션(EMS)의 역할 수행 / 사업성 확보 -> 민간 투자
- ▶ 계통 연계형 MG는 안정성과 더불어 경제성 및 수익창출 등의 기능이 강조된 솔루션으로 확대
- ▶ 분산전원 및 다중 MG연결시 상호 전력거래 및 보완 관계를 구축과 VPP, DR 연계 가능 -> 에너지산업발전

16



### 3. 마이크로그리드 시스템 기술



#### 마이크로그리드 발전방향

The microgrid could store excess energy – like a battery.



마이크로그리드의 수요반응

The microgrid could provide energy when needed – like a power plant.

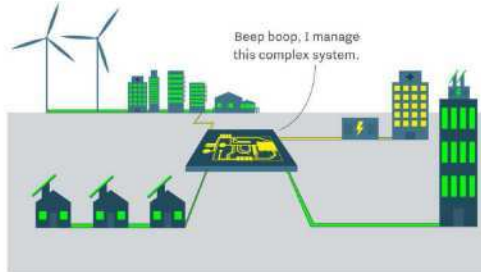


마이크로그리드의 발전원 기능

The microgrid could balance out fluctuations in grid voltage or frequency.

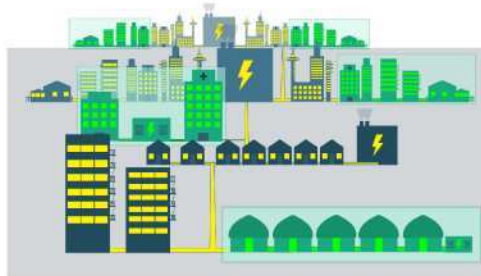


계통 안정화 역할



Beep boop, I manage this complex system.

통합운영 플랫폼 중요



미래의 마이크로그리드 -> 스마트그리드

17

### 3. 마이크로그리드 시스템 기술



#### 농공산단 MG 개요

발전원	태양광	CHP	ESS
용량	600 kWp	100 kW	1,500 kWh

Key Plan



과제명 : 한국에너지기술연구원 에너지기술개발사업  
농공산단용 마이크로그리드 스마트 운영 플랫폼 및 BM 개발

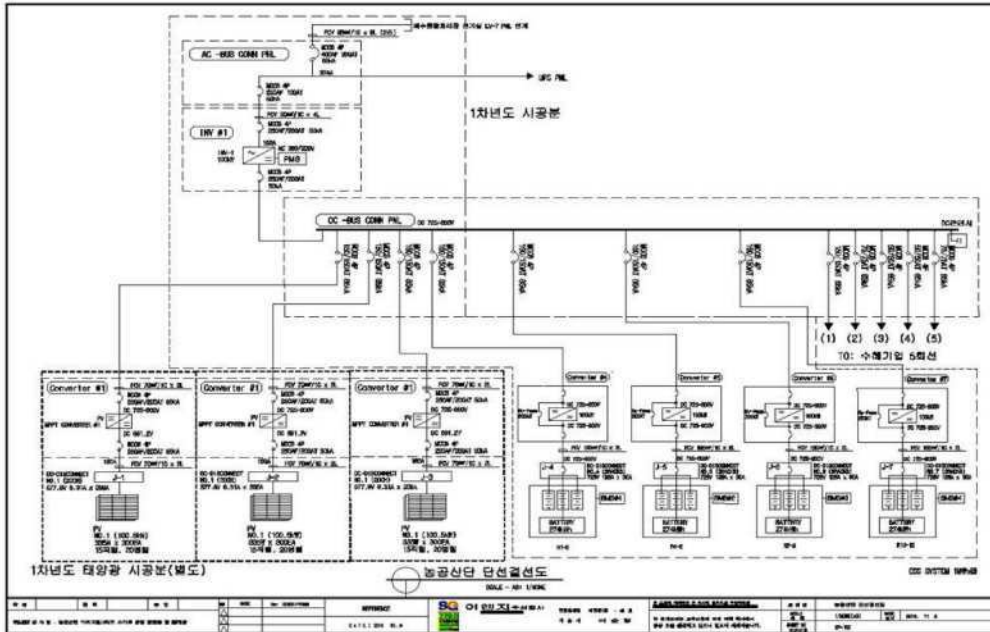


18

### 3. 마이크로그리드 시스템 기술



#### ◆ 전체 시스템 구성도

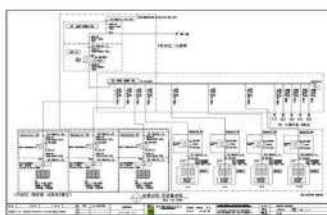


19

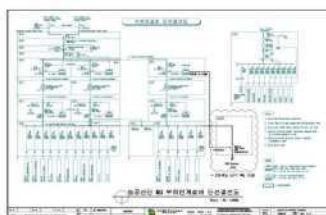
### 3. 마이크로그리드 시스템 기술



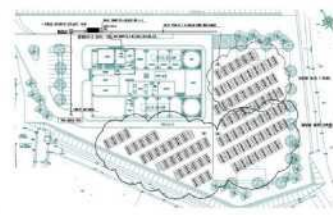
#### ◆ 주요 설계도면



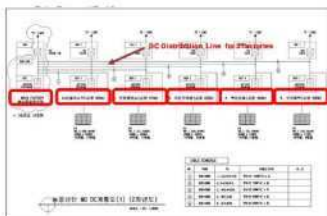
[ 단선결선도 ]



[ 부하연계 결선도 ]



[ 폐수처리장 PV 도면 ]



[ DC 배전 계통도 ]



[ DC 배전 구간별 굴착도 ]



[ ESS 컨테이너 내부 배치도 ]

20

### 3. 마이크로그리드 시스템 기술



#### ◆ 전체 시스템 용량

발전원	태양광	ESS	CHP(3차년도 구축)
용량	600kWp	1500kWh	100kW

#### ◆ 각 사이트별 세부 시스템 용량

기업명	태양광	ESS	배터리 Type	계통연계 PCS	태양광 DC/DC컨버터	배터리 DC/DC컨버터
1. 폐수처리장	300kWp	1113.9kWh	Li-ion / 710V 69.6kWh * 16EA	100kW	300kW	100kW X 4EA
2. 나산프라스틱	98.5kWp	208.8kWh	Li-ion / 710V 69.6kWh * 3EA	100kW	100kW	100kW
3. 우정정미소	46.9kWp	149.1kWh	Li-ion / 710V 49.7kWh * 3EA	50kW	50kW	50kW
4. ㈜유민우레탄	60.9kWp	49.7kWh	Li-ion / 710V 49.7kWh * 3EA	50kW	60kW	30kW
5. ㈜백인산업	46.9kWp	49.7kWh	Li-ion / 710V 49.7kWh * 3EA	30kW	50kW	30kW
6. ㈜우리화학	46.9kWp	110.5kWh	LiFePo <sub>4</sub> / 690V 55.3kWh * 2EA	30kW	50kW	50kW
계	600.1kWp	1,682kWh		360kW	610kW	660kW

- 각 공장별 태양광 설치 가능 용량과 부하 사용량을 고려하여 각 시스템 세부 용량 산정
- 다양한 조건의 실험을 위한 리튬이온과 리튬인산철 이중 배터리 설치

21

### 3. 마이크로그리드 시스템 기술



#### ◆ 주요 구축사진



[ ESS 컨테이너 공장 제조 및 데칼 디자인 ]



[ ESS 컨테이너 현장 구축 ]

22

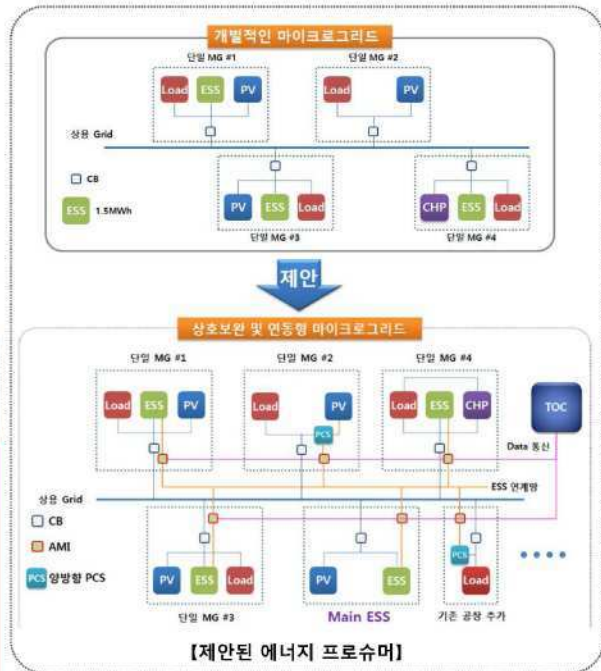
### 3. 마이크로그리드 시스템 기술

#### ◆ 농공산단 특징

- 농공산단은 다양한 전력 소비패턴을 가지고 있어 에너지 프로슈머 기반의 MG 최적의 실증 장소임
- 노동집약적 산업과, 국부적 생산성으로 개발도상국 산업단지와 유사한 전력소비 패턴을 보유

전력 인프라가 절대적으로 부족한 개발도상국 최적의 수출형 마이크로그리드

구분	가상거래 산단 MG	ESS 연계형 산단 MG
ESS 용량	• 피크전력 절감량 만큼 용량 필요	• 피크전력 절감량에서 주변 ESS 공유분을 제외한 나머지 용량 필요
전력 공급지 수익성	• 전력 소비량은 그대로이면서 전력거래 보전으로 수익성 악화	• 소비량 절감에 따른 생산성 절감으로 수익성 저하 없음

