

**미국 과학기술 분야
동향 보고서 (上)**

2011. 8

목차

1. 미국 사이버 보안 종합계획	3
2. 미국의 외국인·과학자·공학자 현황	10
3. 미국 제조업 R&D투자 우선순위	16
4. 미국 정부 2011 회계연도 R&D 예산(안)	24
5. 미국의 청정에너지 시장 동향	33
6. Energy Frontier Research Center Program	55
7. 지속가능한 에너지미래를 위한 미국의 신과학 정책	72
8. 미국의 녹색 일자리 전망	83
9. 미국의 녹색 일자리 현황과 성장성	90
10. 글로벌 R&D투자 전망	103
11. Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) 인공 광합성 연구 동향	109

미국 과학기술 분야 동향 보고서 (上)

1. 미국 사이버 보안 종합계획

가. 개요

□ 오바마 정부는 사이버보안을 미국이 직면한 가장 심각한 경제적, 국가안보적 도전의 하나로 규정

○ 신정부 출범 직후 정보통신 인프라 방어를 위한 연방정부 활동과 디지털 인프라 보안에 대한 점검을 지시

○ 「사이버공간 정책 리뷰*」에 제시된 권고안**을 채택하고, 국민의 자유와 권리 보장을 위해 일관된 추진 지시

* Cyberspace Policy Review, '09.5.29

** ① 미래의 사이버사고에 대한 조직적이고 통일된 대응, ② 기술적 해법 모색을 위한 공공과 민간의 협력 강화, ③ 최첨단 연구개발에 대한 투자, ④ 사이버보안에 대한 인식 제고 캠페인 및 21세기 디지털 인력양성 시작

- 사이버보안 조정관* 임명 후 권고안 수행 임무 부여

* Executive Branch Cybersecurity Coordinator : 사이버보안 관련 핵심 관계자들의 협력을 지휘하고 대통령에게 정기 보고하는 등 사이버 보안에 대한 전권 행사

○ 「사이버보안 종합계획」은 「사이버공간 정책 리뷰」의 주요 권고안을 달성하기 위한 핵심 역할 담당

- 「사이버보안 종합계획」은 2008년 1월 조지 부시 대통령의 「국가안보에 관한 대통령 명령 54와 23*」에서 처음 시작됨

* National Security Presidential Directive 54 and 23 (NSPD-54/NSPD-23)

- 오바마 대통령은 「사이버보안 종합계획」과 관련 정책들이 사이버보안 전략의 핵심이 될 수 있도록 발전시킬 것을 지시

□ 「사이버보안 종합계획」의 가장 기본적인 목표는 시민의 자유와 사생활권 보호

○ 사이버공간에서 미국을 보호하기 위해 3개의 주요 목표 선정

- ① **당면 위협에 대한 최일선 방어라인 구축** : 네트워크의 취약점을 개선하고, 사이버 위협에 즉각적 대처 능력 강화
- ② **위협에 대한 전방위적 방어** : 첩보활동에 대한 방어 능력 개선 및 핵심 정보 기술에 대한 보안 강화
- ③ **미래 사이버보안 환경 강화** : 사이버 교육 및 R&D 지원 강화, 사이버공간의 적대적 행위 저지를 위한 전략 수립

[참고] 미국의 사이버보안강화법('10.2.)

◇ 연방정부·공공·민간 부문의 사이버보안 향상을 위한 「사이버보안강화법*」이 미국 하원 통과('10.2.4) 후 상원에 제출 중

* Cybersecurity Enhancement Act

- 이 법안은 「사이버보안연구개발법*」을 재승인 및 확장

* Cyber Security Research and Development Act, P.L. 107-305

- 「사이버공간 정책 리뷰」의 권고사항과 하원 과학기술위원회*의 청문회에서 제기된 의견들을 반영

* House Committee on Science and Technology

◇ 미국 사이버보안강화법의 주요 골자

- **주요 내용** : ① 사이버보안 전문인력양성, ② 연방정부 R&D 포트폴리오의 우선순위 조정, ③ 사이버보안 기술의 시장 이전, ④ 사이버보안 교육 진흥 및 일반대중의 인식 제고

- **우선 추진 과제** : 국가적 전략 수립, 민간·공공 부문의 협력강화, 사이버 사고에 대한 통합 대응체제 구축, 사이버보안 R&D 지원, 사이버보안에 대한 국민의식 제고 등

- 국립과학재단*, 국립표준기술연구소** 등 사이버보안 관련 정부기관들의 역할 및 프로그램 운영 계획 명시

* NSF, National Science Foundation

** NIST, National Institute of Standards and Technology

나. 「사이버보안 종합계획」 세부 내용

- 「사이버보안 종합계획」은 국토안보부*와 국가안보국**이 공동 주관하며, 총 12개 항목으로 구성
 - * DHS, Department of Homeland Security
 - ** NSA, National Security Agency

① 연방기관 네트워크의 신뢰성있는 인터넷 접속(TIC*) 관리

- * Trusted Internet Connection
- TIC 계획은 연방정부의 외부 네트워크 접속을 통합함으로써, 보안 강화를 위한 해결방안을 제시
 - 외부 접속점들의 저감을 통해, 보안을 위한 베이스라인 구축
 - TIC를 이용하는 기관들의 보안 유지 보장
- TIC 계획은 백악관 관리예산처*와 국토안보부에 의해 추진됨
 - * Office of Management and Budget

② 연방기관의 침입탐지시스템 배치

- 침입탐지시스템은 비인가된 사용자가 정부 네트워크에 접속하려할 때 감지하여 차단
- 국토안보부는 기 개발된 “아인슈타인(EINSTEIN) 2”*의 배치와 네트워크 보안전문가에 대한 투자 추진
 - * 아인슈타인의 2번째 버전으로, 네트워크 플로우 정보 분석을 통해 연방시스템으로 유입되는 비인가된 접근 및 악의적 콘텐츠를 실시간으로 검사하여 US-CERT(미국 국토안보부 산하 컴퓨터 긴급대응팀)에 정보 제공

③ 새로운 침입방지시스템 개발

- 연방정부 네트워크에 한 차원 높은 사이버공격 대응 능력을 갖춘 “아인슈타인 3”* 개발·도입 추진
 - * 정부 네트워크에 위해가 가해지기 전에 악성 활동을 탐지하고 불법 침입을 무력화하여 연방정부의 네트워크와 시스템을 보호
- 국토안보부는 “아인슈타인 3”의 기능 시험과 취득 정보의 관리 및 보호를 위한 준비 작업 수행

4 R&D 활동의 조정

- 정부에서 지원하거나 수행하는 모든 사이버 관련 R&D 활동의 조정을 위한 전략 및 체계 구축
 - 특정 개인이나 기관이 정부에서 지원하는 사이버 R&D 사업의 일부를 볼 수 없도록 접근 제한
- 정부에서 지원하는 사이버보안 연구의 낭비요소 제거, 연구 격차의 확인 및 R&D 활동의 우선순위 선정

5 상황인지력 제고를 위한 사이버 운영센터와의 연계

- 연방 시스템에 대한 악의적 활동에 대해 정부 정보보안기관과 전략운영센터간의 정보 공유
 - 사이버 활동을 책임지고 있는 6개 센터의 정보 교환 및 협력 강화 지원을 위한 핵심 방안들을 포함
- 국토안보부 소속의 국가사이버안전센터*는 6개 센터 정보의 통합·연계를 통해 정부 네트워크 및 시스템 보안의 핵심적 역할 수행
 - * NCSC, National Cybersecurity Center

6 범정부적 사이버 방첩(CI*) 계획 수립 및 실행

* Counterintelligence, 防諜

- 외국의 사이버 침입을 효과적으로 탐지하고, 방어할 수 있도록 모든 연방기관들의 활동 조정 필요
- 이 계획은 사이버 방첩 교육과 인지 프로그램 확대, 사이버 방첩 관련 인력 개발 및 고용 확대, 방첩활동을 위한 범정부적 협동 확대 등의 내용을 포함
- 사이버 방첩 계획은 「미국 방첩전략('07)*」과 연계 추진되며, 「사이버보안 종합계획」의 타 요소들을 지원
 - * National Counterintelligence Strategy of the United States of America(2007)

7 기밀 네트워크의 보안 강화

- 기밀 네트워크에 대한 침투 및 파괴는 국가 국가보안에 심각한 문제를 야기
 - 기밀 네트워크는 전쟁, 외교, 대테러, 법 집행, 기밀 정보, 국가보안운영 등 연방 정부의 가장 민감한 정보를 보관

○ 따라서, 기밀 네트워크와 내재된 정보에 대한 보안 강화 필요

⑧ 사이버 교육 확대

○ 사이버보안 기술개발에 수십억 달러가 투자되지만, 그 성공을 결정하는 핵심은 우수 인력임

- 「사이버보안 종합계획」 수행을 위한 사이버보안 전문가가 부족하고, 연방정부의 관련 직무 분야 인력도 부재함

- 현재의 교육 프로그램은 분야가 제한적이고 통일성 부족

○ 지속적인 기술 우위 유지 및 사이버보안 확보를 위해, 사이버 분야 우수 인력 양성 체계 구축 필요

⑨ 지속가능한 미래 핵심 기술·전략·프로그램 발굴 및 개발

○ 「사이버보안 종합계획」의 목표 중 하나는 5~10년 이내 구현 가능한 우수 사이버보안 기술 개발

○ 본 계획은 중요한 사이버보안 문제에 대해 정부 R&D 중 고위험-고수익 연구 투자 강화를 위한 전략 수립 및 프로그램 개발을 모색

- 독창적 사고가 요구되는 어려운 문제를 연구하는 연구공동체에 대한 지원 강화

○ 정부는 핵심 연구분야에서 민간과 공동투자 수요 파악 및 협력 추진

⑩ 지속적인 억제 전략 수립 및 프로그램 개발

○ 사이버공간을 안심하고 이용할 수 있도록 중장기적 전략 수립 필요

- 지금까지의 사이버보안에 대한 미국의 접근 방식은 필요한 보안 수준을 성취하지 못함

○ 본 계획은 사이버 공간에서의 공격과 방해를 억제할 사이버보안 전략 수립을 목적으로 함

- 경보 능력 향상, 민간 부문 및 국제 파트너와의 명확한 역할 배분, 적절한 대응 방안 수립 등

11 글로벌 연쇄 위험에 대한 다각적 접근법 개발

- 정보통신의 국제화는 연쇄적 침투로 미국에 해를 끼치려는 음모의 실현 기회를 확대
- 국내와 해외의 연쇄 침투 위험 방지를 위해 제품, 시스템, 서비스 전반에 걸친 전략적·종합적 관리 필요
- 본 계획은 연쇄 침투 위험을 관리 및 저감하는 강력한 수단 제공을 위해 연방정부의 기술과 정책, 관련 절차 개선

12 주요 기반시설까지 사이버보안 적용 확대를 위한 연방정부역할 규정

- 정부가 공공사업을 위해 이용하는 민간소유의 기반시설은 사이버 위협에 취약한 정보 시스템 및 네트워크를 활용
- 연방정부와 공공·민간부문 관계자, 주요 기반시설 및 핵심자원(CIKR*) 운영자 간의 실질적이고 지속적인 파트너십 구축
 - * Critical Infrastructure and Key Resources. 국토안보부는 국가인프라보호계획(NIPP, National Infrastructure Protection Plan)에서 주요 기반시설 및 자원을 CIKR로 명명하고 관리
- 국토안보부와 민간부문 파트너는 공동 활동계획 수립을 통해, CIKR 전반에 걸친 보안과 정보 신뢰성 제고

다. 정책적 시사점

- 우리나라는 세계최고 수준의 인터넷 인프라에 비해, 사이버보안 현황은 상대적으로 열악
 - ※ 평균 인터넷 속도(Akamai, '09년 2분기) : 11Mbps(230개국 중 1위)
 - ※ 기업 사이버보안의 적정성 순위(IMD, '09) : 38위(57개국 중)
- 사이버보안을 위한 중장기 전략 수립 및 협력 강화 필요
 - IT 강국에 걸맞는 사이버보안 체계 구축을 위해 종합적인 법적·제도적 기반 마련 및 중장기 전략 수립
 - ※ 미국 : 「사이버보안 종합계획」('10.3) 수립, 「사이버보안강화법」 제정 추진
 - ※ 일본 : 국가전반에 걸친 연도별 정보보호계획인 「Secure Japan」 수립
 - ※ 영국 : 「사이버보안전략」('09.6) 수립 및 국가사이버보안센터 설립 추진
 - 사이버보안 전담조직 강화와 부처간 조정·연계 강화

- 범부처적 사이버보안 전담기관* 설치 및 기능 강화
 - * 미국의 사이버보안 조정관 : 정부의 모든 사이버 보안 정책을 조정·통합하는 역할을 담당하며, 대통령이 직접 선출
 - ※ 현재 우리나라는 국가정보원이 각 부처별 사이버보안체계의 총괄업무를 담당하고 있으나, 원활한 협력에 어려움이 있음
- 민간 사이버보안 전담조직인 인터넷침해대응센터(KISC)를 단계적으로 확충하여 사이버보안 전문기관으로 육성

□ 우수한 사이버보안 전문인력 양성 강화 필요

○ 정부 주도의 사이버보안 인력 양성 전략 수립

- ※ 중국, 북한 등은 사이버전(戰)을 위한 해커부대를 육성
- 정부는 사이버 보안관 3,000명 양성에 대한 계획을 발표('09.9)하였으나, 실행계획이 미흡
- 우수한 사이버보안 전문인력 양성을 위해 전문학과·대학원 설립 및 재교육 프로그램 개설 검토 필요

○ 우수 해커 지원 강화 및 역할과 기회 창출

- 우수 해커 육성을 위한 해킹대회 활성화와 해외 대회 참여 지원 및 해커 대상 사이버보안 관련 전문 기능 부여

2. 미국의 외국인와 과학자와 공학자 현황

가. 개요

- 미국 의회조사국(Congressional Research Service)은 외국인 과학·공학자 유입과 미국 노동시장의 변화를 검토하는 보고서를 발표
- 미국 과학·공학계의 외국 대학원생 및 이민자 증가 추세에 따른 현황을 파악하고, 미국인의 일자리 보호 측면의 이슈를 검토
 - 미국인 과학자의 권익을 보호함과 동시에 외국 학생의 유치를 촉진하기 위한 시스템 및 관련 법안의 개정 내용 등 소개

나. 미국 교육기관의 외국인 과학·공학자 현황

- '90년 이민법 제정에 따른 H-1B 비자프로그램 도입으로 이민자 수가 증가하였고, 영주권을 소유하게 된 과학·공학자 수도 증가
 - 1980년대 후반 국립과학재단(NSF)이 미국의 과학·공학자 부족현상을 보고한 것을 계기로, 이민법에 고급인력 우대 시스템 도입

① 미국 교육기관의 외국인 학생 수 현황

- 911테러 이후, 외국인 학생의 미국 대학 등록이 현저히 감소
 - 안보문제로 엄격해진 미국의 비자 정책과 중국, 인도, 캐나다의 일부 경쟁력 있는 대학원으로 유학생이 이동한 것이 원인
- 그러나 '08~'09학년도 외국인 학생 수는 전기 대비 8.0% 증가하여, 1980년도 이후 최대의 증가율을 기록
 - 이는 미국 교육기관의 외국 학생 유치를 위한 노력과 비자 발급 기준 완화에 의한 결과

[참고] H-1B 프로그램을 통한 외국인 과학·공학자 증가

- ◇ H-1B 프로그램은 임시 취업비자로 학사이상 및 경력을 갖춘 고급인력을 최장 6년간 고용할 수 있는 제도 (영주권 신청 가능)
- ◇ 2000.10월 미국 21세기 경쟁력법안*을 통해 H-1B 프로그램이 개편되면서, '01~'03년 동안 연간 H-1B 비자 발행 할당량 증가
 - * American Competitiveness in the Twenty-First Century Act of 2000(P.L. 106-313)
 - 6만5천명이었던 한도가 고급인력 확보를 위해 '03년까지 19만5천명으로 상향 조정되었다가, '04년에 다시 6만5천명으로 환원
- ◇ 임시비자 소지 외국인 박사학위 취득자의 56%가 학위 취득 후 미국에 거주하면서 결국 영주권 취득
 - ※ '07~'08년 기간에 10명 중 6명이 영주권을 취득
- ◇ H-1B 비자는 미국 IT기업들의 인력유치에 중요한 수단으로서 기술인력 수급원활화와 개도국의 우수인력 유치에 큰 역할

② 과학·공학 분야 외국인 박사학위 취득자 현황

○ 국립과학재단에 의하면, '06년 박사학위 취득자 중 외국인이 차지하는 비중은 과학분야는 36.2%, 공학분야는 63.6%

- 박사학위 취득자 중 임시비자 소유자는 과학분야가 32.0%, 공학분야가 59.4%

< 2006년 박사학위, 시민권자와 비시민권자 비율 >

구분	과학분야		공학분야	
	박사학위수	비율 (%)	박사학위수	비율 (%)
시민권자	13,274	58.6	2,185	30.4
영주권자	953	4.2	300	4.2
임시비자소유자	7,250	32.0	4,272	59.4
기타	1,186	5.2	434	6.0
합계	22,663	100.0	7,191	100.0

(출처) Science and Engineering Doctorate Awards; 2006, Table 3

(주) 기타는 시민권 소유 여부를 알 수 없는 경우임

③ 외국인 대학원생 지원 현황

- 외국인 대학원생은 학생비자를 유지하기 위해 풀타임으로 등록하고 있으며, 외부취업, 장학금, 정부 보조대출 등이 제한되므로 주로 연구 및 수업조교 등 학교를 통해 재정 보충
- '07년 미국 대학 박사학위 수여자에 관한 보고서*에 따르면, 대부분의 분야에서 외국인 박사과정 학생이 미국 박사과정 학생보다 학교로부터 재정지원을 더 많이 받는 것으로 나타남

* Doctorate Recipients from United States Universities: Summary Report 2006

- 자연과학 분야의 경우, 전체 임시비자 학생의 84.6%, 영주권 소유 학생의 73.1%, 시민권 소유 학생의 58.8%를 재정 지원

다. 외국인 과학·공학자 증가 현상에 대한 이견

□ 외국인 과학·공학자의 긍정적 효과를 강조하는 입장

- 외국인 학생이 납입하는 등록금은 교육기관의 주요 수입원이 되며, 졸업후에도 일부는 잔류하여 미국 경제에 이득을 주고 있다는 견해
 - 고급 인력으로 활동하는 외국인 과학·공학자, 특히 고학력자의 유입 및 취업을 통한 이민에 대해 호의적 입장
 - ※ 일정 분야에서 외국인 대학원생의 비율이 절반 이상을 차지하며, 이들이 없다면 학계·산업계 및 정부 연구기관의 연구는 활기를 잃을 것이라 보고(The National Academies, 2005)
- 외국인의 유입을 막는 것은 미국의 산업경쟁력에 부정적인 효과를 줄 수 있다는 입장
 - 해외의 우수한 인재와 지식의 유입은 미국이 과학기술분야의 선도적 위치를 유지하는데 도움이 된다고 지적

□ 긍정적 측면보다 부정적인 측면을 강조하는 입장

- 외국인 학생의 유입은 미국 소수인종(흑인, 히스패닉)이 이공계 분야로 진출하는 것을 제한하는 원인 중 하나라고 지적
 - 외국인 고급인력의 흡수를 위한 관대한 이민정책으로 인해, 미국 세금이 자국 소수인종을 지원하기보다 외국인을 지원하고 있다고 봄
- 외국인 과학·공학자의 유입은 미국인들의 취업기회 박탈, 임금 삭감, 근로 환경을 악화시키고 있다고 지적

- 미국인이 해고되고 있음에도 H-1B비자가 지속적으로 발행되는 등 다수의 기업이 외국 과학·공학자에 의존하고 있음을 지적
- 외국인 과학기술자들의 유입으로 과학기술자의 전반적인 노동조건 및 임금 수준이 저하되고 있다고 주장
 - ※ 컴퓨터업계에 종사하는 외국인 과학·공학자의 임금은 미국인에 비해 낮으며, 이는 미국인 근로자의 위치도 함께 격감시킨다고 주장

라. 외국인 과학·공학자 관련 법·제도 개선 노력

- 일부 분야의 경우는 제한 필요성이 있지만 모든 분야에 대한 외국인 유입 제한은 미국에 부정적인 영향을 줄 수 있다는 견해 인정
 - 테러국 유학생이 생화학 무기 관련 R&D분야에 진출하는 경우 등 일부 분야는 제한해야 한다는 의견에 따라 모든 외국인 학생을 추적할 수 있는 시스템 마련
 - 국토안보부(DHS)는 유학생 관리시스템(SEVIS)*을 개발하여 외국인 학생들의 입국 및 학교 등록 여부 기록을 추적
 - * Student and Exchange Visitor Information System
 - 테러 관련자들을 색출하기 위한 비자발급절차를 강화하는 한편, 합법적인 외국인 과학자의 입국을 촉진하는 노력도 병행
- 과학기술분야의 미국 과학자의 권익을 보호함과 동시에, 외국 학생의 유치를 촉진하기 위해 법안 개정
 - 포괄이민개혁법* 개정을 통해, 미국에서 교육받은 특정 범주의 외국인의 경우 고용비자에 제한을 받지 않도록 예외를 인정
 - * Comprehensive Immigration Reform for America's Security and Prosperity Act
 - 동시에 이 법에는 미국인 근로자에 대한 보호도 확대하여, H-1B 비자의 외국인 취업 우대를 금지하는 항목도 포함
 - 국제과학 및 기술협력법* 개정을 통해 미국과 외국인 과학자 간의 협력을 촉진
 - * International Science and Technology Cooperation Act

마. 정책적 시사점

□ 미국은 우리와 달리, 과학기술분야에서 외국인 인력이 높은 비중을 차지하고 있는 현실에 대해 고민하는 처지

- 많은 외국 유학생들이 자국 학생에 비해 많은 혜택을 받고 있으며, 학위취득 이후 미국에 잔류하는 비중이 높아지면서 국내 노동시장에서 자국민에 피해를 유발하고 있다고 우려
 - 산업계, 학계, 행정부는 미국의 경쟁력 강화·유지에 도움이 된다는 입장인 반면에 과학기술자 단체, 노동계는 자국민의 노동조건, 임금 등을 악화시킨다는 부정적인 입장
 - ※ 미국은 '80년 이후 과학기술인력의 부족전망에 따라 이민법에 고급인력우대 시스템을 도입하여 이민을 통해 적극적으로 해외 인력을 활용하고 있음

□ 주요국은 해외 과학기술 두뇌의 적극적 유치를 위한 정책을 추진

- 주요국은 해외 우수인재 유치를 위한 각종 유인책*을 제시
 - * 비자 발급 및 영주허가조건 완화, 외국인 취업제도 개선, 연구 지원프로그램 제공
- 특히 중국은 111공정*과 천인계획** 등을 통해 정부가 해외 우수인재 유치에 적극적으로 돌입
 - * 111공정('06.9) : 세계 100위권 대학과 연구소에서 세계적인 1,000명의 인재를 중국에 초빙하여 중국 100개 대학에서 연구 교육하도록 하겠다는 계획
 - ** 천인계획(千人計劃)('09.3) : 1인당 100만 위안의 보조금 제공과 외국인 영주거류증, 각종 의료혜택 등을 걸고 해외 고급인력 1000명을 유치하는 프로젝트

□ 우리나라의 경우 고급 과학기술인력의 공급부족이라는 문제가 과학기술정책의 중요한 이슈

- 우수 인재의 이공계기피, 유학생의 해외 잔류율 증가*, 외국 과학기술인력 유치 미흡** 등으로 향후 우수 과학기술인력 공급이 문제***가 될 전망
 - * 이공계 미국박사 취득자 미국내 체류희망자 비중추이 : ('96~'99) 30.4% → ('04~'07)43.1% (NSF, 'Science and Engineering Indicators, 2010)
 - ** 인구수 대비 과기분야 고급인력의 유입이 OECD 28개국 중 27위 (OECD, 'STI Scoreboard', 2005)
 - *** 학사, 석사는 초과 공급이 예상되나 박사급 이공계인력은 4,500명 부족 전망(국과위, 2008)
- 이에 「이공계인력 육성·지원 기본계획('06~'10)」의 수립·시행 등을 통해 해외 우수 과학기술자·유학생의 국내 유치, 이공계 기피 해소 등을 위해 노력 중

□ 우수 과학기술인력의 지속적인 공급을 위해서는 과학기술인에 대한 경제·사회적 지위 개선을 위한 근본적 노력이 바탕이 되어야 함

○ 한국 유학생이 미국인에 비해 열악한 조건에도 불구하고 귀국보다 미국잔류를 희망하는 것은 과학기술자로서의 경제적·사회적 지위 측면에서 한국행보다 미국잔류에 비교우위가 있기 때문

※ 한국유학생이 미국에서 귀국하지 않기로 결정하는데 ‘미국 직장의 근무 여건’(30.8%), ‘과학기술인에 대한 높은 사회적 인식과 대우’(20.0%) 등이 주요한 원인(과학기술인력정책 주요 현안 분석 및 대응 방안, KISTEP, 2009)

○ 과학기술인의 경제·사회적 지위 개선이 갖는 귀국 유인 효과는 미국의 외국 과학·공학자에 대한 비판적 의견이 강해질수록 더욱 커질 것으로 기대

- 이러한 효과는 유학지·근무지로서 외국인에 대한 한국의 매력도 측면에도 마찬가지로 효과를 가질 수 있음

□ 또한, 해외 우수과학기술인력의 유치·활용 확대와 국내 정주 및 연구활동 기반 구축 강화를 위한 정책 추진 필요

○ 세계적 수준의 연구중심대학(WCU) 및 연구센터(WCI) 육성사업 확대와 국제연구인력 교류사업 확대 추진을 통해 해외 우수 과학기술인력 유치·활용 강화

○ 개도국의 우수 학자·학생에 대한 장학금 확대 및 국내 대학·대학원 진학 지원을 통해 개도국의 우수 두뇌 유치 확대

○ 과학기술 전문인력을 위한 출입국 및 비자제도 개선 추진, 외국 인력의 국내 연구활동 및 정주 관련 서비스 선진화

3. 미국 제조업 R&D 투자 우선순위

가. 개요

- 현재 미국 제조업 분야는 세계화에 따른 많은 기회와 도전에 직면
 - ※ 이에 대한 자세한 논의는 상무부의 2004년 보고서 ‘미국의 제조업’ 참고 (U.S. Department of Commerce, *Manufacturing in America : A Comprehensive Strategy to Address the Challenges to U.S. Manufacturers*, 2004.1)
- 이러한 도전에 가장 효과적으로 대응하는 것은 R&D를 통한 혁신과 이를 고부가가치 상품과 효율적인 프로세스에 적용하는 것이라는 데 대해 광범위한 동의 형성
- 국립과학기술위원회(NSTC) 산하 제조업 R&D에 대한 범부처 워킹그룹(The Interagency Working Group, IWG)은 15개 관련 연방부서의 참여 하에 2004~2005년간 공동연구를 수행하여 미국의 산업과 국가 경제, 안보에 중요하고 잠재력이 높은 아래 세 가지의 제조업 관련 우선 투자 연구 분야를 선정
 - 수소기술 관련 제조 R&D
 - 나노제조
 - 지능형 통합제조

제조업 R&D에 대한 범부처 IWG의 임무

- 제조업 R&D에 관한 정책 제안 도출
- R&D 프로그램 기획 및 예산에 대해 논의하고 필요할 경우 발견된 갭을 채우는 부처간 공동 프로그램 개발
- 연방 지원을 받는 제조업 R&D에 대한 각 부처별 우선순위 검토
- 이 분야의 장기 R&D 사업에 대한 산업계 및 학계와의 긴밀한 논의 촉진
- 제조업 R&D와 관련된 부처간 협력, 조정의 기회 확대
- 매년 워킹그룹 활동을 대통령 산하 과학기술정책실(OSTP)에 보고
- 제조업 R&D 관련 시너지 효과 가능 분야 도출

