

2015년 미국의 나노기술정책 동향

김민정, 정연진, 강상규

2015. 08.

머 리 말

미국은 가장 먼저 정부 차원에서 나노기술 연구개발 및 산업 발전 전략에 뛰어든 국가이자 투자기술수준 등에서 세계를 주도하고 있는 국가입니다. 2000년 미국이 국가나노기술전략(National Nanotechnology Initiative, NNI)를 발표한 이후 한국, 일본, EU, 중국, 러시아 등 주요국들이 경쟁적으로 나노기술 연구개발 및 산업 발전 전략을 추진하고 있으며 미국은 현재 연간 약 15억달러의 예산을 나노분야에 투자하며 여전히 나노기술 분야 글로벌 리더십을 유지하고 있습니다.

오바마 대통령은 2015년 연두교서에서 경제성장을 강조하며 그 추진 기반으로 과학기술 및 연구개발을 제시한 바 있습니다. 경제와 사회 발전, 일자리 창출 등 현안 해결을 위해 과학기술이 강조되고 있으며 그 중심에는 다양한 산업 분야에 활용되며 파급효과가 큰 나노기술이 중요하게 다뤄질 수밖에 없습니다.

본 보고서는 2015년 미국의 나노기술 정책 동향과 시사점을 제시합니다. 지난 15년간 세계 나노기술 분야를 주도해온 미국은 최근 “제5차 NNI 평가보고서”를 통해 나노기술 커뮤니티가 현재 중요한 터닝 포인트에 접하고 있다고 진단하고 NNI 2.0으로 전환을 제시한 바 있습니다. 미국의 나노기술정책의 움직임을 명확히 파악함으로써 우리나라 역시 세계나노기술 발전의 흐름에 크게 기여할 수 있으리라 기대합니다. 본 보고서가 우리나라 나노기술의 발전을 주도하는 정책입안자, 관련 전문가 등에게 많은 도움이 되기를 바랍니다.

2015. 10. 30

국가나노기술정책센터

소장 

차 례

제1장 개요	1
제2장 미국의 나노기술정책 추진체계	2
제3장 2015 NNI 예산	4
제4장 주요 영역별 미국의 나노기술정책 동향	7
1. R&D 정책	7
2. 나노기술 상용화 정책	31
3. 나노안전(EHS)	5
4. 인력양성 정책	7
5. 인프라(팹시설)	8
제5장 시사점	2
참고문헌	2
부록	
부록 1. NNI의 목표, 목적 및 우선순위 성취를 향한 진행	3·2
부록 2. 2015년 오바마 대통령 연두교서 - 과학기술 부문	7·3
부록 3. 2015년 예산안을 통한 오바마 행정부의 R&D 정책방향 분석	0·4

표 차례

<표 1> NNI 2014 전략계획(안): NNI 4대 목표 및 세부추진 전략	2
<표 2> 2013-2015 부처별 NNI 예산	4
<표 3> NNI의 PCA 변화	5
<표 4> 2014-2016년 분야별 NNI 예산	6
<표 5> NSI 연도별 투자 예산	7
<표 6> 2008-2012년 부처별 SBIR, STTR 투자액	14
<표 7> 미국 NNI EHS의 6개 연구 분야 및 세부 사항	16
<표 8> 제3기 국가나노기술전략계획의 목표 3에 관한 세부목표 및 하위 목표	17
<표 9> 미국 나노기술 관련 인프라 기관의 특성 비교	20

그림 차례

[그림 1] 미국 나노기술정책 추진체계	3
[그림 2] NNIN의 지리적 분포	19

제1장

개요

미국정부는 1997~1999 기간 중 ‘나노기술관련 범부처 워킹그룹(Interagency Working Group on Nanotechnology, IWGN)’을 창립하여 연방정부 차원의 나노기술 개발체계를 수립하였다. 2000년 1월 미국 클린턴 행정부는 국가나노기술전략(National Nanotechnology Initiative, NNI)을 공식적으로 발표하였다. 미국의 이러한 움직임은 세계 주요국이 나노기술을 둘러싼 경쟁에 뛰어드는 시발점이 되었다. 2003년 12월 부시 행정부는 나노기술개발촉진법(Nanotechnology Research and Development Act)을 제정하여 NNI 추진의 법적 근거를 마련하였다. NNI는 클린턴, 부시, 오바마 3대 행정부에서 미국의 최우선 순위 과학기술 투자분야로 육성되어 오며 NNI 전략계획(안)이 4차례(2004년, 2007년, 2011년, 2014년) 발표되어왔다. 미국 정부는 회계연도 2001~2012년간 NNI를 통해 173억 달러(한화 약 16조 원)을 나노 연구개발에 투자하여 왔다. 나노기술은 오바마 행정부가 추진 중인 미국 혁신정책 이행을 위한 핵심기술로 꼽히고 있다.

제2장

미국의 나노기술정책 추진체계

미국의 NNI 수립·이행은 세계적인 나노기술 연구개발 경쟁을 촉발시켰으며, NNI 보고서들은 각국 나노기술 연구개발정책 수립의 핵심 참고자료로 활용되고 있다. 2000년에 수립된 NNI는 ‘나노크기에서 물질을 이해하고 제어하는 능력을 통해, 인류사회에 기여하는 기술 육성 및 산업혁명 촉진’이라는 도전적인 비전을 공유하는 26개 정부기관들이 공동으로 수행하고 있는 미국 정부의 연구개발 구상이다. 이들 기관들의 공동 노력을 통해 나노기술의 발견·개발 및 확산을 가속화하고 있다. 가장 최근에 발표된 2014년 NNI 전략계획(안)의 4가지 목표와 15개 목적은 다음과 같다. 더불어 국가 나노기술 이니셔티브(NNI)의 4가지 목표와 15개 목적이 성취되는 과정을 (1) 각 기관별 (2) NNI 기관 및 다른 기관들의 협력 활동을 통해 분석한 결과는 본보고서 <부록1>로 제시돼 있다.

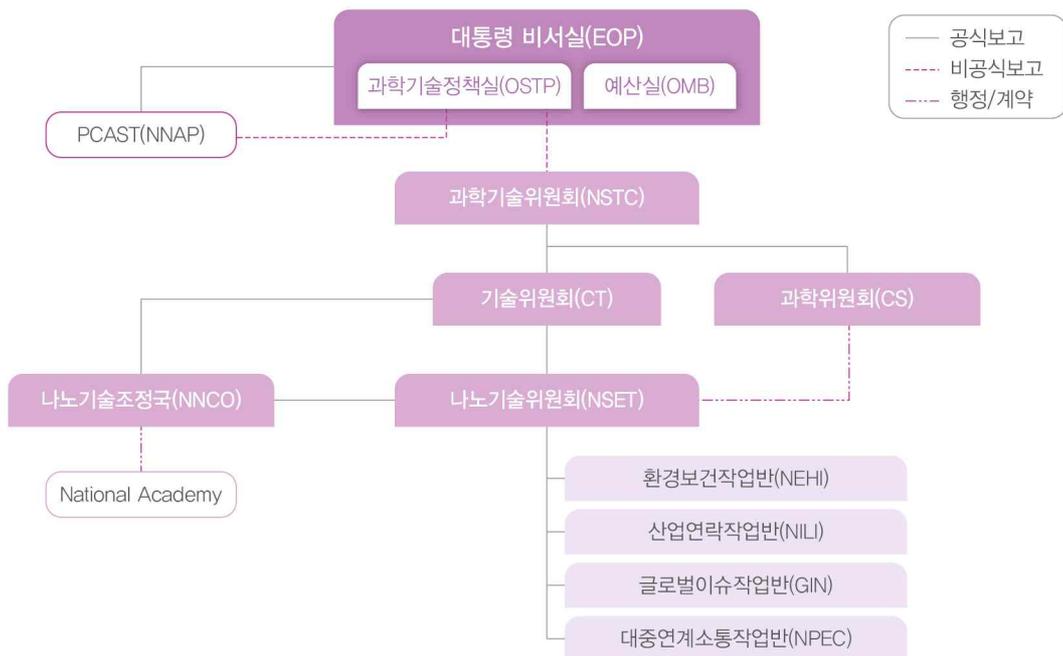
<표 1> NNI 2014 전략계획(안): NNI 4대 목표 및 세부추진 전략