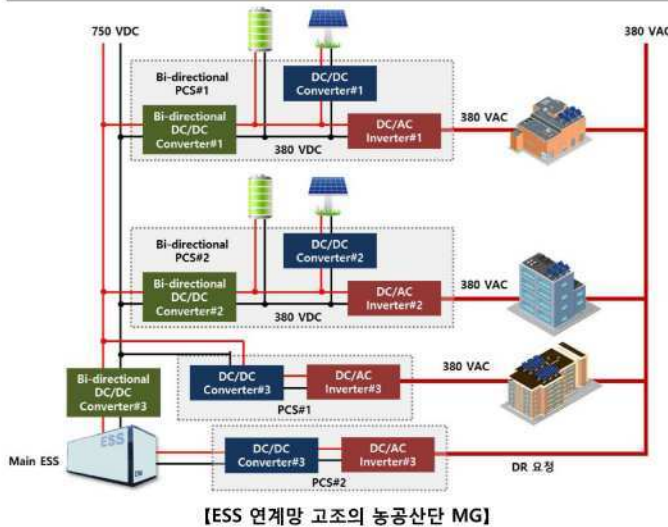


23

### 3. 마이크로그리드 시스템 기술

#### ◆ ESS 연계망(DC 배전/확장)

- 상이한 부하특성을 갖는 다수의 MG간 전력거래를 고려한 시스템 설계
- 적은 투자비로 동일한 성능목표(피크 저감, 에너지절감 등) 달성 가능
- 내부 ESS 연계망 구축은 에너지 프로슈머를 구현하는 기술



- 일반공장에서 PCS 구성만으로 ESS 연계망과 접속하여 전체 에너지 절감 및 피크전력 저감 가능
- 인터넷통신 가입과 같은 수익모델 창출 가능
- 일체화된 컨버터 장치 부재 -> 개별 컨버터 구성

24

### 3. 마이크로그리드 시스템 기술



◆ 태양광 구축사진 : 수해공장 5개소 300kW, 폐수처리장 300kW



[ 수해공장 5개소 태양광 설치 ]

[ DC 배전 및 통신 공사 ]

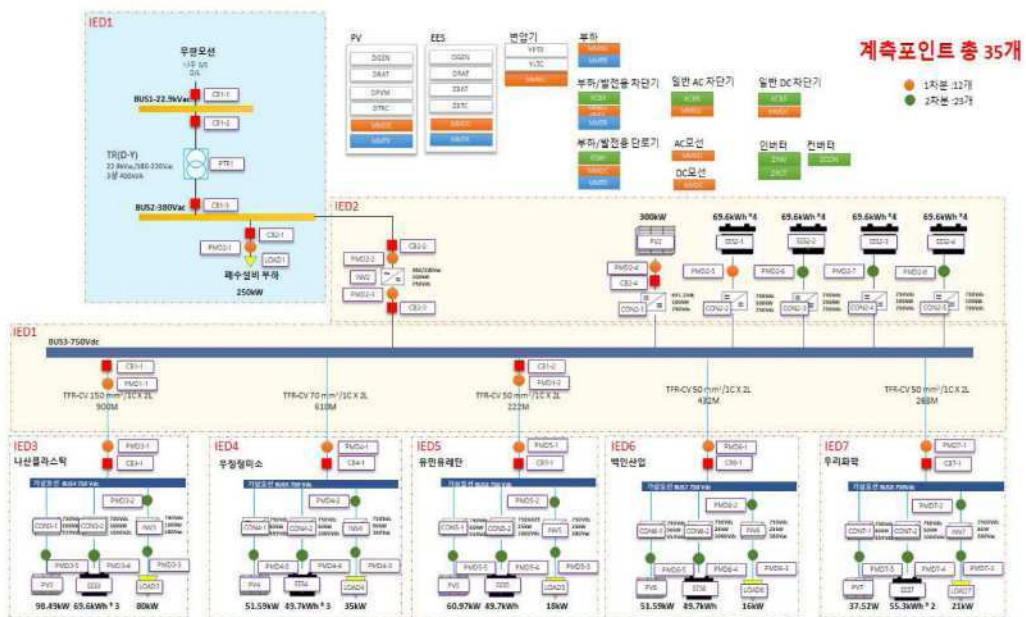
[ 폐수처리장 200kW 추가 설치 ]

25

### 3. 마이크로그리드 시스템 기술



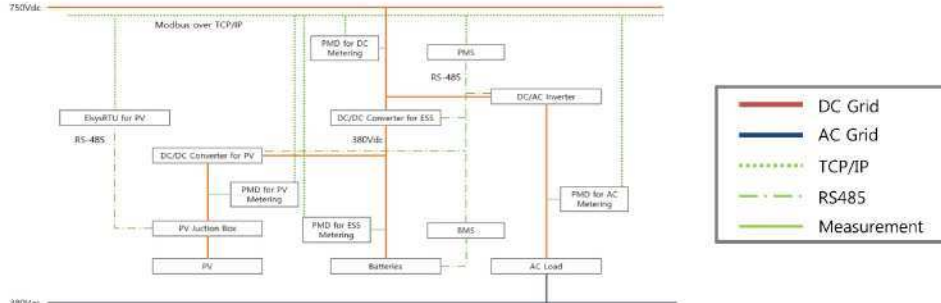
◆ 농공산단 계측 데이터 정의



26

### 3. 마이크로그리드 시스템 기술

#### ◆ 농공산단 MG 운영플랫폼(EMS)의 통신네트워크



- 데이터 수집 경로의 이원화와 TOC와의 데이터 통신(총 5그룹과 통신, 각 설비 40종과 통신)
  - EMS ↔ PMS : Modbus over TCP/IP
  - EMS ↔ PCS, Converter, BMS 등 : Modbus over TCP/IP
  - EMS ↔ AMI(RTU) : Modbus over TCP/IP
  - EMS ↔ IoT Gateway : TCP/IP CoAP
  - EMS ↔ TOC : HTTP
- 각 설비별 Modbus 기반 프로토콜 협의

통신방식	통신속도	통신거리	통신비율	통신비트	통신비트	통신비트
Modbus RTU	19200bps	1200m	96%	115200	115200	115200
Modbus TCP	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus Plus	12Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus CAN	1Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus DNP3	19200bps	1200m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-2	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-4	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-5	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-6	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-7	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-8	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-9	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-10	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-11	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-12	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-13	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-14	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-15	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-16	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-17	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-18	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-19	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-20	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-21	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-22	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-23	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-24	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-25	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-26	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-27	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-28	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-29	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-30	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-31	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-32	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-33	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-34	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-35	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-36	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-37	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-38	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-39	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-40	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-41	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-42	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-43	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-44	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-45	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-46	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-47	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-48	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-49	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-50	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-51	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-52	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-53	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-54	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-55	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-56	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-57	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-58	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-59	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-60	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-61	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-62	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-63	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-64	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-65	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-66	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-67	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-68	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-69	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-70	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-71	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-72	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-73	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-74	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-75	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-76	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-77	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-78	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-79	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-80	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-81	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-82	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-83	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-84	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-85	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-86	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-87	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-88	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-89	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-90	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-91	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-92	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-93	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-94	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-95	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-96	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-97	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-98	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-99	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200
Modbus IEC61850-9-100	10Mbps	1000m	96%	115200	115200	115200

27

### 3. 마이크로그리드 시스템 기술

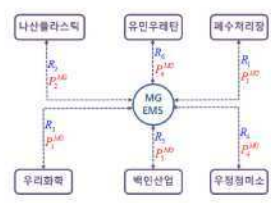
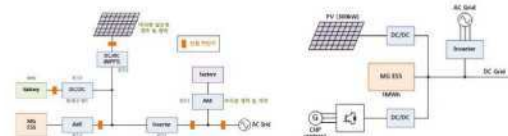
#### ◆ EMS 알고리즘 개발

##### ✓ 농공산단형 MG 모델링 도출

- 중앙ESS와 수요기업간 상관관계 도출

##### ✓ 농공산단형 DC MG의 에너지 방정식

- 에너지 균형 : 전력발생부 → 부하단
  - 전력발생부 : 열병합발전단, 태양광발전, AC 계통
  - 부하단 : 각 고객사의 부하전력사용
  - 저장단 : 중앙 에너지저장시스템, 고객사의 소용량 에너지저장시스템
- 에너지 방정식에서 MG운용에 있어서의 비용함수 계산
  - 배터리 에너지저장시스템 수명 향상 → 방전심도(DOD) 팩터 반영
  - 전력비용 저감 : 기존의 AC 계통사업자로의 구매 비용 최소화
  - 중앙ESS 수요기업간 전력거래량 갱신, 도통 손실 고려(약함)



	Call MG Energy = 1										Call MG Energy = 0									
	MG ESS SOC										MG ESS SOC									
	- 0.3			0.3 ~ 0.8			0.8 ~				- 0.3			0.3 ~ 0.8			0.8 ~			
	Local ESS SOC		Local ESS SOC	Local ESS SOC		Local ESS SOC	Local ESS SOC	Local ESS SOC	Local ESS SOC	Local ESS SOC	Local ESS SOC	Local ESS SOC		Local ESS SOC	Local ESS SOC	Local ESS SOC	Local ESS SOC	Local ESS SOC	Local ESS SOC	
AC CB	On	On	On	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	
Inverter Enable	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	On	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	
MG CB	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	
MG PV Enable	On	On	On	On	On	On	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	
MG CHP Enable	On	On	On	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	
Local PV Enable	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	On	
Local DCDC Converter	Charge	Charge	Discharge	Charge	Charge	Discharge	Charge	Charge	Disable	Charge	Charge	Discharge	Charge	Charge	Discharge	Charge	Charge	Charge	Disable	