- 이 세 분야는 2006년 발표한 미국경쟁력강화계획(ACI)에서 확립된 강조 분야와 일치하며 기존 계획들*과도 연관되는 분야

* 수소연료계획(Hydrogen Fuel Initiative), 국가나노기술계획(National Nanotechnology Initiative(NNI)), 네트워킹 및 정보 기술 연구개발 프로그램(Networking and Information Technology Research and Development Program(NITRD))

- 본 보고서에는 제조업 R&D는 기초연구와 응용실험, 시험, 시제품 개발 등의 기술관련 활동을 포괄하며 기존 제조기술이나 공정을 개선하거나 새로운 공정, 기계, 시스템을 통해 혁신적인 고부가가치 제품 생산을 가능케 하는 모든 활동을 지칭
- 이하의 기술 분야들을 논의 대상으로 함
 - 제조 공정을 개선할 수 있는 단위 공정 수준의 기술들
 - 3D 나노 제품 생산에 사용되는 것과 같은 신공정
 - 생산 기기 수준에서 조립, 검사 등의 과정에서 생산성, 품질, 유연성, 안전등을 개선하는 기술들
 - 제조 시스템 수준의 기술들 : 조정장치, 센서, 네트워크, 정보기술, 운송, 유통 등
 - 인력 수급, 환경, 에너지, 그 외 각종 인프라 개선에 도움이 되는 통찰력

나. 수소기술 관련 제조업 R&D

- 부시 행정부는 2003년 발표한 수소연료계획(Hydrogen Fuel Initiative)을 통해 5년간 (2004-2008) 23억 달러를 투자할 것을 약속했으며 IWG의 수소기술 관련 제조업 R&D의 우선순위는 이와 맥락이 같음
- 공해와 온실가스를 배출하지 않는 수소연료를 자동차, 트럭, 가정, 기업 등에 에너지로 제공하고 기존의 화석연료에 대한 의존성을 탈피하는 것이 목표

1] 정의 및 개요

- 연료전지를 통해 수소를 생산, 유통, 저장하는데 필요한 모든 제품 및 부속품을 신뢰할 수 있는 수준으로 대량 생산 및 조립하는 기술

2] 연방정부기관에서 지원하는 기존 연구개발 프로그램 요약 및 부처간 조정

- 현재 7개 연방 부처에서 수소연료 관련 주요 연구개발 프로그램을 운영하고 있으며 부처간 조정을 통해 독립된 활동을 지양하고 시너지를 창출할 수 있는 부처간 협력 강화 필요
- 참여 부서 : 상무부 산하 국립표준기술연구원(NIST), 국방부(DOD), 에너지부(DoE), 교통부

(DOT), 항공우주국(NASA), 국립 과학재단(NSF), 농무부(USD)

③ 연구 분야별 도전과 기회

- 이 분야에서 주요 장애 요인은 부품 및 시스템 설계의 표준화, 수소 생산, 유통 및 저장의 기술적 장애 요소 제거, 특히 수소 저장 용기의 대량 생산 및 생산 비용 절감이 주요 문제
- 수소 생산의 경우 2003년 대략 90억kg의 수소가 생산되었으며 그중 95%가 증기 메탄 개질(steam methane reforming), 나머지 5%는 물의 전기분해를 통해 생산되며, 생산비용이 높아 실용화에 문제
 - 기존의 화석 연료와 경쟁을 하기 위해서는 수소의 생산비용을 크게 절감할 필요
- 수소 저장 용기는 현재 노동 집약적으로 생산되며 현재 압축 압력이 5,000 psi의 용기들이 유통되고 있고 10,000 psi 용기가 초기 개발 단계임
 - 대량 생산기술 개발 및 생산비용 절감이 가장 핵심적인 문제임
- 연료전지 시스템을 통한 수소연료 활용 분야의 경우도 연료전지의 대량 생산, 표준화 및 생산비용 절감이 핵심 문제임
- 이 분야의 세부 연구 과제 들은 2005년 작성된 ‘수소경제를 위한 제조업 R&D 로드맵 (Roadmap on Manufacturing R&D for the Hydrogen Economy)’을 참고

④ 정책 제안 및 차후 활동 계획

- 산업계 및 학계와 협력하여 수소기술 관련 제조업 R&D 로드맵을 계속하여 갱신
- 산업계 및 학계와 계속적인 협의를 위해 필요시 워크샵 개최
- 산업계 주도의 제조 표준 개발에 협조

다. 나노제조

① 정의 및 개요

- 나노 수준의 물성을 효과적으로 이용하는 제품 및 시스템 개발을 위해 나노 수준의 설계, 생산, 컨트롤, 개선, 조작 및 조립에 관련된 모든 실용적 접근을 포괄하여 “나노제조”라고 정의

② 연방정부기관에서 지원하는 기존 연구개발 프로그램 요약 및 부처간 조정

- 국가나노기술계획(NNI)을 통해 현존하는 범부처간 조직인 Nanoscale Science, Engineering and Technology(NSET) Subcommittee of NSTC에서 나노 분야 전체의 연방 연구개발 사업이 조정중임
 - 나노제조 개발에 참여하는 부처들은 NIH, NIST, DOD, NASA, NSF, USDA, DOT, DOE, EPA
- 나노제조 관련하여 다음의 분야들에 초점을 두고 연방정부 프로그램이 운영되고 있음
 - 나노 요소, 나노 건축재료(나노 튜브, 나노 입자, 나노 섬유, 양자점(quantum dots))의 합성 및 처리
 - 나노 합성체의 나노 튜브 분산
 - 중합 및 분자 생물학적 시스템의 패턴과 형틀 개발
 - 2차원, 3차원 구조와 기기의 조립
 - 나노 수준에서의 측정, 영상 및 고정
 - 물질과 에너지의 상호작용 모델링 및 시뮬레이션

③ 연구 분야별 도전과 기회

- NNI 중 다음의 두 분야가 나노제조 R&D와 깊이 관련
 - 나노 계측기기 연구개발 : 계측 및 기기 연구개발을 통해 제조공정 및 품질 관리 기여
 - 나노제조 관련 연구센터 설립 : 나노 관련 연구개발의 인프라로서 대학 및 국립연구소 부설 연구센터와 공동이용설비를 개발할 필요
- 또한 나노기술의 경우 관련 인력, 사회적 영향, 환경에의 영향, 건강 및 안전 대책 등을 특히 강조

④ 정책 제안 및 차후 활동 계획

- NNI와 공조하여 나노제조 개발에 투자
- 나노제조 관련 분야의 수요에 초점을 둔 워크숍 개최
- 연방정부와 산업계의 협조 강화에 노력
- 수소기술 및 지능형 통합제조 분야와의 협력 및 공동 연구 강화

라. 지능형 통합제조

① 정의 및 개요

- 지능형 통합제조(Intelligent and Integrated Manufacturing)는 소프트웨어, 컨트롤, 센서, 네트워크 그 외 기타 정보 기술에서의 진보를 적용
 - 혁신적인 제품과 공정의 신속하고 정확한 비용 산출이 가능한 개발
 - 변화하는 환경에 대처하여 신속하게 적응하는 안전하고 생산성이 높은 기계와 시스템을 개발
 - 최적화된 민첩하고 탄력있는 공급 사슬을 구성
- ⇒ 제조업에 IT를 적용하는 광범위한 응용 분야를 포괄

② 연방정부기관에서 지원하는 기존 연구개발 프로그램 요약 및 부처간 조정

- 연방정부에서 지원하는 연구사업은 통합제조 개발의 기반이 되는 다음과 같은 기술 개발에 초점을 둠
 - 공정 모델과 시뮬레이션
 - 과학적·공학적 데이터베이스 구축
 - 시험 및 측정 방법
 - 시스템 구성분야간의 물리적 기능적 인터페이스 접촉점
- NSF, NIST, DOD, DOE, NASA, USDA등의 연방 부처와 기관에서 관련 연구를 수행
 - 기존의 연방 네트워크 및 IT 연구개발 프로그램(Federal Networking and Information Technology Research and Development Program (NITRD))의 주요 연구 분야와 연계하여 추진
 - NITRD의 경우 2006년 예산이 거의 30억 달러에 달했음

③ 연구 분야별 도전과 기회

- 다음과 같은 분야에 특히 중요한 도전이 대두됨
 - 융합된 제품 및 공정 디자인, 최적화를 위한 예측 도구들
 - 제조공정과 기기를 위한 지능형 시스템
 - 제조 소프트웨어의 자동적 통합

- 제조 시스템 통합 시 사이버 보안 강화

④ 정책 제안 및 차후 활동 계획

- 워크숍 및 기타 기획 행사 개최
- 부처간 도구와 기술을 공유하는 구조 개발
- NITRD 참여를 통한 제조업 분야의 이해관계 반영
- 수소기술 및 나노제조 분야와의 협조 강화
- 주정부 차원의 연구개발 투자 사업 파악 및 공조 강화

마. 공통적인 사회적 이슈들

① 미래의 제조업 인력 훈련 및 준비

- 전국 제조업 협회의 설문에 의하면 81%의 응답 업체들이 인력 부족을 경험하고 있다고 답변 (2005년)
 - 특히 미국의 경우 향후 몇 년간 베이비붐 세대의 은퇴로 인한 경험있는 인력의 부족 현상 심화 예상, 산·학·연 공조 필요
 - 중국과 일본의 경우 이공계를 선택하는 대학생의 비율이 훨씬 높으며 교육 인프라 보강 및 새로운 다학제적 교과과정 채택 등 연방정부의 각 부처에서 다양한 프로그램을 통해 제조업 분야 인력 양성에 노력 중

② 건강 및 안전

- 새로운 기술의 출현에 따른 건강 및 안전에 대한 불확실성 심화
- 수소, 나노, 지능형 통합제조, 세 분야 모두 리스크가 큰 만큼 안전에 관한 연구를 강화할 필요

③ 환경

- 제조의 모든 단계, 분야에서 환경 친화적 기술 개발의 필요성 증대
- 세 분야 모두 환경 친화적인 기술 개발 가능성과 환경 파괴 위험성 공존함

4] 효과적인 표준 개발

- 표준의 문제는 신기술 개발과정에서 결정적으로 중요한 문제가 되나 국가간 지역간 차이로 인한 비효율이 심각하며 논의 중인 세 기술 분야에서 신중한 기획과 국제협력을 통한 비효율 제거 필요

바. 정책적 시사점

- 본 보고서에서는 미국 제조업의 경쟁력 위기에 따른 타개책으로서 미래 미국의 제조업 발전을 위해 연구개발을 통한 혁신을 시도할 세 가지 제조업 관련 우선 투자 연구 분야를 선정
 - 각 기술에 대한 정의 및 연방정부기관의 역할, 기술 분야별 도전 과제 및 향후 추진 방향을 제시
 - 또한, 각 기술 분야의 공통적인 사회적 이슈(인력 수급, 환경, 에너지, 각종 사회 인프라)에 대한 전망과 대응전략을 포함
- 일본도 신산업창조전략('04)를 통해 7대 신산업*에 집중 투자할 계획
 - * 연료전지, 정보가전, 로봇, 콘텐츠, 건강/복지 기기·서비스, 환경/에너지 기기·서비스, 비즈니스 지원서비스
- 우리도 일본과 중국 사이의 샌드위치 상황에 처한 제조업의 도약을 위해 미래를 준비하는 선택과 집중의 연구개발 투자를 강화할 필요
 - 강한 산업기반의 구축을 위해 국가 주력산업 분야뿐만 아니라 신성장 분야의 발굴 및 산업기술 R&D 지원의 확대

4. 미국 정부 2011 회계연도 R&D 예산(안)

가. 개요

□ 미국 정부의 2011 회계연도 R&D예산 요구액은 1,477억 달러

< 2011 회계연도 R&D예산(안)의 주요 내용 >

- ▶ 오바마 대통령이 발표한 GDP 대비 총 R&D투자 비중 3% 달성을 위해, 비국방 분야 R&D 예산을 전년대비 5.9% 증액한 660억 달러로 확대
- ▶ 민간 R&D투자 세액공제 제도의 영구화 추진
- ▶ 기초·응용연구에 전년대비 5.6% 증가한 616억 달러 투자
- ▶ 국립과학재단(NSF), 에너지부 과학국(DOE SC), 국립표준기술연구원(NIST) 등 3개 핵심 연구지원기관들의 예산 배증 목표 달성을 위해 전년대비 6.6% 증가한 133억 달러 배정
- ▶ 생물의학 연구의 리더십 확보를 위해 국립보건원(NIH)에 전년대비 9.8억 달러 증액한 321억 달러 배정
- ▶ 지구변화연구사업(USGCPR*)에 전년대비 21% 증가한 25.6억 달러 투자
 - * The U.S. Global Change Research Program
- ▶ 학생들이 미래를 준비할 수 있도록 STEM* 교육에 37억 달러 투자
 - * Science, Technology, Engineering, and Mathematics
- ▶ 경제성장 촉진을 위해 공공·민간 부문의 혁신을 위한 기술에 10억 달러 투자
 - ※ R&D 상업화를 통한 일자리 창출, 전국민에게 광대역통신 제공, 열린 정부 문화 확산, 국가적 우선사항에 대한 개방형 데이터 표준 촉진 등

나. 2011 회계연도 R&D 예산(안)의 주요 내용

□ 총 R&D 규모

- 오바마 행정부의 2011년 R&D예산(안) 규모는 '10년 대비 0.2%(3.4억 달러) 증가한 1,477억 달러

< 2011 회계연도 총 R&D 규모 >

(단위 : 백만 달러, %)

구 분	FY2009 예산	FY2009 ARRA 예산	FY2010 결산	FY2011 예산	FY2010 대비 예산액	FY2011 증감율
총 R&D 계	147,318	18,153	147,353	147,696	343	0.2
국방 R&D	84,646	300	85,038	81,695	△3,343	△3.9
비국방 R&D	62,672	17,853	62,315	66,001	3,686	5.9
연구	58,637	13,179	58,329	61,617	3,288	5.6
기초 연구	29,583	7,794	30,002	31,341	1,339	4.5
응용 연구	29,054	5,385	28,327	30,276	1,949	6.9
개발	83,866	1,482	84,373	81,456	△2,918	△3.5
R&D 시설·장비	4,815	3,492	4,651	4,624	△27	△0.6

- 국방 R&D부문은 무기개발 프로그램의 축소로 감소하였고, 비국방 R&D부문은 '10년 대비 5.9%(36.8억 달러) 증가한 660억 달러 배정
- 기초 및 응용연구 분야는 '10년 대비 5.6%(32.8억 달러) 증가한 616억 달러 배정
 - 개발 분야는 '10년 대비 3.5%(29억 달러) 감소한 815억 달러이며, 시설·장비 분야에는 46억 달러 배정
 - ※ 개발 예산 감소의 대부분은 국방연구(우선순위가 낮은 무기개발사업 축소)

[참고] 대통령 과학혁신계획(2006~2017)

◇ 대통령 과학혁신계획(The President's Plan for Science & Innovation)에 따라 기초연구 강화를 위해 '06~'17년 동안 핵심 기초연구지원기관*의 연구 예산을 두 배**로 확대할 계획

* 국립과학재단(NSF), 에너지부 과학국(DOE SC), 국립표준기술연구원(NIST)

** '06년도(97억 달러) 대비 '17년까지 2배(195억 달러) 수준으로 증액

- 세 기관의 2011년도 예산은 총 133억 달러로 '10년 대비 6.6% (8억 24백만 달러) 증가

□ 주요 부처·기관별 예산

< 2011 회계연도 주요 부처·기관별 예산(안)의 주요내용 >

구분	주요 내용
국립보건원 (NIH)	<ul style="list-style-type: none"> • 321억 달러의 예산('10년 대비 3.1%(9.8억 달러) 증액) 및 경기부양 추가예산 104억 달러 배정 ※ 보건복지부(HHS)의 생체방어(biodefense) 연구에 4.6억 달러 배정('10년 대비 1.7억 달러 증액)
국립과학재단 (NSF)	<ul style="list-style-type: none"> • 74억 달러의 예산 배정('10년 대비 8.0% 증액) ※ 기후, 에너지, 교육, 네트워킹 및 정보기술 및 환경 등 연구범위 확대
국방부 (DOD)	<ul style="list-style-type: none"> • 775억 달러의 예산 배정('10년 대비 4.4%(35억 달러) 감액) ※ 우선순위가 낮은 무기개발 프로그램 예산의 삭감
항공우주국 (NASA)	<ul style="list-style-type: none"> • 109.8억 달러의 예산 배정('10년 대비 18.3%(17억 달러) 증액) ※ 예산은 전반적으로 증가했으나, 우주프로그램(유인 달탐사 계획 등)의 일정과 예산집행은 연기되고 지구탐사 사업(기후변화 연구 등)이 강화
에너지부 (DOE)	<ul style="list-style-type: none"> • 112억 달러의 예산 배정('10년 대비 4.9%(5.2억 달러) 증액), 이 중 과학국에 51억 달러 배정('10년 대비 4.6% 증액) ※ 에너지 고등연구계획국(ARPA-E, Advanced Research Projects Agency -Energy)에 3억 달러 배정
국토안보부 (DHS)	<ul style="list-style-type: none"> • 10억 달러의 예산 배정 ('10년 대비 9.0%(1억 달러) 감액)
농무부 (USDA)	<ul style="list-style-type: none"> • 24억 달러의 예산 배정('10년 대비 5.5%(1.4억 달러) 감액) ※ 신규 농식품연구사업(AFRI, Agriculture Food and Research Initiative)에 4.3억 달러 배정
상무부(DOC) 산하기관	<ul style="list-style-type: none"> • 국립표준기술원(NIST)에 7억 달러, 국립해양대기청(NOAA)에 9억달러의 예산을 배정
국가보훈처(VA)	<ul style="list-style-type: none"> • 12억 달러 배정('10년 대비 1.5%(18백만 달러) 증액)
내무부 (DOI)	<ul style="list-style-type: none"> • 7.7억 달러의 예산 배정('10년 대비 2.9% 증액) ※ 대부분인 6.8억 달러가 국립지질조사국(USGS)에 배정
환경보호청 (EPA)	<ul style="list-style-type: none"> • 6억 달러의 예산 배정('10년 대비 4.6% 29백만 달러 증액)
교통부 (DOT)	<ul style="list-style-type: none"> • 10억 달러의 예산 배정('10년 대비 0.6%(6백만 달러) 증액)
교육부 (ED)	<ul style="list-style-type: none"> • 3.8억 달러의 예산 배정('10년 대비 10.1%(35백만 달러) 증액)
스미스소니언협 회	<ul style="list-style-type: none"> • 2.4억 달러의 예산 배정('10년 대비 13.5%(28백만 달러) 증액)

< 2011 회계연도 주요 부처·기관별 R&D 예산(안) >

(단위 : 백만 달러, %)

부처·기관	FY2009 예산	FY2009 ARRA 예산	FY2010 결산	FY2011 예산	FY2010 대비 예산액	FY2011 증감율
국방부	80,821	300	81,090	77,548	△3,542	△4.4
보건복지부	30,595	11,063	31,177	32,156	979	3.1
국립보건원	29,289	10,363	30,442	31,398	956	3.1
국립보건원 기타 R&D	1,306	700	735	758	23	3.1
미항공우주국	10,887	790	9,286	10,986	1,700	18.3
에너지부	10,301	2,967	10,693	11,219	526	4.9
원자력에너지방위 R&D	3,825	0	3,948	4,147	199	5.0
과학국	2/	2/	4,470	4,642	172	3.8
에너지 R&D	2/	2/	2,275	2,430	155	6.8
국립과학재단	5,379	2,197	5,092	5,571	479	9.4
농무부	2,437	176	2,591	2,448	△143	△5.5
상무부	1,393	576	1,516	1,727	211	13.9
국립해양대기청 (NOAA)	790	165	872	959	87	10.0
국립표준기술원 (NIST)	552	411	580	706	126	21.7
내무부	701	74	755	772	17	2.3
국립지질조사국	614	74	660	679	19	2.9
교통부	976	0	1,012	1,018	6	0.6
환경보호청	559	0	622	651	29	4.7
보훈처	1,020	0	1,162	1,180	18	1.5
교육부	312	0	348	383	35	10.1
국토안보부	1,096	0	1,150	1,046	△104	△9.0
스미스소미언 협회	216	10	208	236	28	13.5
기타	625	0	651	755	104	16.0
합 계	147,318	18,153	147,353	147,696	343	0.2

□ 정부부처 간 공동연구사업 예산

- 국가과학기술위원회(NSTC, National Science and Technology Council)의 주관하에 정부부처 간 공동연구사업 추진
- 국가나노기술계획(NNI)* : 17.7억 달러('10년 대비 5백만 달러 감소)의 예산 및 경기부양 추가 예산으로 4.9억 달러 배정
 - * National Nanotechnology Initiative
- 네트워크 및 정보기술연구개발 프로그램*(NITRD) : 42.8억 달러('10년 대비 9백만 달러 감소)의 예산 및 경기부양 추가 예산으로 8.6억 달러 배정
 - * NITRD(Networking and Information Technology R&D)는 미국의 공공 IT R&D 프로그램으로, 기초연구에서 응용연구에 이르는 유비쿼터스 실현을 위해 추진
- 지구변화연구사업(USGCRP*) : 온실가스배출 및 청정에너지에 대한 세계기후변화 연구 투자의 확대를 25.6억 달러의 예산을 배정('10년 대비 4.4억 달러 증액)
 - * U.S. Global Change Research Program

□ STEM 교육

- 초중등 STEM 교육 프로그램에 37억 달러의 예산 및 '혁신을 위한 교육(Educate to Innovate)*' 캠페인을 통해 5억 달러를 추가 배정
 - * 향후 10년간 미국 내 학생들의 STEM 분야 수준을 세계 최고 수준으로 끌어올리기 위한 캠페인으로, 기업 및 단체, 비영리기구, 과학기술커뮤니티 등과 협력·연계하고, 다양한 학습법을 통하여 STEM 분야에 대한 학생들의 관심과 흥미를 증대시켜 궁극적으로 혁신 및 지속적 경제성장을 달성하는 것이 목적 (2009년 11월23일, 오바마 대통령이 선언)
- 청정에너지 개발과 질병 치료법 개발 등 21세기의 중요한 도전들에 대응하기 위한 양질의 교육 필요
- 대통령은 세 가지 영역에 집중하여 전략적으로 투자
 - ① 학생들의 STEM 소양 제고, ② STEM 교육의 질 향상, ③ 여성과 소수민족 등 과소대표집단의 STEM 교육 및 경력개발 기회 증대

□ 기술개발 프로그램

- 혁신 창출 기반에의 투자 : R&D 상용화, 광대역통신의 접근성 확대, 디지털 인프라 구축 등을 통한 일자리 창출

구 분	주요 내용
유망기술의 상용화 촉진	<ul style="list-style-type: none"> · 대학 혁신 강화를 위한 산·학·연 협력 등 혁신 생태계 조성을 위해 NSF에 12백만 달러를 지원 · 나노제조기술 강화를 통한 제조기술의 혁신을 위해 NIST 프로그램에 5백만 달러를 추가 지원
광대역통신의 접근성 확대	<ul style="list-style-type: none"> · 상무부와 농무부는 경기부양법을 통해 72억 달러를 지원받아 광대역통신 인프라 구축·확장에 집중
모바일 광대역통신기술 혁신 촉진	<ul style="list-style-type: none"> · 향후 10년간 고정형·이동형 광대역 무선 접속 서비스 구축을 위해 미국통신정보관리청(NTIA)과 미연방통신위원회(FCC)가 공동으로 수행

- 벤처기업 육성과 효율성 촉진 : 벤처기업 육성을 위한 시장환경 조성 및 열린 정부 문화 확산

구 분	주요 내용
벤처기업가 및 중소기업 지원	<ul style="list-style-type: none"> · 새로운 일자리를 창출하는 중소기업 및 기업가 지원을 위해 중소기업청(SBA)에 1억 65백만 달러의 보조금 지원
지역경제의 경쟁력 강화	<ul style="list-style-type: none"> · 지역혁신클러스터 지원을 위해 상무부 경제개발청(EDA)에 75백만 달러를 배정
공공부문의 혁신 촉진	<ul style="list-style-type: none"> · 열린 정부 계획(Open Government Initiative)에 따른 전자정부(E-Gov) 구축을 위해 조달청(GSA)에 35백만 달러 배정

- 국가적 우선사항에 대한 혁신 촉진 : 국가적 우선사항에 대한 데이터 표준의 개방성 향상을 위한 프로그램에 투자

구 분	주요 내용
유망기술에 대한 표준과 측정법 마련	<ul style="list-style-type: none"> · NIST의 과학기술연구서비스(STRS)*에 5억 85백만 달러를 배정하여 NIST가 수행하는 각 유망기술 산업 분야에 대한 표준과 측정법 연구를 지원
보건정보기술의 사용 확대 및 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 국립보건정보기술조정실**에 78백만 달러를 배정하여, 인터넷을 통한 보건정보의 교환을 위한 데이터 표준, 정책 및 수단을 지원
21세기 학교와 교육을 위한 투자	<ul style="list-style-type: none"> · ‘혁신을 위한 교육’ 프로그램에 5백만 달러 배정

* Scientific and Technical Research and Services

** The Office of the National Coordinator for Health Information Technology

다. 결론

- 우리나라의 「2009~2013년 국가재정운용계획」에서는 2013년까지 R&D분야 투자는 연평균 10.5%의 증가율을 유지할 계획
- 정부 R&D 예산을 2012년까지 2008년(11.1조원) 대비 1.5배로 확대하고, 이러한 기초를 2013년까지 이어나갈 계획
- 중장기 투자가 필요한 기초·환경·에너지 분야와 우주항공·생명 분야에 정부 R&D투자가 크게 증가하는 추세
 - 민간의 역량이 높은 기계·제조 및 정보·전자 분야의 연구개발비 증가율은 상대적으로 낮음

<2009 ~ 2013년 국가재정운용계획의 R&D분야 투자계획>

(단위 : 억원, %)

구 분	2009		2010	2011	2012	2013	연평균 증가율
	본예산	추경포함					
R&D 분야 (A)	123,437	127,059	136,403	149,000	166,167	183,877	10.5
기초·환경·에너지 등	35,376	31,934	40,850	46,541	49,965	55,345	11.8
우주항공·생명 등	30,596	37,617	31,412	35,078	42,905	50,342	13.3
기계·제조 등	12,554	14,290	14,957	16,540	17,458	18,043	9.5
정보·전자 등	19,676	20,332	20,838	21,809	23,409	25,012	6.2
인력양성·장비구축 등	25,235	22,886	28,346	29,032	32,430	35,135	8.6
총지출 (조원, B)	284.5	301.8	291.8	306.6	322.0	335.3	4.2
총지출 중 R&D 비중 (A/B)	4.3	4.2	4.7	4.9	5.2	5.5	

주 : 연평균 증가율은 2009년도 당초예산을 기준으로 산정하였으며, 2009년도 추경포함을 기준으로 할 경우 R&D분야 연평균 증가율은 9.7%

- 정부는 R&D 총 투자(민간 포함)를 지속적으로 확대하여 2012년에는 GDP 대비 R&D 총 투자비율을 5% 수준으로 확대할 계획

<총 연구개발비 국제비교>

(단위 : 억달러, %)

구 분	한국	미국	일본	독일	프랑스	영국	스웨덴	핀란드	중국
총연구개발비	312.9	3,688.0	1,057.9	842.3	538.8	502.9	163.4	94.4	487.7
GDP 대비	3.37	2.68	3.44	2.54	2.08	1.79	3.60	3.46	1.49

주 : 한국과 핀란드는 2008년도 기준, 나머지 국가들은 2007년도 기준

□ 민간의 R&D투자 확대를 정책적으로 유도 필요

- 조세제도의 잦은 변화는 불확실성으로 인한 기업의 혼란과 투자 위축을 불러올 수 있으므로, 미국의 경우와 같이 R&D 조세지원제도의 영구화 검토 필요
- 중소기업에 비해 상대적으로 정책적 지원을 받지 못하고 있는 중견기업*에 대한 지원 확대 필요
 - ※ 정부는 현재 중견기업 종합육성대책을 마련 중
 - * '연구개발(R&D) 및 신성장동력 투자세액공제' 제도의 경우 중소기업은 투자비의 30%를 법인세에서 공제받는 반면, 일반기업은 투자비의 20%만 법인세에서 감면. 중견기업은 일반기업에 포함
 - * 최저한세율(각종 공제 등으로 기업이 납부할 세금이 지나치게 줄어드는 것을 방지하기 위해 기업소득에 매기는 최저 세율)도 중소기업은 이익의 7%지만 일반기업은 10~14%