NNI 4대 목표	세부 추진 목표/전략
세계수준의 나노기술 연구 개발 프로그램	학제 프론티어 및 학제간 접합부문 연구개발 지원
	이해당사자들의 활발한 참여에 의해 도출되는 국가 우선사항을 지향하는 목적 지향적인 나노과학기술연구의 지원
	미국의 나노기술 연구개발 사업의 성과를 측정하는 척도 개발
	국가적인 우선분야를 지원하며, 3개 이상의 NNI 관련 부처가 지원하는 광범위한 분야의 NSI(Nanotechnology Signature Initiative)를 개발
경제적 이익과 공익을 위해 신기술 이전을 통한 제품화 촉진	연방정부의 연구개발 투자와 규제환경에 대한 이해증진을 위해 나노기술 기반 사업 커뮤니티 지원
	나노기술 기반 상업화와 공공-민간 파트너십 지원 증대
	나노과학의 발견으로 상업제품으로서의 이전을 가속화하기 위한 공동연구시설 (user facilities), 협력연구센터, 지역 이니셔티브의 설립 및 유지
나노기술 선진화를 주도할 교육자원, 숙련된 노동력 및 기반시설 및 장비의 개발과 지원	나노기술 제품의 공정과 관련된 책임감 있고 지속가능한 상업화, 기술이전, 혁신, 무역을 촉진하는 국제적 참여활동 증대
	나노기술의 가치와 영향에 관한 홍보 및 비정규 교육사업의 지속
	나노기술 숙련인력 교육 및 역량 유지활동 지속
	사용자 중심의 협동 연구시설 등의 연구개발 인프라의 활용 극대화 및 유지

NNI 4대 목표	세부 추진 목표/전략
나노기술의 책임 있는 개발 지원	나노물질로부터 야기되는 리스크를 평가하고 관리하는데 보다 나은 의사결정을 할 수 있게 하는 정보체계 구축을 지원
	나노안전 관련 정보 및 최선의 사례(best practice) 등을 확산, 평가할 수 있는 방법론 개발
	나노관련 ELSI(Ethical, Legal, Societal Implication) 이슈를 규명하고 대응하는 연방정부의 역량 증대
	나노기술의 책임 있는 개발에 있어서 지속 가능성을 통합

NNI는 국가과학기술위원회(National Science and Technology Council, NSTC)의 체제 내에서 운영된다. NSTC는 내각 수준의 위원회로서, 이를 통해 대통령이 연방정부 전체의 과학기술정책을 관리한다. NSTC의 기술위원회(Committee on Technology) 산하에 설치된 나노기술분과위원회(Nanoscale Science, Engineering, and Technology Subcommittee, NSET)에서 NNI의 기획, 예산안 결정, 프로그램 실행 및 진행상황 점검 등의 역할을 수행한다. 국가나노기술조정국(National Nanotechnology Coordination Office, NNCO)은 NNI 정보와 관련하여 컨택포인트 역할을 수행하며, NSET을 지원하여 범부처간 기획, 예산 및 평가보고서 작성 등과 같은 포괄적 업무를 수행한다. 또한 NNI 웹사이트(www.nano.gov) 관리 및 NNI 사무국 기능을 수행한다.

[그림 1] 미국 나노기술정책 추진체계



제3장

2015 NNI 예산

2015년 미국 대통령 예산안은 NNI에 15억 달러 이상을 투자하고 있다. 2001년 NNI 실행 이후 거의 총 210억 달러에 이르는 연구비가 집행되고 있다. 미국 정부는 나노기술이 차세대 먹거리 확보를 위한 핵심 기술이라고 인식하고 꾸준히 국가적 차원에서 전략적으로 지원해왔으며, 지금까지의 투자가 나노스케일에서 발생하는 나노 현상의 기본을 이해하고 나노 물질 제어 기술이 크게 발전하는데 크게 기여했다고 평가하고 있다. 예산이 큰 5개 기관은 DOE(Department of Energy-새로운 에너지 기술의 근간이 되는 기초와 응용 연구), NSF(National Science Foundation-과학 기술의 모든 지식 분야에 걸친 기초 연구와 교육), NIH(National Institutes of Health-생명과 자연과학의 교차점에서의 나노기술에 기반 한 생의학 연구), DOD(Department of Defense-국방과 민군 기술 발전을 위한 과학 기술 연구), NIST(National Institute of Standards and Technology-측정과 제조기구, 분석 방법, 계측에 대한 나노기술의 기초 연구와 개발)을 포함한다.

<표 2> 2013-2015 부처별 NNI 예산

(단위 : 백만달러)

부처 ¹⁾	2013 Actual	2014 Estimated	2015 Proposed
CPSC	1.3	2.0	2.0
DHS	14.0	24.0	32.4
DOC/ NIST	91.4	97.8	82.6
DOD	170.1	175.9	144.0
DOE	314.2	303.3	343.1
DOT/FHWA	2.4	2.0	1.5
EPA	14.6	15.5	16.8
DHHS (total)	485.4	469.5	469.6
FDA	16.1	17.0	17.0
NIH	458.8	441.5	441.5
NIOSH	10.5	11.0	11.1
NASA	16.4	17.9	13.7
NSF	421.0	410.6	412.4

1) 각 부처명은 다음과 같음.

부처	2013 Actual	2014 Estimated	2015 Proposed
USDA(total)	19.5	19.1	18.8
ARS	2.0	2.0	2.0
FS	5.0	4.0	4.0
NIFA	12.5	13.1	12.8
TOTAL	1550.2	1537.5	1536.9

한편 NNI는 2014년 4차 평가서를 통해 <표 3>와 같이 새로운 PCA(Program Component Areas)를 구성하여 NSI²⁾를 최우선 투자분야로 육성하고 있다. 이는 2011년 공개된 NNI 전략 계획에서 제시한 8대 R&D 투자 분야(Program Component Areas, PCA)를 다음과 같이 새롭게 구성한 결과이다.