[ DC MG 운영시 회로차단기 및 개별 전력모듈 동작 범위 ]

28

### 3. 마이크로그리드 시스템 기술

#### ◆ 농공산단 MG 운영플랫폼(EMS) 설계

- ✓ 안정적인 전력 공급과 에너지 생산 비용을 최소로 MG 운영 플랫폼 개발



[ 농공 산단 마이크로그리드 EMS 시스템 구성도 ]

- \* Peak 제어, 발전기 중앙 통제, 전체 시스템 모니터링, 사고 시 자동대처 기능 부여
- \* 급격한 발전량과 부하의 급격한 변동에 대비한 전력 생산량 안정화 및 과부하 제거 기능 개발
- \* 여러 가지 시스템 운전 모드 발굴하여 최적화 수행

29

### 3. 마이크로그리드 시스템 기술

#### ◆ 산업단지 마이크로그리드 에너지 절감 방안

- 소비전력이 많은 공장 2개 동에 계측/계량기 설치 후, 전기요금 절감 유도(목표 5%, 전체 기준)
- 부하패턴 상세 분석을 통해 부하관리 정책을 수립하고, 비상 시 절감 가능한 자원 우선 순위화

대상 설비 선정	계측기 설치(예시)	BEMS 구축 및 에너지 절감 활동																						
<b>냉열원</b> • 흡수식냉방기 • 흡수식냉온수기 • 터보냉동기 • 냉각탑/냉축열	<table border="1"> <thead> <tr> <th>설치항목</th> <th>수량</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>전력량계</td><td>45</td></tr> <tr><td>가스량계</td><td>4</td></tr> <tr><td>유량계</td><td>20</td></tr> <tr><td>증기유량계</td><td>3</td></tr> <tr><td>온도계 (배관)</td><td>200</td></tr> <tr><td>온도계 (덕트)</td><td>15</td></tr> <tr><td>온도계 (실내)</td><td>5</td></tr> <tr><td>압력계</td><td>3</td></tr> <tr><td>차입계</td><td>24</td></tr> <tr><td>통신 I/F</td><td>4</td></tr> </tbody> </table>	설치항목	수량	전력량계	45	가스량계	4	유량계	20	증기유량계	3	온도계 (배관)	200	온도계 (덕트)	15	온도계 (실내)	5	압력계	3	차입계	24	통신 I/F	4	<b>부하별에너지사용비율(예시)</b> 진동 17% 전열 13% 동력 24% 냉난방 40% 급탕 5%
설치항목	수량																							
전력량계	45																							
가스량계	4																							
유량계	20																							
증기유량계	3																							
온도계 (배관)	200																							
온도계 (덕트)	15																							
온도계 (실내)	5																							
압력계	3																							
차입계	24																							
통신 I/F	4																							
<b>온열원</b> • 증기보일러 • 온수보일러 • 급탕펌프 • 방축열		<b>에너지 절감활동</b> 무부하 차단제어 누기 제어 에너지 효율 제어 전력 피크제어																						
<b>공조</b> • 공조기 • 순환펌프 • 송풍기 • 팬		<b>대상 설비 선정</b> • 공작설비 등 동력설비 • 냉방 및 조명설비																						
<b>전력/신재생</b> • PV • 조명 • ESS • 배전반		<b>에너지 절감을 4% 달성 목표</b> ※ BEMS 평균 에너지 절감률 5~7%, 에너지공단 우수사례 4.36% (*'BEMS 기능별 설계가이드 및 우수사례발굴', 2016.12 에너지공단)																						

30

### 3. 마이크로그리드 시스템 기술

#### ◆ 통합 EMS 기능 아키텍처



31

### 3. 마이크로그리드 시스템 기술

#### ◆ 농공산단 MG 통합운영 실증센터 구축



32



### 3. 마이크로그리드 시스템 기술

#### ◆ 농공산단 MG 운영플랫폼(EMS) 설계 (Dashboard)



33

### 4. 미래형 마이크로그리드(다중 MG)

#### 다중 MG 구성방안

#### (나주혁신산단)



구성	Site	태양광	ESS	DC-Grid	Grid Tied	FEMS	B/C EMS	M&P
수량/용량	5개소	300 kWp	1,000 kWh	3.4 c-km	BtoB	3식	34식	1식

34

## 4. 미래형 마이크로그리드(농가형 MG 연계)

### 산업용 MG + 농가형 MG



35

## 4. 미래형 마이크로그리드(농가형 MG 연계)

### 농가형 마이크로그리드



- ① 자가 소비/저장    ② 잉여에너지를 주거 및 산업단지에 제공    ③ 기존 계통망과 연계하여 전력 판매

\* 자료 출처 : 독일 프라운호퍼 연구소

36

## 4. 미래형 마이크로그리드(농가형 MG 연계)



다중 MG 확장

Beyond  
(MG -> SmartCity -> SmartGrid)

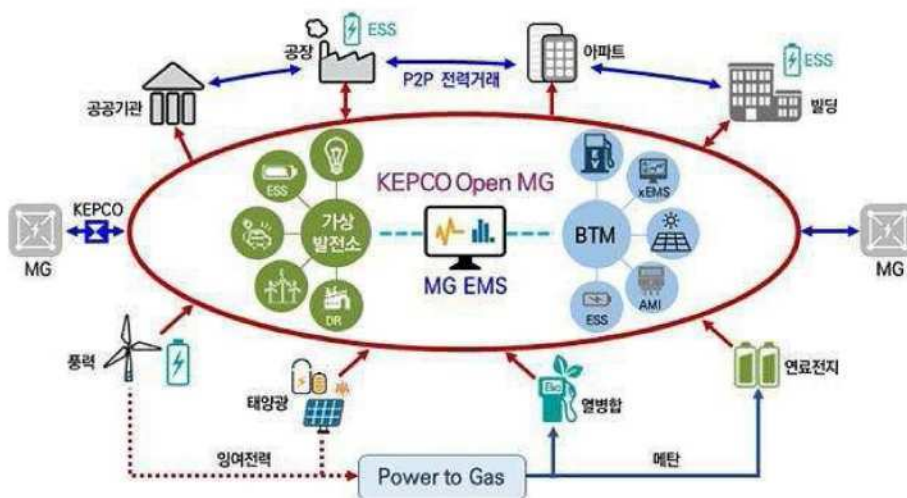


37

## 5. 기타



KEPCO 오픈 MG 프로젝트



38



## 미활용 에너지를 활용한 농업 기술 - 발전소 온배수

Agricultural technology utilizing unexploited energy  
- power plant thermal effluent



**장 새 흥**

**소속 및 직위**

전자부품연구원 수석연구원

**주요경력**

(현) 전자부품연구원

융복합전자소재연구센터 수석연구원

(전) 열에너지 조절 창호시스템 연구단장



## 미활용 에너지를 활용한 농업기술 - 발전소 온배수

발전소 온배수란 발전과정에서 가열된 증기터빈의 열을 냉각시키는데 사용되는 물로서, 발전폐열을 흡수해 수온이 상승한 상태로 배출되는 배출수를 말한다. 우리나라 온배수 발생량은 연간 약 550억톤 정도이며, 자연 해수보다 평균 약 7℃정도 높은 상태 (18~32℃)로 바다에 방류되고 있으나 그 중 재활용되고 있는 양은 약 0.25억톤에 불과하다.

발전소 온배수는, 2014년 11월에 수열에너지가 신재생에너지로 지정되고 2015년 3월 시행규칙 개정을 통해, 신재생에너지로 인정받게 되었기 때문에 이를 농산물 생산에 이용한다면, 발전사로서는 신재생에너지 공급인증서 (Renewable Energy Certificate)를 받을 수 있어 신재생에너지 의무할당량(Renewable Portfolio Standard)을 확보할 수 있다는 이점이 있기 때문에 근래에 그 활용 방안에 대해 많은 관심을 기울이고 있다.

우리나라 시설원예 농가의 경우, 기후 특성상 경영비 중에서 난방비 비중이 30~40% 정도로 높은 편이기 때문에 온배수를 작물재배용 온실 난방에 활용한다면 난방비용을 40~70% 정도 절감할 수 있을 뿐만 아니라, 농업용 보일러 등유를 사용하는 것에 비해 온실가스 배출이 감소하게 되어 온실가스 배출권을 확보할 수 있고, 이의 거래를 통해 추가 소득도 얻을 수 있다.

본 발표에서 제시하는 사례들은 산업부와 농림부간의 부처협력사업으로 진행된 온배수를 활용한 스마트 테스트베드 연구를 통해 확보된 것이다.

### < 사례 1 >

전자부품연구원은 중부발전 보령화력발전소 부지에 0.1ha 규모의 시범온실을 짓고 온배수를 활용한 가온을 통해 애플망고를 재배하고 있다. 또한 시범온실은 각종 측정/제어장치를 IoT를 통해 연결하고, 원격/자동제어를 통해 운영되고 있으며, 이를 통해 각종 연구 개발을 진행하고 있다.

### < 사례 2 >

제주 행복나눔영농조합의 경우, 약 1.5ha 규모의 비닐온실에서 적정 생육온도가 24~27℃인 애플망고를 온배수 열을 활용하여 재배하고 있는데 난방 비용을 면세경유 대비 약 80%정도 절감하였으며, 연간 약 1000 tCO<sub>2</sub>-eq 정도 온실가스 감축량을 인정받고 있다. 또한 난방부담이 적기 때문에 가온시기 조절을 통해 출하시기를 바꿈으로서 다른 농가들보다 더 유리한 조건으로 과일을 판매하는 전략을 사용하고 있다.

