KUSCO 정책동향보고서

미국의 에너지 환경 연구 동향

2012. 4

KUSCO
KOREA - U.S. SCIENCE COOPERATION CENTER

목차

1. 개요

1) 정책 방향
2) ARPA-E

2. 석유 대체 자원 연구

3. 교통용 에너지 솔루션 연구

4. 축열 기술 연구

5. 배출 탄소 제거 기술

6. 송전 시스템 개선

References

미국의 에너지 환경 연구 동향

1. 개요

1) 정책 방향

○ 2011년도 에너지부 예산안의 전략적 우선순위는 다음 세 가지였다.

(1) 직면한 에너지 문제를 해결할 수 있는 과학, 발견을 위한 기술 혁신에 투자

(2) 깨끗하고 안전한 에너지 제공과 에너지 효율성을 통해 경제적 번영을 증진

(3) 핵 및 방사능 물질의 보호와 핵 억지력 유지

○ 2012년도 예산안에서는 이 세 가지 우선순위들이 약간 변형된 형태로 제안되었다.

(1) 변형적 에너지 (Transformational Energy) : 클린 에너지 이용한 경제활동과 클린 에너지 기술 분야에서 미국의 리더십을 유지, 강화

(2) 경제적 번영 (Economic Prosperity) : 경제적 번영과 에너지 효율성 및 안전성 확보의 초석이 되기 위한 과학과 공학 분야의 노력

(3) 원자력 안보 (Nuclear Security) : 국방, 비확산, 해군 원자로, 환경 정화 등을 통하여 에너지 안보를 강화

2) The Advanced Research Projects Agency - Energy ARPA-E

○ 에너지 (ARPA-E)는 2009년도에 ‘미국 복구 및 재투자 법’ (American Recovery and Reinvestment Act) 에 의하여 책정된 4억 달러의 예산으로 시작되었다.

○ 국가적으로 직면하고 있는 장기적 에너지 문제의 해결을 위하여 반드시 필요한 과학기술이지만 업계에서 초기 지원에 적극 나서지 않는 ‘고위험-고수익’ 연구 개발 프로젝

트 지원을 임무로 하고 있다.

○ 최근 Department of the ARPA-E에서는 미국 에너지 생산과 이용에 있어 획기적인 발전을 가져올 수 있는 60개의 첨단 연구 프로젝트를 발표했다.

○ 2011년도 예산 1억 5,600만 달러부터 투입되는 새로운 ARPA-E는 바이오 연료, 열 저장, 그리드 컨트롤 및 태양광 발전 등 부족해지는 에너지 자원의 대안을 마련하고 클린 에너지 분야에서 미국의 경쟁력을 획기적으로 높이는 것에 중점을 두고 있다.

2. 석유 대체 자원 연구 : PETRO : HIGHER PRODUCTIVITY CROPS FOR BIOFUELS

프로젝트 수	10
기금운영 개시	2011 년도
총 투자금액	3,630만 달러

1) 프로그램의 내용

○ ARPA-E' PETRO 10개 연구 프로젝트들을 종합하면 "석유를 대체할 식물공학 연구"라고 할 수 있는데, 교통수단 연료로 직접 사용 가능한 비식용 작물의 개발을 목표로 하고 있다.

○ 이 작물들은 자동차 등 교통수단의 연료로서 가격 경쟁력을 갖추고 농업 분야에서 미국의 식량 생산에 지장을 주지 않을 수 있을 것으로 평가된다.

○ PETRO는 에너지 생산 과정을 재구성하고 그 과정에서의 이산화탄소 배출을 억제하며, 석유 기반 연료에 대한 국내적 대안 역할을 전담할 수 있는 에너지 작물을 만드는 등 단위 면적당 더 많은 에너지를 제공할 것이다.

2) 혁신의 필요성

○ 석유에 대한 수요는 증가하는 반면 전 세계 석유 공급은 감소하고 있는 상황에서 효율적이고 재활용 가능한 에너지의 범위는 매우 한정되어 있다.

○ 이에 따라 지금도 수많은 교통기관들에서는 석유를 연료로 사용하고 있고 그것은 대기오염을 증대시키며 온실가스 배출을 계속하고 있다.

○ 이 프로그램에서는 식물로부터 직접 연료를 생산할 수 있는 새로운 작물의 유전학적 개발 방법을 모색하고 있다. 이를 위해 PETRO 사업은 다양한 시도를 통하여 수송 부문의 환경을 제한하고 있는 석유에 대한 안정적이고 경제적 대안을 제공할 것이다.

3) 기대효과

○ 성공할 경우 경쟁력 있는 비용으로 자동차와 비행기를 위해 석유 기반의 연료를 대체할 수 있는 바이오 연료의 생산이 가능하다. 식물 연료는 사용되는 만큼의 이산화탄소를 식물이 흡수하기 때문에 환경에 미치는 영향은 없다.