<표 3> NNI의 PCA 변화

	2011년 PCA	2014년 PCA
NNI R&D분야	PCA 1. 나노현상 및 프로세스에 대한 기초연구 PCA 2. 나노소재 PCA 3. 나노소자와 시스템 PCA 4. 나노기술 연구장비, 측정기준 및 표준 PCA 5. 나노제조기술 PCA 6. 주요 연구설비 및 측정장비 구축 PCA 7. 환경, 보건 및 안전성 PCA 8. 교육 및 사회적 영향	PCA 1. 나노기술 핵심전략(NSI) a. 태양 에너지 수집과 전환을 위한 나노기술 b. 지속가능한 나노제조업 c. 2020 그 이후를 위한 나노전자 소재 d. 나노기술 지식 기반 인프라구조(NKI) e. 센서를 위한 나노기술 및 나노기술을 위한 센서 PCA 2. 기초 연구(Fundamental Research) PCA 3. 나노기술을 활용한 응용, 기기 및 시스템. PCA 4. 연구 인프라 구조 및 기기 PCA 5. 환경, 건강 및 안전(EHS)

CPSC(Consumer Product Safety Commission, 소비자제품 안전위원회)

DHS(Department of Homeland Security, 국토안전부)

DOC/NIST(Department of Commerce, 상무부)/ NIST(National Institute of Standards and Technology, 국립표준기술연구소)

DOD(Department of Defense, 국방부)

DOE(Department of Energy, 에너지부)

DOT(Department of Transportation, 교통부) / FHWA(Federal Highway Administration, 연방도로관리청)

EPA(Environmental Protection Agency, 환경보호청)

DHHS(Department of the Health and Human Services, 보건부)

FDA(Food and Drug Administration, 식품의약품국)

NIH(National Institutes of Health, 국립보건원)

NIOSH(National Institute of Occupational Safety & Health, 국립산업안전보건연구원)

NASA(National Aeronautics and Space Administration, 국립항공우주국)

NSF(National Science Foundation, 국가과학재단)

USDA(United States Department of Agriculture, 농무부)

ARS(Agricultural Research Service, 농업연구청)

FS(산림청)

NIFA(National Institute of Food and Agriculture, 농식품연구소)

2) NSI에 관한 보다 자세한 논의는 '4-1 R&D 정책'에서 다루짐.

<표 4>는 2013-2015년 분야별 NNI 예산을 보여준다. 미래 에너지 문제 해결을 목표로 하는 ‘태양 에너지를 위한 나노기술’에 대한 투자는 2014년 73.2백만 달러에서 2016년 77백만 달러로 증가하였으며 현재 NSI 중 가장 높은 비중을 차지한다. 나노안전(EHS)에 대한 투자 또한 2014-2016년 매년 약 100백만 달러로 2005년 NNI 총투자의 3% 미만의 비중이었으나 현재 약 7% 이상을 차지하고 있다. 이러한 분야에서 최근 투자가 증가해온 한편 기초연구 분야 역시 단일 NNI 투자 범주 중에서 가장 큰 예산 비중을 차지하고 있다.

<표 4> 2014-2016년 분야별 NNI 예산

(단위 : 백만달러)

	FY 2014 Actual	FY 2015 Estimate	FY 2016 Proposed
1. NSI	\$272.8	\$246.5	\$251.5
태양 에너지를 위한 나노기술	73.2	71.7	77.0
지속가능한 나노제조	47.2	37.1	42.6
2020년 이후의 나노전자소자	78.6	71.4	73.8
나노기술의 지식사회 기반 마련	15.9	22.8	23.6
센서를 위한 나노기술	58.0	43.6	34.5
2. 기초 연구	548.9	510.6	512.4
3. 나노기술을 활용한 응용, 기기 및 시스템	418.8	395.9	385.8
4. 연구 인프라 구조 및 기기	231.6	235.8	240.2
5. 환경·건강 및 안전(EHS)	102.1	98.9	105.4
Total	\$1574.3	\$1487.8	\$1495.3

자료 : NSTC(2014a).

제4장

주요 영역별 미국의 나노기술정책 동향

1. R&D 정책

NSI(Nanotechnology Signature Initiative)는 오바마 행정부의 국가혁신전략을 지원하기 위한 나노기술의 기여방안을 도출한다. 미국의 21세기 중점 도전과제 수행 돌파구 마련을 위해 부처간 긴밀한 협력 및 공동연구개발, 그리고 급성장 가능성이 있는 미래 유망 5개 분야를 선정하여 집중 육성중이다. 이들의 추진은 최종적으로 미국의 경제회복, 일자리 창출, 국가안보, 에너지생산 등과 같은 국가 핵심과제 해결에 기여하는 것을 목표로한다. NNI 4차 평가서는 NNI가 대통령 혁신정책 지원을 위한 NSI 프로그램을 지속적으로 발굴하여 추진할 것을 요구하고 있다. 이러한 요청에 의해 NNI는 2010년에 3개, 2012년에 2개의 NSI를 발굴하여 총 5개 분야가 추진 중이다. NNI는 2014년 새로운 PCA를 구성하기 이전에도 기존 8대 투자분야(PCA 8) 외에 NSI 투자에 대한 예산을 추가적으로 집계하고 있었다. 지금까지 공개된 NSI 백서들은, 향후 10여년 내에 가시적인 성과를 도출 할 것으로 예상되는 분야 및 기술군에 대해 요약하고 있다. 아직은 초기단계의 시범 사업 성격이 강하며, NSI에 대한 투자는 지속적으로 증가되고 있다. 2104년 NSI 프로그램 투자예산은 343백만 달러로, 2013년 대비 11.4% 증액되었다. 5대 NSI 및 투자 예산 정보는 아래 표와 같이 요약되며 5대 NSI 주요 내용은 <박스 1>와 같다.

<표 5> NSI 연도별 투자 예산

(단위 : 백만 달러)

Nanotechnology Signature Initiative	2012, Actual	2013, Estimated	2014, Proposed
Sustainable Nanomanufacturing (지속가능한 나노제조)	56	72	60
Solar Energy Collection and Conversion (태양 에너지를 위한 나노기술)	88	82	102
Nanoelectronics for 2020 and Beyond (2020년 이후의 나노전자소자)	92	87	80
Nanotechnology Knowledge Infrastructure (나노기술의 지식사회 기반 마련)	2	2	23
Nanotechnology for Sensors (센서를 위한 나노기술)	55	65	78
Total	294	308	343

자료 : 미래창조과학부(2015).

<박스 1> 5대 NSI 주요 내용

(1) 지속가능한 나노제조

본 프로그램은 나노스케일 제조기술을 통해 복잡한 대규모 시스템을 구축하여, 경제적이면서 환경친화적 제조업 기술들을 구현하는 것을 목표로 한다. NNI 하에서 지난 10년간의 연구 결과를 분석한 결과, 반도체 산업 분야가 대표적으로 나노기술 접목을 통해 뚜렷한 발전을 지원하였다. 하지만 기타 나노 제조업들은 여전히 경제성 확보에 어려움을 겪고 있다. 향후 수많은 서로 다른 기능을 가진 나노스케일 장치들을 집적·조립하는 방법의 개발이 필요하며, 이를 지원하기 위해 본 프로그램이 필요하다.