### < 사례 3 >

행복나눔영어조합은 온배수를 양식원수로 이용한 우수식 수조를 남제주발전소 인근에 건설하여 150톤/hr 온배수를 활용하여 돌돔과 붉바리를 양식하고 있다.

### < 사례 4 >

일산 고양난영농조합의 경우, 0.5ha 규모의 비닐온실에 한국지역난방공사의 열공급시스템을 통해 열을 공급받고 있다. 난방비용은 전기보일러를 사용할 때보다 약간 적게 들고 있으며, 사용이 편리하고 열 공급 관련 시설들에 대한 유지 관리를 한국지역난방공사에서 해주기 때문에 시설관리 부담이 적은 장점이 있다.





# 미활용 에너지를 활용한 농업 기술 - 발전소 온배수

2018. 12. 07

## 전자부품연구원

융복합전자소재연구센터 장세홍

### 미활용 에너지 ?

- 지금까지 사용되지 않고 있던 에너지를 통칭
- 기술 발전과 자원 고갈, 시장 상황 등의 변화로 인해 경제성이 확보되어 활용 가능성이 높아진 에너지

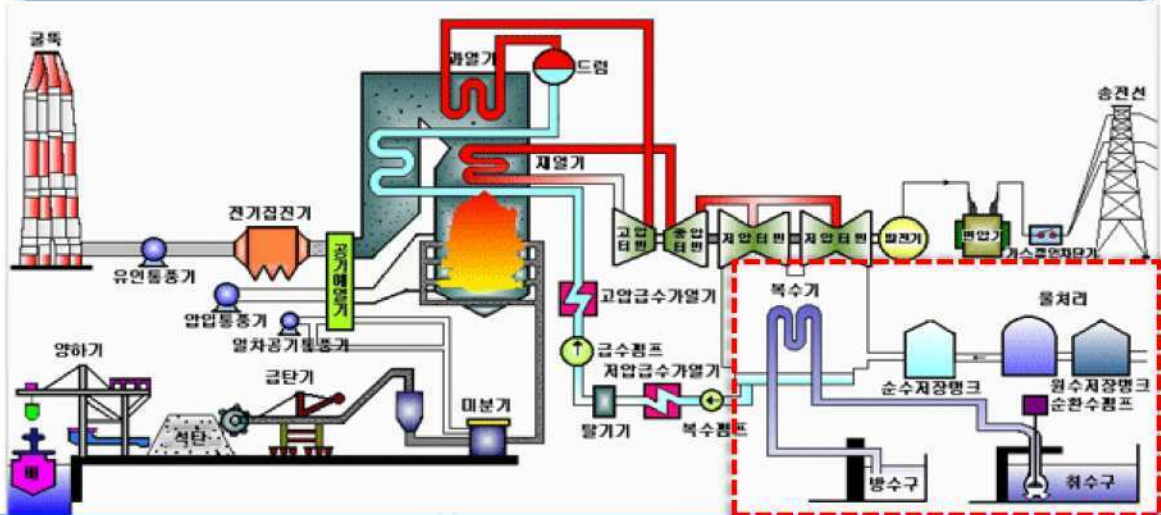
- 전기에너지 수확 : 압전 (Piezoelectric) 효과, 열전 (Thermoelectric) 효과, 광전 (Photoelectric) 효과, 전자기 (Electromagnetic) 효과를 이용해서 전기에너지를 얻는 방법
- 열에너지 수확 : 발전소, 소각장, 하수처리장, 산업체, 지하철, 도심 빌딩 등에서 버려지는 열에너지를 난방에 활용 (활용 가능한 온도차 존재)

신 에너지 : 수소에너지, 연료전지, 석탄액화가스화 및 중질잔사유 가스화 (3개 분야)  
재생 에너지 : 태양광, 태양열, 바이오, 풍력, 수력, 해양, 폐기물, 지열, 수열 (9개 분야)

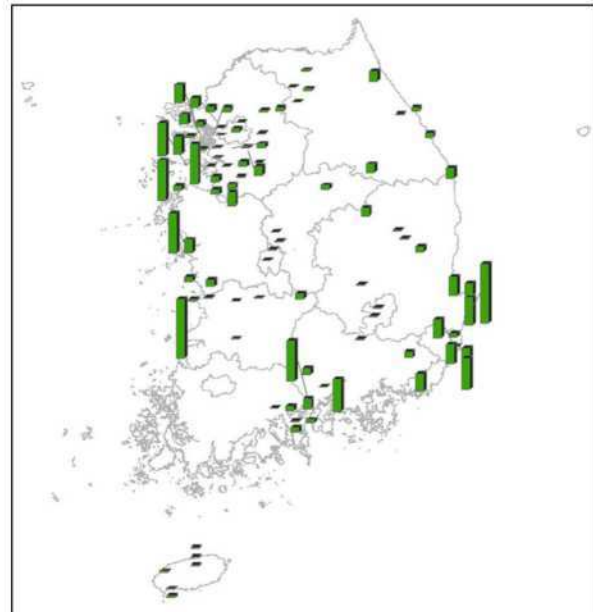
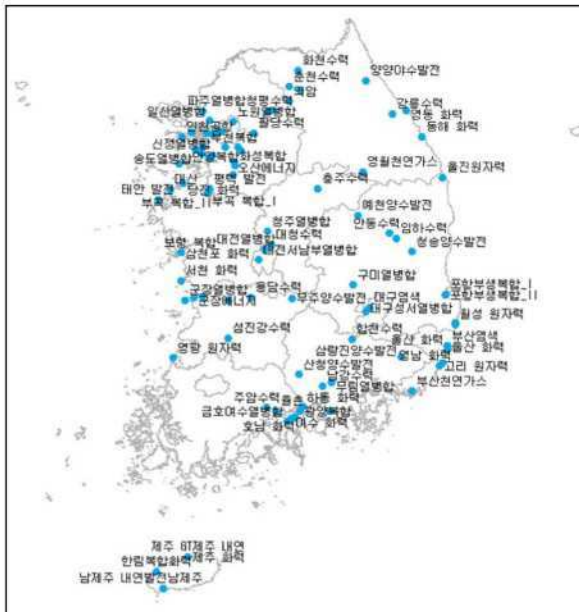
## 발전소 온배수 ?

### 『물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률』

“발전소 온배수”란 취수한 해수를 발전소(원자력발전소는 제외한다)의 발전과정에서 발생한 폐열을 흡수하는 냉각수로 사용하여 수온이 상승된 상태로 방출되는 배출수  
※ 열교환을 거쳐 자연해수보다 평균 약 7°C 상승된 상태로 배출되는 해수



## 주요 발전 시설 및 발전 용량



자료 : 한국환경정책평가연구원, 맹준호 등 (2013)

## 주요 발전소 온배수 배출 현황

업체명	배출 단위	배수량 (억톤/년)	설계ΔT (°C)	배출 온배수 전량 재활용시 (최저ΔT로 계산)		업체명	배출 단위	배수량 (억톤/년)	설계ΔT (°C)	배출 온배수 전량 재활용시 (최저ΔT로 계산)	
				보일러 등유 환산비용 (억원/년)	CO2 절감량 (tCO2/yr)					보일러 등유 환산비용 (억원/년)	CO2 절감량 (tCO2/yr)
한국남부발전(주)	하동화력	33.3	6.4	22,022	5,965,341	한국중부발전(주)	보령화력/복합	46.4	6.4~7.0	30,686	8,312,067
	영남화력	1.2	8.0~8.3	992	268,709		서천화력	2.5	9.4	2,428	657,777
	신인천복합	10.7	7	7,740	2,096,490		인천화력/복합	5.6	7.0~10.2	4,051	1,097,229
	부산복합	6.1	8.2	5,169	1,400,086		제주화력	2.1	7	1,519	411,461
	남제주화력	2.9	7	2,098	568,208		소 계	56.6		38,684	10,478,533
	소 계	54.2		38,020	10,298,834		한국수력원자력(주)	고리원자력	41.8	4.7	20,301
한국남동발전(주)	삼천포화력	27.3	6.4~9.5	18,054	4,890,505	영광원자력		81.6	7.4	62,397	16,901,799
	영동화력	2.5	9.2	2,377	643,782	월성원자력		47	8.2	39,825	10,787,549
	여수화력	1.3	6.4~9.4	860	232,881	울진원자력		80	7.2	59,520	16,122,543
	소 계	69.3		46,554	12,610,292	소 계		250.4		182,042	49,310,910
한국서부발전(주)	태안화력	36.3	7.7	28,883	7,823,632	포항 제철(주)	17	7.0~8.0	12,297	3,330,873	
	평택화력	7.6	10	7,853	2,127,280	GS EPS 부곡복합	1.8	7	1,302	352,681	
	서인천복합	4.9	6.4	3,241	877,783	포스코파워 복합발전소	1.9	10~13.5	1,963	531,820	
	소 계	48.8		39,977	10,828,695	케이파워 광양복합화력발전소	1.9	5.0~6.0	982	265,910	
한국동서발전(주)	당진화력	28.6	6.4~6.8	18,914	5,123,386	메이아파워	2.4	(~5.0)	1,240	335,886	
	호남화력	6.4	8.8	5,820	1,576,426	울촌복합화력발전소					
	동해화력	4	7.2	2,976	806,127	합 계	552.6		0.25억톤	3,7498	107,672,557
	소 계	48.3		34,437	9,328,123						

자료 : 발전소 온배수를 활용한 저탄소 녹색양식업 발전방향, 한국해양수산개발원, 2010 (한진 및 자회사 이외는 2006년도 온배수 배출량임)  
\* 보일러등유 (발열량 9,000kcal/l, 1,000원/l, 탄소배출계수 71.9 tCO2/TJ)