-에너지 안보 : 현재 교통기관들은 거의 대부분 수입된 석유에 의존하고 있으나 석유를 대체할 바이오 연료의 상용화는 석유를 수입하는 것에서 비롯되는 미국의 국가적 부담을 감소 내지 제거해 주고 국가의 에너지 안보를 향상시킨다.

-환경 : 미국에서 발생하는 온실가스의 25% 이상은 교통기관에서 비롯되고 있는데, 식물은 자연적으로 이산화탄소를 흡수하므로 환경에 미치는 영향이 없다.

-경제 : 미국은 하루에 10억 달러 이상의 석유를 수입하고 있는데, 이는 전 세계에서도 단일 무역 계정으로 최고 수준이다. 바이오 연료는 국내에서 생산되므로 석유 수입으로 인한 외화 유출을 막을 수 있다.

4) 연구 프로젝트 사례

○ Arcadia Biosciences: Vegetable Oil from Leaves and Stems

-연구 주제 : C4 작물로부터의 식물 오일 생산
-연구 기관 : Arcadia Biosciences Inc. (Davis, CA)
-지원 금액 : 947,026 $
-연구 기간 : 2012/01/01 - 2013/06/30

○ Chromatin: Biofuels from Sorghum

-연구 주제 : 수수로부터 바이오 연료 생산
-연구 기관 : Chromatin, Inc (Chicago, IL)
-지원 금액 : 5,769,589 $
-연구 기간 : 2012/01/01 - 2014/12/31

○ Donald Danforth Center: Improved Light Utilization in Camelina

-연구 주제 : 카멜리나 오일 이용 연구 센터 (CECO)

-연구 기관 : Donald Danforth Center (St Louis, MO)
-지원 금액 : 5,524,564 $
-연구 기간 : 2012/01/01 - 2015/12/31

○ Lawrence Berkeley National Lab: Oil from Tobacco Leaves

-연구 주제 : FOLIUM - 담배 잎에서 탄소 축적 경로 설정
-연구 기관 : Lawrence Berkeley National Lab
-지원 금액 : 4,839,877 $
-연구 기간 : 2012/01/01 - 2014/12/31

3. 교통용 에너지 솔루션 : ELECTROFUELS

프로젝트 수	13
기금운영 개시	2010 년도
총 투자금액	4,450만 달러

1) 프로그램의 내용

○ ARPA-E의 전자연료 프로그램은 미생물을 이용하여 현재의 바이오 연료 생산 방식에 비해 10배 이상 효율성이 높은 교통기관용 액체 연료 생산방법 연구를 목적으로 한다.

○ ARPA-E 는 미국 정부 기관들 중에서 전자연료 연구를 지원하는 유일한 기관이다.

2) 혁신의 필요성

○ 현재 미국의 하루 석유 소비량은 20만 배럴에 이르며 이 중 거의 절반은 수입에 의존하고 있다. 국내에서 생산되는 바이오 연료는 수입 의존도를 감소 및 에너지 안보 강화의 한 방법이 될 수 있다.

○ 대부분의 바이오 연료는 광합성을 통해 만들어진 식물 재료, 식물에 저장된 화학 에너지로 태양 에너지를 변환하는 과정에서 생산된다. 그러나 광합성은 비효율적인 과정이며, 식물의 물질에 저장된 에너지는 바이오 연료를 생산하기 위해 상당한 가공이 필요하다.

○ 또한 현재의 바이오 연료 생산 방법은 매우 자원 및 자본 집약적인 성격을 갖고 있어서, 물, 비료 및 작물을 재배하기 위한 넓은 토지 등 추가적 자원을 필요로 하고 있다.

○ 광합성을 이용한 바이오 연료 생산법은 두 가지인데, 일반적 방법은 식물을 키워서 식물로부터 얻어진 당(sugar)을 효모나 미생물을 이용하여 발효시켜 연료를 만드는 것이다.

○ 다른 방법은 광합성 미생물을 이용하여 연료를 직접 만드는 것인데, 조류를 이용하여 바이오 디젤 원료를 만들거나 가솔린이나 탄화수소를 직접 만들 수 있는 미생물을 연구하는 것이다.

○ ARPA-E 에 의하여 연구 중인 방법은 유기체와 태양전지를 결합시키는 것이다. 특정 미생물들은 전기를 이용하여 메탄과 같은 유기분자를 만들 수 있다는 것이 밝혀졌기 때문이다.

○ 또 다른 방법으로는 극한 미생물 (extremophiles)을 이용하는 것이다. 이 미생물들은 매우 뜨겁거나 산성조건 같은 극한 환경에서 살아가는데 이들이 만들어내는 효소가 공업 공정에서 필요한 고온 조건을 견딜 수 있다는 이유로 연구되어왔으며 최근 이들의 유전자에 관한 연구로부터 이산화탄소를 유기물질로 변화시키는 전체 대사경로가 밝혀져 이것의 조작을 통한 연료 개발이 진행 중이다.