(2) 태양에너지를 위한 나노기술

오바마 대통령은 지구촌의 기후 변화를 완화시키고, 연료 수입의 타국 의존도를 낮추며, 경제 회복을 위해 ‘무탄소’ 대체 에너지 개발을 목표로 하고 있다. 구체적으로 2012년까지 재생에너지로부터 10%의 전기를 생산하고, 2025년까지는 25%까지 높인다는 목표를 설정하였다. 이를 실현할 전도유망한 대체 에너지원으로 태양에너지를 주목하고 있다. 태양에너지 개발 및 관련 기반시설 육성은 미국의 영구적인 에너지 독립성 보장에 기여할 것이며 지속적 연구개발을 통해 과학·산업의 국제 리더십을 유지한다면, 지금까지 전례가 없었던 미국의 경제성장을 이끌어 낼 가능성이 높다.

(3) 2020년 이후의 나노전자소자

근대 경제의 핵심인 반도체 산업은 1990년대 이후 지속적인 생산 성장을 이루고 있다. 그 중요성을 보여주는 단적인 예로, 반도체 산업은 2008년 미국의 2대 수출 품목 중 하나였다. 최근까지 본 분야의 발전 방향은 무어의 법칙(Moore's Law)에 따라 급속하게 진행되어 왔다. 지난 40년간 기하급수적 성장을 이룬 컴퓨터의 성능 발전은 반도체 프로세싱 및 메모리 장치의 지속적 소형화에 의해 가능하였다. 하지만 원자 단위 크기에 도달한 현존 기술에 의한 소재·소자 소형화는 한계에 도달하였고, 이러한 현존 물리적 한계를 극복하기 위한 대안으로 양자 터널링(Quantum tunneling) 및 기타 양자 효과(quantum effects) 등의 다소 급진적인 나노 과학기술의 개발·응용을 고려하고 있다. 이들 기술에 기초한 신개념 방법들을 통해 현존 반도체 기술의 문제점을 인식하고 극복하여 신개념 전자기기를 제조하는 데 기여한다.

(4) 나노기술의 지식사회 기반 마련

미국 연방정부는 나노 크기 현상·공정에 의한 물질·구조물·제품 등이 국가차원의 도

전과제 해결에 핵심적으로 기여할 것으로 주목하고 있다. 이를 구체화하는 방법의 일환으로, NNI는 나노기술학술정보체계(Nanotechnology Knowledge Infrastructure, NKI) 구축을 추진중이다. NKI는 관련 연구개발을 촉진하기 위해 관련 연구그룹에게 나노기술에 대한 정보수집, 입증, 저장, 공유, 분석, 모델링, 응용 등에 관한 통합적 정보체계 도구를 제공하고자 한다. 최종적으로, 나노관련 정보와 데이터를 이용한 사회 기반기술을 확장하는 것을 목표로한다.

(5) 센서를 위한 나노기술

나노기술은 현존하는 물리·화학·생물학 기반 센서들의 문제점을 해결해 줄 것으로 기대되고 있다. 첨단 나노 센서들은 건강, 안전, 환경 평가 등 다양한 분야에서 활용도가 높은 것으로 예상된다. 예를 들어, 빠르고 신뢰도 높은 오염원·불순물·병원균 감지 센서는 농업 및 관련 생산장비의 확장에 기여도가 높을 것으로 전망된다. 현재에도 관련 나노센서가 개발되어 시판되고 있지만, 여전히 센서의 신뢰도·재연성·사용시간·감도 등에 있어 개선이 절실하다.

나노물질의 환경·보건·안전(EHS) 확보를 위해서도 나노센서 개발이 필요하다. 나노센서는 제품을 만드는 데 사용되는 나노물질이 환경에 노출되어 발생할 수 있는 건강과 오염 문제에 대응할 수 있다. 현재까지 나노물질이 인체의 건강과 안전, 환경에 미치는 영향에 대해서 제대로 파악되지 않고 있으며, 또한 나노물질을 감지할 수 있는 장비 역시 매우 부족하다. 본 계획은 기존의 NNI를 보완하는 신개념의 나노 생화학 센서를 가능하게 할 기술 개발을 추진한다. 이는 최종적으로 나노기술의 안전한 상업화를 촉진하는 나노기반의 측정 및 모니터링 기술 확보에 기여한다.

한편 지난 2014년 10월 발간된 “제5차 NNI 평가보고서”는 나노기술 분야가 NNI 2.0³⁾이라는 새로운 시대에 돌입하고 있다고 강조하며 본격적인 상업화 전략을 강조한다. 본 보고서는 향후 나노기술의 상업화 전략에 적합한 중점도전과제(Grand Challenges)를 제안하고 있다. 현재의 NSI의 일부 요소들은 유지되어야 하는 반면 연방정부 및 OSTP가 집중해야 할 나노기술 중점도전과제에 따라 주요한 프로그램 관리 구조는 변경되어야 한다고 보고한다. 미국 정부의 나노기술 활동에 대한 평가가 아닌 자문을 해줄 나노기술 다방면에 걸친 전문가들로 구성된 상시/상설 위원회의 필요성을 강조하고 나노기술 중점도전과제를 위해 기관 간 펀딩 우선순위를 정할 수 있도록하는 범 기관 간 프로세스의 필요성을 재차 강조하고 있다. 범부처, 관련 기관들이 기초/응용 연구를 넘어서 기술의

3) NNI2.0의 보다 자세한 내용은 다음 절 ‘나노기술 상용화 정책’에서 이어짐.

상업화를 위한 프레임워크를 만들어 나노기술에 대한 노력을 전환하는 경우에만 나노기술 연구투자 및 정부의 중요한 전략이 지속적인 성과를 얻을 수 있다는 것이 본 보고서의 주장이다. 중점도전과제는 구체적이고 중요한 목표를 가진 광범위하고, 외형적인 활동을 의미하며 상업화 단계로 나아가는데 있어 필수적인 프레임워크를 확립하는데 도움을 준다고 설명하고 있으며 <박스 2>, <박스3>과 같이 중점도전과제의 특징 및 실례를 제시하고 있다.

<박스 2> 제5차 NNI 평가보고서가 제시한 중점도전과제(Grand Challenges)의 특징

□ 중점도전과제 주요 특징

- NSI는 한 가지 주제에 대해 3개, 혹은 그 이상의 연방정부 기관 간 조정에 의한 반면, 중점도전과제는 구체적이고 중요한 목표를 가진 광범위하고 외형적인 활동임.
- 최종 목표가 명확하고 목표달성 여부가 명백함.
- 성공적인 달성을 위해 기본적인 과학적 지식과 도구, 사회기반시설의 발달이 요구됨.
 - 중점도전과제가 시작될 때 그것을 수행하기 위해 필요한 모든 자원들이 알려지지 않으므로 이러한 위험요소들을 인지하고 분명하게 표현하며 가능한 경감시킬 필요 있음.
- 중점도전과제로 나아가는 과정에서 거쳐야할 중요하고 명확한 단계들이 있어야 함.
 - 중간 단계 산출물에 대한 점검을 통해 목표를 달성하기 위한 노력들이 제대로 진행되고 있는지 여부를 알 수 있음.
- 다학제적으로, 기초과학부터 상업화까지, 통합되고 있음.
- 규모가 매우 커서 하나 혹은 몇몇 기관들의 노력만으로 불가능함.