5. 미국의 청정에너지 시장 동향

가. 미국 Clean Energy 현황

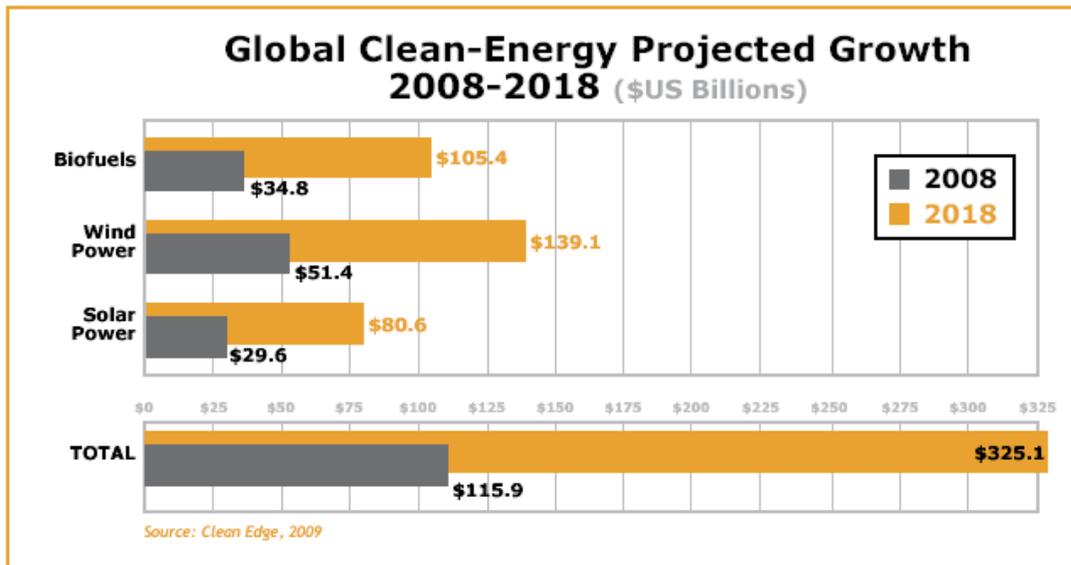
- 2008년 clean energy 전세계 시장규모는 전년대비 53% 성장하였으며 이러한 성장은 두자리수 성장을 지속
 - 수요증가에 따른 wind-farm 개발비용 증가 및 공급부족에 따른 시장의 동태성에 의해 가능
- 지난 10여년간 Clean-tech 시장을 조사하고 있는 Clean Edge의 조사결과에 의하면,
 - 전세계 Clean Energy (solar photovoltaics, wind power, biofuels) 시장은 2007년 \$758억불에서 2008년에는 \$1,159억불로 확대
 - 처음으로 Wind power 단일 부분의 시장규모가 \$500억불을 넘어선 것으로 파악
 - 시장조사업체인 New Energy Finance에 의하면 벤처캐피탈, 프로젝트 파이낸싱, 주식시장 및 연구개발자금을 포함한 신에너지 기술에 대한 신규 투자금액은 2007년 \$1,484억불에서 2008년에는 \$1,554억불로 전년대비 4.7% 증가
- 전세계적 시장규모의 확대와 투자 증가에도 불구하고, 향후 clean-energy 시장은 몇가지 중대한 어려움에 직면
 - 주식시장의 침체는 기업들의 기업공개(IPO: Initial Public Offering)를 어렵게 하고 있으며 실제로 2008년 미국증시에 상장한 기업들 중에서 energy 관련 기업들은 소수에 불과
 - 이는 벤처캐피탈의 투자자금의 회수를 어렵게 하고, 신생기업들이 벤처캐피탈의 투자자금을 유치하기 더욱 어려워질 수 있음을 의미
- 시장조사업체인 Renaissance Capital사에 의하면, 2008년에 미국 주식시장에 신규상장된 기업들 중에서 단지 43개 기업만이 상장시 최소 \$50백만불 이상의 자금을 조달한 것으로 나타남
 - 2007년의 272개 기업들이 최소 \$50백만불 이상을 자금을 조달한 것과 비교할

때 상당히 위축됨

- 지난 2008년 하반기부터 시작된 금융시장의 위축으로 인해 많은 clean-energy 기업들은 하여금 투자 계획 지연, 종업원 해고 등으로 어려움 가중
- 중장기적인 측면에서 본 시장은 지속적인 성장을 할 것으로 예상
- 2009년에는 많은 기업들이 상당한 사업영역 재조정이나 구조조정 등의 변화 예상
- 동시에 정부 신규투자, 규제 및 정책변화에 따라 전반적인 산업의 성장에 영향을 줄 것으로 예상

나. 미국 Clean Energy 분야의 대표적인 특징

- Biofuels (ethanol과 biodiesel의 글로벌 생산과 도매가격) 시장은 2008년 \$348억불 규모이며, 2018년에는 약 \$1,054억불 시장으로 성장할 것으로 전망
 - 2008년 전세계 biofuel 생산은 ethanol 170억 갤런, biodiesel 25억 갤런 생산
 - Ethanol분야 선두국가인 브라질에서는 처음으로 자국내 전체 자동차용 연료의 50% 이상을 bioethanol이 점유
- Wind Power (신규설치 자본비용) 시장은 2008년 \$514억불에서 2018년에는 \$1,391억불 시장으로 성장 예상
 - 2008년 전세계 wind power 신규설치는 27,000 MW 규모
 - 작년에 8,000MW 규모의 wind power를 설치한 미국은 신규 전력생산량의 40% 이상을 wind에서 조달함으로써 Wind분야 세계 최대 국가였던 독일을 앞지름
- Solar photovoltaics (모듈, 시스템 부품, 설치 포함) 시장은 2008년 \$296억불에서 2018년에는 \$806억불 시장으로 증가 예상
 - 2008년동안 전 세계적으로 신규 설치된 발전용량은 약 4 GW로 전년대비 4배 증가



<그림 1> 전세계 Clean-Energy 시장전망

Clean-Energy Scale-Up

In some regions, clean energy is not just providing a mere 1-2 percent of electricity and energy use, but moving into mass adoption. No longer rounding errors, clean energy can now represent 10-50 percent of the electricity or fuel mix. Some regions on the leading edge of this transition include:

Location	Energy Source	Segment	Market Share
Brazil	Ethanol	Transportation Fuel	Approximately 50% of nation's automotive fuel supply (not including diesel)
Denmark	Wind	Electricity Generation	15+% of nation's electricity mix
Iowa	Wind	Electricity Generation	5.5% of state's electricity mix in 2007. The state, however, more than doubled its cumulative wind installations in 2008
U.S.	Ethanol	Transportation Fuel	Approximately 8% of nation's automotive fuel supply (not including diesel)
China	Solar Thermal	Hot Water Heating	Although still a small fraction of total hot water production, solar thermal now represents about 20% of the nation's new hot water heater sales

- 전세계 Clean-Energy 시장은 2007년 \$758억불에서 2008년에는 53% 성장한 \$1,159억불에 이르고 있으며, 10년후인 2018년에는 \$3,251억불 규모로 성장 예상

- 경기침체가 정부의 clean-energy 분야 투자를 축소시킬 것이라는 우려와는 달리, clean-energy를 자국 경제회복의 중요한 영역으로 인식
 - 최근에 발행된 Deutsche Bank의 ‘Global Climate Change Regulation Policy Developments’ 보고서에 의하면 지난 2008년 7월부터 2009년 2월까지 전세계적으로 250건 이상의 기후변화 관련 정책 개발
 - Clean-energy와 climate-related 영역(green buildings, grid upgrades and improvements, renewable 및 public transportation)에 약 \$2,000억불 이상 투자 함

- 미국의 경기부양법(ARRA: the American Recovery and Reinvestment Act of 2009)에는 직접적인 투자나 세제혜택을 통해 \$700억불 이상이 clean-energy와 transportation 분야에 배정
 - \$11 billion towards “smart grid”
 - \$6 billion to subsidize loans for renewable energy projects
 - \$6.3 billion in state energy efficiency and clean-energy grants
 - \$5 billion to weatherize modest-income homes
 - \$4.5 billion to make federal buildings more energy efficient
 - \$2 billion in grants for advanced batteries for electric vehicles
 - \$8.4 billion for mass transit
 - \$9.3 billion for construction of high-speed railways
 - \$20 billion in tax incentives and credits for renewable energy, plug-in hybrids, and energy efficiency

U.S. Top 10 Disclosed Energy-Tech Venture Deals (2008)

Company	Primary Sector	Total Invested (U.S. \$ Millions)
Miasolé	Solar	\$227.0
BrightSource Energy	Solar	\$115.0
Sapphire Energy	Biofuels	\$100.0
Amyris Technologies	Biofuels	\$91.0
Mascoma	Biofuels	\$81.0
Luminus Devices	Efficiency: Green Buildings	\$72.0
Fisker Automotive	Efficiency: Transportation	\$65.0
GridPoint	Efficiency: Digital Energy	\$63.5
Ausra	Solar	\$60.6
Infinia	Solar	\$57.0

Source: *New Energy Finance, 2009*

- 미국의 clean-energy 분야 성장 정책
 - An 8-year extension for the investment tax credit (ITC) for solar
 - A 3-year extension for the production tax credit for wind
 - New rules that allow utilities, for the first time, to participate in ITCs
 - A new provision that allows renewable energy developers to receive up to a 30 percent government grant instead of a tax credit
- 또한 미국정부는 2025년까지 전체 renewable 에너지 비중을 25% 수준으로 목표 설정

Global Clean-Energy Jobs (Direct and Indirect): Solar and Wind

	2008 (Current)	2018 (Projected)
Solar Photovoltaics	190,819	1,341,968
Wind Power	413,522	1,315,324
TOTAL	604,341	2,657,292

Source: *Clean Edge, Inc., 2009*

- Clean-energy 분야는 새로운 고용창출과 경제회복에 크게 기여할 것으로 기대
 - Solar photovoltaic 분야는 190,000개와 Wind power 산업은 413,000개를 합친 600,000만개 이상의 신규고용창출 예상
 - 2018년까지는 Solar분야에서 1,341,000개와 Wind 분야에서 1,315,000개로 전체적으로 약 2.7백만개의 새로운 일자리 제공 예상
- 미국의 에너지 기술관련 벤처캐피탈 투자는 2007년 \$270억불에서 2008년에는 \$330억불로 전년대비 22% 증가
- 벤처캐피탈의 업종별 투자비중에서는 에너지 기술분야는 2007년 전체 투자의 9.1%에 불과하였으나, 2008년에는 전체 투자금액의 11.8%로 전년대비 30%이상 증가

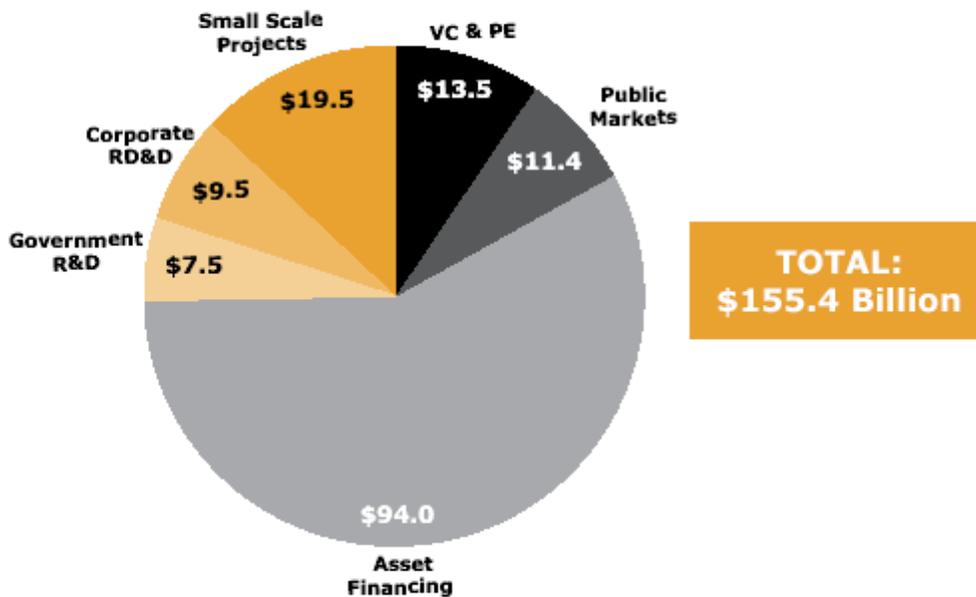
Clean-Energy Venture Capital Investments in U.S.-Based Companies as Percent of Total

Year	Total Venture Investments (US\$ Billions)	Energy Technology Investments (US\$ Millions)	Energy Technology Percentage of Venture Total
2000	\$105.1	\$599	0.6%
2001	\$40.6	\$584	1.4%
2002	\$22.0	\$483	2.2%
2003	\$19.7	\$446	2.3%
2004	\$22.5	\$663	2.9%
2005	\$23.0	\$1,038	4.5%
2006	\$26.5	\$1,555	5.9%
2007	\$29.4	\$2,665	9.1%
2008	\$28.3	\$3,351	11.84%

- Clean-energy 분야에 대한 전세계적인 투자는 미국 벤처캐피탈의 투자에 비해 증가율이 낮음
- 2007년 전세계 Clean energy 투자는 \$1,484억불에서 2008년에는 \$1,554억불로 4.7% 증가
- ※ 벤처캐피탈 투자, private equity 투자 및 주식시장 (IPO 등), 프로젝트 파이낸싱, asset financing, 정부 R&D투자 및 기업R&D 투자를 모두 포함한 금액

- 2006년 대비 2007년 투자가 60% 증가한 것에 비하면 저조한 증가율임
- 큰 이유로는 주식시장의 침체가 주된 요인인데 2007년 \$234억불 투자에 비해 2008년에는 \$114억불로 대폭 감소

New Global Investments in Clean Energy - 2008 (\$US Billions)



Source: New Energy Finance. NOTE: Asset Financing figure includes a downward adjustment of \$3.4bn, reflecting a subsequent reinvestment of VC, PE, and public market funds raised by clean-energy companies. Re-investment assumes a one-year lag.

- Clean-energy 산업도 최근의 경기침체에서 벗어나기는 힘들지만 각국 정부들의 경제회복을 위한 노력의 핵심에 clean-energy 산업이 위치하고 있음

다. 미국 Clean Energy 주요 Trends

- The grid goes online

IT의 진화에 대해 생각할 때, 메인컴퓨터를 둘러싼 단순 터미널들이 보다 smarter, more selfsufficient하면서 양방향 통신이 가능해짐으로써 궁극적으로는 다양한 기기들과 유무선으로 연결되는 것을 상상한다면 이는 현재 electrical grid가 나아가고 있는 방향을 그

대로 보여주는 것이다.

IT와 에너지 기술의 결합으로 스위치, 라우터 및 소프트웨어로 연결된 기기들의 새로운 네트워크가 등장하고 전력시스템의 획기적이고 새로운 효율성을 위한 상호작용을 가능하도록 한다. 상업용 냉장고에서부터 가정용 세탁기까지 다양한 기기들이 IP기반의 인식자를 갖게 되며 건물, 자동차, 휴대폰 등을 모두 연결하는 형태로 진화하고 있다.

Cisco, GE, Google, HP와 IBM을 포함한 상당수의 IT 선두업체들은 smart-grid에서 새로운 기회를 찾고 있다. 대부분의 전력업체들은 이미 smart meters 기기들을 적용해오고 있다. Southern California Edison는 2012년까지 5.3백만개의 smart meters를 설치함으로써 전체 에너지 소비량의 5%인 1,000 megawatts를 절감할 계획을 갖고 있다.

위와 같은 대형 IT업체 이외에도 기존 선두업체인 Itron를 포함하여 다수의 신생벤처들이 경쟁하고 있다. 대표적으로는 Aclara (advanced metering infrastructure technologies), Ziphany (demand response software), Echelon (smart meters and related systems), Ecologic Analytics (meter data management systems), eMeter (advanced metering applications), SmartSynch (real-time energy use data over wireless networks), Tendril (connecting in-home devices to the utility back office), Tollgrade (advanced sensor technology) 및 Connected Energy, Serveron 및 V2Green이 대표적이다.

오바마 정부의 Grid 개선에 대한 총 \$110억불 투자계획은 새로운 smart grid 기술로의 도약기회를 제공할 것이다. 콜로라도의 Boulder에서는 Minneapolis-based Xcel Energy가 14,000개의 smart meters를 설치했고 전력선을 이용한 초고속인터넷으로 100 miles 이상의 케이블을 연결하였다. 텍사스 오스틴에서 추진중인 next-gen grid 시범사업인 Pecan Street Project에는 Cisco, Dell, GE, IBM, Intel, Microsoft 및 Oracle 을 파트너로 참여시키고 있다.

[참고할만한 웹사이트]

BPI global (www.bplglobal.net)

gridPoint (www.gridpoint.com)

optimal Technologies (www.otii.com)

Silver Spring networks (www.silverspringnetworks.com)

Tollgrade communications

□ Technologies save clean energy for a rainy(or claim) day

Wind와 Solar 에너지와 관련된 가장 큰 도전과제는 해당 에너지원의 최대 전력생산이 최대 전력수요 시기와 동기화시키기 어렵다는 점이다. 이를 해결하기 위한 기술적 해결책으로는 utility-scale의 에너지 저장방법을 개발하는 것이고 이는 최근 상당한 주목을 받고 있는 분야이다. 전력수송 및 배송을 위한 인프라스트럭처의 개선과 함께 재생에너지에 대한 대용량 저장방식의 개발여부는 재생에너지의 활용에 있어서 최대 장애요인으로 대두되고 있다.

현재 여러 저장기술들이 출현하고 있으나 아직까지는 명확한 승자는 없는 상태이다. 대표적인 저장기술로는 sodium sulfur, redox flow, vanadium, zinc, large-scale lithium-ion batteries, compressed air energy storage, flywheels 및 molten salts for solar thermal storage 등이 있으나 현재는 높은 비용으로 현장에서 사용하기에는 어려움이 있다.

저장기술에는 명확한 사업기회가 있는데, 시장조사업체인 Lux Research에 의하면 현재 전세계 grid energy storage 시장은 \$24억불 규모이나, battery 자체만으로 약 \$500억불 시장이 존재한다고 주장한다. 2008년에는 이분야에 상당한 벤처캐피탈 투자가 진행되었으며, cooling storage provider인 Ice Energy에 \$33백만불, flywheel supplier 업체인 Pentadyne에 \$22백만불, redox flow battery 제조업체인 Deeya Energy에 \$15 백만불, molten salt technology을 활용한 solar thermal plants 업체인 SolarReserve에 \$140백만불이 투자되었다. 또한 전기자동차 배터리 제조업이면서 AES Corp에 1 MW 용 리튬이온 배터리를 공급한 A123 Systems는 \$149백만불 투자를 유치하였다.

가장 주목할만한 renewable storage test projects 프로젝트이며 여기에는 Xcel, 일본 배터리 제조업체 NGK Insulators, the National Renewable Energy Laboratory 등이 참여하고 있다. Xcel은 NGK의 1 MW sodium-sulfur battery (which is actually 20 modules storing 50 kW each)를 미네소타 서부지역의 풍력단지에서 테스트하고 있는

데 이는 바람이 없는 상태에서 최대 500가구에 7시간 동안 전력을 공급할 수 있는 수준이다. NGK는 미국 최대 전력업체인 American Electric Power과도 fossil fuel-generated energy 저장장치를 위한 협력도 진행 중이다..

Concentrating solar power (CSP) thermal plants는 다른 저장기술 기회를 제공하고 있다. 전기보다는 열을 저장하기 쉽다는 점에서 SkyFuel, SolarReserve, Abengoa Solar 및 Andasol 같은 회사는 molten salt 탱크에 solar로 만들어지니 열을 저장할 수 있는 공장을 건설중이다. 저장된 열은 증기터빈 가동을 위한 유체를 가열시키는데 이용할 수 있다. Abengoa는 세계 최대 solar generation 설비로 계획중인 아리조나의 280 MW CSP plant에 molten salt storage 를 사용할 예정이다.

[참고할만한 웹사이트]

A123 Systems (www.a123systems.com)

deeya Energy (www.deeyaenergy.com)

general compression (www.generalcompression.com)

ngK insulators (www.ngk.co.jp)

Solarreserve ()

□ New clean-energy markets emerge around the globe

글로벌 시장에서 크게 알려지지 않았던 Aruba나 Serbia 같은 국가들로 2008년에 처음으로 국가차원의 풍력발전에 대한 계획을 수립하였다. 그동안 Clean Technology에 동참하지 않았던 국가들이 속속 renewable 개발 추세에 동참하고 있다. 2009년 1월에는 미국, 영국, 일본, 중국 및 오스트레일리아 같은 기존 국가들은 참여하지 않았지만, 전세계적으로 75개 국가가 참여하는 the International Renewable Energy Association (IRENA)가 발족되었다.

IRENA는 첨단 clean energy와 관련된 최초의 세계 기구이다. 국가들마다 참여동기는 조금씩 다르지만 대부분 자국 경제발전, 고용창출 및 에너지원 다변화 등을 목적으로 하고 있다. 이러한 기구설립은 각국이 추진중인 주요 정책들을 강력한 지지하고 있는데, 예를 들면 프랑스와 그리스는 solar feed-in tariffs를 제공하고, 모로코에서는 향후 5년간 clean energy 분야에 \$29억불을 투자계획이 대표적이다.

2008년 국가별 풍력발전 용량 증설현황을 살펴보면, Turkey (194% 증가), Tunisia (170%), 및 Poland (71%) 모두 증가한 것으로 나타났다. 사회주의하에서 오염과 경제적 정체기를 겪었던 동유럽 국가들이 빠르게 변화하고 있다. 가장 큰 동기요인은 외교적 관계에서 냉각관계에 처한 러시아에 대한 천연가스 의존도를 낮추고자 하는데 있다. Belarus의 경우에는 2012년까지 renewables (including small and large hydro)의 활용율을 전체 에너지 소비량의 25%수준까지 끌어올릴 계획이다. Bulgaria의 Clever Synergies Investment Fund는 현재 16.5MW수준인 풍력발전을 2012년까지 흑해주변의 풍력단지 조성을 통해 220MW수준으로 확대할 계획이다. 해당 지역은 이미 Poland, Romania, Hungary 및 Estonia에서 풍력프로젝트를 진행한바 있는 스페인의 Iberdrola Renewables의 가장 중요한 성장동력이 되고 있다.

이러한 트렌드는 신흥국가에 국한되지는 않는다. 프랑스는 상당규모의 wind 및 solar 활용 발전을 진행중에 있다. 사르코지 대통령은 2020년까지 renewable energy 비중을 23% 수준까지 올릴 계획이며, 여기에는 2008년 3,400MW 수준인 풍력발전을 25,000MW로 확대할 계획이다. Solar의 경우에는 미국 달러기준으로 57센트/kWh(kilowatt-hour)에 달하는 강력한 보조금 법안을 통과시켰다. 프랑스의 국영 에너지 회사인 EDF Energies Nouvelles는 작년 PV에 대한 자금투자를 위해 \$733백만불을 조달하였다.

그리스 또한 clean energy분야의 대표적인 국가이다. 그리스 의회는 향후 5년간 52 to 65 cents/kWh에 달하는 solar feed-in tariffs를 승인했으며, 이는 Solar Cells Hellas 같은 자국내 PV makers들을 투자와 성장을 촉진할 것으로 예상된다. 미국 캘리포니아의 SolFocus사는 그리스의 최소 concentrating PV plant (1.6 MW facility) 설립을 돕고 있으며, 올 연말부터 전력공급을 시작할 수 있을 것으로 예상된다. 풍력에서는 스페인의 Acciona와 이탈리아의 Enel사도 그리스를 성장시장으로 바라보고 있는 업체들이다.

[참고할만한 웹사이트]

continental wind Partners (www.continentalwind.com)

EdF Energies nouvelles (www.edf-energies-nouvelles.com)

iberdrola Renewables (www.iberdrolarenewables.us)

international Renewable Energy agency (www.irena.org)

Solar cells hellas (www.schellas.gr)

□ Grid infrastructure grabs the spotlight

각국 정부들과 기업들은 clean power를 국가전력망에 통합하기 위한 인프라스트럭처 혁신과 업그레이드에 자금을 지원하고 있다. 가장 큰 문제는 지리적 문제이다. 대규모 전력생산을 위한 풍력단지나 Solar 단지는 전력수요가 높은 지역과는 상당히 떨어진 외진 지역에 위치하고 있다. 생산과 수요를 연결할 수 있는 배송라인과 용량이 미흡한 상황이며 단기 또는 중기적인 측면에서 가장 큰 문젯거리로 대두되고 있다.

2008년 풍력발전 용량 측면에서 미국은 독일을 제치고 최대 국가가 되었으며 위와 같은 도전들은 더욱 시급하게 작용하고 있다. 오바마 정부는 노후된 미국의 전력망의 개선을 경기부양계획의 최우선 과제로 설정하고 있으며, 총 \$7870억불의 ARRA 자금에는 2009년 \$170억불의 그리드 및 전력배송망 투자를 포함하고 있다.

향후 대규모 투자진행은 현재 텍사스 상황을 살펴보면 도움이 될 수 있다. 텍사스의 풍력발전 용량은 8,000 MW로 텍사스 다음으로 풍력발전용량이 높은 세주 (California, Iowa, and Minnesota)를 모두 합친 것보다 높다. 텍사스는 11,600MW에 달하는 신규 풍력용량을 연결하기 위한 전송망 투자를 2008년에 승인했으며, Public Utility Commission 는 약 \$50억불의 건설공사를 발주하였다. 최대 전력전송 및 공급업체인 달라스 소재 Oncor는 \$13.4억불의 계약을 수주하였다.

미시간 소재 ITC Holdings는 지난 2월 세계 최대규모의 clean-energy 전송망에 해당되는 Dakotas, Iowa 및 Minnesota의 풍력을 인구밀집지역인 Milwaukee에서부터 Chicago 까지 끌어오는 \$100~\$120억불 투자계획을 제안해 놓은 상태이다. Green Power Express plan으로 불리는 이 계획은 총 3,000 miles의 전력망을 통해 최대 12,000 MW의 전력배송을 처리를 추진중이다. ITC의 계획이 성공하기 위해서는 규제완화나 환경보호단체 및 NIMBY 현상에 의한 반대를 극복해야 할 것이다.

북유럽에서는 인프라스트럭처의 상당부분이 해안가의 풍력발전은 도시로 끌어오는데 있다. 아일랜드의 Imera Power사는 북해와 대서양 해안의 풍력 발전을 영국, 아일랜드, 프랑스, 벨기에 및 독일의 전력시장으로 연결하기 위한 \$56억불 규모의 투자를 계획하고 있다.

[참고할만한 웹사이트]

Electric Reliability council of Texas (www.ercot.com)

Imera (www.imerapower.com)

iTc holdings (www.itc-holdings.com)

Midwest independent Transmission System operator (www.midwestiso.com)

Oncor (www.oncor.com)

□ Micropower shows IT is no small thing

대부분의 중앙집중형 발전설비들은 대형화되고 있으나, 일부에서는 소형화도 진행되고 있다. 소규모 또는 지역단위의 microturbines, cogeneration, solar cells, fuel cells, geothermal, wind turbines 등에 의한 “micropower” grids가 확대되고 있다. 미국 전력 시장에서 micropower는 전체 전력량의 6%에 불과하지만, 다른 국가들에서는 전체 1/6 또는 절반에 이르고 있다. 2007년의 경우, 전세계적으로 원자력 발전이 증가한 것에 비해 미국, 중국, 스페인의 경우에는 풍력발전이 증가하였다.

Rocky Mountain Institute의 Amory Lovins에 의하면 대형 중앙발전 설비가 도입될 당시에는 이 설비들이 비싸고 신뢰성이 낮기 때문에 그리드로 상호 보완해줌으로써 전력용량과 신뢰성을 지원하였는데 지금은 그 반대로 대형 발전설비가 그리드보다 더욱 저렴하고 신뢰성이 높으며, 오늘날 대부분의 전력관련 문제는 발전설비보다는 그리드에서 발생하고 있음을 지적하였다.