3) 기대 효과

○ 이 연구가 성공한다면, 기존의 바이오 연료에 비하여 10 배 더 효율적이고 경쟁력 있는 액체 수송 연료를 만드는 것이다.

○ 에너지 안보 : 국내에서 생산되는 바이오 연료는 수입 의존도를 감소 및 에너지 안보 강화에 도움을 준다.

○ 환경 : 전자연료의 광범위한 사용은 온실 가스 배출량을 감소시키고 토지, 물, 그리고 전통적으로 바이오 연료를 생산하는 데 필요한 비료에 대한 수요를 줄일 것이다.

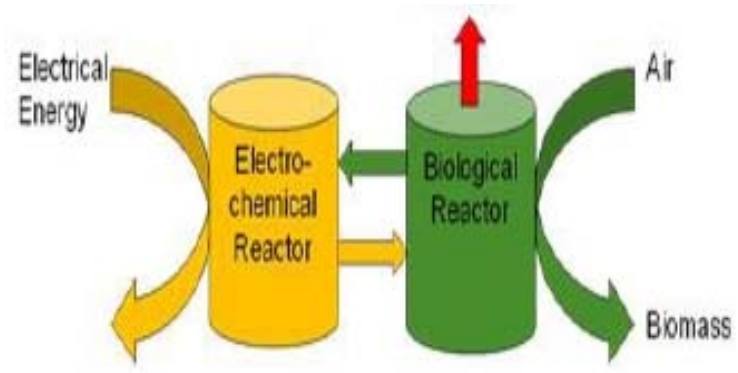
○ 경제 : 국내 전자연료 산업은 국가 경제에 수백억 달러 가치의 공헌을 할 수 있다. 또한 전자연료의 광범위한 사용은 가솔린 가격 안정에 도움을 줄 수 있다.

○ 고용 : 전자연료의 생산, 유통, 판매 부문에서 고용을 창출한다.

4) 연구 프로젝트 사례

○ Columbia University: Biofuels from Bacteria, Electricity, and CO2

-연구 주제 : 이산화탄소를 이용하는 암모니아 및 산화철 박테리아로부터의 전자연료 생산
-연구 기관 : 컬럼비아 대학교
-지원 금액 : 1,519,976 $
-연구 기간 : 2010/07/01 - 2013/06/30

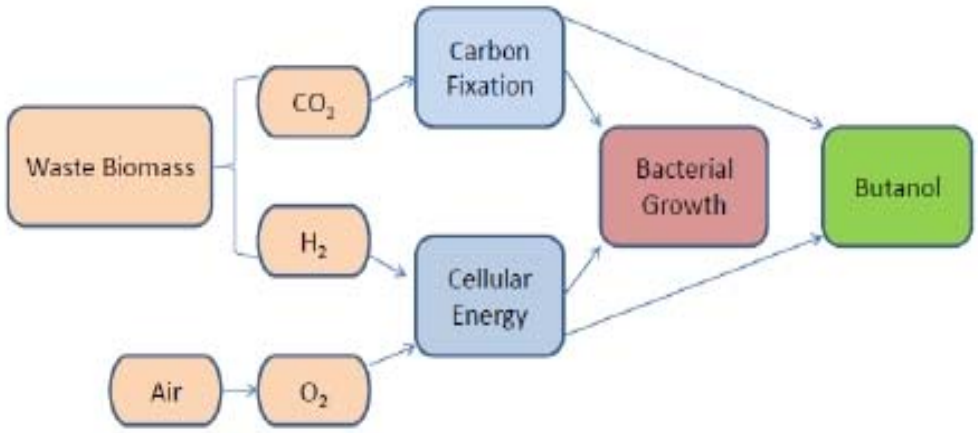


○ Harvard: Fuel from Bacteria, CO2, Water, and Solar Energy

-연구 주제 : 세균성 역방향 연료전지
-연구 기관 : 하버드 대학교
-지원 금액 : 4,914,125 $
-연구 기간 : 2010/07/01 - 2013/06/30

○ The Ohio State University: Fuel from Bacteria

-연구 주제 : Bioconversion of Carbon Dioxide to Biofuels by Facultatively Autotrophic Hydrogen Bacteria
-연구 기관 : 오하이오 주립대학교
-지원 금액 : 3,997,349 $
-연구 기간 : 2010/07/01 - 2013/06/30



○ UCLA: 재생 배터리 및 박테리아로부터의 액체 연료

-연구 주제 : 재생 배터리 및 박테리아로부터의 액체 연료
-연구 기관 : UCLA
-지원 금액 : 4,000,000 $
-연구 기간 : 2010/07/01 - 2013/06/30

4. 축열기술 연구 : HEATS

프로젝트 수	15
기금운영 개시	2011 년도
총 투자금액	3,730 만 달러

1) 프로그램의 내용

○ 15개의 HEATS 프로그램 프로젝트들은 혁신적인 첨단 에너지 축열 기술 개발을 목표로 하고 있다.