## 국내 시설 농업 현황

- 1990년 이후 시설 재배 면적 증가
- 2010년 시설 면적이 약 53,000 ha에 도달 (재배면적 대비 세계 2위)
- 시설재배 총 생산액 : 4조 9천억
- 원예작물 중 시설원예 생산액 비중 : 44%



농촌진흥청 (2011)

	총 생산량(A)	시설 재배 생산량(B)	시설 재배 생산율 (B / A x 100)
1990	2,037	63	3.1%
1995	3,005	227	7.6%
2000	3,646	354	9.7%
2005	4,002	483	12.1%
2010	4,754	564	11.9%
2012	5,053	578	11.4%

농림축산식품부 (2013)

- 우리나라 온배수 발생량: 연간 약 552억톤 (연간 강수량 1,274억톤의 43%)
  - 이를 모두 보일러등유 대체 열원으로 사용할 경우 연간 약 39조7천억원 에너지비용 절감 가능 (약 1억톤 CO2 감축 가능)
- 아열대 과수인 망고 재배 시설 약 23만ha (6억9천만평)에 공급 가능
  - \* 우리나라 전체 난방 시설농업 면적 13,000 ha
- 아열대 어종 양식의 경우 756 ha (약226만평)에 공급 가능

시설농업에 온배수를 활용할 경우

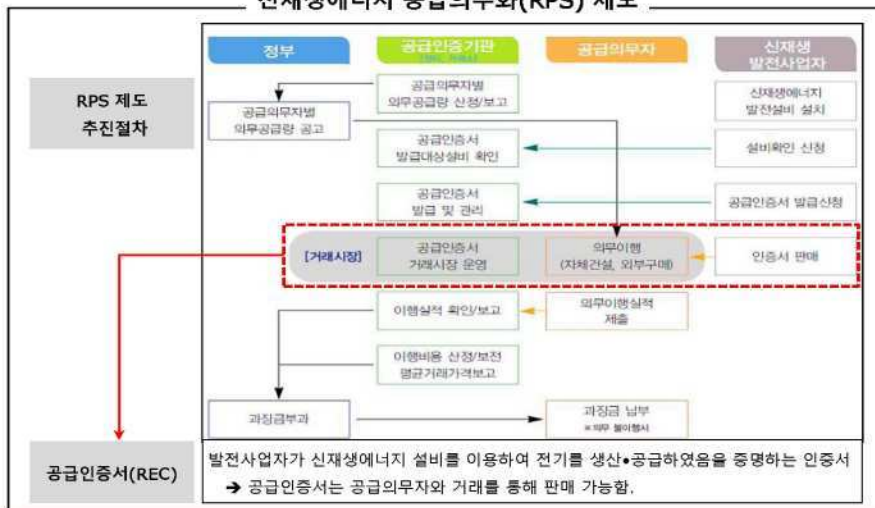
구 분 (제주 화순 기준)	1 ha (약 3,000평) 기준	
	망고 재배	파프리카 재배
년간 재배 평균 온도	24°C	21°C
보일러등유 사용	등유 사용 금액	171,429 천원/년
	CO2 배출량	464 tCO2/년
온배수+히트 펌프 사용	전기 사용 금액	26,629 천원/년
	CO2 배출량	172 tCO2/년
<b>에너지 비용 절감액</b>		<b>144,800 천원/년</b>
<b>CO2 배출 감소량</b>		<b>292 tCO2/년</b>

유수식 양식에 온배수를 활용할 경우

구 분	온배수+히트펌프	바닷물+보일러
사용 해수 평균 온도	25°C	20°C
양식 적정 수온	27°C	
양식 필요 유량	500톤/h = 500,000ℓ/h 수면적 6a (약180평), 유수식 20회전/일 기준 년간 438만톤 필요	
에너지 사용량	2,910,299 kwh/년	3,785,185 ℓ/년
승온 에너지 비용	116,412 천원/년	3,785,185 천원/년
온실가스 배출량	2,637 tCO2/년	10,253 tCO2/년
<b>에너지비용 절감액</b>	<b>3,668,773 천원/년</b>	<b>0</b>
<b>CO2 배출 감소량</b>	<b>7,616 tCO2/년</b>	<b>0</b>

- 2012. 01 : 신재생에너지 공급의무화 (RPS) 제도 도입
  - 일정규모 이상의 발전사업자에게 총 발전량에서 일정량 이상을 신재생에너지로 공급하도록 의무화
- 2015. 03 : 발전소 온배수가 신재생에너지 "수열에너지" 로 지정됨
  - 온배수 활용을 통해 신재생에너지 공급인증서 (REC) 확보가능

신재생에너지 공급의무화(RPS) 제도



배관, 열관련시설, 온실 및 양식단지 조성비용 부담

- 배관설치비, 히트펌프, 열교환기, 온실 및 양식장 시설  
- 시설원예(12~40억), 육상 수조식 양식업(176억)/ 1ha 기준

단지조성의 지역적 한계

- 경제성 확보를 위해 발전소 인근 지역만이 온배수 활용 가능

단지조성을 위한 기반검토사항 과다

- 열공급가능성 검토를 위한 바다온도, 발전소 발전량, 월별 배출온도
- 시설 및 양식단지 조성지역의 토양조건(점토질, 풍화토, 풍화암층 등)
- 시설 설치 및 적정 작물 결정을 위한 토양의 물리적 특성(강도, 염도 등)
- 작물(어종) 생산을 위한 적정 배관의 형태, 두께, 길이 산출

생산 농어가 인식 문제

- 특정인의 온배수 이용혜택 귀속 우려(정부의 보조 용자)
- 시설 고장 시 작물(어종)생산 차질 및 환경오염 우려
- 온배수의 지속적 공급 여부 미확신
- 농업용수 확보 부담
- 판로 확보 및 판매가격 안정성 부담
- 노동력 확보 및 운영 주체

## 온배수 활용 과제 개요

Unframed Perspective  
"틀에서 벗어난 시각으로 미래를 이끌어 간다"



## 온배수 활용 과제 개요

Unframed Perspective  
"틀에서 벗어난 시각으로 미래를 이끌어 간다"

- 온배수 활용 고부가가치 상품 생산 최적화
- IoT 기술기반 스마트생육시스템 H/W 및 S/W 기술
- 온배수 활용 시설농업단지 확장성 검증

- 고부가가치 상품 생산**
  - 가온을 통해 생산할 수 있는 고부가가치 작물 선정 (애플망고, 하우스 딸기, 파파야, 파프리카, 토마토 등)
  - 출하시기 조절을 통한 고수익 구조 창출
- 생육 환경 최적화**
  - IoT 기술 기반의 생육환경 모니터링 및 제어 시스템 개발 - 복합환경센서 (온도, 습도, CO2, 대기압, UV, 조도) 개발
  - 온실 및 히트펌프 원격제어시스템 개발
- 확장성 검증**
  - 보령지역 애플망고 재배 가능 및 경제성 검증
  - 생육 환경 조절을 통한 수확 시기 조절 가능성 검증

온배수 활용과 IoT 기술 기반 스마트 생육 시스템 도입

시너지 창출

시설농업 생산성 향상  
발전소 인근 농가 소득 증대

(1000평 순이익 기준)

품명	순이익 (만원)
마늘	700
노지귤	1,000
하우스귤	4,000
하우스딸기	5,000
애플망고	6,000

## 온배수 활용 과제 개요

Unframed Perspective  
"틀에서 벗어난 시각으로 미래를 이끌어 간다"



## 사례 1. 전자부품연구원 (보령)

Unframed Perspective  
"틀에서 벗어난 시각으로 미래를 이끌어 간다"

### 구축 시설물

- 경량철골조 8연동 벤로형 자동화 필름온실 (폭 34.4m/길이 30m/생육실 768m<sup>2</sup>/축고 4.5m)
- 온배수 직접 열교환 방식 냉방/난방/제습 일체형 히트펌프 (12RT) 3대 설치
- 복합환경센서 (KETI 자체개발)와 온실자동제어시스템, CO<sub>2</sub> 공급장치, 관수 및 가습시스템, 원격 환경모니터링 및 제어 시스템 등 설치



# 사례 1. 전자부품연구원 (보령)

Unframed Perspective  
"틀에서 벗어난 시각으로 미래를 이끌어 간다"

## 기술 내용

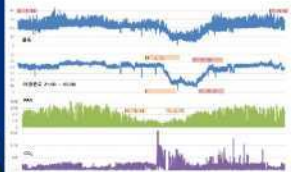
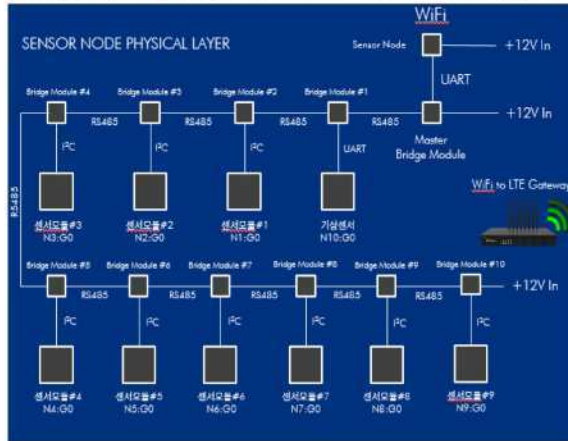
▪ KETI 개발 모비우스 플랫폼을 적용한 측정/제어 시스템 구축