지역그리드 네트워크는 안보 측면에서도 중요한 의미를 갖는다. 전직 미국 CIA chief인 R. James Woolsey는 현재의 그리드는 실시간(just-in-time) 기준으로 잘 작동되지만 대형폭풍우나 테러리스트에 의한 위협과 just-in-case에서는 매우 위험한 상황에 노출되어 있음을 지적하고 있다.

Microgrids는 다양한 에너지 솔루션의 에코시스템의 성장을 지원할 수 있는 네트워크를 형성한다. 또한 local grid는 국가차원의 utility failure로부터 지역망을 분리하거나 다양하고 견고한 에너지 저장시스템을 활성화시키는 것과 같은 유연성을 증대시킬 수 있다. 이러한 아이디어는 새로운 것이 아니다. 데이터센터들은 수년동안 이런 방식으로 글로벌 그리드와 독립적인 로컬센터 체제로 운영되어 왔으며, 에너지 시스템은 이제 막 이러한 장점들을 발견한 수준에 도달한 것이다.

Microgrids는 micropower를 활성화시킬 수 있다. Microgrid 환경하에서 전력생산은 최종 소비자와 가깝게 위치할 수 있으므로 전기를 고압으로 전송함으로써 발생하는 손실을 줄일 수 있다. 또한 낭비되는 열을 재활용함으로써 전체 시스템의 효율성을 90% 수준으로 끌어올릴 수 있다.

Microgrid 지지세력들은 증가추세에 있다. Wal-Mart는 Texas와 Colorado에서 microgrids를 갖춘 두개 매장을 운영중에 있다. 유럽연합은 최소 6개 이상의 microgrid demonstration sites를 여러나라에서 운영하도록 자금을 지원하고 있다. Sandia National Labs은 군기지에서 사용할 수 있는 microgrids를 개발하고 있으며, Michigan 소재 Next-Energy사는 군기지와 전장캠프에서 사용가능한 “advanced mobile microgrid” 를 개발하고 있다.

[참고할만한 웹사이트]

Consortium for electric reliability Technology Solutions
(certs.lbl.gov/certs-der-micro.html)

new energy and industrial Technology development organization
(www.nedo.go.jp/english)

nextEnergy (www.nextenergy.org)

Rocky Mountain institute (www.rmi.org)

wal-Mart (www.wal-mart.com)

※ Waxman-Markey 법안(총 932p.) 원문과 배출권 할당관련 요약 발표문은 미국 하원 에너지상업위원회 웹사이트(<http://energycommerce.house.gov>) 참조

<부록 1> 미국 청정에너지 안보 법안 요약문

가. 배출권 할당(Allowance Allocation) (※2012년부터 시행)

(1) 소비자 보호

전기 가격 상승으로부터 보호

○ 전기부문: 배출권의 35% 할당(2026~2030년간 phase out)

- 지역전기배송회사: 30%

※단, 이 배출권은 전기가격 상승으로부터 소비자를 보호하는데 사용

- 상업용 석탄-장기전력구매 계약: 5%

천연가스 가격 상승으로부터 보호

○ 지역천연가스배송회사: 배출권의 9% 할당(2026~2030년간 phase out)

- 단, 이 배출권은 천연가스가격 상승으로부터 소비자를 보호하는데 사용

가정난방유 가격 상승으로부터 보호

○ 주 정부: 배출권의 1.5% 할당(2026~2030년간 phase out)

- 가정난방유 및 프로판 가스 사용자 지원 프로그램에 사용

중·저소득 가계 보호

○ 배출권의 15%에 대해 경매를 실시하고, 경매수익은 중·저소득 가정을 에너지가격 상승으로부터 보호하는데 사용

(2) 산업계의 전환 지원

에너지집중/무역의존 산업 보호

○ 2014년에 배출권의 15%를 할당하고 매년 배출목표의 감소분에 기초하여 점차적으로 축소

- 2025년 이후에는 대통령이 동 프로그램이 계속 필요하다고 결정하지 않는 한 phase out

국내 에너지 생산 보호

○ 정유산업계: 배출권의 2% 할당(2014~2026년)

(3) 에너지 효율 및 청정에너지 기술

탄소포집및분리(CCS) 관련 투자

- 전력업체들(utilities)의 CCS 시설 설치 및 운용관련 비용 지원을 위해 2014~2017년간 배출권의 2%, 2018년 이후에는 5% 할당

재생에너지 및 에너지 효율 관련 투자

- 주정부의 재생에너지 및 에너지효율 관련 투자 지원을 위해 2012~2015년간 배출권의 10%, 2016~2017년간 7.5%, 2018~2021년간 6.5%, 2022~2025년간 5% 할당

선진자동차 기술 관련 투자

- 전기자동차 및 기타 선진자동차 기술 관련 투자 지원을 위해 2017년에 배출권의 3%, 2018~2025년간 1% 할당

연구개발 관련 투자

- 청정에너지 기술 연구 및 개발을 위해 대학 및 연구소들의 청정에너지 혁신 센터 (Clean Energy Innovation Center)에 배출권의 1% 할당

(4) 기타 공공 목적

열대 삼림전용 방지를 통한 추가적 감축

- 2012~2025년간 배출권의 5% 할당
 - 2020년까지 2005년 대비 미국 배출량의 10%에 상당하는 추가 배출량 감축 달성
- 2026~2030년간 배출권의 3%를 할당하고, 2031년 이후에는 2% 할당

국내 적응(adaptation)

- 2012~2021년간 배출권의 2%, 2022~2026년간 4%, 2027년 이후 8% 할당
 - 배출권의 1/2는 야생동식물 및 천연자원 보호, 1/2는 공중보건을 위해 사용

국제적 적응 및 청정기술 이전

- 2012~2012년간 배출권의 2%, 2022~2026년간 4%, 2027년 이후 8% 할당
 - 배출권의 1/2는 적응, 1/2는 청정기술 이전을 위해 사용

□ 근로자 지원 및 직업 훈련

- 2012~2021년간 배출권의 0.5%, 2022년 이후 1% 할당

나. 재생전력 및 에너지효율 기준

- 전력생산업체들(utilities)은 2020년까지 전력의 15%를 재생에너지를 사용하여 생산해야 하고, 에너지효율 조치를 통해 연간 5%의 전력소비를 절약했다는 것을 입증해야 함.
- 만일 어느 주의 전력생산업체들이 15%의 재생전력기준을 충족시킬 수 없다면, 그 주지사는 재생전력기준을 12%까지 낮추고 에너지효율기준을 8%까지 높일 수 있음.

다. 온실가스 감축수준

- 2020년까지 2005년 대비 17% 감축(당초 3.30 초안에는 20% 감축 목표)
- 단, 2012년까지 2005년 대비 3%, 2030년까지 42%, 2050년까지 83% 감축 목표는 고수

라. 미 기업 경쟁력 관련 조치 주요 변경 내용(※법안 713~740p. 참조)

(1) 핵심 내용

- rebate제공과 국경 조치 골격은 유지
- 미국 기업에 대한 rebate제공시 비용의 85% 제한규정 삭제
- 국경조치관련 발동 기준이 미국과 상응한 조치를 취한 국가들로부터의 해당 부문의 전세계 생산량이 70%이상이 되어야 한다는 새로운 기준이 도입되고 시행을 2025년까지 유보

(2) 상세 내용

□ 에너지집중/무역의존 산업에 대한 rebate 제공

- 당초 해당 sector 평균비용의 85%에 대해서만 rebate를 제공하기로 했으나 이 제한을 없애고, 해당년도 에너지/무역의존 산업에 대한 배출권 할당량을 초과할 수 없도록 총 상한 설정

- 이러한 rebate는 2026년부터 매년 10% 감축해 2035년에 폐지하되(기존안은 2021년부터 매년 10% 감축), 2022년부터 매 4년마다 대통령이 동 감축 비율을 조정 (아래 2항 참조)
- EPA청장은 2011년 6월30일까지 EPA 청장은 관보에 해당 산업부문 초기 목록을 관보에 발표하고, 이후 2013년 2월 1일 전후 매 4년마다 갱신 목록을 관보에 발표 (rebate 대상 부문을 지정하는 규정도 2011년 6월30일까지 공표)

□ 국경조치 (International Reserve Allowance Program)

- 대통령은 2020년 1월1일 이전 수입업자가 배출권을 구입하도록 하는 International Reserve Allowance Program이 시행될 수 있다는 것을 외국정부에 통보하게 하는 규정 신설
- 2018년 1월1일 이전 대통령은 의회에 상기 rebate 제도가 얼마나 효과적이었는지를 평가하는 보고서를 의회에 제출
- 2022년 6월 30일 전후 매 4년마다 대통령은 각 해당 산업부문에 대해 전세계 생산량의 70%이상이 아래 최소 4가지 기준중 하나를 충족하지 못하는 나라들에 의해 생산 또는 제조되는지를 결정해야 함.

미국과 같은 정도로 엄격한 국내적으로 집행가능한 온실가스 감축 약속을 포함하는 미국이 당사국인 국제협정의 당사국인지 여부

- ② 미국이 당사국인 해당 부문에 대한 온실가스 감축 양자 또는 다자 협정 당사국인지 여부
- ③ 미국의 해당 부문 관련, 당사국이 미국의 에너지/온실가스 집약도보다 같거나 낮은 에너지/온실가스 집약도를 가지고 있는지 여부
- ④ 동 국가가 부문별 상한, 수출 관세, 생산요금, 전기생산 규정, 또는 온실가스 배출 요금을 포함해 온실가스 배출과 연관된 생산 비용을 점진적으로 증가(미국의 법률 이행비용의 최소 60% 충족 요)시키는 정책을 이행했는지 여부
 - 만약 대통령이 상기 기준중 하나라도 충족하는 국가로부터의 생산량이 해당 부문 전세계 생산량의 70%이하라고 결정할 경우, 대통령은 2022년 6월 30일 전후 4년마다 해당 sector에 대해서 △ 상기 1항의 rebate 제공 감축 비율을 수정하고, △ 국경조치인 International Reserve Allowance Program을 시행해야 함.
 - 단, 이 국경조치는 2025년 1월1일 이전까지는 시행될 수 없음.

6. Energy Frontier Research Center Program

1) EFRC 추진배경

미국 Department of Energy의 Office of Science와 Office of Basic Energy Sciences는 21세기 첨단 에너지 기술개발에 필요한 과학기술의 진보를 위해 Energy Frontier Research Centers (EFRCs) 프로그램을 추진하고 있다. EFRC는 전세계적인 청정에너지에 대한 수요를 충족시키기 위해 필수적인 기초과학 분야의 과학적 지식창출을 목적으로 하고 있다.

Context. 식물들의 광합성 작용을 모델로 한 시스템을 통해 태양에너지로부터 무한정한 전력을 공급받을 수 있고 남서부의 사막에서 생산된 전력을 동부연안까지 100% 효율로 송전할 수 있는 상황을 상상해보자. 20세기 정보기술 분야에서 과학기술이 기여한 것처럼, 첨단 과학기술에 의한 획기적 기술진보는 21세기 주요 에너지 관련 문제를 해결의 핵심이 될 것이다.

Establishing the Energy Research Directions. 2001년 the Basic Energy Sciences Advisory Committee (BESAC)는 DOE의 미션에 부합하는 기초 과학기술 연구의 범위에 대해 심도있는 연구를 진행하였다. DOE가 다루어야 할 주요 미션으로는 에너지 효율성, 신재생에너지, 화석연료의 활용도 제고, 안전한 원자력에너지, 미래 에너지원 및 에너지 생산과 활용의 환경영향력 감소 등이 있다.

과학기술 전문가 집단들은 BESAC의 연구에 대해 일주일짜리 워스샵에 적극적으로 참여함으로써 다양한 의견을 제시하였으며, 그 결과는 2003년에 Basic Research Needs to Assure a Secure Energy Future라는 보고서로 출간되었다. 본 보고서는 이후 5년동안 총 10차례의 “BasicResearchNeeds”워크샵으로 연결되었으며 대학, 산업, DOE, DOE 연구소에서 약 1,500명 이상의 전문가들이 참여하였다. 워크샵 기간동안 hydrogen economy; solar energy utilization; superconductivity; solid-state lighting; advanced nuclear energy systems; combustion of 21st century transportation fuels; electrical-energy storage; geosciences as it relates to the storage of energy wastes (the long-term storage of both nuclear waste and CO₂); materials under extreme environments; 및 catalysis for energy-related processes과 같은 다양한 주제들이

다루어졌다. 일련의 보고서 중에서 새로운 이론, 모델링, 시뮬레이션은 핵심 주제로 대두되었으며, BESAC의 Opportunities for Discovery: Theory and Computation in Basic Energy Science라는 보고서에 주요 하이라이트를 정리하였다.

워크샵 결과를 정리한 보고서들은 모두 지난 수십년동안 진행된 엄청난 과학적 진보를 강조하였다. 현재 직면한 과학적 도전들은 새로운 과학기술의 시대를 필요로 하는데 재료의 성질을 특정기준에 맞도록 설계하고 화학적 변환을 마음대로 이룰 수 있도록 하는 것과 같은 새로운 과학기술의 시대가 요구되고 있다. 대표적인 과학기술영역은 다음과 같다.

- Design, discover, and synthesize new materials and molecular assemblies through atomic scale control,
- Probe and control photon, phonon, electron, and ion interactions with matter,
- Perform multi-scale modeling that bridges the multiple length and time scales,
- Use the collective efforts of condensed matter and materials physicists, chemists, biologists, molecular engineers, and those skilled in applied mathematics and computer science.

퀀텀/원자/분자수준에서의 재료에 대한 직접적인 통제가 가능하기 위해서는 자연의 원리에 대한 본질적인 이해와 지식을 필요로 한다. BESAC Grand Challenges 소위원회는 기존과는 다른 완전히 새로운 지식을 위한 기회가 필요함을 제시하였다. Directing Matter and Energy: Five Challenges for Science and the Imagination 보고서에 제시된 것과 같이 에너지 관련 분야에서의 다섯가지 과학기술적 도전은 다음과 같다.

- How do we control materials processes at the level of electrons?
- How do we design and perfect atom- and energy-efficient syntheses of revolutionary new forms of matter with tailored properties?
- How do remarkable properties of matter emerge from the complex correlations of atomic or electronic constituents and how can we control these properties?

- How can we master energy and information on the nanoscale to create new technologies with capabilities rivaling those of living things?
- How do we characterize and control matter away—especially very far away—from equilibrium?

Addressing these grand challenges is key to making the transition from observation to control of matter.

2) EFRC 프로그램 소개

Energy Frontier Research Centers

총 12차례의 워싱턴을 통해 도출된 제안들을 실행하기 위해, Office of Basic Energy Sciences는 the Energy Frontier Research Centers (EFRCs)라는 새로운 프로그램을 시작하였다. EFRC에 초기 5년 동안 약 \$2-5백만불의 연구비를 지원할 계획이다. 2008년에 첫 EFRC설립을 위한 센터 설립 제안서를 접수하였으며, 선정된 EFRC는 2009년부터 연구를 진행하며 총 \$100백만불의 연구비를 지원할 예정이다.

EFRC는 통상적인 개인 연구자나 소집단 연구비로는 해결하기 어려운 포괄적이고 복잡한 연구를 위해 다양한 분야의 유능한 연구자들을 긴밀히 협력하는 것을 장려하고 있다. EFRC프로그램은 다음과 같은 특징을 갖고 있다.

- 각 연구 프로그램은 BESAC의 보고서인 Directing Matter and Energy: Five Challenges for Science and the Imagination ()에서 제시된 한가지 또는 그 이상의 도전과제를 최전선에서 다루어야 함.
- 각 연구 프로그램은 총 10회의 BES workshop결과인 Basic Research Needs series ()에서 제시된 한가지 또는 그 이상의 도전과제를 최전선에서 다루어야 함.
- 각 연구 프로그램은 균형있고 포괄적이어야하며, 새로운 접근을 위한 필요한 실험/이론/computation 노력을 지원해야 함
- 각 연구 프로그램은 21세기 글로벌 에너지 문제를 해결할 수 있는 미래 과학자들을 훈련시키고 지원하는 기회를 제공해야 함
- 연구책임자들은 다양한 분야의 과학자들과 커뮤니케이션 해야 하고, 에너지과학과 기술의 중요성에 대해 명확하게 인지하고 있어야 함
- 각 연구 프로그램은 고위험-고수익 연구를 위한 세계적 수준의 프로그램을 운영할 수 있는 체계적인 경영 계획을 갖추어야 하고, 센터운영계획은 센터운영의 결과가 단순 개별 프로젝트의 합 이상의 결과를 창출할 수 있음을 제시해야 함

EFRC의 집중연구 영역은 아래 제시된 연구주제를 다루어야 한다. 아래 제시된 연구영역에서 세부기술들을 예시에 불과하므로 각 연구센터들은 연구주제 범위내에서 자유롭게 기술할 수 있다. EFRC에서는 자연원리에 대한 근본적인 이슈나 현존 최대 도전이슈들에 대한 지식들에 대한 과학기술자들의 상상력과 창의성 발휘를 중요시하고 있다. EFRC의 집중 연구주제는 다음과 같으며, 각 연구영역에 대한 세부 설명은 <부록 1>에 제시되어 있다.

- Direct conversion of solar energy to electricity and chemical fuels.
- Understanding of how biological feedstocks are converted into portable fuels
- A new generation of radiation-tolerant materials and chemical separation processes for fission applications.
- Addressing fundamental knowledge gaps in energy storage.
- Transforming energy utilization and transmission.
- Science-based geological carbon sequestration.

EFRC선정 및 연구비 지원은 2009년부터 시작되며, 연구센터 선정은 대학, DOE및 기업들간의 공개경쟁을 통해 선발하였다. 연구프로젝트는 대학, DOE연구소에서 진행될 수도 있고 공동연구를 통해 진행될 수도 있다. 개별 EFRC는 연구규모와 과제제안서에 따라 첫 5년동안 \$2-5백만의 연구비를 지원할 예정이다. EFRC 프로그램이 안정화되면, 신규 EFRC 지원은 매 2~3년마다 진행하며 기존센터의 제안서와 신규 제안서간의 공개경쟁을 통해 지원여부를 결정할 계획이다.

3) EFRC 선정 현황

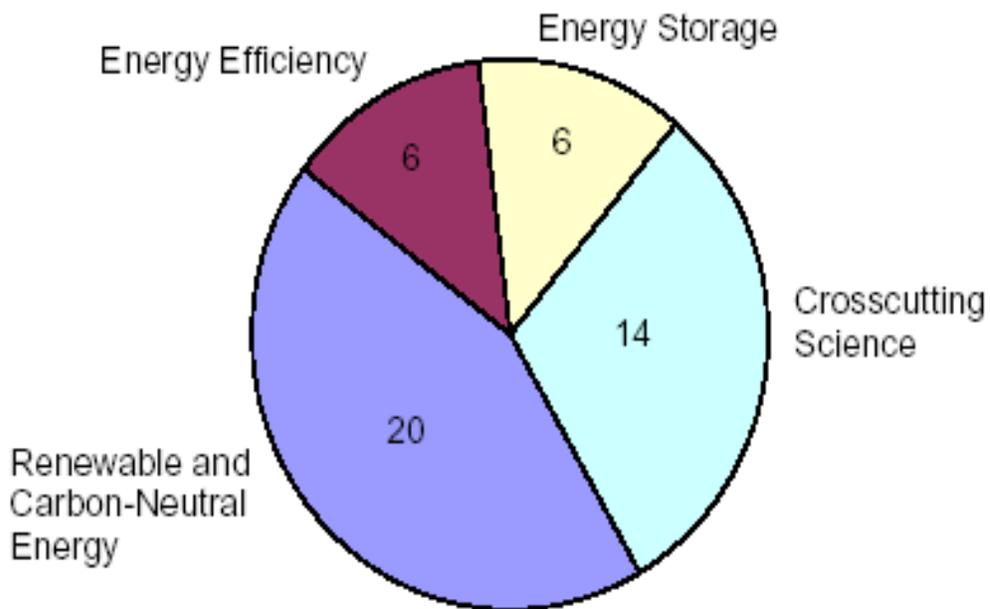
2009년 4월 27일 DOE는 향후 5년간 총 \$777백만불을 투자하게 될 총 46개의 EFRC를 선정발표하였다. 선정된 46개 EFRC는 미국전역의 대학, 정부연구소, 비영리기관 및 기업들을 포함하고 있다. 선정된 연구센터 리스트와 각 연구센터의 연구개요는 <부록 2>에 제시되어 있다.

총 260개의 센터설립 제안서에 대한 심사평가를 통해 최종적으로 46개 EFRC를 선정하였다. 미국전역에서 110개 이상의 연구기관들이 EFRC 연구에 참여할 예정이며, 약 700명 이상의 중견 과학기술자와 1,100명 이상의 포닥연구자, 대학원생, 학부생 및 테크니션들이 연구에 참여할 계획이다. 연구자들의 1/3은 미국 경기부양법(ARRA)의 자금으로 지원받는다.

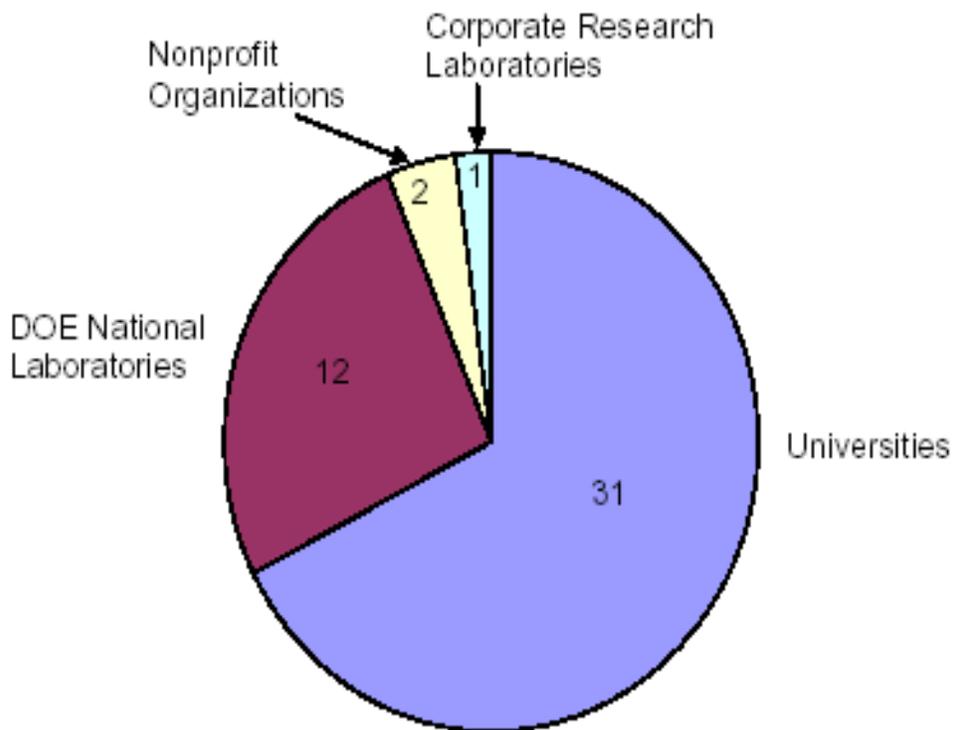
46개 EFRC 연구들은 Basic Research Needs (BRN) 워크샵 시리즈에서 제시된 에너지 주요 연구과제들을 모두 다루고 있으며, 한가지 또는 두가지 이상의 과학적 도전과제들을 다루고 있다. 분야별 EFRC 선정결과(괄호안은 BRN에서 제시된 연구과제임)는 다음과 같다.

- Renewable and Carbon-Neutral Energy (Solar Energy Utilization, Advanced Nuclear Energy Systems, Biofuels, Geological Sequestration of CO₂); 20 EFRCs
- Energy Efficiency (Clean and Efficient Combustion, Solid State Lighting, Superconductivity); 6 EFRCs
- Energy Storage (Hydrogen Research, Electrical Energy Storage); 6 EFRCs
- Crosscutting Science (Catalysis, Materials under Extreme Environments, other); 14 EFRCs

선정된 46개 EFRC의 책임 운영기관별 분포를 살펴보면, 대학(31개), DOE산하 정부연구소(12개), 비영리기관(2개) 및 민간기업(1개)로 분포되어 있다. Argonne National Lab, Oak Ridge National Lab, Northwestern University, MIT, UT-Austin은 동일기관내 2개 EFRC가 선정되었으며, 민간기업으로서는 GE Global Research 가 유일하게 EFRC로 선정되었다.



<그림 1> 연구영역별 EFRC 분포



<그림 2> 연구기관별 EFRC 분포

<부록 1> EFRC 집중 연구주제 개요

- Direct conversion of solar energy to electricity and chemical fuels. Learning to direct and control materials and chemical processes at the level of electrons, where the laws of quantum mechanics rule, would pave the way for essentially new quantum control impacting catalysis, photochemistry, molecular biology, and device physics that are the foundational pieces in solar energy conversion. Powerful new methods of nanoscale fabrication, characterization, and simulation—using physical, chemical and biological tools that were not available as few as five years ago—create new opportunities for understanding and manipulating the molecular and electronic pathways of solar energy conversion. Specific areas include coaxing cheap materials for superior performance; new paradigms for solar cell design; photo-catalytic processes for inexpensive, efficient conversion; and bio-inspired methods for self-assembly of molecular components into functional self-regulating, and self-repairing systems for solar fuel production.

- Understanding of how biological feedstocks are converted into portable fuels. Biological systems are the proof-of-concept for what can physically be achieved by nanotechnology. Consider the ease with which biological systems transform and store energy or their ability to self-repair and to adapt to changing external conditions. The way in which energy, entropy, and information are manipulated within the nanosystems of life provides us with lessons on what we must learn in order to develop similarly sophisticated energy technologies. This entails research in light harvesting, exciton transfer, charge separation, transfer of reductant to carbon dioxide as well as carbon fixation and storage. Specific areas might include molecular-scale characterization of the physical structure and chemical properties of plant cell wall materials with the aim of circumventing the need for extensive pre-treatment and biological hydrolysis to sugars (saccharification), which are current bottlenecks in cellulosic biofuel production. Other areas include development of new and improved catalytic conversion processes that are far more robust than enzymatic systems for the conversion of plant polymers to fuels.

- A new generation of radiation-tolerant materials and chemical separation processes for fission applications. By designing and perfecting atom- and energy-efficient synthesis, one can create a paradigm shift in the discovery and design of new chemical assemblies and materials that are mechanical strong; light weight; and resistant to corrosion, decay, or failure in extreme conditions of temperature, pressure, radiation, or chemical exposures encountered in fission applications. Key research includes: foundational research in chemistry and physics of actinides and their fission products; new generation of actinide separations processes with improved efficiency, selectivity, cost-effectiveness, and waste minimization; first-principles design and understanding of materials with improved radiation and corrosion resistance at elevated temperatures; microstructural design and predictive models for mitigating long-time degradation behavior; characterization, theory, and computer models for decades-to-centuries performance; and solution and interfacial behavior under extreme radiation flux and elevated temperatures.

- Addressing fundamental knowledge gaps in energy storage. Without effective electrical energy storage, renewable—yet intermittent—sources of energy such as wind and solar will not be able to significantly displace fossil, nuclear, and other conventional energy sources used for generating electricity for the power grid. Similarly, current battery technologies are limited, making plug-in hybrid or all-electric cars prohibitively costly and insufficient to meet consumer demands. Long-term, fundamental research in electrical energy storage will be needed to accelerate the pace of scientific discoveries and to see transformational advances that bridge the gaps in cost and performance, separating the current technologies and those required for future utility and transportation needs. For example, by mastering energy balance on the nanoscale through harvesting the large number of forces that are often operating simultaneously, such as electrostatic attraction and repulsion, chemical bonding, surface tension, and random forces from environmental fluctuations, a wide variety of structures can be assembled for 3-D architectures with multi-functionalities in energy storage unsurpassed by any

given existing technologies. Other research areas include new capabilities to “observe” the dynamic composition and structure of the constituents in the electrochemical storage systems; novel electrolytes with high conductivity over a broad temperature range and long-term stability; and theory, modeling, and simulation that integrate methods at different time and length scales.