○ 이 목표는 세 가지 방향으로 이루어질 수 있는데,

-비용면에서 효율적인 고온 태양열 축열 기술 개발
-태양광 열 전환 기술을 이용하여 효율적인 합성 연료를 개발
-전기 자동차 등 축열 기술 이용 가능한 범위를 확장

2) 혁신의 필요성

○ 축열 기술은 모든 에너지 기술의 90%와 연관되어 있는데, 열을 효율적으로 저장하는 방법은 가장 핵심적인 것이기 때문이다. 많은 프로젝트들은 태양 에너지 이용 시설들을 보다 효율적으로 이용하기 위한 방법을 모색하고 있다.

○ 이 프로젝트들은 또한 핵 폐기물 배출 없이 원자력 에너지를 이용하고 저장하는 방법을 찾고 있다.

○ 그리고 태양광을 열로 전환시키는 기술을 이용하여 효율적인 합성 연료를 개발, 교통기관에 이용 가능하도록 한다.

3) 기대 효과

○ 이 프로젝트들이 성공할 경우 축열 기술을 이용하여 하루 24 시간 열을 생성하는 태양열 발전소, 원자력 발전소에 대한 수요를 충족, 태양광을 이용한 합성연료의

생산으로 교통기관 연료의 수요도 충족 가능하다.

○ 에너지 안보 : 비용 등 다방면에서 효율적인 축열기술을 이용하면 화석 연료의 사용을 감소시켜 국가적 에너지 안보를 강화 가능하다.

○ 환경 : 열 에너지 발전은 화석 연료 기반의 전력 사용과 석탄 연소 발전소에서 유해한 배출을 감소하는 데 도움 수 있으며, 전기 자동차의 광범위한 사용은 또한 수송 부문에서 유해 배출물을 줄일 것이다.

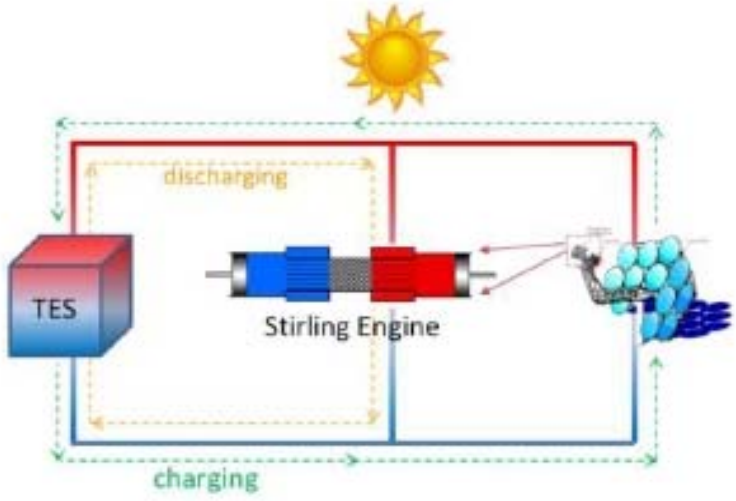
○ 경제 : 열 에너지 저장 시스템은 소비자 전기 요금을 안정에 도움이 될 수 있는 원자력 및 재생 가능한 태양 에너지로부터의 전력 생산을 가능하게 할 뿐 아니라 관련 산업의 성장을 가능하게 한다.

○ 고용 : 발전된 에너지 저장 기술, 축열 기술, 그리고 전기 자동차 기술의 광범위한 이용은 공학, 제조, 건설 부문 일자리를 창출한다.

4) 연구 프로젝트 사례

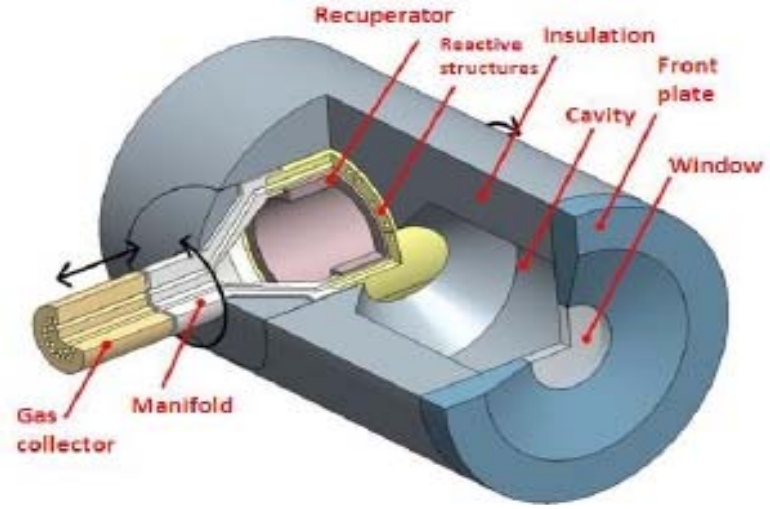
○ Massachusetts Institute of Technology: 효율적 축열 물질 연구