\* 인터페이스 (브릿지 모듈)  
 I²C : 복합센서 모듈 (6종)  
 UART : 토양센서 (3종)  
 액추에이터 (8종, 35개)  
 RS485 : 외장센서 (14종)

\* 센서노드 구성  
 H/W : Raspberry B+  
 OS: Linux, 라즈비안

\* 원격 S/W 유지, 보수,  
 데이터 로그 및 진단 기능

\*\* 보령, 제주, 일산 농원에 설치



내장센서 (9종)  
 복합환경센서 (온도, 습도, CO<sub>2</sub>, 대기압, UV, 조도, 풍속, 풍향, 토양 온도, 토양습도, 토양EC)

외장센서 (14종)  
 기상센서 (온도, 습도, UV, 조도, 풍량, 풍속, 강우)  
 히트펌프 (입수, 출수, 증발, 내부온도)  
 히트펌프 사용 전력량  
 온배수 유량 및 유속 센서

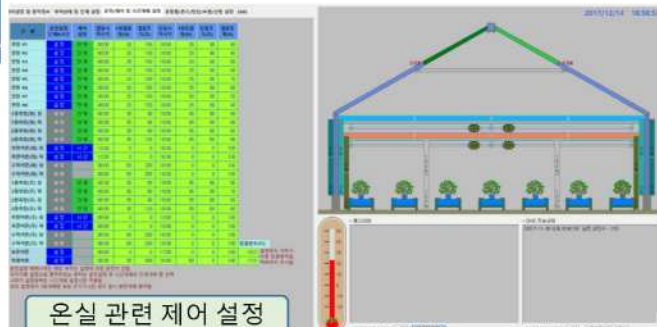
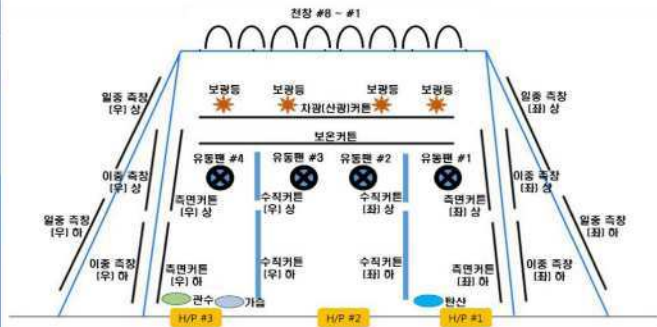
# 사례 1. 전자부품연구원 (보령)

Unframed Perspective  
"틀에서 벗어난 시각으로 미래를 이끌어 간다"



구분	시작시간 (1:00)	종료시간 (1:00)	구분	시작시간 (11:00)	종료시간 (11:00)	구분	시작시간 (17:00)	종료시간 (17:00)
온실	시작 온도	종료 온도	온실	시작 온도	종료 온도	온실	시작 온도	종료 온도
제트팬/제트	시작 온도	종료 온도	제트팬/제트	시작 온도	종료 온도	제트팬/제트	시작 온도	종료 온도
제트팬/제트	시작 온도	종료 온도	제트팬/제트	시작 온도	종료 온도	제트팬/제트	시작 온도	종료 온도
제트팬/제트	시작 온도	종료 온도	제트팬/제트	시작 온도	종료 온도	제트팬/제트	시작 온도	종료 온도
제트팬/제트	시작 온도	종료 온도	제트팬/제트	시작 온도	종료 온도	제트팬/제트	시작 온도	종료 온도

히트펌프 운전 제어



온실 관련 제어 설정



# 사례 1. 전자부품연구원 (보령)

Unframed Perspective  
"틀에서 벗어난 시각으로 미래를 이끌어 간다"

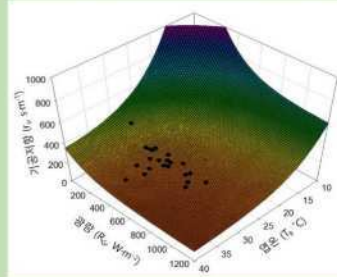
## 온실 에너지 해석을 위한 동적 시뮬레이션

### [보령 온실의 에너지분석을 위한 BES 모델]



### [현장 실험 적용을 통한 정확도 향상]

#### 기공저항-광량, 엽면 회귀식 적용



$$r_s = 98 \left( 1 + \left[ \exp(0.011(R_g - 29.836)) \right]^{-1} \right) \times \left( 1 + 0.172 \exp(-0.127(T_l - 36.5)) \right)$$

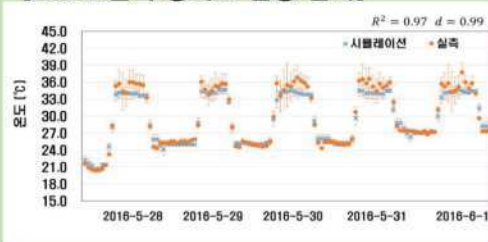
- 보령 온실의 각 구성요소들 (작물의 에너지교환, 시스템 운영모듈, 피복재를 통한 에너지 교환 등)을 고려하여 동적 에너지 모델을 설계하고 온실의 에너지 흐름을 실시간으로 분석함
- 현장 실험을 통해 모델 구성의 필수 인자 값들을 산정하여 적용

# 사례 1. 전자부품연구원 (보령)

Unframed Perspective  
"틀에서 벗어난 시각으로 미래를 이끌어 간다"

## 온실의 에너지 해석 결과

### [BES 모델의 정확도 검증 결과]



### [온실의 히트펌프 설계 용량 평가]

적정설계용량 산정 [농촌진흥청, 2008]

- 최근 5년 동안 최대부하의 70%

#### 냉방용량 평가

- 적정설계용량: 363,092 kJ · hr<sup>-1</sup>

- 현재설계용량: 467,381 kJ · hr<sup>-1</sup>

-> 약 28.7% 과다설계

#### 난방용량 평가

- 적정설계용량: 328,910 kJ · hr<sup>-1</sup>

- 현재설계용량: 397,267 kJ · hr<sup>-1</sup>

-> 약 20.8% 과다설계

### [최근 5년 온실의 최대 냉·난방부하]

최대냉방부하		최대난방부하	
부하 [kJ · hr <sup>-1</sup> ]	발생시기	부하 [kJ · hr <sup>-1</sup> ]	발생시기
518,703	2010-08-19 13:00	469,872	2012-02-19 06:00

### [히트펌프 사용에 따른 비용 절감]

연도	등유보일러		온배수-히트펌프		절감율
	연료량 [L · 년 <sup>-1</sup> ]	비용 [원 · 년 <sup>-1</sup> ]	전력량 [kWh · 년 <sup>-1</sup> ]	비용 [원 · 년 <sup>-1</sup> ]	
2010-2014년 평균	20,317	26,104	198,065	8,299	68.2%

- 현장 실험 결과와 비교하여 모델의 정확도를 검증함 (R<sup>2</sup>=0.97)
- 연도별 온실의 최대냉난방 부하를 평가하여 온실에 설치된 히트펌프의 적정 설계 용량을 제시
- 히트펌프 사용 시 등유보일러 사용 대비 약 68% 비용이 절감되는 것으로 분석

### 사례 1. 전자부품연구원 (보령)

**Unframed Perspective**  
 "틀에서 벗어난 시각으로 미래를 이끌어 간다"

애플망고 생육 현황 (2017. 3/15 ~ 7/05)



### 사례 1. 전자부품연구원 (보령)

**Unframed Perspective**  
 "틀에서 벗어난 시각으로 미래를 이끌어 간다"



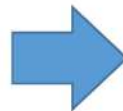
## 사례 1. 전자부품연구원 (보령)

Unframed Perspective  
"틀에서 벗어난 시각으로 미래를 이끌어 간다"



20170726 1차 수확

Fruit Weight , Size (L/W/H),  
Sugar (Brix), Color-reader



## 사례 2. 제주 행복나눔영농조합

Unframed Perspective  
"틀에서 벗어난 시각으로 미래를 이끌어 간다"

- 온배수 활용 테스트베드구축
- 보광/CO<sub>2</sub> 강화 재배 및 수확 시기 조절 연구



## 사례 2. 제주 행복나눔영농조합

Unframed Perspective  
"틀에서 벗어난 시각으로 미래를 이끌어 간다"

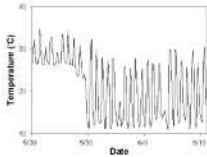


6월 야간 저온처리를 통해서 화아유도 확인

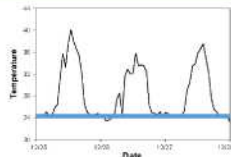
가을 비대기를 거쳐 12월 수확기의 애플망고

온배수를 활용한 애플망고 1월 수확 (국내 최초)

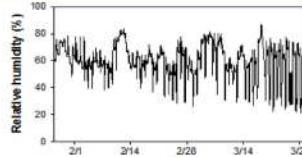
**망고 수확 : 750kg/300평**  
**조수익(매출) : 3750만원 (5만원/kg, 15만원/box)**  
**평년대비 : 조수익 50% 향상**