- Transforming energy utilization and transmission. At the heart of the nanoscale behavior, one often finds emergent phenomena, in which a complex outcome emerges from the correlated interactions of many simple constituents. By understanding the fundamental rules of correlations and emergence and then by learning how to control them, we could produce, for example, an entirely new generation of energy utilization and transmission processes, such as in phase change materials for thermal energy conversion, strong light-matter interaction and collective charge behavior for light emission nearing theoretical efficiency, and radically different combustion chemistry of alternative fuels. Understanding the emergent behavior of materials and chemical reactivity at the nanoscale offers remarkable opportunities in broad arena of applications including solid-state lighting, electrical generators, clean and efficient combustion of 21st century transportation fuels, catalytic processes for efficient production and utilization of chemical fuels, and superconductivity for resistance-less electricity transmission.

- Science-based geological carbon sequestration. All natural and most human-induced phenomena occur in systems that are away from the equilibrium in which the system would not change with time. If we can understand system effects that take place away—especially very far away—from equilibrium and learn to control them, it could yield dramatic new carbon capture technologies and enable new strategies for sequestering carbon to mitigate environmental damage. Key research areas involve new membranes and separations of carbon dioxide from process streams at high temperature and pressure; understanding geochemical processes relevant to

the dimensions of subsurface sequestration sites with realistic geological formations chemistry; developing critical geophysical measurement techniques for remote probing and tracking; developing fluid-flow measurement approaches and simulation tools that can link chemical and physical processes at multiple scales; and advanced measurement and modeling verification at field sites.

<부록 2> EFRC 선정 기관 및 연구주제

**Department of Energy
Energy Frontier Research Centers (EFRCs)**

Institution	Location	State	EFRC Name	EFRC Director	EFRC Objective
Arizona State University*	Tempe	AZ	EFR Center for Bio-Inspired Solar Fuel Production	Gust, J. Devens	Adapt the fundamental principles of natural photosynthesis to the man-made production of hydrogen or other fuels from sunlight.
University of Arizona*	Tucson	AZ	Center for Interface Science: Hybrid Solar-Electric Materials (CIS:HSEM)	Armstrong, Neal R.	Enhance the conversion of solar energy to electricity using hybrid inorganic-organic materials.
California Institute of Technology	Pasadena	CA	Light-Material Interactions in Energy Conversion	Atwater, Harry	Tailor the properties of advanced materials to control the flow of solar energy and heat.
Lawrence Berkeley National Laboratory	Berkeley	CA	Center for Nanoscale Control of Geologic CO ₂	DePaolo, Donald	Establish the scientific foundations for the geological storage of carbon dioxide.
Stanford University	Stanford	CA	Center on Nanostructuring for Efficient Energy Conversion	Prinz, Fritz	Design, create, and characterize materials at the nanoscale for a wide variety of energy applications.
University of California, Berkeley	Berkeley	CA	Center for Gas Separations Relevant to Clean Energy Technologies	Smit, Berend	Design and synthesize new forms of matter with tailored properties for gas separations in applications including carbon capture and sequestration.
University of California, Los Angeles	Los Angeles	CA	Molecularly Assembled Material Architectures for Solar Energy Production, Storage, and Carbon Capture	Ozolins, Vidvuds	Acquire a fundamental understanding and control of nanoscale material architectures for conversion of solar energy to electricity, electrical energy storage, and separating/capturing greenhouse gases.
University of California, Santa Barbara*	Santa Barbara	CA	Center on Materials for Energy Efficiency Applications	Bowers, John	Discover and develop materials that control the interactions between light, electricity, and heat at the nanoscale for improved solar energy conversion, solid-state lighting, and conversion of heat into electricity.
University of Southern California*	Los Angeles	CA	Emerging Materials for Solar Energy Conversion and Solid State Lighting	Dapkus, Paul Daniel	Simultaneously explore the light absorbing and emitting properties of hybrid inorganic-organic materials for solar energy conversion and solid-state lighting.
National Renewable Energy Laboratory	Golden	CO	Center for Inverse Design	Zunger, Alex	Replace trial-and-error methods used in the development of materials for solar energy conversion with an inverse design approach powered by theory and computation.

* Funded under the *American Recovery and Reinvestment Act of 2009*.

**Department of Energy
Energy Frontier Research Centers (EFRCs)**

Institution	Location	State	EFRC Name	EFRC Director	EFRC Objective
Carnegie Institute of Washington	Washington	DC	Center for Energy Frontier Research in Extreme Environments (EFree)	Mao, Ho-Kwang	Accelerate the discovery of energy-relevant materials that can tolerate transient extremes in pressure and temperature.
University of Delaware*	Newark	DE	Rational Design of Innovative Catalytic Technologies for Biomass Derivative Utilization	Vlachos, Dionisios	Design and characterize novel catalysts for the efficient conversion of the complex molecules comprising biomass into chemicals and fuels.
Idaho National Laboratory	Idaho Falls	ID	Center for Materials Science of Nuclear Fuel	Wolf, Dieter	Develop predictive computational models, validated by experiments, for the thermal and mechanical behavior of analogues to nuclear fuel.
Argonne National Laboratory	Argonne	IL	Institute for Atom-Efficient Chemical Transformations (IACT)	Marshall, Christopher	Discover, understand, and control efficient chemical pathways for the conversion of coal and biomass into chemicals and fuels.
Argonne National Laboratory	Argonne	IL	Center for Electrical Energy Storage: Tailored Interfaces	Thackeray, Michael	Understand complex phenomena in electrochemical reactions critical to advanced electrical energy storage.
Northwestern University	Evanston	IL	Argonne-Northwestern Solar Energy Research (ANSER) Center	Wasielowski, Michael	Revolutionize the design, synthesis, and control of molecules, materials, and processes in order to dramatically improve conversion of sunlight into electricity and fuels.
Northwestern University*	Evanston	IL	Center for Integrated Training in Far-From-Equilibrium and Adaptive Materials (CITFAM)	Grzybowski, Bartosz	Synthesize, characterize, and understand new classes of materials under conditions far from equilibrium relevant to solar energy conversion, storage of electricity and hydrogen, and catalysis.
Purdue University*	West Lafayette	IN	Center for Direct Catalytic Conversion of Biomass to Biofuels (C3Bio)	McCann, Maureen	Use fundamental knowledge about the interactions between catalysts and plant cell walls to design improved processes for the conversion of biomass to energy, fuels, or chemicals.
University of Notre Dame*	Notre Dame	IN	Materials Science of Actinides	Burns, Peter C.	Understand and control, at the nanoscale, materials that contain actinides (radioactive heavy elements such as uranium and plutonium) to lay the scientific foundation for advanced nuclear energy systems.
Louisiana State University	Baton Rouge	LA	Computational Catalysis and Atomic-Level Synthesis of Materials: Building Effective Catalysts from First Principles	Spivey, James	Develop computational tools to accurately model catalytic reactions and thereby provide the basis for the design of new catalysts.

* Funded under the *American Recovery and Reinvestment Act of 2009*.

Page 2 of 5

**Department of Energy
Energy Frontier Research Centers (EFRCs)**

Institution	Location	State	EFRC Name	EFRC Director	EFRC Objective
Massachusetts Institute of Technology	Cambridge	MA	Solid-State Solar-thermal Energy Conversion Center (S3TEC CENTER)	Chen, Gang	Create novel, solid-state materials for the conversion of sunlight and heat into electricity.
Massachusetts Institute of Technology*	Cambridge	MA	Center for Excitonics	Baldo, Marc	Understand the transport of charge carriers in synthetic disordered systems, which hold promise as new materials for conversion of solar energy to electricity and electrical energy storage.
University of Massachusetts*	Amherst	MA	Polymer-Based Materials for Harvesting Solar Energy	Russell, Thomas	Use novel, self-assembled polymer materials in systems for the conversion of sunlight into electricity.
University of Maryland	College Park	MD	Science of Precision Multifunctional Nanostructures for Electrical Energy Storage	Rubloff, Gary	Understand and build nano-structured electrode components as the foundation for new electrical energy storage technologies.
Michigan State University	East Lansing	MI	Revolutionary Materials for Solid State Energy Conversion	Morelli, Donald	Investigate the underlying physical and chemical principles of advanced materials for the conversion of heat into electricity.
University of Michigan*	Ann Arbor	MI	Solar Energy Conversion in Complex Materials (SECCM)	Green, Peter	Study complex material structures on the nanoscale to identify key features for their potential use as materials to convert solar energy and heat to electricity.
Donald Danforth Plant Science Center	St. Louis	MO	Center for Advanced Biofuels Systems	Sayre, Richard	Generate the fundamental knowledge required to increase the efficiency of photosynthesis and production of energy-rich molecules in plants.
Washington University, St. Louis	St. Louis	MO	Photosynthetic Antenna Research Center	Blankenship, Robert	Understand the basic scientific principles that underlie the efficient functioning of the natural photosynthetic antenna system as a basis for man-made systems to convert sunlight into fuels.
University of North Carolina*	Chapel Hill	NC	Solar Fuels and Next Generation Photovoltaics	Meyer, Thomas	Synthesize new molecular catalysts and light absorbers and integrate them into nanoscale architectures for improved generation of fuels and electricity from sunlight.
Princeton University	Princeton	NJ	Energy Frontier Research Center for Combustion Science	Law, Chung K.	Develop a suite of predictive combustion modeling capabilities for the chemical design and utilization of non-petroleum based fuels in transportation.
Los Alamos National Laboratory	Los Alamos	NM	The Center for Advanced Solar Photophysics	Klimov, Victor	Capitalize on recent advances in the science of how nanoparticles interact with light to design materials that have vastly greater efficiencies for the conversion of sunlight into electricity.

* Funded under the *American Recovery and Reinvestment Act of 2009*.

Page 3 of 5

**Department of Energy
Energy Frontier Research Centers (EFRCs)**

Institution	Location	State	EFRC Name	EFRC Director	EFRC Objective
Los Alamos National Laboratory	Los Alamos	NM	Extreme Environment-Tolerant Materials via Atomic Scale Design of Interfaces	Nastasi, Michael	Understand, at the atomic scale, the behavior of materials subject to extreme radiation doses and mechanical stress in order to synthesize new materials that maintain their desired properties under such conditions.
Sandia National Laboratories	Albuquerque	NM	EFRC for Solid State Lighting Science	Simmons, Jerry	Study energy conversion in tailored nanostructures as a basis for dramatically improved solid-state lighting.
Brookhaven National Laboratory	Upton	NY	Center for Emergent Superconductivity	Davis, J.C. Seamus	By understanding the fundamental physics of superconductivity, discover new high-temperature superconductors and improve the performance of known superconductors.
Columbia University*	New York	NY	Re-Defining Photovoltaic Efficiency Through Molecule-Scale Control	Yardley, James	Develop the enabling science needed to realize breakthroughs in the efficient conversion of sunlight into electricity in nanometer sized thin films.
Cornell University*	Ithaca	NY	Nanostructured Interfaces for Energy Generation, Conversion, and Storage	Abruna, Hector	Understand and control the nature, structure, and dynamics of reactions at electrodes in fuel cells, batteries, solar photovoltaics, and catalysts.
General Electric Global Research	Niskayuna	NY	Center for Electrocatalysis, Transport Phenomena and Materials for Innovative Energy Storage	Soloveichik, Grigorii	Explore the fundamental chemistry needed for an entirely new approach to energy storage that combines the best properties of a fuel cell and a flow battery.
State University of New York, Stony Brook	Stony Brook	NY	Northeastern Chemical Energy Storage Center (NOCESC)	Grey, Clare P.	Understand how fundamental chemical reactions occur at electrodes and use that knowledge to tailor new electrodes to improve the performance of existing batteries or to design entirely new ones.
Pennsylvania State University*	University Park	PA	Center for Lignocellulose Structure and Formation	Cosgrove, Daniel	Dramatically increase our fundamental knowledge of the physical structure of bio-polymers in plant cell walls to provide a basis for improved methods for converting biomass into fuels.
University of South Carolina	Columbia	SC	Science Based Nano-Structure Design and Synthesis of Heterogeneous Functional Materials for Energy Systems	Reifsnider, Kenneth	Build a scientific basis for bridging the gap between making nano-structured materials and understanding how they function in a variety of energy applications.

* Funded under the *American Recovery and Reinvestment Act of 2009*.

Page 4 of 5

**Department of Energy
Energy Frontier Research Centers (EFRCs)**

Institution	Location	State	EFRC Name	EFRC Director	EFRC Objective
Oak Ridge National Laboratory	Oak Ridge	TN	Energy Frontier Center for Defect Physics in Structural Materials (CDP)	Stocks, G. Malcolm	Enhance our fundamental understanding of defects, defect interactions, and defect dynamics that determine the performance of structural alloys in extreme radiation environments.
Oak Ridge National Laboratory	Oak Ridge	TN	Fluid Interface Reactions, Structures and Transport (FIRST) Center	Wesolowski, David	Provide basic scientific understanding of phenomena that occur at interfaces in electrical energy storage, conversion of sunlight into fuels, geological sequestration of carbon dioxide, and other advanced energy systems.
University of Texas, Austin	Austin	TX	Frontiers of Subsurface Energy Security	Pope, Gary A.	Harness recent theoretical and experimental advances to explain the transport of native and injected fluids, particularly carbon dioxide, in geological systems over multiple length scales.
University of Texas, Austin*	Austin	TX	Understanding Charge Separation and Transfer at Interfaces in Energy Materials and Devices (CST)	Barbara, Paul	Pursue fundamental research on charge transfer processes that underpin the function of highly promising molecular materials for photovoltaic and electrical energy storage applications.
University of Virginia	Charlottesville	VA	Center for Catalytic Hydrocarbon Functionalization	Gunnoe, T. Brent	Develop novel catalysts and manipulate their reactivity for the efficient conversion of hydrocarbon gases into liquid fuels.
Pacific Northwest National Laboratory	Richland	WA	Center for Molecular Electrocatalysis	Bullock, R. Morris	Develop a comprehensive understanding of how chemical and electrical energy contained in fuels is exchanged, stored and released.

* Funded under the *American Recovery and Reinvestment Act of 2009*.

Page 5 of 5

7. 지속가능한 에너지미래를 위한 미국의 신과학 정책

1) Foreword

미국은 세가지 에너지 도전에 직면해 있다.

- 에너지 독립(Energy Independence). U.S. 미국의 에너지 사용량은 국내 생산량을 넘어서 매일 16백만 배럴를 더 사용하고 있으며, 부족분들은 원유와 천연가스의 수입으로 충당하고 있다. 이러한 부족분은 1970년 이후 세배 수준으로 확대되었다.
- 환경의 지속가능성(Environmental Sustainability). 미국은 이산화탄소와 다른 온실가스 배출을 줄여야 한다. 이러한 오염물질 배출의 주원인은 미국 에너지 공급의 85%를 구성하고 있는 화석연료의 연소로부터 나오고 있다.
- 경제적 기회(Economic Opportunity). The 미국 경제를 최근 증가하는 원유가격으로 인해 매년 \$7000억불에 달하는 높은 원유도입 비용으로 위협받고 있다.

우리는 수입석유에 의존할 필요가 없는 차세대 청정에너지 기술을 개발할 필요가 있다. 미국의 리더십은 가정용 해결책을 제공할 수 있을 뿐만 아니라 글로벌 경제적 기회를 창조할 수도 있다. 이러한 과제는 매우 도전적인 것이어서 기존의 에너지 기술로는 우리의 에너지 미래를 담보하기에 충분치 않을 수 있다.

그러므로, 이러한 도전을 해결하기 위해서는 현재 수준을 훨씬 뛰어넘는 성능수준의 에너지를 생산, 저장 및 사용할 수 있는 새로운 기술을 필요로 한다. 그런 신기술은 빛, 전기 및 화학적 연료간의 에너지 전환과 관련된 새로운 재료와 화학공정의 과학적 돌파구(breakthroughs)로부터 나온다. 기초 에너지 연구를 위한 국가적 투자와 새로운 에너지 기술의 사업화를 가속화하는 기술혁신에 대한 투자를 조화가 앞에서 제시한 세가지 도전을 해결하는데 필요하다. 본 보고서는 획기적인 과학적 돌파구가 시급히 필요한 세가지 전략적 목표를 제시한다.

- 태양을 이용한 연료 생산 (Making fuels from sunlight)
- 이산화탄소 배출 없는 전력생산 (Generating electricity without carbon dioxide emissions)
- 에너지 효율성과 사용의 변화 (Revolutionizing energy efficiency and use)

이러한 목표를 달성하는 것은 에너지의 생산과 소비의 근본적인 변화를 의미한다. 우리는 지구에서 태양광선, 수자원 및 이산화탄소로부터 화학적 연료를 제조할 것이다. 또한 태양광선, 바람 및 고효율 청정 석탄 및 최신 원자로에서 전력을 생산할 것이다. 자가용과 경트럭은 차세대 배터리와 연료 전지를 이용하는 효율적인 전기모터로 작동될 것이다.

이러한 최신 첨단 에너지 기술들은 기능성과 성능 측면에서 매우 높은 수준으로 작동되는 새로운 재료와 화학적 변화를 통제능력을 필요로 한다. 현재보다 두세배 높은 효율로 태양광선을 전기로 전환하거나, 현재 밀도보다 10배 이상으로 전기를 배터리나 supercapacitor로 저장하거나 극고온과 효율성을 가진 석탄발전 및 원자력을 가동하는 것은 모든 원자들의 특별한 기능을 갖고 있는 특화된 nanoscale 구조로 설계와 통제되는 재료를 필요로 한다.

이러한 고성능 재료들은 생체조직이나 단백질과 같이 현재의 에너지 재료들보다 극도의 복잡성을 갖는다. 이러한 첨단 재료와 화학공정을 개발하는 것은 현재 수준을 넘어서는 구조와 물질간 동태성을 규명하는 것이 요구된다.

에너지의 획득, 저장 및 방출과 관련된 물리적이고 화학적 현상은 나노스케일 수준에서 현재 우리가 해결할 수 있는 것보다 더 빠른 속도로 발생한다. 빛, 화학적 결합 및 전자들간의 에너지 변환의 비밀을 파헤치지는 것은 초소형 초고속의 숨겨진 영역을 확인할 수 있는 새로운 관찰도구를 필요로 한다.

전자 및 분자시스템에서의 에너지 흐름의 동태성에 대한 관찰은 이들의 움직임을 통제하기 위해서는 반드시 필요한 것이다. 이론, 계산 및 첨단시뮬레이션이 기반한 복잡한 재료와 화학적 변화에 대한 근본적인 이해는 새로운 에너지 기술을 만드는데 핵심적인 요소이다. 작동가능한 트랜지스터는 반도체 표면에서 전자들의 움직임에 대한 이론이 정립되기 전까지는 개발되지 않았다.

Superconductivity 분야에서는 superconductivity 메커니즘에 대한 microscopic 이론이 개발되면서 획기적인 변화가 발생하였다. 노벨상 수상자인 Phillip Anderson이 기술한 것처럼, 과학의 모든 복잡성의 단계에서 기존과 다른 것들은 breakthrough를 위한 새로운 법칙들을 필요로 한다. 이러한 breakthrough 없이는 미래 기술들은 실현되지 않을 것이다. 디지털 혁명은 트랜지스터에 의해 가능하였다.

오늘날 레이저는 보편화되어 있는데 CD, DVD 및 바코드 스캐너의 read-head의 기본기술이다. 레이저는 물질의 빛 방출에 대한 쿼텀이론이 이해되기 전까지는 개발될 수 없었다. 이러한 첨단 고성능 재료는 점진적 향상을 넘어서 진정으로 안전하고 지속가능한 미래 에너지를 만드는 도구이다. 이러한 도구를 통해 우리는 획기적이고 새로운 에너지 시스템을 상상하고 이루어낼 수 있을 것이다.

2) Imagining a Secure, Sustainable Energy Future

미국은 고가의 수입원유에 대한 의존도가 증가하고 있고, 온실가스 방출을 줄이는데 있어서 시급히 리더십을 확보해야 하며 역사적으로 어려운 경제 상황에 놓여있다.

에너지 기술에서의 글로벌 혁신을 선도하고자 하는 야심찬 시도를 하기에는 적절치 않은 시점일까? 2차 대전을 전후로 하여 루즈벨트 대통령이 국가적 자원들을 총동원하여 증명되지 않은 접근방법들을 통해서 과학기술자와 민간기업들을 레이저나 원자력을 개발함으로써 전쟁뿐만 아니라 이후의 경제 발전에 기여했던 시기를 되새겨보자.

그때와 같은 과학기술분야의 움직임이 현재의 문제들을 해결하는데 필요한 것이 아닐까? 이러한 투자가 지속가능한 에너지 산업을 확장하는데 필요한 수백만개의 일자리를 창출하고 경제를 회복하게 할 수 있지 않을까?

원유수입에 따른 국가적 안보위협과 경제적 손실로부터 자유로워질 수 있지 않을까? 글로벌 기후변화를 해결하고 에너지 솔루션에 대한 첨단기술시장 기회를 잡을 수 있도록 혁신적인 청정에너지 기술을 활용하여 국가적 명성이나 기술적 리더십을 회복해야 하지 않을까?

Manhattan 프로젝트나 나중의 Apollo 프로젝트와 같이 예상결과는 불확실하지만 루즈벨트 대통령이나 케네디 대통령이 직면했던 것과 같이 향후 전

망은 매우 혁신적인 것이다.

본 보고서는 미국의 최고 연구진, 혁신적인 엔지니어 및 visionary 창업가들의 관심과 열정을 새로운 에너지 미래를 만드는데 집중할 경우 어떤 것들이 가능할지에 대해 살펴본다.

Materials with Unprecedented Performance

초보자들을 위해, 현재의 원자로 용기나 석탄보일러를 만드는 제철이나 재료들이 기존의 bulk 공정이 아닌 나노스케일의 성질들을 통제가능한 새로운 공정으로 만들었다고 가정해보다. 이런 공정으로 stress의 self-healing이나 화학적 폭발을 억제할 수 있는 unusual surface 성질을 갖는 재료를 만들 수 있다. 결과적으로 damage에 대한 재료의 강도와 저항도를 상당부분 높일 수 있고 고장 발생시까지 소요시간을 기존 재료보다 거의 10배 이상으로 늘릴 수 있다.

이는 원자로 반응기를 현재 330°C의 34% 효율이 아닌 1000°C의 50%의 효율로 가동할 수 있음을 의미한다. 동일한 변화로는 석탄발전기를 60% 효율로 가동할 수 있으며, 에너지 소비를 줄일 수 있는 초경량 재료로 만든 자동차를 만듦으로써 개솔린 소비를 1/3로 줄일 수 있다. 이는 단지 과학소설이 아니다. Carbon nanotube와 같은 첨단 재료들은 철보다 1/6 무게에도 불구하고 100배 강도가 높다는 점은 이미 실험실 수준에서 널리 알려진 사실이다.

문제는 이러한 놀라운 성질이나 디자인을 실질적인 재료로 사용하기 위한 원자 및 분자원형에 대해 이해하는 것이다. 지구전체에 미치는 영향으로 생각하면, 화석연료는 2배 이상의 에너지 효율을 가질 것이다. 이러한 기술들을 미국뿐만 아니라 수십년 이내 인도와 중국에 건설될 수천개의 석탄 발전소에 적용할 필요가 있다.

Making Chemical Change More Selective

연료를 태우거나 원재료를 연료로 전환하는 과정에서 화학적 반응이 발생한다. 문제는 다양한 화학적 반응들이 존재한다는 것이고, 이러한 반응들의 대부분은 불필요한 부산물들을 발생시키고 에너지 효율을 감소시킨다.

생명체는 이러한 반응들을 통제할 수 있는 고성능의 selective catalysts로 진화해왔다. 자연과 비교할 때 인공 catalysts는 상대적으로 단순하고 개발되었다기 보다는 우연히 발견되었다. 원자수준에서 화학적 반응들을 통제할 수 있는지를 이해하는 nanoscale 과학을 통해서 현재의 catalysts를 넘어설 수 있는 기회를 가질 수 있다.

이는 Catalyst에서의 반응을 표면근처의 구조를 통해서 통제함으로써 반응 속도와 결과물들을 통제할 수 있는 새로운 기회를 갖게 되기 때문이다. 예를 들면, 전통적으로 금은 화학적 반응에 강한것으로 알려져 있으나, 연구자들은 금의 nanoscale cluster는 높은 반응도를 보이며 hydrogen으로부터 carbon monoxide를 제거하는데 매우 효과적인 catalyst임을 규명하였다. 식물들이 하는 것처럼 태양을 이용하며 에너지를 이용하는 것이 왜 불가능한 것인가? 오염물질을 배출하지 않는 발전기 연소가 왜 불가능한 것인가?

Returning Carbon to the Earth

고온의 고효율로 운영된다고 하더라도, 수천개의 신규 화력발전에서 배출되는 오염물질은 향후 기후재앙을 야기한다. 현재까지는 지구상에서 석탄이 가장 풍부한 화석연료이기 때문에, 우리는 석탄연소시 이산화탄소 배출을 억제할 수 있는 방법을 찾아야 한다. 한가지 가능성은 연소시 발생하는 이산화탄소 가스를 채취하여 압축하고 이를 안전하게 보관/저장할 수 있는 지리학적 형태를 갖춘 지하공간에 매립하는 것이다.

마지막 부분이 기초과학이 극복해야 하는 복잡한 장애요인이다. 예를 들면, 매립한 가스들이 지하수에 오염을 줄 수 있는 subsurface brine를 displace 하지 않고 얼마나 오랜기간 동안 보관할 수 있다는 것을 장담할 수 있는가?

이를 해결하지 위한 일부 방법은 통제가능한 large-scale trials를 이용하는 것이다. 그러나 이는 chemistry of carbon dioxide-brine mixtures나 이것들이 nanoscale에서 porous rocks과 어떻게 반응하지에 대해 충분히 이해하지 못한 상태의 결과를 예측하기 어려운 무모한 시도이다.

시뮬레이션 도구를 이용하여 지층 깊은 곳에서 오일을 채굴하는 방법을 찾아서 관리하는 것과 같이, 반대 과정인 화석연료로부터 발생한 온실가스를 지하 깊숙한 곳에 격리하는 것을 시뮬레이션 하는 것에 대해서도 이해할 수

있다.

격리를 위한 이산화탄소의 채취와 분리조차도 복잡하다. 고도의 selective하고 에너지 효율적인 공정은 분자수준에서의 탄소채취와 분리를 위한 새로운 재료를 필요로 한다. 화석연료로부터 발생한 예상 오염물질의 1/3 또는 1/2을 지하에 안전하게 저장할 수 있다고 이는 대단한 발전이다. 동시에 우리는 전기를 보다 효율적으로 쓸 수 있고 화석연료 없이도 전기를 생산할 수 있는 방법을 찾아야 한다.

Safer and More Efficient Nuclear Power

화석연료를 사용하지 않고 전기를 생산하는 한가지 방법은 이미 사용하고 있는 원자력을 이용하는 것이다. 그러나 원자력은 현재보다 더욱 효율적이고 안전해질 필요가 있다. 핵심은 new reactor concepts과 new complex materials 모든 면에서 개선이 필요하다.

원자력 분야가 더 안전해지는 것은 본질적으로 안전한 최신 반응기 설계와 핵반응의 복잡성을 정확하게 모델링할 수 있는 computation tools로부터 나온다. 우리는 핵폐기물들을 10분의 1 수준으로 줄일 수 있는 고속 반응기속에서 소각할 수 있으며, 이는 과학을 통해 핵연료의 재처리를 통한 폭탄제조 가능한 물질들이 불순한 이들에게 들어가는 것을 막을 수 있다. 이는 과거의 행정적 통제나 엔지니어링 규제가 아닌 과학기반의 예측가능한 과정을 통해 핵연료의 전주기를 관리하는 것이다.

Let There Be (Digital) Light

우리는 전력을 얼마나 더 효율적으로 사용할 수 있을까? 가정, 사무실 및 거리 조명용으로 사용되는 전체 전기의 22%를 2% 미만으로 어떻게 줄일 수 있을까?