-연구 주제 : 고온 축열 금속성분 전환 물질
-연구 기관: MIT
-지원 금액 : 874,679 $
-연구 기간 : 2011/11/21 - 2014/11/20



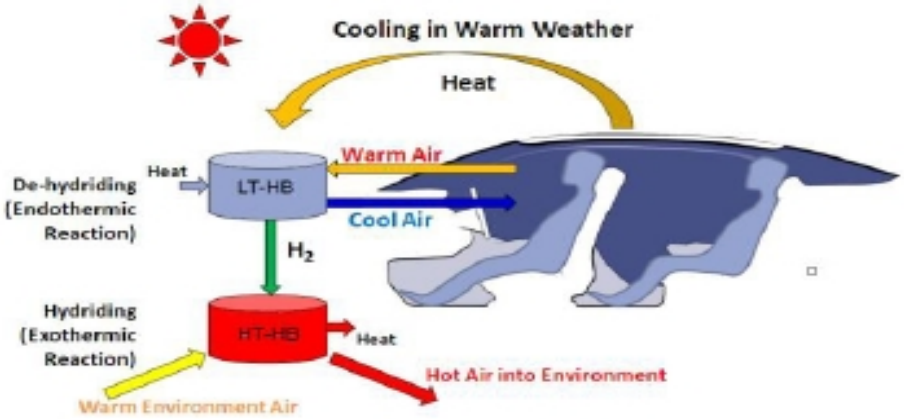
○ University of Minnesota: Solar Thermochemical Fuels Production

-연구 주제 : 부분적 레드옥스 사이클을 통한 태양 연료 생산
-연구 기관 : 미네소타 대학교
-지원 금액 : 3,599,792 $
-연구 기간 : 2011/12/19 - 2014/12/18



○ University of Utah : 응용금속 및 수소를 이용한 열전지

-연구 주제 : 응용금속 및 수소를 이용한 열전지
-연구 기관 : 유타 대학교
-지원 금액 : 2,677,667 $
-연구 기간 : 2011/12/01 - 2014/11/30



○ University of South Florida : 효율적 경로 변화 물질

-연구 주제 : 향상된 방사선 열전달과 상변화 재료를 사용하여 저가의 열 에너지 저장 시스템의 개발
-연구 기관 : 사우스 플로리다 대학교
-지원 금액 : 2,439,540 $
-연구 기간 : 2011/12/05 - 2014/12/04

5. 배출 탄소 제거 기술 : Innovative Materials & Processes for Advanced Carbon Capture Technologies (IMPACCT)

프로젝트 수	15
기금운영 개시	2010 년도
총 투자금액	3,370 만 달러

1) 프로그램의 내용

○ IMPACCT의 15개 프로젝트는 기존 화력 발전소에서 배출되는 탄소 제거 비용을 낮추는 것을 목표로 하고 있다.

○ 탄소 제거 기술을 위한 혁신적 물질과 공정 개발이라고 할 수 있는 이 프로그램은 이전에 고려되지 않았던 재료와 프로세스의 개발에 의해 화력 발전소 배기로부터 이산화탄소 (CO2)를 제거하는 비용을 최소화 하는 것이다.

○ 이를 통하여 석탄을 이용하는 기존의 화력 발전소들이 온실 가스를 감축하면서 가동을 계속 할 수 있는 기회를 만들어준다.

2) 혁신의 필요성

○ 석탄을 이용한 화력 발전은 미국 내 전기 수요의 약 50%를 공급하고 있는데, 탄소 제거 기술의 적용이 없다면 계속되는 이산화탄소의 증가로 인하여 지구 환경 시스템에

심각한 결과를 초래하게 된다.

○ 미국의 에너지 포트폴리오에서 중요한 자리를 보유하고 있는 석탄 및 국내 천연 자원을 활용하는 능력을 유지하면서 화력 발전소가 배출하는 이산화탄소를 제거할 수 있는 새로운 재료와 공정 개발은 환경에 대한 피해를 최소화시킨다.

○ 과거 10년간의 연구와 개발에도 불구하고 탄소 제거 기술 개발은 쉽게 해결되지 못하고 있는 실정인데, 가장 큰 문제는 감당하기 어려울 정도의 높은 비용이다.

○ 미국이 환경을 개선하고 세계 리더로서의 위치를 유지하기 위해서는 보다 광범위하고 효율적인 탄소 제거 시스템의 실현을 가능하게 하는 물질과 공정의 개발이 시급하다.

3) 기대 효과

○ IMPACCT가 성공한다면 효율적인 탄소 제거 기술을 통하여 저렴한 비용과 풍부한 국내 석탄 자원의 지속적인 이용이 가능하게 되는 동시에, 유해한 온실 가스 배출을 줄일 것이다.