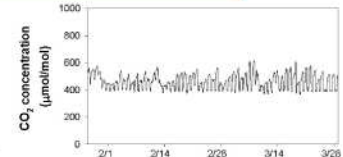
냉처리(6월) 온도



평상시 온실 온도



온실 상대습도 변화



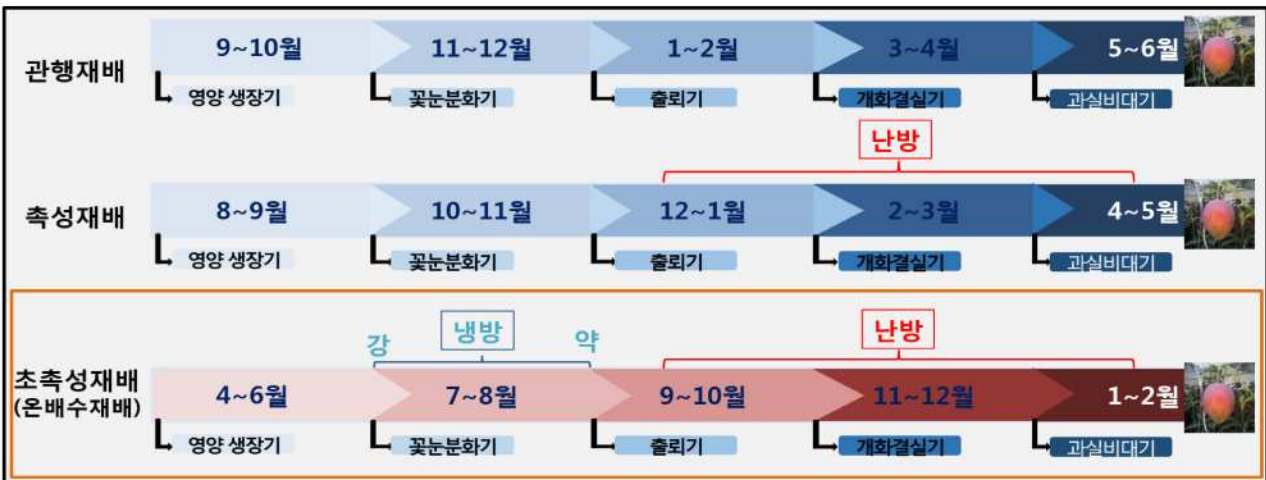
CO2 농도 변화

6월 온도조절 (냉처리-일평균온도 하강), 7월 화아 발생 (난방 → 수정~), 12~1월 수확완료

## 사례 2. 제주 행복나눔영농조합

Unframed Perspective  
"틀에서 벗어난 시각으로 미래를 이끌어 간다"

• 애플망고 조기수확을 위한 작부 체계 및 환경 조절 매뉴얼 개발



## 사례 2. 제주 행복나눔영농조합

Unframed Perspective  
"틀에서 벗어난 시각으로 미래를 이끌어 간다"

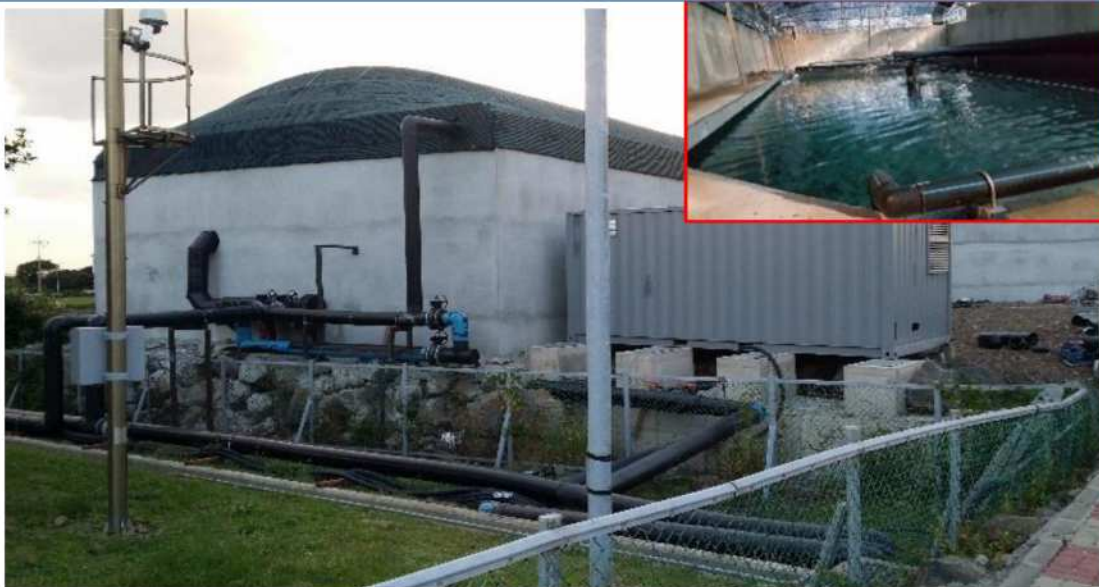
- 애플망고 조기수확을 위한 작부 체계 및 환경 조절 매뉴얼 개발

	결과지 생성기	화아분화기	정아 생성	만개/수정 시기	과실 비대기
관리	시비 수확 후 전정 신초 발생 결과지 유도	기온저하 영양생장정지 영양 → 생식 유도	시설관리 병해충 관리 출회 차이 발생	저온/고온 회피 적정 습도 유지 적정 광량 확보	최적 광합성 유도 최고 광량 확보 적과 관리
온도	평균온도 : 27±1°C 최저온도 : 24±1°C	평균온도 : 20±1°C 최저온도 : 12±1°C	평균온도 : 24±1°C 최저온도 : 16±1°C	평균온도 : 27±1°C 최저온도 : 23±1°C	평균온도 : 28±1°C 최저온도 : 24±1°C
습도	주간습도 : 60% 야간습도 : 80-90%	주간습도 : 60-70% 야간습도 : 90%	주간습도 : 60% 야간습도 : 80-90%	주간습도 : 60% 야간습도 : 85-90%	주간습도 : 60% 야간습도 : 85-90%
토양수분	수분함량 : 20-25%	수분함량 : 10% 이하 수분스트레스 필요	수분함량 : 15-20%	수분함량 : 20-25%	수분함량 : 20-25%
CO <sub>2</sub> 농도	600 ppm	500 ppm	500 ppm	600 ppm	600-700 ppm

## 사례 3. 제주 행복나눔영어조합

Unframed Perspective  
"틀에서 벗어난 시각으로 미래를 이끌어 간다"

- 온배수 활용 유수식 양식장 구축 (150ton/Hr, 해수 순환율 15회/일)
- 온배수와 저수온 해수를 선택적 유량제어를 통해 년중 적정 생육온도(24~30 °C)로 양식원수 공급
- 돌돔 및 붉바리 양식

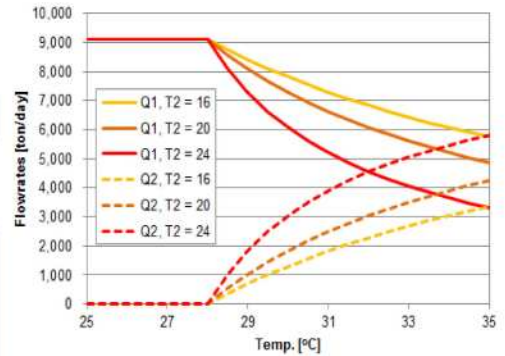


### 사례 3. 제주 행복나눔영어조합

Unframed Perspective  
"뜰에서 벗어난 시각으로 미래를 이끌어 간다"

볶바리	돌돔
입식일 : 16년 10월11일, 11월18일 입식미 : 2.2만미 입식어 크기 : 볶바리 30g 수조수 : 2기	입식일 : 17년 07월16일 입식미 : 6만미 입식어 크기 : 돌돔 10g 수조수 : 2기
2017년 10월 현재	
볶바리 잔여 마리 : 10,200 마리 평균무게 : 볶바리 300g 생존율 볶바리 :51%	돌돔 잔여 마리 : 59,000 마리 평균무게 : 돌돔 150g 생존율 돌돔 98%
	
	

양식된 돌돔의 도매가는 Kg당 약 40,000원  
볶바리는 Kg당 약 70,000원 정도임.

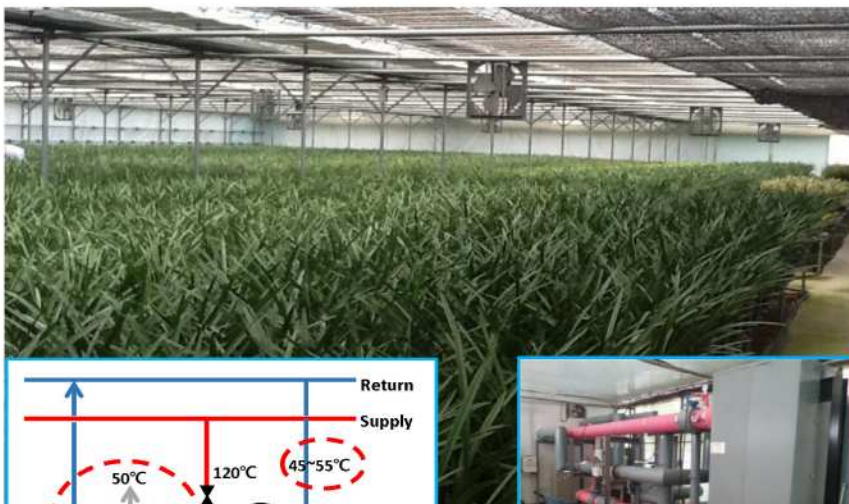



양식 수조에 공급할 온배수와 해수 취수량 결정 곡선


### 사례 4. 일산 고양난 영농조합


Unframed Perspective  
"뜰에서 벗어난 시각으로 미래를 이끌어 간다"

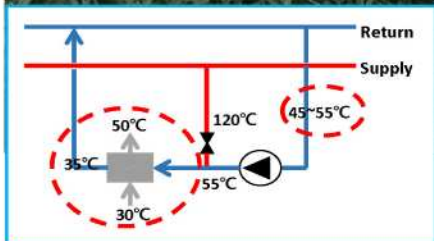
- 기존 지역난방공사 열수송관을 이용한 열에너지 공급
- 저온 회수 배관열 (55 °C) 공급, 필요시 공급 배관열 (120 °C) 활용
- 팬애펠드 시스템과 저면관수 시스템 도입