※ 권고사항 1> 중점도전과제를 수립하는 것은 연방정부의 나노기술 활동들의 영향을 집중시키고 증폭시키는데 효과적인 수단임. NSET와 OSTP는 중요한 사회적 요구들을 해결하는 나노기술 중점도전과제 후보 리스트를 파악해야 함. 적어도 하나의 중점도전과제는 해당 분야에 대한 제조 도전과제 달성을 목표로 하는 프로그램 요소를 포함해야 함.

<박스 3> 제5차 NNI 평가보고서가 제시한 중점도전과제(Grand Challenges)의 실례

<나노기술 중점도전과제 실례 #1>

□ 최근 대두되고 있는 물 위기를 극복하기 위한 나노기술을 이용한 바닷물의 담수화

- OECD와 미국은 현재 25개국에서 3억5천만명의 사람들이 물부족을 겪고 있으며, 그 피해가 2025년에는 52개국 40억명(세계 인구의 2/3)에 이를 것으로 보고
- 깨끗한 물의 부족은 21세기 가장 시급한 도전과제 중 하나임.
- 바닷물의 담수화는 유일하게 가능한 해결방법이지만, 담수화 과정에 상당히 많은 에너지가 필요함.
 - 실용화되지 못한 상태로 남아있음.
- 이를 위해 담수화 과정에 나노기술을 사용하고자 하는 노력이 다양하게 시도되었음.
- 대체 가능한 접근 방법은 그래핀과 탄소나노튜브와 같은 아주 얇은 구조물을 이용하는 것임.
 - 정밀하게 통제할 수 있으며, 매우 강력한 선별력을 통해 소금을 분리하며, 에너지 사용은 최소화시킬 수 있을 것임.
- 중점도전과제는 바닷물의 담수화를 위한 특정 에너지 소비를 1.5kWh/m^3 아래로 낮추는 것임.

<나노기술 중점도전과제 실례 #2>

□ 나노기술을 이용한 고체 상태 냉매(Solid-State Refrigeration)로 온실가스 배출 줄이기

- 상업용, 거주용으로 난방, 환기, 냉방장치(HVAC) 시스템 등을 위한 전력생산은 미국 온실가스 배출의 많은 부분을 차지함.
- 고체상태 냉매는 온실가스를 줄이고, 시스템 레벨 노이즈를 줄이며, 단위 크기와 무게, 전력을 최적화 시킬 수 있는 가능성을 가지고 있음.
 - 열전기, 열탄성, 전기 열량, 열전자, 그리고 자기열량은 이러한 시스템의 근간이 되는 고체 상태 물질들임.
- 공학적인 도전과제는 물질 안에서 냉각(열 냉각)을 위해 에너지가 변환될 때 에너지 손실을 줄임으로써, 물질과 장치 사이 그리고 하나의 장치와 전체 시스템 사이의

접점에서 에너지 손실(의존 손실)을 줄임으로써 물질의 성능을 향상시키기 위한 것임.

- 그러한 손실들은 성능계수(COP)로 정의됨.

중점도전과제는 COP > 5 (현재 HVAC 기술들보다 25% 높은)와 출력밀도 > 20 kW/m³(현재 HVAC 기술보다 2배 더 큰)를 갖춘 고체상태 냉각 시스템을 개발하는 것임.

이것은 건물들 안에서 실내온도 조절로부터 발생하는 온실가스 배출을 20%까지 줄일 수 있는 상업용 시스템을 가져올 것임.

이로 인해 매년 거의 2억 톤의 탄소배출을 감소시킬 수 있을 것이며, 이것은 미국 고속도로에서 대략 4천만대의 승용차를 제거한 것과 맞먹는 효과임.

<나노기술 중점도전과제 실례 #3>

□ 나노 3D 프린팅을 통한 선도적 제조

○ 3차원(3D) 프린팅은 제조업 혁명의 선두에 서 있으며, 맞춤형 메디컬 케어와 자동차 디자인과 같이 다양한 분야에서 미국 제조업과 시제품화 기술을 탈바꿈시킬 가능성을 가지고 있음.

○ 하지만 3D 프린팅의 해상도, 처리량 그리고 물질의 유연성은 현재 한계가 있음.

○ 사출성형(injection molding)과 같은 제작 기술은 수백 마이크로미터(micron)에서 수백 나노미터(nanometer)에 이르는 해상도를 가진 상품을 대량 생산할 수 있는 능력을 가지고 있음.

그러나 이 기술은 빠른 시제품화와 맞춤형 상품을 위해서는 보통 엄두도 못 낼 정도로 비쌌.

○ 3D 프린팅은 이러한 한계점을 극복할 수 있는 엄청난 잠재력을 보여줌.

○ 나노기술을 통해 3D 프린팅은 화학 성분에 대한 정확한 통계와 현대 제작기술에 걸맞는 해상도를 가진 대규모의 시제품들을 제작할 수 있을 것이고 속도와 비용 면에서도 상당한 발전을 이룰 것임.

○ 이 목표를 향한 가능한 기준점은 현재 기술들에 대해 경쟁력 있는 가격에서 맞춤형 의료기구(예를 들어 심장 스텐트와 인공관절)의 제작이 될 수 있음.

<나노기술 중점도전과제 실례 #4>

- 2030년까지 적어도 한가지 주요 암에 대한 나노규모의 치료법 개발
- 기본적인 암 생물학에 대한 이해와 새로운 표적 항암 치료법의 발전에서 상당한 진보가 있었음에도 불구하고 가장 흔한 암들에 대한 장기 생존률을 높이는 것은 여전히 달성하기 어려운 과제임.
원인으로는 늦은 질병 발견, 여러 치료법의 결합을 필요하게 만든 복잡하고 이질적인 종양 생리학, 암세포의 전이, 약물 침투를 방해하는 자연발생적 조직 장벽과 고형 종양 구조, 이러한 치료에 건강한 조직들이 노출됨으로서 나타나는 독성 등이 있음.
- 이러한 문제점들을 확실하게 해결하는 “SMART” 나노입자를 이용하여 현재의 암 치료법을 상당히 발전시킬 가능성을 가지고 있음.
- 본 중점도전과제의 주안점은 효율적으로 진단과 조직 장벽을 지나 특정 종양 부분까지 치료제 성분들을 운반할 수 있는 새로운 다기능 캐리어(nano-carrier)를 개발하는 것임.
- 이러한 기반 기술의 성공적인 발전은 암 초기 발견에 있어서 상당한 진전을 보여줄 것임.
- 목표는 5년 안에 주요 암에 대해 10배 더 민감한 조기 발견 기술을 사용하고 임상적으로 다음 10년 안에 장기 생존률에 상당한 진전을 가져 올 차세대 나노기술 약물 전달 시스템을 입증하는 것임.

2. 나노기술 상용화 정책

(1) SBIR STTR 프로그램

미국 정부는 학계와 연구소에서 개발된 나노기술을 상업화하기 위해 기술이전에 전념하고 있으며, NNI 이외 2013년 ‘스몰 비즈니스 혁신 연구(Small Business Innovation Research, SBIR) 프로그램’과 ‘스몰 비즈니스 기술 이전 연구(Small Business Technology Transfer, STTR) 프로그램’을 시작하여 8천 5백만 달러 이상의 지원을 통해 나노기술 연구 개발 및 상업화를 가속화시키고 있다. DOD, NSF, NIH, DOE, NASA 등 5개 NNI 기관들이 SBIR, STTR 프로그램 모두를 실행하고 있으며, NIOSH, EPA, USDA, NIST가 SBIR을 실행하고 있다. 2008-2012년 부처별 SBIR, STTR 투자액은 <표 6>에 나타나 있다.