○ 에너지 안보 : 석탄은 당분간 미국 전기 수요의 대부분을 공급하는 역할을 할 것이다. 신재생 에너지 산업 발전으로 풍부한 국내 자원의 지속적인 사용으로 안정적인 전기 확보를 가능하게 한다.

○ 환경 : 미국 내 연간 탄소 배출량의 약 30%는 석탄에서 비롯되고 있다. 탄소 배출을 감축시키는 기술의 개발을 통하여 대기 중에 배출되는 이산화탄소를 8억톤 이상 줄일 수 있다.

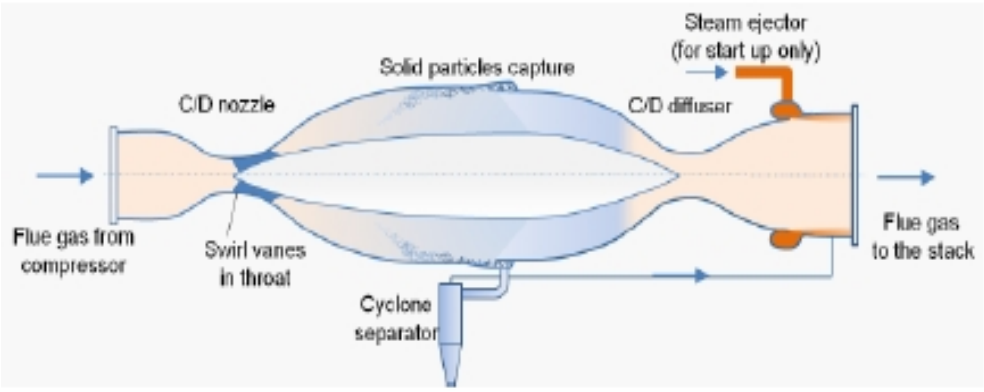
○ 경제 : 현재 상태로서는 탄소 제거 및 저장 기술을 위한 비용은 전기 생산비용의 80% 이상을 차지하게 된다. 이러한 기술에 대한 투자를 통하여 기업 및 개인 전기요금 부담을 1년에 수십억 달러 이상 줄일 수 있다.

○ 기존 화력 발전소의 배출 가스 감축을 위한 제조, 건설, 엔지니어링 분야에 수 많은 숙련 노동자들을 필요로 하게 된다.

4) 연구 프로젝트 사례

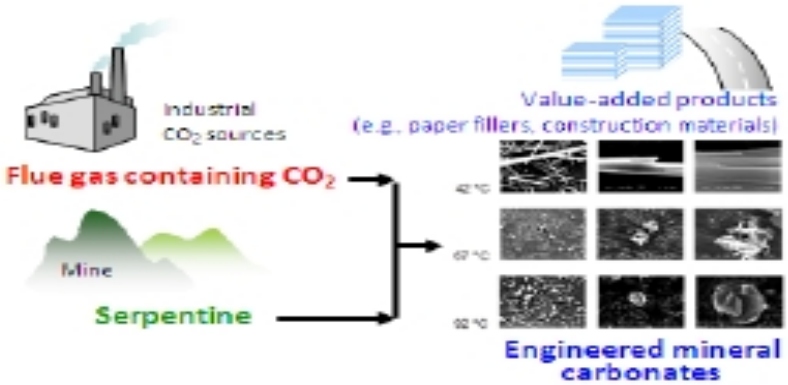
○ Alliant Techsystems: Supersonic Technology for CO2 Capture

-연구 주제 : 고효율 관성 이산화탄소 추출 시스템
-연구 기관 : Alliant Techsystems
-지원 금액 : 2,684,881 $
-연구 기간 : 2010/07/01 - 2013/06/30



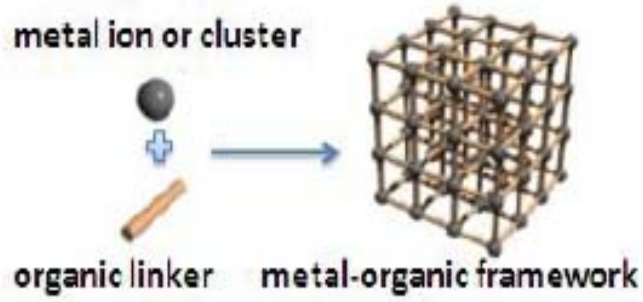
○ Columbia University: Chemically Accelerated Carbon Mineralization

-연구 주제 : 새로운 탄소 제거 및 저장 기술로서 규산 광물의 화학적 및 생물학적 촉매기능 향상
-연구 기관 : 컬럼비아 대학교
-지원 금액 : 1,266,675 $
-연구 기간 : 2010/07/01 - 2013/06/30