## 사례 4. 일산 고양난 영농조합

Unframed Perspective  
"틀에서 벗어난 시각으로 미래를 이끌어 간다"

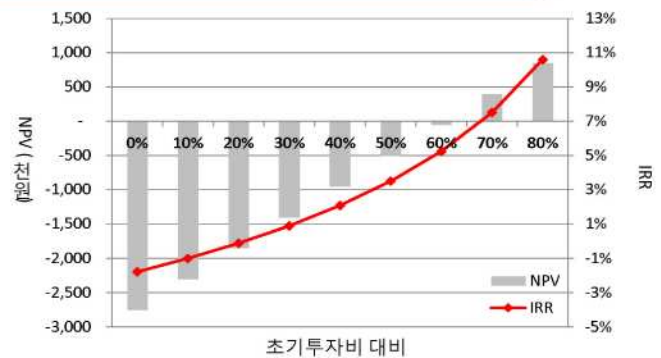
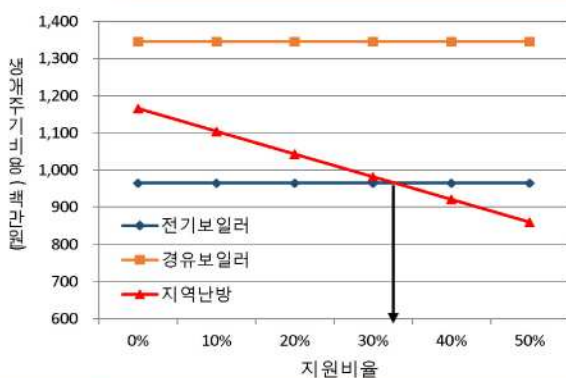


## 사례 4. 일산 고양난 영농조합 - 집단에너지 경제성

Unframed Perspective  
"틀에서 벗어난 시각으로 미래를 이끌어 간다"

### ❖ 집단에너지 사용 경제성 분석 결과

- 지역난방 요금 세제 감면에 따른 민감도 분석
  - 농업용 전기 판매단가는 일반전기 판매단가 대비 **38% 수준**임
  - 지역난방 요금 중, **33%** 세제 감면시 전기보일러 생애주기 비용 도달
- 순현재가치(NPV) 및 내부수익률(IRR) 분석
  - 정부지원 최소 61%일 경우, 목표 IRR 5.5% 달성
  - 공사비부담금 80% 지원시 **NPV는 844천원, IRR 10.60%**로 경제성 확보



분석 개요 및 방법

- 국내 공급량과 수요량을 감안하여 국내 수급에 큰 문제가 없을 작물(어종)
- 분석방법: 재무분석, 순현재가치법(NPV, Net Present Value) 사용

분석 이용 자료

- 시설원예: 국립농업과학원, 농가조사, 표준소득자료, 온실전문업체, 통계청 등
- 수산양식: 한국해양과학기술원, 국립수산과학원, 어가조사, 통계청 등

분석 대상 작물(어종)

- 시설원예: 망고(애플망고를 타겟으로 하였으나 데이터 부족으로 망고로 대체)
- 수산양식: 돌돔

망고 재배 투자비용

	단위	금액		
		유리온실 기준	경질판온실 기준	비닐온실 기준
온실	백만원/ha	3,928	3,456	1,233
온수배관	백만원/ha	348	348	348
열교환탱크	백만원/ha	320	320	320
히트펌프	백만원/ha	816	816	816
계	백만원/ha	5,412	4,940	2,717

- 유리온실: 지붕 4mm 강화유리, 측벽 4mm 맑은유리
- 경질판온실: 지붕 불소필름 혹은 PO필름, 측벽 PC복층판
- 비닐온실: 지붕 및 측벽 PO필름
- 온배수 배출구와 원예단지까지의 이격거리: 1Km 이내
- 배관 규격 및 설치방식: 315mm PE관, 지상설치 기준, 2라인
- 히트펌프: 난방부하 검토, 수전포함, 300RT규모



온배수 이용 망고 생산비 비교

	(원/10a)	경유이용(A)	온배수이용(B)	증감률(%) (B-A)/A
	과수원조성비	210,000	210,000	-
	비료비	468,100	339,300	-27.5
	농약비	406,100	633,900	56.1
	수도광열비	6,653,200	3,839,300	-42.3
	농구비	1,986,000	2,076,700	4.6
	시설상각비	1,712,700	2,202,200	28.6
	기타	863,700	1,000,000	15.8
	임차료/고용노동비	598,800	608,800	1.7
<b>경영비 계</b>		<b>12,898,600</b>	<b>10,910,200</b>	<b>-15.4</b>
	자가노동비	4,628,000	5,221,600	12.8
	각종용역비	589,200	789,900	34.1
<b>생산비 계</b>		<b>18,115,800</b>	<b>16,921,700</b>	<b>-6.6</b>

온배수 이용에 따른 망고의 수익성 비교



		경유이용(A)	온배수이용(B)	증감률(%) (B-A)/A
	수량(kg)	1,540	1,770	14.9
	단가(원)	26,700	29,300	9.7
조수익(A)	계	41,031,300	51,879,500	26.4
경영비(B)	원/10a	12,898,600	10,910,200	-15.4
생산비(C)	원/10a	18,115,800	16,921,700	-6.6
소득(A-B)	원/10a	28,132,700	40,969,300	45.6
이윤(A-C)	원/10a	22,915,500	34,957,800	52.6

## 온배수 이용 경제적 파급 효과

Unframed Perspective  
"틀에서 벗어난 시각으로 미래를 이끌어 간다"

### 망고 재배 경제성 시나리오

백만원/ha		유리온실 기준	경질판온실 기준	비닐온실 기준
초기투자비용	계(A)	5,412	4,940	2,717
농가부담액 시나리오	100%(A×1)	5,412	4,940	2,717
	50%(A×0.5)	2,706	2,470	1,359
	20%(A×0.2)	1,082	988	543
연이윤(조수익-생산비)		350		
이자율 시나리오		2.0%, 2.5%, 3.0%		

### 망고 재배 투자회수기간

	유리온실 기준	경질판온실 기준	비닐온실 기준
이자율	2.0~3.0%		
농가부담 100%	19~21년 이상	17년~19년	9년
농가부담 50%	9년	8~9년	5년
농가부담 20%	4년	3년	2년

KE-TI Korea Electronics Technology Institute

KREI Korea Rural Economic Institute

35/40

## 온배수 이용 경제적 파급 효과

Unframed Perspective  
"틀에서 벗어난 시각으로 미래를 이끌어 간다"

### 돌돔 양식장 투자비용

	단위	비용
양식장	백만원/ha	16,476
온배수관	백만원/ha	348
열교환탱크	백만원/ha	320
히트펌프	백만원/ha	475
계	백만원/ha	17,619

- 육상수조식 기준
- 양식장 공사내역: 양식조, 정화시설, 관리동, 창고, 취수설비, 양식시설, 펌프/여과시설, 산소공급장치
- 온배수 배출구와 양식장까지의 이격거리: 1Km 이내
- 배관 규격 및 설치방식: 315mm PE관, 지상설치 기준, 2라인
- 히트펌프: 난방부하 검토, 수전포함, 192RT규모

KE-TI Korea Electronics Technology Institute

KREI Korea Rural Economic Institute

36/40



온배수 이용에 따른 돌돔의 경영비 비교

	천원/10a	관행양식(A)	온배수이용(B)	증감률(%) (B-A)/A
종묘비/재료비		17,200	21,700	26.0
사료비		25,800	32,500	26.0
광열비		25,000	10,600	-57.6
인건비		22,750	27,800	22.2
기타		7,500	9,200	23.0
계		98,250	101,800	3.6

- 육상수조식 기준
- 인건비: 종묘운영인건비, 양성운영인건비, 일용인건비 등
- 기타: 동력비와 일반관리비 포함



온배수 이용에 따른 돌돔의 수익성 비교

		경유이용(A)	온배수이용(B)	증감률(%) (B-A)/A
	수량(kg)	12,700	17,100	35.0
	단가(원/kg)	14,000	14,000	-
조수익(A)	계(천원/10a)	177,400	234,200	32.0
경영비(B)	천원/10a	98,50	101,800	3.6
소득(A-B)	천원/10a	79,170	132,400	67.2

돌돔 양식 경제성 시나리오

백만원/ha		투자비용
초기투자비용	계(A)	17,600
농가부담액 시나리오	100%(A×1)	17,600
	50%(A×0.5)	8,800
	20%(A×0.2)	3,500
연이윤(조수익-생산비)		1,324
이자율 시나리오		2.0%, 2.5%, 3.0%

돌돔 양식 투자회수기간

	회수기간
이자율	2.0~3.0%
농가부담 100%	16~18년
농가부담 50%	8년
농가부담 20%	3년



# 종합토론 및 질의응답

---

**좌장**

**이 상 훈**

**소속 및 직위**

한국에너지공단 신재생에너지센터 소장

**주요경력**

(현) 산업부 신·재생에너지정책심의회 위원

(전) 녹색에너지전략연구소 소장

(전) 세종대 기후변화센터 연구실장

(전) 환경연합 정책실장, 처장(93~08년)

---

**토론자**

**이 진 석**

한국에너지기술연구원 책임연구원

**오 시 덕**

(주)블루이코노미전략연구원 대표이사

**강 석 원**

농촌진흥청 농업연구관