<표 6> 2008-2012년 부처별 SBIR, STTR 투자액⁴⁾

2008-2012년 SBIR과 STTR 지급액 (백만달러)															
	2008			2009			2010			2011			2012		
	SBIR	STTR	Total	SBIR	STTR	Total	SBIR	STTR	Total	SBIR	STTR	Total	SBIR	STTR	Total
DOD	19.8	2.3	22.1	19.3	3.9	23.2	32.2	10.4	42.6	16.2	5.6	21.8	25.4	7.6	33.0
NSF	10.5	7.5	18.0	13.2	7.0	20.2	25.2	3.9	29.2	13.2	1.3	14.5	18.0	2.5	20.5
DHHS/NIH	29.3	1.8	31.1	23.0	3.7	26.7	21.7	1.6	23.2	22.6	1.5	24.1	21.7	3.9	25.6
DHHS/NIOSH	0.4	0.0	0.4	0.7	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0
DOE*	13.8	2.7	16.5	31.9	5.7	37.6	19.4	4.4	23.8	4.7	1.1	5.8	7.8	1.7	9.5
NASA	6.2	0.8	7.0	15.0	1.7	16.7	11.6	2.1	13.7	12.1	3.7	15.8	17.0	3.9	20.8
EPA	0.7	0.0	0.7	0.7	0.0	0.7	0.4	0.0	0.4	0.9	0.0	0.9	0.7	0.0	0.7
USDA	0.9	0.0	0.9	0.5	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.5	0.0	0.5
DOC/NIST	0.4	0.0	0.4	0.4	0.0	0.4	0.2	0.0	0.2	0.3	0.0	0.3	0.4	0.0	0.4
TOTAL	81.9	15.1	97.0	104.6	22.0	126.6	110.6	22.4	133.0	71.2	13.2	84.4	91.4	19.6	111.0

자료 : NSTC(2014a).

※ 2009-2010년 에너지부(DOE) SBIR/STTR의 급격한 금액 증가는 미국 경기부양법 (American Recovery and Reinvestment Act)에 의한 것임.

(2) NNI 2.0

지난 2014년 10월 발간된 “제5차 NNI 평가보고서”는 미국의 나노기술 상업화 정책 동향을 보여준다. 나노기술 커뮤니티는 현재 중요한 터닝포인트에 접하고 있다는 것이 본 보고서의 핵심 요지이다. 즉 나노기술 분야는 NNI 2.0이라는 새로운 시대에 돌입하고 있으며 이를 위해 본 보고서는 중요한 권고 사항을 전달하고 향후 적합한 중점도전 과제(Grand Challenges) 실례 등을 제공하고 중점도전과제를 파악하는 프로세스를 만들고 시행할 것을 등을 권고한다.

NNI2.0은 나노규모 컴포넌트에서 복잡한 나노시스템으로, 기반 연구에서 나노기술의 상업화로의 움직임이라고 강조하며 본 보고서는 연방정부 부처 간 프로세스, 과학기술 정책실(OSTP), 그리고 관련 기관들이 기초/응용의 구분을 넘어서 나노기술을 상업화하기 위한 프레임워크를 만드는 것을 골자로 제안한다. 나노기술이 이러한 전환을 이루어 낼 때 나노기술 연구 투자 및 정부의 중요한 전략이 성과를 거둘 수 있다고 강조하고 있다.

NNI2.0의 성공을 위해서 본 보고서가 강조하는 주요 권고사항은 다음과 같다.

4) 부처명은 본 보고서 각주1 참조.

<박스 4> 제5차 NNI 평가보고서의 주요 권고사항 요약

- 현재 NSI의 일부는 유지되어야 하지만 연방정부 및 OSTP가 집중해야 한 나노기술 중점도전과제(Grand Challenges)에 따라 주요한 프로그램 관리 구조는 변경되어야 함.
- 미국 정부의 나노기술활동에 대한 평가가 아닌 조언을 해줄 나노기술 전반에 관한 폭넓은 전문가들로 구성된 개별적인 상시/상설 위원회의 필요성 및 나노기술 중점도전과제를 위해 기관 간 펀딩 우선순위를 정할 수 있도록 하는 범 기관 간 프로세스의 필요성을 재차 강조
- 정부 나노기술 연구 및 상업화를 위한 펀딩을 보다 체계적인 방법을 통해 정량적으로 평가할 필요성을 재차 강조
- 나노기술의 상업화에 대한 지원 뿐 아니라 상업적 기술의 근간이 되는 탐험적/발견적 연구에 대한 정부의 지원 또한 등한시 되어서는 안 됨.
- 국립과학재단(NSF)은 NSF 혁신단을 확장하여 나노기술 분야에서 기업들의 활동에 특별한 관심을 보일 것을 권고
- 나노기술분과위원회(NSET)의 지도와 지원을 바탕으로 연방 기관들은 National Network for Manufacturing Innovation 프로그램의 일환으로 나노과학/기술에 전념하는 제조혁신(Manufacturing Innovation)을 위한 기구를 지정할 것을 권고
- 연방기관들은 나노과학/기술 분야에서 창의적이고 중요하지만 성패가 불분명한 연구를 수행하기 위해 단일 연구자들을 5년간 지속적으로 지원하는 프로그램을 만들 것을 권고
- NSET는 연방정부 내 나노기술 연구개발 활동들을 성공적으로 조정하는 등 지금까지의 성공적인 활동들을 지속하고 안전평가, 정책결정, 상업화 등의 신속화를 위한 다학제적 나노기술 EHS 생태계 확장 개발을 지원할 것을 권고.

3. 나노안전(EHS)

나노기술의 사용화가 가속화되면서 나노기술의 잠재적 위험성에 관한 소비자의 우려가 증가하고 있다. 미국은 2003년부터 NNI 차원의 나노안전성 연구개발을 추진해왔으며 2006년 나노기술 안전성 보고서를, 2011년 나노기술 안전성 연구개발 계획을 공개했다. 2006년에는 NNI의 7대 중점투자분야(PCA)에서 ‘사회적 영향’이 환경, 보건 및 안정성(PCA 7)과 교육 및 사회적 영향(PCA 8)로 나뉘어 8대 중점분야로 확대하였다.