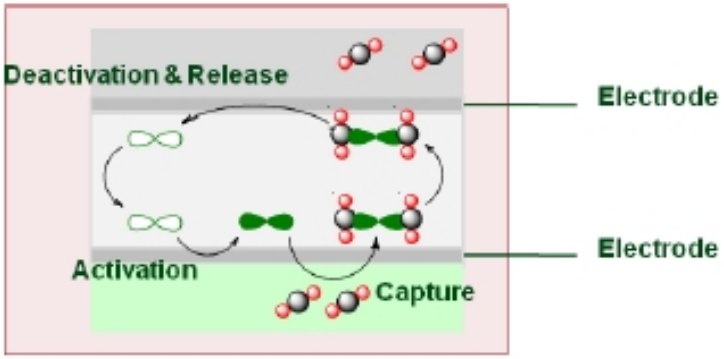
○ Lawrence Berkeley National Laboratory: Metal Organic Framework Research

-연구 주제 : 금속성 유기 프레임워크 연구
-연구 기관 : Lawrence Berkeley National Laboratory
-지원 금액 : 3,867,851 $
-연구 기간 : 2010/08/15 - 2013/08/15



○ MIT: CO2 Capture Using Electrical Energy

-연구 주제 : 전기에너지를 이용한 탄소 제거 기술
-연구 기관 : MIT
-지원 금액 : 1,000,000 $
-연구 기간 : 2010/07/01 - 2012/06/30



6. 송전 시스템 개선 : Green Electricity Network Integration (GENI)

프로젝트 수	15
기금운영 개시	2011 년도
총 투자금액	3,940 만 달러

1) 프로그램 내용

○ 녹색 전기 네트워크 통합은 전기 그리드를 위한 하드웨어 및 소프트웨어의 발전을 통해 미국의 송전 방식 현대화를 목표로 하고 있다.

○ 이러한 발전은 전력 전송의 효율성과 안정성을 향상시킬 것이며, 그리드가 활용할 수 있는 재생 가능한 에너지의 양이 증가하고, 더 나은 피크 전력 수요 및 비용을 관리하기 위해서 에너지 공급자의 관리능력을 향상시킨다.

2) 혁신의 필요성

○ 현재 미국에서 발전소에서 가정과 기업으로 전기를 공급하는 전송 라인 구성 요소들의 30% 이상이 수명이 거의 다한 상태이다. 이에 따라 비국 내 발전소에서 생산되는 전기의 약 10%는 송전 과정에서 손실되고 있으며 이로 인한 비용은 연간 약 800억 달러에 이른다.

○ 그리드의 신뢰성을 향상시키고 미국의 에너지 믹스에 대한 주요 공급 방식으로 태양열과 풍력 같은 전력 자원을 함께 활용하기 위해, 그리드의 개념적 전환과 송전 시스템에 있어 보다 발전적이고 유연한 설계가 필요하다.

○ 연구 개발된 첨단 소재로 만들어진 파워 플로우 컨트롤러와 같은 GENI 시설의 발전은 송전 시스템에서 에너지의 손실을 방지하고 보다 탄력적인 운영이 가능하도록 한다.

○ 또한 이 기술은 그리드 작업을 최적화하기위한 컴퓨팅 및 데이터 통신에 활용으로 시간적 요구에 전력 공급을 일치하고, 산발적으로 사용 가능한 재생 가능 전력 소스와 그리드 수준의 전력 저장 장치를 관리하는 효과적인 방법을 찾을 수 있도록 한다

3) 기대 효과

○ 에너지 안보 : 보다 효율적이고 신뢰할 수 있는 그리드는 시스템상의 예기치 못한 공격이나 장애에 효율적으로 대처할 수 있다.

○ 환경 : 발전된 그리드는 풍력 또는 태양열 발전과 연계 시 10배 이상의 효율을 증대시킬 수 있어 미국 내 전기 생산 과정에서 배출되는 이산화탄소의 양을 40% 이상 감축시킬 수 있다.

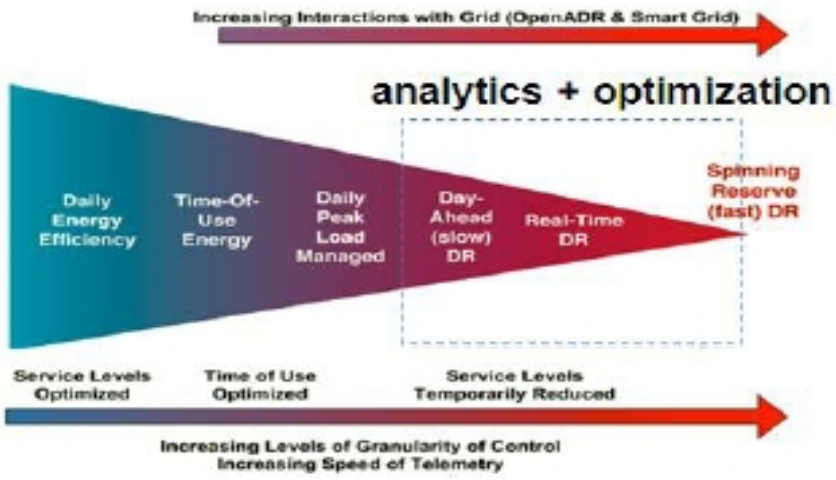
○ 경제 : 보다 효율적이고 신뢰할 수 있는 그리드는 비용이 많이 드는 정전 및 자동화된 장비를 줄여 미국 기업을 그것으로 인한 부담으로부터 보호할 것이다.