해결책은 solid state 조명이다. 백열등은 대부분 열을 발생시키고 조명원으로서는단지 5%의 효율만을 갖는다. 원론적으로 solid state 조명은 70%의 효율을 낼 수 있다. 그러나 대부분의 solid state 조명은 현재의 백열등이나 형광등을 훨씬 능가하기 때문에 우리는 새로운 조명을 가져야만 한다. 그러므로 새로운 조명기기에 관한 과학기술 연구를 더욱 가속화시킬 필요가 있다.

The Challenged Electricity Grid



The electricity grid faces challenges of saturated capacity in cities and suburbs and of increasing standards for power quality and reliability. Further, the highest potential sources of solar and wind energy are not near the places of highest demand. We need more effective long distance transmission of electricity.

Electrical Energy Storage

조만간 하이브리드 자동차들은 더욱 효율적으로 될 것이고 배터리 생산을 더욱 증가할 것이며 배터리 충전 대신 배터리를 서비스센터에서 교체하거나 최신의 고속충전과 같은 새로운 방법들이 나타날 것이라는 것은 자명하다.

이러한 진보는 리튬이온 배터리와 관련된 과학기술의 최신 발견들에 의해 가능해지고 있다. 그러나 배터리 분야에서의 혁신적인 진보는 여전히 큰 장애요인으로 남아있다. 현재의 최신 기술이더라도, 한번 충전으로 전기차를 최대 200마일까지 작동할 수 있는 배터리는 여전히 크고 무겁고 비싸다.

핵심 연구과제는 충전시간과 비용을 획기적으로 줄일 수 있는 새로운 전기 화학적 에너지 충전 물질을 찾는 것이다. 개선된 전기 에너지 저장장치는 현재의 current stress를 완화하고 신재생에너지원간의 성장에 대응하기 위한 국가 electrical grid 측면에서 필요하다.

Pumping water uphill이나 compressed air storage같은 기계적인 에너지

저장 기술은 현재 기술로도 가능하나 이는 어느곳에서나 사용되기는 어렵다.

배터리를 이용한 전기화학적 에너지 저장장치는 단위부피당 더 많은 에너지를 저장하고 쉽게 이용할 수 있게 하지만 현재는 너무 비싼 상태이다.

그럼에도 불구하고 대용량 배터리는 이미 grid상에서 frequency fluctuations 통제 보조를 위해 사용되고 있다. 저녁이나 바람이 불지 않은 며칠과 같이 보다 오랜기간동안 상당량의 에너지를 공급할 수 있는 다른 최신 저장기술이 필요하다. 과학자들은 연료전지나 배터리의 혼합체로 redox flow batteries를 획기적으로 향상시킬 수 있는 방법을 연구중이다.

다른 접근법으로는 grid의 전력을 이용하여 물을 분해하여 발생하는 수소를 저장하는 방법이다. 우리가 더 많은 전력과 신뢰성 높은 전력을 위한 national electric grid를 필요로 할수록, grid 특성은 변해야 할 것이며 서로 다른 전력원들과 저장기술들의 혼합체 형태를 가질 것이다. 이는 최신 에너지 저장분야에서 새로운 물질이나 접근법에 있어서 기술적 돌파구에 대한 연구를 필수적임을 의미한다.

A Solar Economy for Buildings

조명은 좋은 출발점이다. 거의 모든 신규 상업용 및 주거용 건물의 지붕과 유리창에 현재가 아닌 미래의 솔라셀을 설치하여 전기를 직접 생산하고 electrical grid에 공급하는 것을 상상해보자.

그러한 솔라셀은 이미 실험실 수준에서 43%의 효율성을 가진 것으로 나타났다. 그러나 실험실의 솔라셀은 아직 미흡한데, 시장에 출시되기 위해서는 재료와 설치비를 상당히 낮추는 연구가 필요하다. 솔라셀의 다른 형태는 저렴한 organic materials를 사용하면 저비용의 태양전기를 만들 수 있는데 이는 재료들이 대부분의 solar-generated electrons들을 사용가능한 에너지로 완전하게 전환할 수 있을 경우이다.

솔라셀은 이미 생산중이고 발전하고 있으나, 기존의 석탄 화력발전과 경쟁하거나 이를 대체하기 위해서는 본질적으로 새로운 지식을 필요로 한다.

이외에도 획기적인 연구가 필요한 영역은 다음과 같다.

A Hybrid Electrical Grid

Advanced Transport

Solar Fuels

Electric Transport

3) The Path to Success

혁신적인 신물질과 화학적 공정은 새로운 비전을 달성하기 위한 핵심요인이다. 미래의 에너지 시스템은 에너지를 한가지 형태에서 다른 형태로 전환하는 물질과 화학적 공정을 바탕으로 발전할 것이다 그런 물질들은 현재의 에너지용 재료보다 더 smart하고 기능성을 갖추어야 할 것이다.

화학적 반응을 통제하고 solar photon을 electron으로 전환하기 위해서는 매단계에 맞게 nanoscale structure의 맞춤형 물질을 이용하는 여러 단계의 조정을 필요로 할 것이다.

그러나 첨단 물질들은 화석연료를 찾던 방식으로 자연에서 발견되지 않을 것이며, 기초과학에 의한 원리를 이용하여 정확한 기준에 따라 설계 제작되어야 할 것이다.

Photovoltaic conversion 현상과 이러한 기능을 하는 반도체 물질에 대한 지속적인 개선에 대한 이해를 넓혀온 물질에 대한 기초연구에 의해 상업용 silicon solar cells은 1954년의 6% 효율에서 현재는 20% 효율로 증가하였다.

태양광선을 전기로 전환하는 것은 여러 단계로 구성된 복잡한 과정이다. Solar cell의 효율을 향상시키기 위해서는 photon capture, charge separation 및 charge collection에 이르는 매 단계의 작동과정을 이해해야 한다.

매 단계에서 필요한 복잡한 재료들은 단일 기능을 위한 것으로 통합되어야 한다. 태양을 이용한 연료, 이산화탄소 배출없는 전기생산 및 혁신적인 에너지 효율과 이용과 같은 영역 모두에서 물질과 화학공정에서 상당수준의 복잡성을 필요로 한다.

최신 특성과 성향을 갖는 물질을 만드는 작업은 과학분야에서 기존의 관찰 중심의 과학에서 벗어나 “control science”의 등장과 같은 근본적인 변화에 의해 가능하다. 20세기의 observational science의 진보는 high

temperature superconductors, electron microscopy with atomic resolution 및 carbon nanotubes와 같은 대단한 발견을 이루어냈다.

이제 Observational science는 발견으로부터 축적된 지식을 이용하여 원자 또는 nanoscale에서 물질의 화학적 또는 물리적 성질을 직접적으로 설계, 작동 및 지시할 수 있는 science of control에 자리를 내주고 있다.

Control science는 물질과 화학적 변화의 복잡성을 책임지고, 기존의 우연성을 의도에 의한 결과로 대체시킬 수 있다. 에너지 전환을 통제하는 복잡한 구조, 복합체 및 화학적 공정을 설계하고 구현하는 것이 눈앞에 있다.

Control science와 고기능성 물질의 상호작용은 지속가능한 에너지의 도약점이 될 것이다. Control science의 방법과 도구들을 복잡한 물질과 화학적 공정에 적용하기 위한 국가차원의 노력은 미국의 해외에너지에 대한 의존도를 완화시키고 나아가 완전히 제거하고, 차세대 에너지 기술분야에서 기술적 리더십을 확보하여 이러한 기술들을 세계에 공급함으로써 경제적 혜택을 얻도록 할 것이다.

4) Recommendations

안전하고 지속가능한 에너지 미래에 대한 비전은 에너지 공급량의 1/3을 수입하기 위해 매년 수천억불을 지급하는 것에서 벗어나 미국내에서 carbon-free 새로운 에너지를 개발하고 생산하기 위한 개발로의 전환을 촉구하고 있다.

이는 작은 시도가 아니라 엄청난 기회이다. 에너지 공급과 사용패턴은 변화하지만, 모든 에너지 미래의 비전에는 carbon-free 에너지원의 대폭적인 증가와 에너지 효율성의 획기적인 향상을 포함한다.

문제는 현재의 해결책들이 이를 달성하기에는 매우 부족하다는 점이다. 게임의 룰을 바꿀 수 있는 새로운 아이디어, 패러다임을 변화시키는 기술적 돌파구를 통해 이를 달성해야 한다.

이것이 DOE의 of Basic Energy Sciences (BES)가 해야 하는 역할이다. 즉, 전혀 새로운 기술을 위한 토대가 되는 근본적이고 game-changing 발견과 기술혁신을 지원하고, 현재의 기술이 직면하고 있는 본질적인 기술적 장애요인을 극복할 수 있는 기술적 해결책을 제시하는 것이다.

엔지니어, 벤처기업가, 벤처캐피탈리스트 및 과학자 모두 함께 미래의 새로운 에너지 기술을 창조하고 이를 사업화하는데 협력해야 한다. 그러나 새로운 발견과 기술혁신 없이는 필요한 변화가 이루어지기 어렵고 실현시기는 더욱 늦춰질 뿐이다. BES는 이러한 도전을 해결할 수 있다.

BES의 미션은 새롭고 개선된 에너지 기술의 기반이 되는 본질적인 연구를 지원하고 에너지 사용에 따른 환경영향을 줄이는 것이다. BES는 새로운 물질과 화학공정 증명에 필요한 과학장비와 시설을 설계하고 건설할 수 있으며 대학, 정부연구소 및 산업계의 연구수요를 지원할 수 있다.

그동안의 11번의 Basic Research Needs 워크숍과 리포트 및 Grand Challenges 결과들을 통해 BES는 미국이 직면하고 있는 최대 단일 과학적 도전과제를 해결하기 위해 필요한 연구주제와 방법들을 정리하였다. 이제 결론은 명확하며 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 상당한 규모의 새로운 발견, 기술혁신 및 기술적 변화가 필요하다. BES는 차세대 carbon-free 에너지 기술에 핵심적인 기술적 장애요소들을 해결하기 위한 원대하고 새로운 도전을 주도해야 한다.
- 중요한 과학적 발견은 첨단물질에 대한 통제와 화학적 현상의 교차영역에서 나타날 것이다. 이러한 연구에 집중하는 연구자들에게는 분명한 선발자 우위가 있을 것이다. BES는 미국의 에너지 연구노력을 이러한 방향으로 이끌어서 미래 에너지원 및 시스템 개발에서 한참 뒤떨어진 미국을 이끌어가야 한다.
- 기술혁신을 촉진하기 위해서는 최고 인력의 “dream teams”과 첨단장비를 동원하여 최고의 도전과제에 집중해야 한다. BES는 이러한 연구진들의 개발방향을 synthesis, characterization, theory, and computation of advanced materials분야에서의 수요와 역량간의 격차를 줄이도록 이끌어야 한다.
- 미국의 리더십을 BES가 일련의 workforce development, 현재의 학생들과 젊은 연구자들을 미래 에너지 해결책의 발견자, 발명자 및 혁신자가 될 수 있도록 early career program을 통해 최고의 우수인력들을 보다 적극적으로 끌어올려 있는 국가적 노력을 필요로 한다.

본 연구동향은 DOE의 Basic Energy Science Advisory Committee의 Subcommittee에 의해 작성된 “New Science for a Secure and Sustain Energy Future” 보고서의 주요내용을 정리한 것임.

8. 미국의 녹색 일자리 전망

1) 녹색일자리 전망

향후 녹색일 자리를 전망하기 위해, 본 보고서에서는 세가지 영역 (Renewable Power Generation, Residential and Commercial Retrofitting, and Renewable Transportation Fuels) 으로 구분하고 각각의 시나리오 상황에 따른 세가지 예측결과를 추정하였다. 미국전체에 대한 예측은 현행 광역경제권별 비중을 적용하였다.

RENEWABLE POWER GENERATION

전력생산에서 신재생에너지의 사용을 촉진하기 위한 연방정부와 주정부 모두 노력하고 있다. 이러한 노력들이 아래 시나리오의 근거가 될 수 있다. District of Columbia 을 포함하여 총 24개 주에서 특정시점까지 신재생에너지를 활용한 전력생산 비중을 의무화한 Renewable Portfolio Standards (RPS)를 제정하였다.

다른 4개 주는 신재생에너지 활용의 목표치를 제시하지는 않고 있다. 어떤 주도 동일한 형태는 없으며, 연방정부 당국은 이러한 목표치를 입법화하기 위해 노력중이다. 본 시나리오는 2007년과 2008년에 연방정부의 제안과 유사하며 RPS기준보다는 높고 장기적인 관점을 취하고 있다.

Total Power Generation and Renewable Share (Million Kilowatt Hours)				
	2008	2018	2028	2038
Total Net Generation	4,147,850	4,650,350	5,094,400	5,437,350
Total Renewable	124,350	668,550	1,385,050	2,175,000
Wind	38,850	225,200	441,050	652,500
Solar	700	41,300	181,250	435,000
Hydropower*	13,650	67,950	139,650	217,500
Geothermal	15,100	74,150	146,050	217,500
Biomass	56,050	259,950	477,050	652,500
Renewable Share	3%	14%	27%	40%

* Incremental Hydropower added since January 1, 2001

Scenario

순수 전력생산에 대한 예측치는 Global Insight Energy Group에서 인용하였다. 향후 30년 동안, 전체 전력생산량은 2008년 규모보다 약 30% 이상 증가할 것으로 예측한다. 시나리오에서는 미국내 전력생산의 40%가 wind, solar, geothermal, biomass, incremental hydropower와 같은 대체에너지에서 나오는 것을 가정한다.

2001년 이후 기존 인프라의 효율성 향상이나 신규 인프라를 통한 전력생산량은 모두 hydropower로 분류하였다. 또한 신재생에너지별 비중은 Wind 30%, Solar 20%, Incremental Hydropower 10%, Geothermal 10% 및 Biomass 30%로 가정하였다. 2038년까지 40% 수준 달성을 위한 증가추세는 선형적으로 이루어질 것으로 예상하는데, 이는 2007년 2008년 연방정부가 제안한 경로와 유사하다.

신재생에너지를 활용한 전력생산량을 확대하기 위해서는 더 많은 인프라를 필요로하고 이는 더 많은 녹색일 자리를 창출할 것이다. 인프라를 위한 필요 재료 생산, 시설건설 및 공정관리 및 운영 모든 영역에서 근로자를 필요로 한다.

Green Jobs Created

국가에 따라 일조량, 풍량, 수량 및 지열 상태 등이 다르기 때문에 대체에너지 활용도에 차이가 있을 것이다. 건설부문과 운영관리 부문은 발전설비 설치 위치에 따라 달라질 수 있으나 재료제조 부분의 녹색일 자리는 기업들과 투자유치가 가능한 어느 지역에서나 가능하다.

풍력 인프라와 관련된 일자리는 장비제조에서 발생할 것이다. 풍력발전기술은 상대적으로 새로운 것이나 제조기반을 과거 제품제조 시설들과 매우 유사하다. 모든 주들은 풍력발전기에 필요한 blades, gearboxes, brakes, hubs, cooling fans, couplings, drives, cases, bearings, generators, towers 및 sensors와 같은 제품을 만들 수 있는 기업과 인력들이 있다.

이러한 일자리들은 plastics and rubber, primary metals, fabricated metal products, machinery, computer과 electronic products 및 electrical equipment과 같은 기존 제조업에서 발생할 것이다.

Solar 산업에서의 많은 제조관련 일자리는 반도체와 관련 세부분야의 첨단 기술 일자리이다. 현재 이 분야 일자리의 1/4은 캘리포니아 있으나, 다른 주들에도 상당한 일자리가 이미 존재하고 있다. Solar 인프라는 plastics and rubber, fabricated metal products 및 electrical equipment 과 같이 보다 전통적인 업종의 제품들을 필요로 한다. 국가차원의 대규모 solar 인프라 투자는 많은 도시에서 여러 업종의 일자리를 만들수 있는 기회를 가지게 될 것이다.

수력발전에 대한 투자확대는 수력발전이 설치되는 지역 뿐만 아니라 필요한 generators, turbines, rotors, blades 및 other associated parts를 생산할 수 있는 제조업체를 유인하는 도시나 지역에서도 일자리를 제공할 것이다.

대부분의 Geothermal 발전설비는 미국 서부지역에 있으며 잠재적 일자리는 발전현장에서 만들어지거나 기존 화석연료 산업의 일자리와 비슷할 것이다. 여기에는 contractors, construction, drilling equipment operators, excavators가 surveyors가 포함되며, mechanical equipment, drilling equipment 및 primary metal suppliers 관련 제조업체들은 어디에서든 가능할 것이다.

Biomass 부문에서의 대부분 신규 일자리는 waste management 부문에서 나올 것이다. 새로운 발전설비와 기존 설비의 바이오매스용으로의 전환을 위한 제조 및 건설관련 일자리들이 있을 수 있다. Landfills, discarded wood products, 및 industrial waste 분야는 특정지역에 국한되지 않을 것이며, generators는 어느지역에나 설치될 수 있다. Biomass는 미국내 어느 도시든 녹색일자리 창출할 수 있는 잠재력을 갖추고 있다.

RESIDENTIAL AND COMMERCIAL RETROFITTING

다음은 주거 및 상용빌딩의 에너지 효율성 향상과 관련된 일자리에 대한 전망이다. 에너지 효율성은 기존 빌딩의 점진적인 renovation을 통해 효율성이 점차 향상될 것으로 가정한다. 새로운 녹색빌딩의 건설에서의 에너지 효율성 향상 노력과 관련된 일자리는 포함하지 않았다.

Scenario

향후 30년동안 거주 및 상업빌딩의 에너지 소비량은 현재 수준보다 35% 감소할 것으로 가정한다. 다른 연구들에 의하면 이러한 에너지 감축이 기술적으로 충분히 가능할 것으로 보고 있다. 본 예측에서는 이러한 감소가 매년 동일 수준으로 증가할 것으로 가정하고 주거 및 상업빌딩의 연간 에너지 소비량은 매년 1.2% 감소할 것으로 가정한다.

Green Jobs Created

에너지 절약 부분을 일자리 창출로 계산하기 위해서, 에너지 절약량과 이과정에 생성된 일자리간의 양적 상관계수를 이용하였다. 에너지 효율성 가이드라인이 실행될 경우를 가정하여 에너지 절약은 35% 감소로 추정하고, 이과정에서 필요 제품 제조 및 설치관련 일자리를 계산하였다. 향후 30년간 현재 주거 및 상용빌딩의 에너지 소비량을 35% 줄이하는 것은 연간 32,000 million kilowatt-hours 절약하는 것이다. 이러한 절약은 주거용에서 51% 상용빌딩에서 49% 나타날 것이다. 전체적으로 81,000개의 일자리가 만들어 질 것으로 예상하며, 주거빌딩 관련 36,000개 상용빌딩 부문에서 나머지 45,000개 일자리가 만들어 질 것이다.

Power Usage by Current Residential and Commercial Sectors (Million Kilowatt Hours)				
	2008	2018	2028	2038
Power Usage by Sector				
Residential	1,397,250	1,245,450	1,076,850	908,200
Commercial	1,348,150	1,201,700	1,039,000	876,300
Reduction				
Residential		-11%	-23%	-35%
Commercial		-11%	-23%	-35%

New Renewable Transportation Fuel Production Cars & Light Trucks (Million Gallons)			
	2018	2028	2038
Total Fuels	149,500	143,500	142,000
Alternative Fuels	34,500	41,000	42,500
Alternative Fuel Share	23%	29%	30%

RENEWABLE TRANSPORTATION FUELS

청정연료의 사용과 해외원료 의존도를 줄이려는 노력은 에탄올이나 바이오디젤과 같은 농작물에서 추출한 연료사용을 확대할 것이다. 이러한 시장과 정부의 노력은 미국 운송부문에서 더 많은 비석유 연료의 사용비중을 높일 것이다.

Scenario

차량용 연료로 에탄올과 바이오디젤의 비중은 지속적으로 증가할 것으로 가정한다. 현재 차량용 가솔린과 디젤의 30%는 2038년까지 대체에너지로 교체될 것이다. 향후 전망은 현 정부의 2022년까지 36 billion gallons의 대체에너지 사용의무를 포함한 것이다. 예측 초기에는 빠르게 확산될 것으로 가정하고 이후 완만하게 성장하여 2038년까지는 30% 수준에 도달할 것으로 가정한다.

Green Jobs Created

대체 연료생산을 획기적으로 늘리기 위해서는 새로운 인프라에 대한 투자를 확대해야 함과 동시에 바이오연료 생산에 필요한 농작물 재배를 확대해야 한다. 이 두가지 모두 새로운 일자리를 창출할 것이다.

INDIRECT JOBS

현재 녹색일자리의 56%를 차지하고 있는 엔지니어링/법률/연구/컨설팅 부문은 녹색경제에서 매우 중요한 역할을 하는 것은 분명하다. 이러한 일자리는 1990년 이후 빠르게 성장하였으며 녹색경제와 직접적인 일자리 성장율은 38%보다 높은 52%의 성장율을 보였다. 미래 녹색일자리에 대한 전망에서는 다소 보수적인 입장을 취하여 과거만큼의 빠르게 증가할 것이라고 예상하지는 않는다. 보수적인 관점에서 과거 패턴보다 낮은 수준인 두개의 직접적인 일자리당 한 개의 간접적인 일자리가 만들어 질 것으로 가정한다.

FORECAST RESULTS

본 예측에 의하면 미국경제내에서 녹색일자리의 잠재력은 상당히 큰 것으로 나타났다. 우리의 시나리오에 따르면, 신재생에너지 발전 부분에서만 1.2백만개 일자리를 만들 것으로 예상된다. 일자리 증가패턴은 재생에너지 발전 용량의 증가추세와 같은 패턴을 보일 것이다. 향후 30년동안 기존 빌딩에 대한 개조는 81,000개의 일자리를 만들 것이다. 차량용 연료로써 대체에너지 사용량을 확대하면 거의 1.5백만개의 새로운 녹색일자리가 창출될 것이다. 이와 관련된 엔지니어링/법률/연구/컨설팅 분야에서는 1.4백만개 일자리가 예상된다. 전체적으로 총 4.2백만개의 새로운 녹색일자리가 생성될 수 있는 잠재력이 있다고 전망한다.

Potential New Green Jobs 2038 - U.S. Total			
	2018	2028	2038
Renewable Power Generation	407,200	802,000	1,236,800
Residential & Commercial Retrofitting	81,000	81,000	81,000
Renewable Transportation Fuels	1,205,700	1,437,700	1,492,000
Engineering, Legal, Research & Consulting	846,900	1,160,300	1,404,900
Total	2,540,800	3,481,000	4,214,700

녹색일자리의 잠재력은 매우 크며 향후 수십년 동안 미국경제에서 가장 빠른 성장세를 보일 영역이다. 현재의 750,000개 일자리는 전체 고용의 1.5% 미만 수준에 불과하지만, 4.2백만개의 새로운 일자리가 추가되면 향후 30년 동안 신규 일자리의 10% 이상을 차지하게 될 것이다. 이러한 전망은 다양한 가정하게 계산된 것이므로, 여러 가정들이 변화하게 되면 추정결과는 달라질 것이다.

2) 결론

미국은 현재 에너지 정책, 에너지 인프라 및 에너지 기반 경제 측면에서 새로운 시대로 나가고 있다. 시장 뿐만 아니라 모든 정부기관들이 새로운 대체에너지 기술과 에너지 효율성 향상에 대규모로 투자하고 있다. 현재도 이미 많은 녹색일자리들이 존재하지만 향후에는 더 많은 녹색일자리들이 만들어질 것이다. 많은 녹색일자리들은 특정 지역에 국한되지 않으므로, 관련

기업과 투자를 적극적으로 유치할 수 있는 도시나 지역에서 신규 일자리들이 만들어 질 것이다. 좋은 소식은 전통적인 산업들은 새로운 기회와 산업으로 지속적으로 대체될 것이며 현재 시점은 이러한 변화의 시작에 불과하다는 점이다.

9. 미국의 녹색 일자리 현황과 성장성

1) 서론

천연자원의 감소, 글로벌 에너지 수요 증가 및 기후변화와 같은 이슈들은 글로벌 경제를 막대한 영향을 미치는 요인들이다. the U.S. Conference of Mayors와 Global Insight는 화석연료 사용감소, 에너지 효율성 향상 및 온실가스 배출 감소와 관련된 경제적 활동들과 관련된 ‘녹색경제(Green Economy)’의 경제적 효과를 살펴보았다. 미국경제의 Greening화는 산업화와 첨단기술분야의 기술혁신을 통한 경제발전과 변화에서 한단계 더 나가는 것을 의미한다.

녹색경제의 경제적 장점은 신기술 투자에 따른 거시경제적 효과, 생산성 향상, 미국 무역수지 개선 및 소득수준의 향상 등이 있다. 또한 기업활동의 비용감소와 일반가정의 에너지 비용감소와 같은 효과도 포함한다.

이러한 장점은 고용증대, 수익증가 및 깨끗한 환경에서 가장 두드러진다. 본 서론부분에서는 녹색일자리(Green Jobs) 연구에 대한 배경을 설명하고, 2장에서는 미국경제내에서 녹색일자리 현황과 지역별 현황에 대해 살펴보았다. 3장에서는 향후 성장기회를 살펴보았다.

OIL AND GAS CONSUMPTION

이미 알려진 것처럼 미국은 자국내 생산량 이상의 석유를 필요로 하고 있다. 미국내 석유생산량이 최고치에 달했던 1970년대 해외에서 수입한 원유 비중은 전체 소비량의 21%를 차지하였으나 2007년에는 그 비중이 59%로 증가하였으며 미국의 해외 석유 의존도 감축을 위한 절적할 조치를 취하지 않을 경우, Global Insight의 예측에 의하면 2030년에는 65% 수준까지 도달할 것으로 예상된다.

미국의 해외 석유 소비증가는 자동차와 트럭과 같은 운송분야가 가장 큰 영

향을 주고 있다. Energy Information Administration (EIA)에 의하면 운송부문은 2007년 전체 석유소비의 69%를 차지하고 있다고 보고하고 있다. Global Insight는 2007년 한해동안 운송부문에서 총 1790억 갤런의 석유 관련 연료를 사용하고 있는 것으로 추정하고, 모든 석유 제품들에 대한 소비는 2030년까지 7.7% 증가할 것으로 예측하였다. 미국내 생산량 감소와 수요증가는 2030년에는 2007년 대비 27% 증가할 것으로 예상되고 있다. 운송부문은 2007년 이산화탄소 배출량의 33%를 차지하고 있다.

해외원유에 대한 의존도 증가는 에너지 안보, 외교정책 및 무역적자 증가와 관련된 재정안정성과 같은 이슈들에서 심각한 논쟁을 불러일으켰다. Global Insight의 석유수입량과 유가 예측에 의하면, 2030년까지 석유 수입에 지불해야 하는 비용은 2006년 기준 달러로 매년 평균 \$2400억불의 추가지출해야 하는 것으로 예측되고 있다. 미국 GDP의 2.3%에 해당되는 \$2400억불은 미국경제에 세금과 같이 작용할 것이다. 실제로 이렇게 해외로 지출된 돈들은 헬스케어, 교육 및 인프라스트럭처와 같은 분야에 재투자되지 않기 때문에 세금보다 더 부정적인 영향을 준다.

ELECTRICITY DEMAND

인구증가와 가정과 비즈니스에서의 에너지 의존형 기기들의 증가로 인해 운송부분 이외의 에너지 수요 또한 증가하고 있다. 건물과 가정의 냉난방이나 조명 및 가전기구용 전기사용을 위한 에너지 이용이 많은 주거 및 상업시설 부분은 에너지 소비가 많은 부문이다.

Global Insight는 2030년까지 36백만개 이상의 주택과 20백만 square feed의 상업빌딩 공간들이 새로운 수요충족과 기존 노후 건물들을 대체하기 위해 건설될 것으로 예상한다. 새로운 건물들은 2030년까지 시간당 추가적인 790 billion kilowatt 전기를 필요로 하는데 이는 465 백만 배럴의 오일을 필요로 하는 것과 같다. 2030년 이와 같은 추가적인 전기비용으로 \$1200억불이 필요한 것이다. 전기용 발전은 건강에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 'dirty' 발전소에 의한 오염, 자동차 및 트럭 교통체증 및 에너지 의존적 생산공장 등은 사람들의 건강에 부정적인 영향을 미친다.