현재 나노안전(EHS)에 대한 투자는 2014-2016년 매년 약 100백만 달러로 2005년 NNI 총투자의 3% 미만의 비중이었으나 현재 약 7% 이상을 차지하고 있다. FDA(Food and Drug Administration)와 CPSC(Consumer Product Safety Commission)는 EHS 연구에

만 집중하는 투자로 최근 NNI 예산에 참여하고 있다. 최근 NNI 5차 평가보고서는 NSET는 다학제 간 나노기술의 EHS 생태계 개발을 지속적으로 지원할 것을 권고하고 있다. 이와 같은 NNI의 나노안전에 관한 관심은 나노기술의 상업화·제도화 촉진의 일환으로 볼 수 있다. <표 7>은 2011년 발표된 나노기술 안정성 연구개발 계획의 6개 연구분야 및 세부사항을 보여준다.⁵⁾

<표 7> 미국 NNI EHS의 6개 연구 분야 및 세부 사항

6개 연구분야	세부 연구목록	비고
나노물질 측정 인프라(NMI)	NMI-1: 전주기 과정에서 나노물질(나노제품)의 물리화학적 특성 측정방법 개발	전주기 과정: 제조, 유통, 사용 폐기 및 재활용 등
	NMI-2: 전주기 과정에서 노출환경과 조건 따른 나노물질(나노제품)의 측정 및 관리 방법 개발	
	NMI-3: 전주기 과정에서 주변 환경과의 상호작용을 통한 나노물질(나노제품)의 변형 측정 연구	
	NMI-4: 전주기 과정에서 나노물질(나노제품)과 생물학적 반응 평가 측정에 대한 연구	
	NMI-5: 나노제품의 전주기 과정에서 나노물질 유출 메커니즘 평가 측정에 대한 연구	
인간 노출평가 (HEA)	HEA-1: 나노물질의 노출 평가 과정 및 요소 이해	
	HEA-2: 제조나노물질의 노출 대상 그룹 정의	
	HEA-3: 나노물질의 개별 노출 특성화	
	HEA-4: 노출 대상에 대한 보건 감시 진행	
보건 (HH)	HH-1: 정확한 나노물질과 보건연구를 위한 세포 내/외 검사방법 개발/확인	
	HH-2: 노출/생물계에서 나노물질의 정량, 특성 분석	
	HH-3: 나노물질의 물리화학적 특성과 전주기 과정에서 인체 내부로의 유입, 분산 연구	
	HH-4: 나노물질의 물리화학적 특성과 인체 유입 시 세포 조직과의 연관성 연구	
	HH-5: 나노물질 유입에 대한 분자/세포/장기 및 인체 반응 모드 설정	
	HH-6: 나노물질(나노제품)의 사용에 따른 보건 영향 설정 연구	
환경 (ENV)	ENV-1: 주요노출원과 노출 경로에 따른 환경 노출 이해	
	ENV-2: 나노물질의 환경 이동에 영향을 주는 요소 연구	
	ENV-3: 다양한 환경 조건에서 나노물질의 변형 연구	
	ENV-4: 개별 종에 대한 제조나노물질 영향 및 측정 효과에 대한 적용성 연구	
	ENV-5: 나노물질의 주민, 사회, 생태계에 대한 영향 평가	

5) 2011년 나노기술 안전성 연구개발 계획의 자세한 정보는 <http://www.nano.gov/node/681> 참조.

6개 연구분야	세부 연구목록	비고
위험평가 및 관리 (RAMN)	RAMM-1: 나노물질의 안전 평가를 위한 특성정보, 위험 확인, 노출 과학, 위해 모델링 및 방법의 종합 연구	
	RAMM-2: 작업장에서 나노물질의 노출 이해, 특성 평가 및 관리	
	RAMM-3: 전주기 고려와 통합을 통한 위해 평가	
	RAMM-4: 위해 평가결과를 종합한 위해 관리 의사 결정	
	RAMM-5: 위해 관리 프레임워크에서 위해 의사소통 통합 및 표준화	
인포메틱스 및 모델링 (IM)	IM-1: 보건과 환경 피해를 최소화하면서 이득을 극대화 하는 나노물질 제조를 위한 구조/특성/활성 전산모사모델 연구	

4. 인력양성 정책

2011년 제3기 국가나노기술전략계획(National Nanotechnology Initiative Strategic Plan)에서 목표 3- ‘숙련된 노동력, 첨단 장비시설을 나노기술개발을 위한 핵심 인프라로 규정하고, 나노기술의 선진화를 주도할 인적자원 개발 및 관련 인프라 확장 추진’-은 나노기술 관련 주요 교육 정책을 다루고 있다. 다음과 같은 목표3에 관한 세부목표 및 하위목표는 미국의 인력양성 정책이 지향하는 바를 보여준다.

<표 8> 제3기 국가나노기술전략계획의 목표3에 관한 세부목표 및 하위 목표

구분	연번	내용
세부목표	1	나노기술의 기회와 영향을 알리기 위한 무료·비공식적 교육프로그램 지속
하위목표	1-1	학생을 포함한 일반 대중에게 정보를 제공할 수 있는 교육적이고 유용한 자료를 개발·발행
	1-2	모든 교육수준에서 교육자료를 전파하고 수집할 수 있는 정보 네트워크와 같은 메카니즘을 설립 및 유지
세부목표	2	숙련된 나노기술 인력을 개발·유지하는데 도움이 되는 프로그램의 설립 및 유지
하위목표	2-1	직업에서부터 전문가에 이르는 전체 교육수준에 걸쳐 인력 교육훈련을 위한 나노기술 교육 자료를 개발·출판·보급
	2-2	연방정부 지원을 받는 나노기술 기관에서 학생들에게 실무 훈련 경험을 지속적으로 제공
	2-3	나노기술과 다른 관련 과학분야(바이오, 정보기술, 인지과학 등)의 융합과 관련된 교육 장려
세부목표	3	공유를 촉진하는 사용자 시설과 협력연구센터로 R&D 인프라 제공 및 유지
하위목표	3-1	기관과 센터의 사용자와 이해관계자들의 현재와 미래의 인프라 요구를 모니터할 수 있는 상시 메카니즘 설립
	3-2	고급장비, 인프라, 사용자 기관을 발전·운영·유지

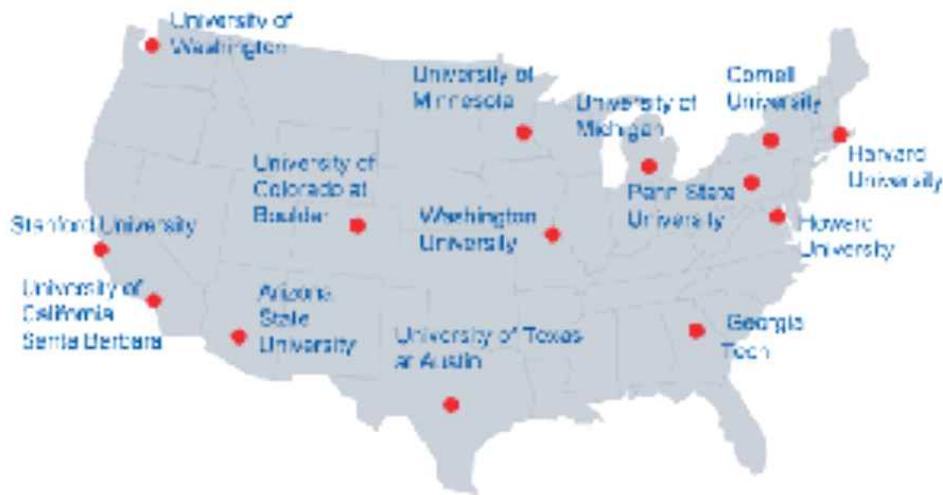
미국의 주요 인력양성 정책은 중앙정부 차원과 주정부 차원으로 구분할 수 있다. 중앙정부의 목표는 나노기술의 선진화를 주도할 인적자원 개발 및 관련 인프라 확장 추진이다. 구체적으로는, 과학·기술·수학(STEM) 교육의 개선을 강조하고 있으며 나노기술을 미국의 교육을 변화시키는 주요한 요소로 파악하고 있다. 이에 나노교육을 통해 수학(STEM) 교육을 개선하고 연구에서 생산으로 이어질 수 있는 나노 교육 정책에 중점을 두고 있다. 나노 크기에서 나타나는 특성과 행동의 발견은 나노기술과 과학, 기술, 엔지니어링, 수학을 보다 폭넓게 공부할 수 있도록 자극하는 기폭제로 파악한다. 또한 종합교육 프로그램, 산업협력, R&D 시스템을 통해 과학자, 엔지니어, 기술자, 생산직, 연구직(교육생 및 연구생 포함)을 발전시킬 수 있는 교육프로그램을 개발, 진행하고 있다. 주정부차원에서는 나노기술로부터 최종적인 경제적 산출물을 이끌어내기 위한 인력 개발과 교육에 집중하고 있다.