○ 고용 : 첨단 그리드 부문 발전은 IT를 비롯한 다양한 영역에서 고급 기술 인력에 대한 수요를 증대시킨다.

4) 연구 프로젝트 사례

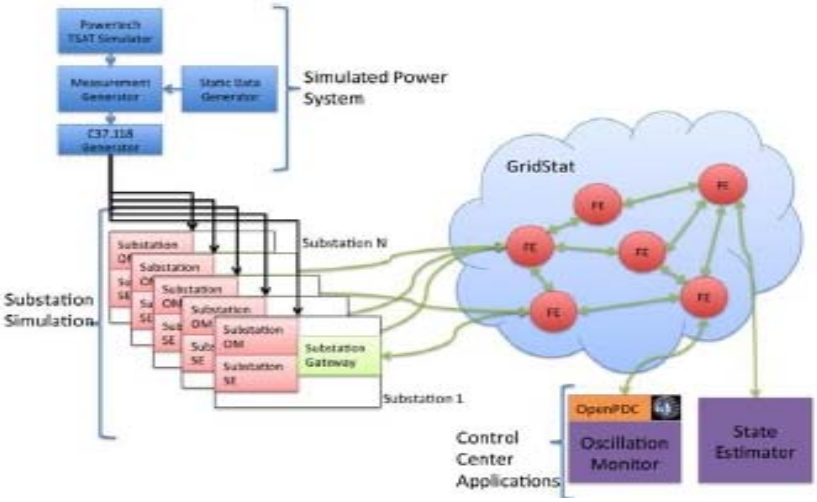
○ AutoGrid Systems: Integration of Renewables Via Demand Management

-연구 주제 : 분산 수요에 대응 가능한 통합 관리
-연구 기관 : AutoGrid Systems
-지원 금액 : 2,865,461 $
-연구 기간 : 2012/01/11 - 2015/01/10



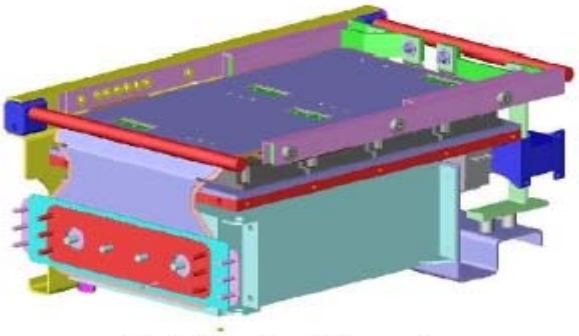
○ Cornell University: Cloud Computing for the Grid

-연구 주제 : 그리드 컨트롤 : 스마트 그리드 지원을 위한 클라우드 플랫폼
-연구 기관 : 코넬 대학교
-지원 금액 : 1,300,000 $
-연구 기간 : 2012/02/08 - 2015/02/07



○ Michigan State University: Power Flow Controller for Renewables

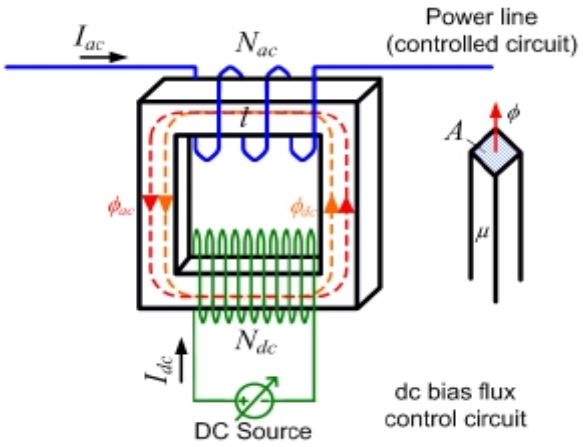
-연구 주제 : 재활용을 위한 전력 흐름 제어
-연구 기관 : 미시간 주립대학교
-지원 금액 : 2,400,000 $
-연구 기간 : 2012/02/08 - 2015/02/07



MSU's high voltage high power inverter technology

○ Oak Ridge National Lab: Magnetic Amplifier for Power Flow Control

-연구 주제 : 전력 흐름 제어를 위한 자기 증폭장치
-연구 기관 : Oak Ridge National Lab
-지원 금액 : 2,400,000$
-연구 기간 : 2012/02/24 - 2013/08/01



References

http://www.aaas.org/spp/rd/rdreport2012/
http://arpa-e.energy.gov/
http://energy.gov/
www.chromatininc.com
www.cd.cornell.edu
www.danfothcenter.org
www.lbl.com
www.me.umn.edu
www.oml.gov
www.wyss.harvard.edu