A GREENER ECONOMY

과학자들은 이미 글로벌 기후변화가 거의 현실이라고 받아들이고 있다. 그 결과, 많은 국가들이 화석연료 사용량의 감소나 오염물질의 대기배출을 줄이려는 노력으로 이산화탄소나 GHG 배출을 줄이려는 공동의 노력을 기울이고 있다. 비록 미국은 전세계 인구의 5%에 불과하지만, 세계 에너지 사용량의 20%를 사용하고 있으며 글로벌 이산화탄소의 20%를 배출하고 있다. 녹색경제로의 변화는 미국을 저탄소경제로 전환하게끔 할 것이며, 이는 지구온난화의 부정적인 효과를 예방하는 방향이며 공공보건을 증진하며 에너지 지출을 안정화시키는 것이다. 또한 새로운 상당규모의 일자리를 만들 것이다.

Global Insight는 미국내 여러 산업에서의 녹색일자리 현황을 추정하였다. 미국이 녹색경제로 전환할 경우, 높은 성장잠재력을 갖춘 산업들이 존재한다. 우리는 미래 신재생에너지 발전량, 주거 및 상업용 에너지 효율성 향상 및 운송부문에서 신재생에너지 사용량 증가 등의 가정하에서 향후 성장율을 추정하였다.

본 자료는 국가 및 광역수준의 데이터이다. 광역경제권은 미국경제 성장의 핵심이며, 녹색산업에 대한 투자를 통해 미국경제를 변화시킨다면 이는 대부분 광역경제권과 시골 지역에서 발생할 것이다. 이러한 투자는 글로벌 경제에서 미국의 경쟁력, 삶의 질 및 우리의 미래에 매우 중요하다. 이분야에 대한 투자는 일자리 창출, 생산성 향상 및 또다른 일자리를 형성하는 소득 증대와 같은 거시경제적 효과를 일으킨다. 이는 선순환을 이끄는 투자로 단기적 뿐만 아니라 장기적으로 실질적인 효과를 가져다 준다.

2) 녹색일자리 현황

미국내의 녹색일자리 현황을 계산하기 위해 green activities에서 종사중인 근로자수를 가능한 최대한 정확하게 파악하였다. 본 보고서에서 green activities들은 재생에너지 또는 핵원료를 이용한 전력생산 관련 활동, 차량 연료용 옥수수 또는 콩 재배관련 일자리, 신재생에너지용 발전에 사용되는 제품을 생산하는 제조업, 재생에너지 및 고효율 에너지 제품의 도매업자, 에너지 및 오염관리시스템 건설 및 설치, 환경프로그램 관련 정부기관 및

엔지니어링/법률/연구/컨설팅 지원인력을 의미한다.

U.S. CONFERENCE OF MAYORS - GLOBAL INSIGHT GREEN JOBS INDEX

2006년 현재 미국내 녹색일자리는 750,000개 이상인 것으로 추정하고 있다. 이들 중 절반이상은 엔지니어링/법률/연구/컨설팅 인력이며 이러한 간접적인 업무들이 녹색경제에 중요한 것으로 나타났다. 두번째로 큰 일자리는 127,000명 이상이 종사하고 있는 신재생에너지 전력생산 부문이며, 그 다음으로는 57,000명이 종사하고 있는 Agriculture와 Forestry 부문이다.

2006년 현재 녹색일자리는 미국 전역에 분포하고 있으며, 약 85%는 광역경제권에 있으며 나머지 15%는 비광역경제권에 존재하고 있다. 아래 표는 주요 분야 및 광역경제권별 녹색일자리 현황이다. 상위지역이 미국내 최대 광역경제권인 것은 그리 놀랄만한 것이 아는데 이는 일자리의 절반이상의 엔지니어링/법률/연구/컨설팅과 같은 영역에 있기 때문이다. 아래 상위 10개 지역은 미국내 전체 녹색일자리의 25%를 차지하고 있다.

Green Jobs by Major Category - U.S. Total	
Renewable Power Generation	127,246
Agriculture and Forestry	57,546
Construction & Systems Installation	8,741
Manufacturing	60,699
Equipment Dealers & Wholesalers	6,205
Engineering, Legal, Research & Consulting	418,715
Government Administration	71,900
Total	751,051

Top Ten Metropolitan Areas	
MSA	Green Jobs 2006
New York	25,021
Wash DC	24,287
Houston	21,250
Los Angeles	20,136
Boston	19,799
Chicago	16,120
Philadelphia	14,379
San Francisco	13,848
San Diego	11,663
Pittsburgh	9,627

3) 녹색일자리 성장성

본 장에서는 향후 녹색일자리 성장을 주도할 미국경제의 근본적인 변화들을 살펴본다. 신재생에너지에서 두가지 핵심영역은 전력생산과 차량용 연료이다. 이 두 영역은 현재 상당량의 화석연료를 사용하고 있는 부문이며 그로 인해 대규모 온실가스를 배출하고 있다. 청정에너지는 사용하는 것과 함께 기존 인프라스트럭처의 에너지 효율성을 높이는 것도 상당한 이익을 창출한다. 에너지 효율과 신재생에너지 사용을 올리기 위한 신기술 개발이나 기존 기술들을 설치하기 위한 일자리들은 모두 녹색일자리로 생각될 수 있다.

RENEWABLE POWER GENERATION – STATUS AND POTENTIAL

지구온난화에 대한 우려 증가는 전기발전 부문에 대한 상당한 관심을 불러일으키고 있다. Environmental Protection Agency는 2006년 기준으로 전기발전은 미국의 이산화탄소 배출의 41%를 차지하는 것으로 추정하고 있다.

현재 미국내 전력생산의 절반이상이 석탄을 이용하는 것을 포함하여 전기발전 부분은 대규모의 화석연료를 사용하고 있다. 다행히도, 현재 다양한 화석연료 기반 전기발전의 대안들이 존재하며, 일부 기술들은 이미 경제적으로 사용중이며 향후에는 더욱 경제적인 수준이 될 것으로 여겨진다. EIA는 2007년 현재 전력발전량은 시간당 4,006 billion kilowatt로 추정하고 있다. 이중 단지 319 billion (8.0%)만이 신재생에너지를 통해 생산되고 있다. 원자력 발전도 비화석연료 사용에 큰 영향을 미치고 있는데 여기에서의 발전량은 시간당 806 billion kilowatt이다. 신재생에너지원중에서, hydroelectric power가 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 현재 발전량은 작으나, Wind 에너지는 최근 가장 빠른 증가율을 보이고 있다.

Wind Power

풍력은 현재 미국내에서 가장 빠른 성장세를 보이고 있는 대체 에너지원이다. DOE의 EIA는 2007년 현재, 풍력발전은 시간당 32.1 billion kilowatt이며 전년도 대비 21% 증가하였으며 2001년 이후 거의 5배 증가한 것으로 추정하고 있다. 2007년 현재 풍력발전량은 2.9백만 가정에 충분한 전기를 공급할 수 있는 수준이다. American Wind Energy Association (AWEA)에 의하면 2008년은 또하나의 기록적인 해가 될 것으로 예상하고 있는데, 풍력에 대한 투자는 지속적으로 확대되어 용량측면에서 45% 증가할 것으로 예상되며 발전량 또한 상당히 증가할 것으로 보고 있다. 지속적인 투자증가는 전력생산량에서 풍력발전의 비중을 높이고 있으며 현재 전체 신재생에너지 발전량의 10%를 차지하고 있다. 미국내 전체 발전량을 기준으로 할 때는 2007년 기준으로 단지 0.8%만이 풍력발전에 의한 것이다. AWEA는 향후 풍력발전 용량은 2007년 생산량의 2.5배 이상인 연간 10,777 billion으로 전망하고 있다. 지역적으로는 북부와 서부지역에 성장 잠재력이 높으며 North Dakotasms 1,210 billion kWh 용량으로 가장 큰 규모이다. 상위 4개 주는 (North Dakota, Texas, Kansas, and South Dakota) 전체적으로 4,500 billion kWh 발전이 가능하며 이는 해당주 전체에 충분한 전기를 공급할 수 있는 수준이다. 풍력발전 기회가 북부와 서부에 많지만 동부에도 일부 가능성이 있으며, Maine, New Your, Michigan도 상위 20개 주에 포함되어 있다.

Solar Power

solar power는 전기발전 부분에서 대규모 고용창출과 상당한 화석연료 의존도를 줄일 수 있는 기회를 제공하는 대안 에너지원이다. 원천기술은 수십 년 전에 개발되었으나 화석연료 대비 높은 발전비용으로 인해 널리 확산되지 못했다. 그러나 최근 화석연료 비용 상승과 기술발전으로 인해 평균 발전비용이 급격하게 하락하였으며, 현재는 상당한 경쟁력을 갖추게 되었다. 또한 연방정부 및 주정부의 세금혜택과 규제변화로 인해 이 분야에 대한 투자를 촉진하고 있다.

Solar Power는 다양한 형태로 나갈 수 있는데 가장 보편적인 적인 태양에너지를 전기로 직접 전환하는 photovoltaic 장비와 태양광선을 열로 전환시키는 solar thermal 장비가 대표적이다. 2007년 현재, 태양을 이용한 발전량은 약 606백만 kWh이며 이는 55,000가구에 전기를 공급하기에 충분한 규모이다. 또한 이는 2000년에 비해 23% 증가한 것이며, 새로운 태양이용 발전에 대한 투자는 2007년에 비해 21% 증가하였다. Solar 기술에 대한 투자증가에도 불구하고, Solar는 전체 전력인프라에선 극히 일부분만을 차지하고 있는데 2007년 신재생에너지 발전량의 단지 0.2%만을 차지하고 있다. 전국적으로 볼 때 Solar energy는 엄청난 잠재력을 갖고 있다. Solar 설치는 대규모 발전에서부터 가정용 소형까지 다양하다. 현재는 남서부 지역이 가장 활발하지만 태양이 충분히 내려쬐는 모든 지역이 경제적으로 가능하다. 다른 기술들과 마찬가지로, 고용창출 잠재력은 제조업체들을 유인할 수 있는 어떤 도시에도 가능하다. 미국내 생산규모는 지난 10년간 급성장했으며, 1997년 미국업체들은 46,354 peak kilowatts 용량의 photovoltaic devices를 생산했으며 당시에는 약 1,700명 정도의 종사자들이 있었다. 2006년에는 생산량은 7배 이상 증가한 337,268 peak kilowatts 용량으로 증가하였으며, 고용도 4000명으로 증가하였다. 이 산업은 많은 추가적인 제조업 일자리를 창출하는데 기여하는데, 예를 들면 최종제품 제조업체는 공급업체를 통해 원재료와 중간재를 구입한다. Solar 에너지가 미국내 에너지 생산에서 더욱 중요해지기 위해서는 고용과 생산 모두 더욱 증가해야 할 필요가 있다.

U.S. Wind Energy Potential - Top 20 States Billions of Kilowatt Hours Annually			
North Dakota	1,210	Colorado	481
Texas	1,190	New Mexico	435
Kansas	1,070	Idaho	73
South Dakota	1,030	Michigan	65
Montana	1,020	New York	62
Nebraska	868	Illinois	61
Wyoming	747	California	59
Oklahoma	725	Wisconsin	58
Minnesota	657	Maine	56
Iowa	551	Missouri	52

Source: American Wind Energy Assn.

Annual Shipments of Photovoltaic Cells and Modules (Peak Kilowatts)				
Year	U.S. Production	Domestic	Exports	Imports
1997	46,354	12,561	33,793	1,853
1998	50,562	15,069	35,493	1,931
1999	76,787	21,225	55,562	4,784
2000	88,221	19,838	68,382	8,821
2001	97,666	36,310	61,356	10,204
2002	112,090	45,313	66,778	7,297
2003	109,357	48,664	60,693	9,731
2004	181,116	78,346	102,770	47,703
2005	226,916	134,465	92,451	90,981
2006	337,268	206,511	130,757	173,977

Source: EIA Annual Photovoltaic Module/Cell Manufacturers Survey

Hydropower (수력발전)

Hydropower는 현재 미국의 대체에너지 중에서 가장 크고 보편화된 에너지원이며 향후 성장성도 높다. 2007년 수력발전으로 246 billion kWh 가 생산되고 있으며 이는 22백만 가구가 사용하기에 충분한 규모이다. 2007년 기준으로 순수발전량은 대체에너지 발전의 77%를 차지하고 있으며 미국 전체 전력생산의 6.1%를 차지하고 있다. 이미 수력발전이 미국내 국가전력 인프라의 상당부분을 차지하고 있으나, 아직 더 확장될 여지가 존재하고 있다. 2006년 미국 DOE는 향후 수력발전이 고효율 청정에너지원으로서 전력

생산량을 두배로 확대될 수 있을거라고 전망하였다. 가장 많이 알려진 수력 발전은 수십만 가구에 전기를 공급할 수 있는 대규모 댐(massive dam)이 대표적이다. 이러한 ‘Large Hybro’ 발전설비는 전체 수력발전설비의 8%만을 차지하고 있으나 수력발전의 80%를 차지하고 있다. 향후 성장성이 가장 높은 영역은 1 MW에서 30 MW 전기를 생산할 수 있는 ‘소수력(Small Hydro)’ 발전 프로젝트다.

수력발전 프로젝트는 미국전역에 퍼져있으며, DOE는 이러한 잠재적 프로젝트가 모두 건설되면 33개 주가 해당 주내에 2개 이상의 수력발전소를 갖게 될 것이며 41개 주에서는 발전용량이 50% 이상 증가할 것으로 파악하고 있다.

Geothermal Power (지열발전)

Geothermal 에너지는 향후에 대체에너지원으로 성장하여 일 자리를 창출할 수 있는 또다른 에너지원이다. 이 기술은 지구의 crust 열을 활용하여 이를 직접 이용하거나 전기를 생산하는 것이다. 1960년대부터 국가 에너지 인프라로 활용되기 시작했고 1970년대와 1980년대에

geothermal 전력생산은 10배 증가하였다. 그 다음 10년 동안에는 발전량은 세배로 증가하였다. 1990년대 이후 이 산업은 최고치에 도달했다가 기존 발전소들이 충분한 지원을 못받거나 폐쇄되고 새로운 프로젝트 투자자금들이 다른 기술로 투자되면서 전반적으로 하향세를 보이고 있다. 2007년 기준으로 geothermal로 14.9 billion kWh 전력을 생산했으며, 이는 1.3백만 가구에 전기를 공급할 수 있는 규모이며 모든 신재생에너지 발전의 4.7%를 차지하였다. Geothermal 에너지는 더욱 확장될 수 있는 가능성이 있는데, U.S. Geological survey의 연구결과는 전체 잠재적 geothermal 발전규모는 현재 발전용량보다 10배 이상의 발전가능성을 갖고 있는 것으로 파악하였다.

Biomass Power

바이오매스는 추가적인 투자와 고용창출로 개발될 수 있는 미국의 대체에너지 인프라의 다른 기술형태이다. 바이오매스는 인류의 에너지 생산에서 가장 오래된 형태인데 대표적으로는 나무를 태우는 형태이다. 이는 에너지 재

생의 일환으로 여겨질 수 있는데 화석연료에 비해 새로운 에너지원으로 재 성장하는데 소요되는 시간이 상대적으로 짧기 때문이다. 현대 바이오매스 산업은 단순히 쓰러진 나뭇가지를 태우는 형태를 넘어서, 폐목재나 부산물 및 농작물 에탄올이나 폐용지 등을 포함한다. landfill gas, digester gas, municipal solid waste나 methane 같은 쓰레기 부산물도 바이오매스로 사용되고 있다. 현재 바이오매스의 대부분은 전기생산에 사용되고 있는데, 2007년 현재 발전량은 2.3백만 가구에 전기공급이 가능한 25 billion kWh 규모이다. 이는 바이오매스로부터 생산할 수 있는 전력량의 절반도 안되는 용량인데 이는 발전용도만을 고려한 결과이다. 전기발전 및 산업용을 모두 고려할 때, 바이오매스를 통한 순수 전력생산은 5백만 가구 이상에 전기를 공급할 수 있는 55 billion kWh 이상이 될 수 있을 것이다.

ENERGY EFFICIENCY – STATUS AND POTENTIAL

Energy Efficiency Standards

주거용과 상업용 빌딩에서 에너지 효율성을 높이고자 하는 노력은 빠르게 확장되고 있는 녹색경제에서 새로운 고용기회를 창출할 수 있는 상당한 잠재력을 갖고 있다. 이들 건물들은 미국내에서 전체 에너지 소비의 대부분을 차지하고 있으며 에너지 효율향상을 위한 시도들은 전체 에너지 소비량에 상당한 영향을 미칠 수 있다.

그린빌딩 건축이나 재설계에서 가장 포괄적인 기준중의 하나는 United States Green Building Council의 LEED® (Leadership in Energy and Environmental Design) 등급 시스템이다. 2000년 초반에 시작된 이후, LEED®는 미국내에서 가장 보편적인 그린빌딩 기준으로 대두되었다. U.S. Green Building Council (USGBC)은 2008년 1월에 LEED® for Homes™ 을 발표하면서, 주거용 영역으로까지 확장하고 있다.

Energy Star Program Key Indicators, 2000 and 2006 ⁸			
	Indicator	2000	2006
Qualified Products	Products Sold*	600 million	2 billion+
	Product Categories	40	50+
	Product Models	11,000	40,000
	Public Awareness	40%	68%
	Retailers (partners)	25	900
New Homes	New Homes Built*	25,000	725,000
	Home Builders (partners)	1,600	3,500
Commercial Buildings	Buildings Rated*	4,200	30,000
	Buildings Labeled*	545	3,200
Annual Results	Energy Saved (kWh)	62 billion	170 billion
	Net Savings (USD)	\$5 billion	\$14 billion

*Cumulative Results Since 1992 Program Inception

LEED® energy 및 atmosphere 인증영역에서 많은 기준들은 Environmental Protection Agency의 Energy Star® program을 가이드라인을 기초로 하고 있다. Energy Star® 프로그램의 주 목적은 고효율 제품의 사용을 촉진하고 소비자와 기업들에게 에너지 사용에 대한 유익한 정보를 제공함으로써 이를 실천하는데 있다. Energy Star® 프로그램은 새로운 green 기술이 발전할 수 있도록 자금을 지원하기도 한다.

Energy Efficiency Implementation

그린 건설 프로젝트나 전통적인 건설 프로젝트 모두 입찰하여 동일한 계약자가 시공하는 형태로 진행되고 있는데, 이는 그린 건설을 위해 특별한 기술자들을 필요치 않음을 의미한다. 대신 그린 프로젝트와 기존 프로젝트간의 차이는 공정에 사용되는 재료에 있다. 현재 이 산업에서의 문제중 하나는 많은 시공업체들간의 지식격차이다. 일부기업들은 그린 건설 테크닉이나 현재 사용한 가능한 다양한 최신 재료들에 대해 충분히 이해하지 못하고 있다는 점이다. 이런 상태에서는 시공업체들이 에너지 효율적인 빌딩 옵션에 대해 고객들에게 충분히 가르쳐주기 어렵다. Energy Star® 홍보 프로그램 덕분에 그린 빌딩 기술은 점점 보편화되고 있으며, 전통적인 시공업체들은 자신들의 기술을 개발하고 지식수준을 확장하고 있으므로 대부분의 기존 빌딩들을 에너지 효율적인 것들로 변화시킬 수 있을 것이다. 현재의 에너지 비효율적 빌딩들은 향후에 전체 전기수요를 줄이고 관련 일자리를 만들 수 있는 기회를 제공할 것이다.

RENEWABLE TRANSPORTATION FUELS

Transportation Sector Emissions

미국의 운송부문은 여러 이유로 인해 최근 상당한 주목을 받고 있다. 발전 부문과 같이, 운송부문은 상당량의 화석연료를 사용하고 있으며 온실가스를 배출하고 있다. EPA에 의하면, 운송부문은 2007년 이산화탄소 배출의 33%를 차지하는 것으로 추정하고 있다. 운송부문의 이산화탄소 배출은 1995년 이래 16% 증가하였으며, 1990년 이후로는 20% 증가한 것이다. 또 다른 우려는 에너지원에 대한 것이다. 대부분의 운송용 연료는 대부분 수입하고 있는 원유로부터 추출되고 있다.

Renewable Fuels

시장 및 정부당국 모두 에탄올과 바이오디젤과 같은 차량용 대체연료에 대해 주목하고 있다. 최근에는 연방정부 및 주정부의 에너지 정책들은 에탄올 혼합연료의 사용을 권장하고 있다. 이는 유가상승으로 바이오연료가 경제적으로 활용가능해지면서, 바이오연료의 사용이 급격히 증가하였다. 1997년에는 에탄올 사용은 전체 차량용 연료의 1.09% 수준에 불과하였으며, 2007년에는 5.09%로 증가하였다. 에탄올은 천연설탕이나 설탕으로 쉽게 바꿀 수 있는 starch를 많이 갖고 있는 어떤 농작물로부터 생산할 수 있다. 미국의 경우, 대부분의 에탄올은 옥수수로부터 생산되는데 브라질이나 유럽과 같이 에탄올 시장이 고성장하는 지역에서는 다른 농작물을 사용하고 있다. 바이오디젤도 에탄올과 같이 농작물로부터 연료대체제를 추출하는 형태이다. 미국에서의 바이오디젤 생산과 소비는 소규모로 이루어지고 있다. 미국에서 대표적인 바이오디젤용 feedstock은 soybean oil이나 유럽에서는 rapeseed and sunflower oil을 이용하며, Malaysia에서는 palm oil을 이용한다. 미국내 에탄올과 바이오디젤 생산을 모두 빠르게 증가하고 있으며, 이에 대한 투자 또한 함께 증가하고 있다. 운송부문에서의 잠재적 녹색일자리는 재생연료의 생산확대로부터 나올 것으로 생각된다. 새로운 자동차용 엔진의 연구개발과 생산, 운송시스템의 재설계나 수입원유나 화석연료에 대한 의존도 감축을 위한 정책이나 투자와 같은 변화로 인해 더 많은 녹색일자리들이 만들어질 것으로 여겨진다.

U.S. Motor Fuels Production			
Year	Ethanol	Gasoline	Ethanol Share
	(Million Gals)	(Million Gals)	(%)
1997	30,674	2,826,051	1.09
1998	33,453	2,880,521	1.16
1999	34,881	2,895,989	1.20
2000	38,627	2,910,056	1.33
2001	42,028	2,928,050	1.44
2002	50,956	2,986,747	1.71
2003	66,772	2,990,949	2.23
2004	81,009	3,025,128	2.68
2005	92,961	3,035,889	3.06
2006	116,294	3,052,754	3.81
2007	155,263	3,050,614	5.09

Source: EIA

10. 글로벌 R&D 투자 전망

1. 개요

□ 바텔연구소(Battelle Memorial Institute)*는 전 세계 R&D 자금 지원 추세에 대한 비교·분석을 통해 2010년 국제적 R&D투자규모를 전망

* 1929년 고든 바텔(Gordon Battelle)의 유산 170만 달러를 기금으로, 미국 오하이오주 콜럼버스에 설립한 연구개발기관

○ 본 보고서는 바텔연구소의 지원을 받는 R&D Magazine에서 매년 발행해 온 연구개발자금 예측 보고서를 토대로 작성

○ 아시아의 R&D 투자액이 유럽을 추월하고 미주에 근접

- 아시아 R&D투자액의 절대적 수치가 높을 뿐 아니라, 경기침체에 위축되고 있는 유럽, 미주와는 달리, 아시아의 많은 국가들에서 R&D투자가 급격히 증가하는 추세

2. 신흥국의 글로벌 R&D 성장 주도

□ 전 세계 R&D 지출 규모는 2009년에 1조 1,125억 달러였으며, 2010년엔 약4% 증가한 1조 1,565억 달러로 전망

○ 전 세계 R&D 지출 규모의 증가는, 중국과 인도의 지속적인 R&D투자 확대에 기인

□ 글로벌 경제불황 이후, 선진국의 R&D투자 증가는 저조한 반면, 신흥국은 괄목할만하게 R&D성장을 주도

○ 아시아 국가의 R&D투자액은 아메리카스(Americas : 미국, 캐나다, 멕시코, 브라질, 아르헨티나)를 바짝 추격하고, EU를 뛰어넘었으며, 세계 2위였던 일본은 2009년부터 중국과 인도의 R&D투자액 합계에 뒤지기 시작

※ 2010년 아메리카스의 R&D투자 예상액은 2009년 대비 3.2% 증가한 4,528억 달러이며, 유럽연합은 단지 0.5% 증가한 2,685억 달러로 예상. 그러나 아시아는 7.5% 증가한 4,004억달러로 추산

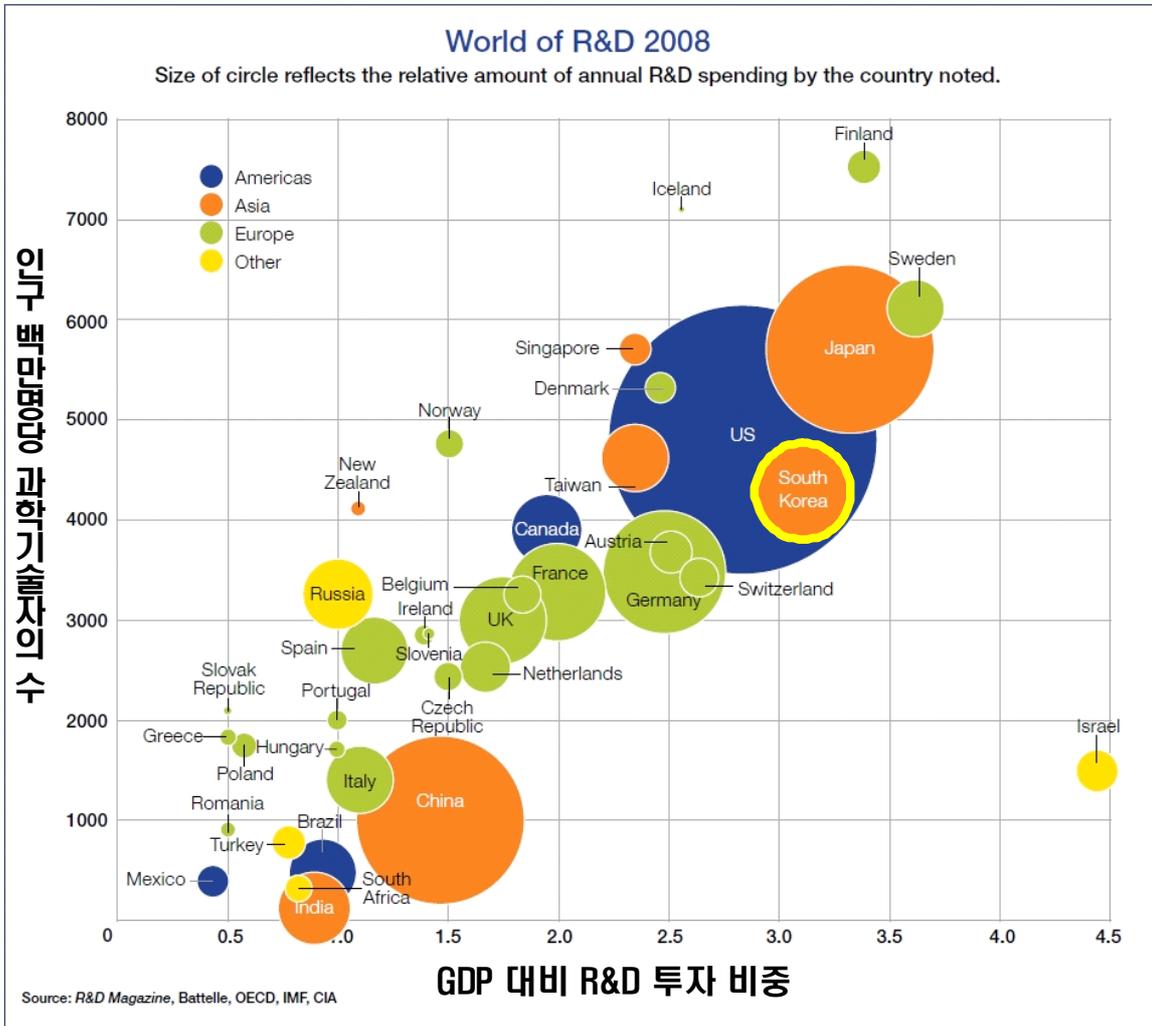
○ 2009년 초, 전 세계 정부는 경기부양책으로 1조 9,200억 달러를 지출하였고, 이 중 38%를 아시아에서 지출

< 국제 R&D 투자액 추이 및 전망 >

(단위 : 억 달러)

구 분	2008년 GDP (PPP 기준)	2008년 GDP대비 총 R&D 투자비율	2008년 총 R&D 투자액 (PPP 기준) (글로벌비중)	2009년 총 R&D 투자액 (PPP 기준) (글로벌비중)	2010년 총 R&D 투자액 (PPP 기준) (글로벌비중)	2010년 GDP대 비 총 R&D 투자비 율
아메리카스	19조 6,630	2.28%	4,481 (39.9%)	4,388 (39.4%)	4,528 (39.2%)	2.32%
미국	14조 2,600	2.79%	3,976 (35.4%)	3,892 (35.0%)	4,019 (34.8%)	2.85%
아시아	18조 8,000	1.91%	3,590 (32.0%)	3,724 (33.5%)	4,004 (34.6%)	1.95%
일본	4조 3,290	3.41%	1,478 (13.2%)	1,396 (12.5%)	1,420 (12.3%)	3.41%
중국	7조 9,730	1.28%	1,023 (9.1%)	1,237 (11.1%)	1,414 (12.2%)	1.50%
한국	1조 3,350	3.37%	417 (3.7%)	414 (3.7%)	429 (3.7%)	3.13%
인도	3조 2,970	0.80%	267 (2.1%)	281 (2.5%)	333 (2.9%)	0.90%
유럽	16조 4,870	1.69%	2,788 (24.9%)	2,671 (24.0%)	2,685 (2.9%)	1.69%
그 외 국가들	2조 9,580	1.21%	359 (3.2%)	342 (3.1%)	348 (3.0%)	1.23%
총 계	57조 9,080	1.94%	1조1,218	1조1,125	1조1,565	1.97%

* 구매력 평가지수(PPP, Purchasing Power Parity) : 국가별 환율과 물가수준을 고려하여 각 통화의 구매력을 재평가하는 지수



※ 원의 크기는 각 국가의 연간 R&D 투자액을 의미

< 2008년 글로벌 R&D 현황 >

3. 미국의 R&D투자 전망

□ 2010년 미국 R&D투자의 증가

- 2009년 「미국경기부양법(ARRA, The American Recovery and Reinvestment Act)」을 통해 R&D에 181억 달러를 지원하였으나, 2009년에 실제 지출된 금액은 20%에 불과하고 나머지 투자액은 2010년 및 2011년에 쓰여질 전망
 - 따라서, 2010년 정규 예산에서 R&D 자금 증가는 거의 없을 것이나, 경기부양법에서 할당한 자금이 배분될 예정이므로 **총 R&D투자는 증가할 전망**
- 2010년 미국의 총 R&D투자액은 4,019억 달러로 전망('09년 약 3,892억 달러)

□ 미국 연방정부의 R&D예산

- 2010 회계연도* 연방정부의 R&D예산 편성과정에 있어, 국방부 예산(안)을 포함한 주요 법안들이 여전히 계류 중('09.12.18일 현재)
 - * 2010년 회계연도 : 2010. 10. 1 ~ 2011. 9. 30
- 에너지부, 농림부, 국토안보부, 내무부 및 환경보호청의 예산(안)은 승인됨

< 2010 회계년도 미국 연방정부의 R&D예산 >

구 분	주요 내용
에너지부(DOE)	· 2009 회계년도 대비 4.7% 증가한 106.4억 달러(DOE 전체 예산의 39.2%)
농림부(USDA)	· 2009 회계년도 대비 7.6% 증가한 26.1억 달러 ※ 농업연구서비스 분야에 절반가량(49.2%)이 지출되며, 국립식품농업연구소에 31.3%, 임업서비스 분야에 14% 지원
국토안보부(DHS)	· 2009 회계년도 대비 6% 증가한 11.7억 달러(DHS 전체 예산의 2.2%)
내무부(DOI)	· 2009년 회계년도 대비 3.9% 증가한 7.19억 달러 ※ 대부분이 미국지질조사국(USGS, U.S. Geological Survey)의 R&D분야에 지출(6.6억 달러)
환경보호청(EPA)	· 2009 회계년도 대비 8% 증가한 6.19억 달러
국방부(DOD)	· 2009 회계년도 대비 2.4% 감소한 800억 달러 (최종예산안 승인 시)

4. 신흥국가들의 R&D투자 증가

- 미국, 유럽, 일본의 강력한 경기부양책에도 불구하고, 신흥경제국의 R&D사업이 강세
 - 8개 아시아 국가(일본, 중국, 한국, 인도, 대만, 호주, 뉴질랜드, 싱가포르)의 R&D 지출액은 2009~2010년 동안 연평균 7.5% 증가하였으며, 전세계 R&D지출액의 35%에 해당하는 약 4,000억 달러를 지출
 - ※ EU의 R&D투자액은 미국과 아시아의 신흥 경제국들에 비해 하향세
- 중국의 R&D투자는 2008~2009년에 국제 경제불황으로 부진했으나, 과거 10년간(1999~2008년) 연평균 두 자리수의 성장(15~20%)을 유지
 - 특히, 2008~2009년에 우주 프로그램, 항공우주, 재생에너지, 컴퓨터과학 및 생명공학 프로그램에 대해 막대한 투자를 추진
 - 중국의 과학 출판물의 점유율은 지속적으로 증가하고 있으며, 몇몇 분야에서는 이미 세계적인 수준
 - ※ 재료과학분야 세계 논문 점유율 : ('99~'03)12.22% → ('04~'08)20.83%
 - ※ 특허 출원 건수 : ('05)93,485건 → ('07)153,060건
- 인도는 R&D자금의 약 75%를 정부에서 조달하고 있으며, R&D 투자액은 중국의 1/4 수준이나 급속도로 증가하는 추세
 - 현재까지는 GDP의 1% 미만이 R&D에 지출되었으나, 2012년까지 2%로 확대할 계획
 - ※ 전체 산업분야 R&D 지출의 약 2/3가 제약, 자동차, 전기전자, 화학, 및 국방 분야에 투자
 - 인도의 과학출판물은 2007년에 약 3만 편의 성과(1998년 대비 80%의 증가)를 나타냄

5. 결론 및 정책적 시사점

- 미국, 유럽 등 기존 선진국들의 R&D투자는 정체되거나 소폭 상승한 반면, 신흥국가들의 R&D투자는 빠르게 증가하는 추세
 - 높은 경제성장률을 보이는 중국, 인도 등이 R&D투자를 빠르게 확대하고 있어, R&D투자 재원을 증대시키기 위해서는 국가 경제(GDP)도 성장하여야 함을 시사

- 민간부문의 R&D투자 확대가 총 R&D투자 증대의 열쇠
 - 총 R&D투자의 확대를 위해서는 총 R&D투자의 75%를 차지하는 민간부문의 R&D투자를 활성화시키는 것이 중요
 - 정부는 「이명박정부의 과학기술기본계획(577전략)」을 통해 총 R&D투자(정부+민간)를 2012년에 GDP 대비 5%까지 확대할 것을 목표로 함
 - ※ '08년 3.37%(교과부), '09년 3.13%, '10년 3.13%('09년, '10년은 본 보고서의 예측치로서 추후 확정 시 변동될 수 있음)
 - 정부 R&D투자는 2009년 12.3조원에서 2012년 16.6조원까지 확대할 계획
 - ※ 2010년 정부 R&D예산 : 13.6조원

- 민간의 애로사항을 해소하여 민간 R&D투자 확대를 유도할 필요
 - 경제위기로 인한 급속한 민간 R&D 위축에 대한 대응책 마련
 - 고용지원 등을 통한 고급연구인력 일자리 해결
 - 세제 지원, 우선구매 확대로 R&D투자 유인
 - 불합리한 장애요인 및 규제 해소
 - R&D환경 조성을 위한 각종 규제 완화
 - 불합리한 지원 제도 개선을 통해 효과 극대화
 - 기업의 중장기 R&D역량 강화 기반 조성
 - 산학협력, 맞춤형 R&D 등을 통한 자체 역량 배양
 - * 정부는 산학연협력 선진화 방안을 마련 중
 - 신성장동력, 지식서비스 분야의 세계적 기업연구소 육성

11. Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) 인공광합성 연구 동향

1. 개요(LBNL): <http://www.lbl.gov>)

- 1931년 Ernest Lawrence 에 의해 설립된 미국 최초의 국립연구소
- **H-Solar Energy Research Center (SERC)**는 인공광합성의 기초원천기술을 확보하는 연구에 중점을 두고 있으며, 미국 Department of Energy (DOE)의 재정적 지원을 받아 2007년 12월에 설립
- SERC 소장인 Paul Alivisatos 교수를 비롯하여 UC Berkeley, Caltech 등의 약 30 여명의 교수진 구성

① SERC 의 참여 인원.

Management Team:

[Paul Alivisatos](#), Director; [Director, Lawrence Berkeley Laboratory](#)

[Elaine Chandler](#), Deputy Director

[Heinz Frei](#), Deputy Director

[Melanie Sonsteng](#), Administrator

Components:

NanoPVs: [Paul Alivisatos](#), [Joel Ager](#), [Jeff Neaton](#), [Rachel Segalman](#), [Wladek Walukiewicz](#)

Catalysts: [Don Tilley](#), [Chris Chang](#), [Cliff Kubiak](#) (UCSD)

Light Protection: [Graham Fleming](#), [Ana Moore](#), [Tom Moore](#), [Devens Gust](#) (Arizona State)

Electrochemistry: [Alex Bell](#), [John Newman](#), [Martin Head-Gordon](#), [Rich Mathies](#)

Integrated Systems:

[Heinz Frei](#), [Vittal Yachandra](#), [Don Tilley](#), [Lin-Wang Wang](#), [Peidong Yang](#), [Nate Lewis](#) (Caltech), [Gabor Somorjai](#), [Rachel Segalman](#), [Paul Alivisatos](#)

Cross-cutting Scientific Support:

Theory: [David Chandler](#), [Gavin Crooks](#), [Jeff Neaton](#), [Lin-Wang Wang](#), [Phill Geissler](#), [Steven G. Louie](#)

Instrumentation: [Mike Crommie](#), [Christian Kisielowski](#)

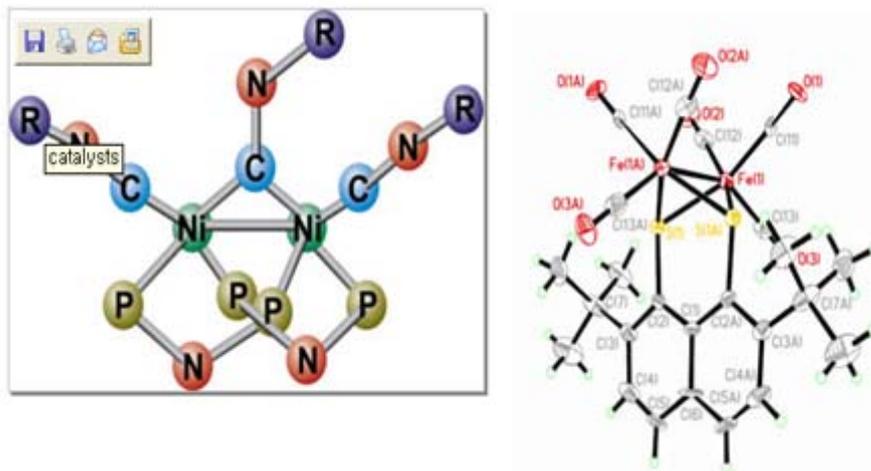
② 주 연구 내용

- 천연 광합성 작용에서 영감을 얻어, 인공광합성 과정 개발.
이를 위해 기능성 물 질 개발과 새로운 분자를 다양한 광합성 과정에 적용

- 또한 전체 인공광합성 과정이 하나의 광전기화학 (Photoelectrochemical: PEC) cell 내에서 일 어날 수 있는 시스템 구상

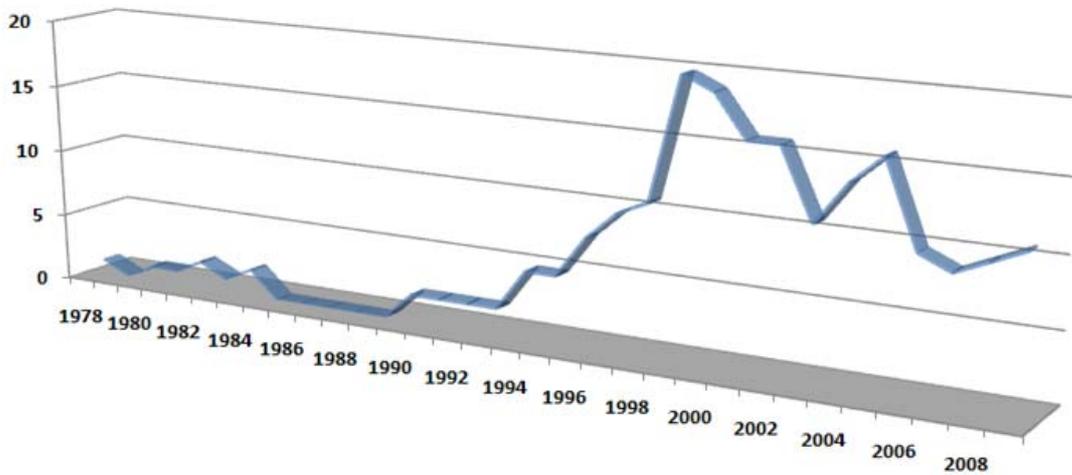


- 이산화탄소를 일산화탄소와 물분자로 환원시킬 수 있는 촉매 개발



- 세 종류의 화학적 변환이 가능한 촉매 개발. 즉, 이산화탄소를 메탄올로 환원 하는 촉매, 프로톤을 수소로 환원시킬 수 있는 촉매, 물을 산소로 산화시키는 촉매 개발에 주력

③ 특허 분석

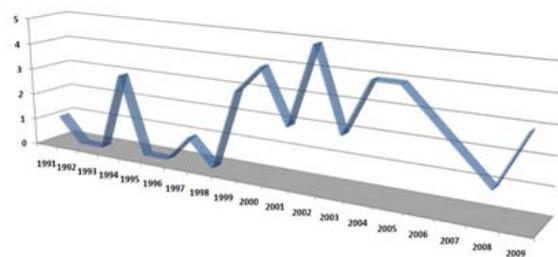


- 연구진(Paul Alivisatos 외 31명)의 미국등록특허와 미국공개특허 검색, 총 207건이 검색됨

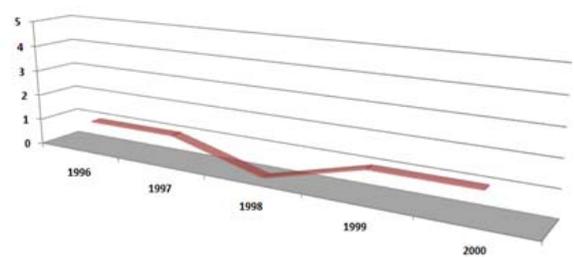
- 1970년대 후반에 들어서 특허출원인 시작되었으며 1990년대 초반부터 특허 출원이 증가하면서 2000년대 초반에 들어서 특허출원이 가장 활발함

- 상기 207건 중 인공광합성 연구와 관련성 있는 관심특허 6건을 선별

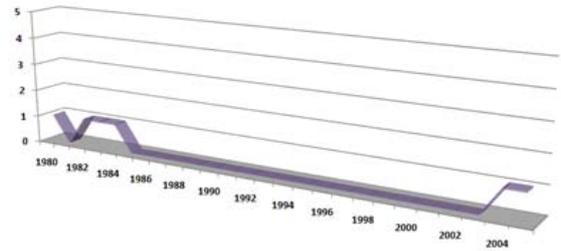
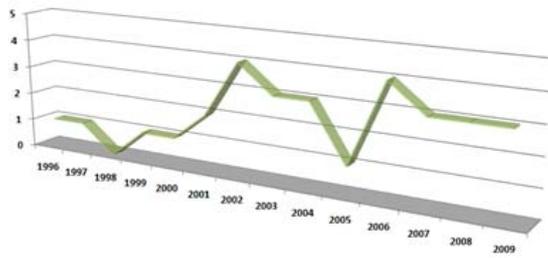
④ 주요 발명자별 특허 동향 분석



<Paul Alivisatos: semiconductor nanocrystal 외 37건>
건>



<Heinz Frei: 4



<Peidong Yang: nanostructures and nanowires and device외 29건> <Somorjai: 6건>

⑤ 관심특허 list

No.	국가	출원번호/ 등록번호	출원일/등록일	명칭
1	US	1982-416351 (4460443)	1982-09-09 (1984-07-17)	Electrolytic photodissociation of chemical compounds by iron oxide electrodes
2	US	1984-614282 (4533608)	1984-05-24 (1985-08-06)	Electrolytic photodissociation of chemical compounds by iron oxide photochemical diodes
3	US	1981-324496 (4439302)	1981-11-24 (1984-03-27)	Redox mediation and hydrogen-generation with bipyridinium reagents
4	US	1982-451336 (4459343)	1982-12-20 (1984-07-10)	Nonaqueous electrolyte photoelectrochemical cell
5	US	1999-806540 (6826321)	1999-10-01 (2004-11-30)	Magnetic switching of charge separation lifetimes in artificial photosynthetic reaction centers
6	US	2002-507663	2002-04-16	Enzyme-based photoelectrochemical cell for electric current generation

[부록]

LBL의 H. Frei Group의 연구 동향

Heinz Frei Group at LBNL

- **Leader: Heinz Frei**

Senior Scientist, Member of Executive Committee LBNL
Deputy Director, Helios Solar Energy Research Center
Task Leader, Integrated Systems

Department: Natural & Artificial Photosynthesis

Contact info: LBNL, Physical Biosciences Division, Berkeley, California 94720,

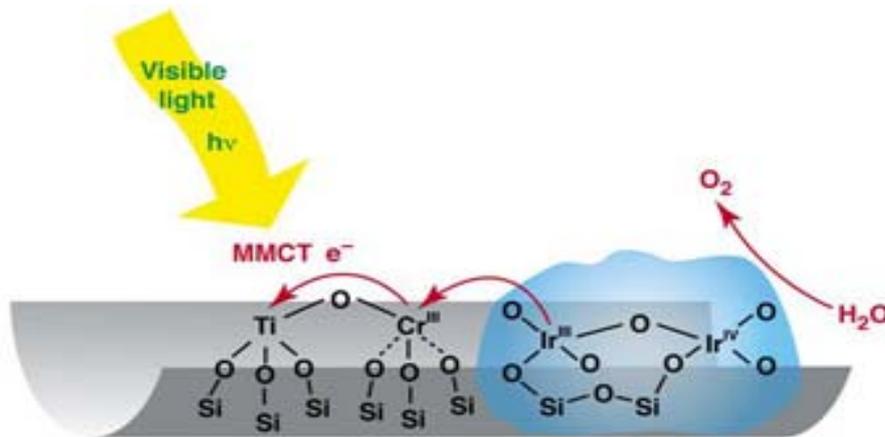
Phone: (510) 486 4325, Fax: (510) 486 7768, E-mail:

HMFrei@lbl.gov

① 개요

- Heins Frei 연구 그룹에서는 에너지의 근본인 태양광을 이용하여 이산화탄소와 물로부터 연료와 화학물을 합성하기 위한 강력한 인공광합성 시스템을 개발하는 것을 목표로 하고 있다.

- 이 그룹에서는 나노다공성 실리카 구조를 이용해서 물의 산화 또는 이산화탄소의 환원을 위한 가시광선 **광촉매제의 기능을 가진 무기다핵체 (polynuclear nuits)**를 만들고 있다. 실리카 나노다공성물질 표면에 붙어 있는 광촉매체들은 많은 전자 운반의 촉매제에 연결된 가시광선 전자 펌프로서의 역할을 하는 oxo-브릿지를 가진 이중핵 메탈간 전하운반 발색단 (oxo-bridged binuclear metal-to-metal charge-transfer chromophore)으로 구성되어져 있다. (아래 그림 참조)

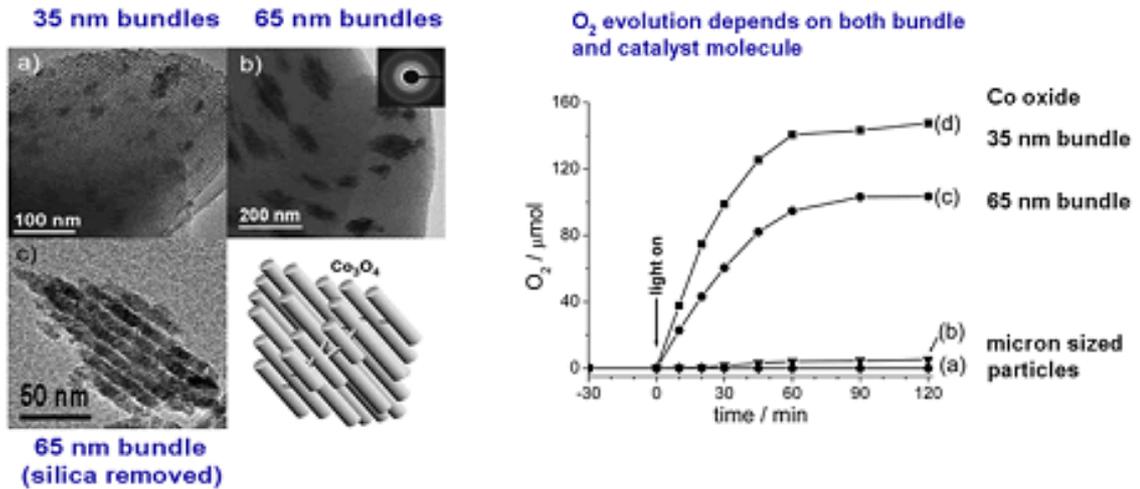


- 합성은 선택적인 산화환원 잠재력을 지닌 전자 공여체와 전자 수여체 금속센터를 포함한 모든 무기질체를 통해 개발되어지고 있다. 나노 구조화된 특징은 통합적인 광합성 시스템의 산화로부터 환원을 분리하는 기회들을 제공하는 반면, 나노다공성 실리카 지지체의 큰 표면부위는 태양이동에 따른 화학적 반응에 필요한 높은 밀도의 광촉매 역할을 하기에 충분하다. 가시광선에 의해 물에서 산소를 분리해 내는 효과적인 산화과정을 위한 광촉매제와 이산화탄소로부터 일산화탄소를 분리해내는 광촉매제는 연구되어졌다.

- 이 연구 그룹에서는 EXAFS, XANES, FT-Raman, FT-IR, EPR를 통해 광촉매제의 구조를 밝히는 것이 주된 연구주제이다. 또한 다핵성 광촉매제의 자세한 전자역할과 구조를 밝히는 연구와 함께 기계론적인 이해가 병행되어지도록 연구에 전념하고 있다. 기계론적인 이해와 해석을 통해 인공광합성시스템의 디자인을 증진하는데 크게 도움을 주고 있다.

- 최근에는 물 광산화를 위한 코발트 산화물 나노결정촉매를 개발하여 물분자 광분해 반응을 이산화탄소 환원 반응과 접목하여 인공광합성 시스템 구축을 위한 연구를 수행하고 있다.

- 아래에 개발된 촉매 SEM 사진과 산소 발생능을 보였다.



Co₃O₄ (Spinel structure)

- 개발된 촉매의 특성:

- **Very high catalytic rate:** 1140 O₂ molecules per second per cluster (driven by visible light)
- **Mild conditions and low overvoltage:** 22°C, pH 5.8, overvoltage 350 mV; stable under use
- **Size (35 nm bundle) and rate of catalyst match Nature's Photosystem II photocatalytic assembly**
- **Suitable for integrated artificial photosynthetic system that keeps up with solar flux (10³ W m⁻²)**

- 즉, 코발트산화물 나노결정 촉매는 물 분자를 광분해하여 산소, 전자, 수소이온으로 분해하고, 이러한 과정에서 발생된 전자, 수소이온 등을 이산화탄소를 메탄올 등의 연료 물질로 환원하는 인공광합성의 나머지 반쪽 반응에 이용할 수 있도록 하였다.

- 코발트산화물 나노결정 촉매는 충분히 효과적 이고 빠른 광반응용 촉매로서 작용할 수 있고, 코발트 원소는 자연에 풍부하게 존재하므로 저렴한 비용으로 촉매를 수득할 수 있다.

- 추후 연구 계획:

Frei and Jiao에 의해 개발된 상기 코발트산화물 나노결정촉매에 의한 물분자 광분해 반응을 이산화탄소 환원 반응과 접목하여 인공광합성 시스템 구축을 위한 연구를 계획하고 있다.

② 최근 연구논문

- H. Frei. Selective Hydrocarbon Oxidation in Zeolites (Perspective Article). *Science* 313, 309–310 (2006).
- R. Nakamura and H. Frei. Visible Light-Driven Water Oxidation by Ir oxide Clusters Coupled to Single Cr Centers in Mesoporous Silica. *J. Am. Chem. Soc.* 128, 10668–10669 (2006).
- L.K. Andersen and H. Frei. Dynamics of CO in Mesoporous Silica Monitored by Time-Resolved Step-Scan and Rapid-Scan FT-IR Spectroscopy. *J. Phys. Chem. B* 110, 22601–22607 (2006).
- W.A. Wasylenko and H. Frei. Direct Observation of the Kinetically Relevant Site of CO Hydrogenation on Supported Ru Catalyst at 700 K by Time-Resolved FT-IR Spectroscopy. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 9, 5497–5502 (2007).
- W.A. Wasylenko and H. Frei. Dynamics of Propane in Silica Mesopores Formed upon Propylene Hydrogenation over Pt Nanoparticles by Time-Resolved FT-IR Spectroscopy. *J. Phys. Chem. C* 111, 9884–9890 (2007).
- G. Mul, W.A. Wasylenko, and H. Frei. Cyclohexene Photooxidation over Vanadia Catalyst Analyzed by Time-Resolved ATR-FT-IR Spectroscopy. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 10, 3131–3137 (2008).
- H. Han and H. Frei. Controlled Assembly of Hetero-binuclear Sites on Mesoporous Silica: Visible Light Charge-Transfer Units with Selectable Redox Properties. *J. Phys. Chem. C* 112, 8391–8399 (2008).
- W. Weare, Y. Pushkar, V. Yachandra, and H. Frei. Visible Light-Induced Electron Transfer from Di- μ -oxo Bridged Dinuclear Mn Complexes to Cr Centers in Silica Nanopore. *J. Am. Chem. Soc.* 130, 11355–11363 (2008).
- H. Han and H. Frei. In-Situ Spectroscopy of Water Oxidation at Ir Oxide Nanocluster Driven by Visible TiOCr Charge-Transfer Chromophore in Mesoporous Silica. *J. Phys. Chem. C* 112, 16156–16159 (2008).

- F. Jiao and H. Frei. Nanostructured Cobalt Oxide Clusters in Mesoporous Silica as Efficient Oxygen-Evolving Catalysts. *Angew. Chem. Int. Ed.* 48, 1841–1842 (2009).
- Y. Borodko, L. Jones, H. Lee, H. Frei and G. Somorjai. Spectroscopic study of tetradecyltrimethylammonium bromide Pt-C14TAB nanoparticles: structure and stability. *Langmuir.* 25(12), 6665–71 (2009).
- X. Wu, WW. Weare, H. Frei. Binuclear TiOMn charge-transfer chromophore in mesoporous silica. *Dalton Trans.* 7(45), 10114–21 (2009).
- GA. Somorjai, H. Frei, JY. Park. Advancing the frontiers in nanocatalysis, biointerfaces, and renewable energy conversion by innovations of surface techniques. *J Am Chem Soc.* 131(46), 16589–605 (2009).
- F. Jiao, H. Frei. Nanostructured manganese oxide clusters supported on mesoporous silica as efficient oxygen-evolving catalysts. *Chem Commun (Camb).* 46(17), 2920–2 (2010).