5. 인프라(팹시설)

미국의 주요 나노인프라 기관으로 National Nanofabrication Infrastructure Network(NNIN), Albany NanoComplex, Brookhaven National Lab(BNL) 산하 Center for Functional Nanomaterials(CFN) 등이 있다. NNIN은 Cornell 대학을 주관기관으로 하는 14개 대학의 인프라 네트워크가 구축되어 있으며, 각 인프라 기관별로 특화되어 있다. 연간 NSF 지원 규모는 총 1,700만 달러이며 나머지는 지자체 및 유치기관이 분담하는 지원체계를 가지고 있다. 미국 전역에 지역적 균형을 고려하여 분포하며 내·외부 무관하게 모든 프로젝트의 장비에 대한 동등한 접근권을 보장하고 있다. NNIN은 사용자 속성에 따라 연구방향을 결정하며 ‘Open Fab’ 개념으로 외부 사용자와 내부 사용자의 동등한 사용 권리를 보장한다. 기업보다는 지역 내 공공기관 연구자가 주로 활용하고 있다. 6)

6) 14개 기관의 구성과 위치는 다음과 같음. Cornell NanoScale Science and Technology Facility (CNF): Cornell University, Stanford Nanofabrication Facility (SNF): Stanford University, ...
보다 자세한 정보는 www.nnin.org

[그림 2] NNIN의 지리적 분포



Albany Nanocomplex는 뉴욕 주정부의 ‘신기반 산업정책’에 따라 알바니 주립대학에 2001년 설립되었으며 규모와 시설 면에서 미국 내 최고 수준의 나노인프라 기관이다. 국내 나노인프라가 200mm(8인치) 수준이라면 Albany Nanocomplex는 300mm(12인치) 수준이다. 뉴욕주와 IBM이 주도하여 기업 지원형 시설로 출발하였으며 IBM의 신규 연구조직 및 협력관계 기업들의 연구조직 다수가 입주하고 있고 중소기업의 참여는 거의 없다. IBM, Applied Materials, Tokyo Electronics, AMD, Sony, Samsung, SEMATECH 등과 협력하고 있으며 지역 클러스터 구축 및 고용확대를 주목적으로 하고 있다. Business Mind가 강하고 상업화와 학술연구센터가 구분되어 있다.

Brookhaven National Lab(BNL) 산하 Center for Functional Nanomaterials(CFN)의 경우는 에너지부(DoE) 산하 국립연구소에 나노기술에 특화하여 설립된 5개 독립 연구센터 중 하나로 나노구조 물성에 대한 기초연구를 수행하고 있다. 2009년 기준 연간 운영비 규모는 약 1,900만 달러이고 연간 사용자 규모는 300여명이다. 센터 단위의 재정지원 확보로 안정된 수입구조로 운영되고 있으며 기존 국립연구소의 우수 시설 및 연구시설과 시너지를 도모하고 공공개발보다 프론티어 영역에서 우수한 연구자의 활용에 중점을 두고 있다. 우수 인프라와 역량있는 연구인력을 기반으로 나노기술 분야의 최첨단 연구개발에 역량을 집중하고 있다.

이상에서와 같이 미국 나노기술 분야 인프라는 ‘사용자 중심 시설(User Facility)’로서 공공성과 ‘우수연구센터(Center of Excellence)’로서의 연구개발 역량, ‘사업 중심 시설(Business-oriented Facility)’로서의 기능 등 기관별 역할이 명확히 정립되어 있으며 기관의 속성에 부합하는 수입구조를 안정적으로 확보하고 있다. 또한 조직 운영비,

R&D 사업, 교육활동 지원 등 다양한 연방지원 프로그램이 존재하고 있다.

<표 9> 미국 나노기술 관련 인프라 기관의 특성 비교

	NNIN	ANC	NSRCs
소속	해당대학/NSF	SUNY at Albany	US DOE 산하 국립연구소
재정원천	NSF/사용료	기업/ 주정부	DOE
주요이용자	소속대학/외부학술연구자	입주기업/ 소속대학	연구센터 소속 연구자
정부와의 관계	정부, 주정부, 정부 R&D와 연계	주정부의 지원, 정부 R&D와 연계	정부소속
목표	공공성, 학술연구지원	입주기업에게 최선의 서비스 제공	최고수준의 연구
주요 네트워크	13개 사이트	장비업체와 패키지업체의 연계촉진	DOE 산하 5개 사이트
대학원 교육과 연계	대학 내에 위치	대학 내에 위치	연계 약함
학부교육	REU 및 기술교육	REU 및 기술교육	거의 없음

*REU(Research Experience for Undergraduates) : 학부생을 위한 연구 및 실습

제5장

시사점

2015년 미국의 나노기술정책 동향을 정리한 결과 다음과 같은 시사점을 도출할 수 있다.

첫째 미국정부의 나노기술에 대한 투자는 연간 약 15억 달러 수준으로 연구개발투자 및 기술수준 등에서 나노기술 선도국가의 위상을 유지하고 있다. 투자의 많은 비중은 현재 의약품 개발, 국토안보, 에너지 분야 등으로 볼 수 있다.

둘째, 미국의 나노기술 분야에 대한 투자와 노력은 제조업 분야 글로벌 리더십 회복을 위한 정책에 중점을 두고 있다. NSI에 이어 향후 나노기술의 상업화 전략에 적합한 중점도전과제(Grand Challenges)를 제안하고 있다. 중점도전과제는 기초/응용 연구를 넘어서 구체적이고 중요한 목표를 가진 광범위하고 외형적인 활동을 의미하며 상업화 단계로 나가는데 필수적 요소로 파악하고 있다.

셋째 그 외 나노기술의 상품화를 위해 SBRI와 STTR 프로그램을 적극적으로 활용하여 중소기업과 민간을 대상으로 한 프로그램을 활성화시키고 있으며 이와 같은 정책은 제조업 강화와 더불어 일자리창출 전략의 일환으로도 파악할 수 있다.

넷째 미국 정부는 나노기술의 안전성(EHS)에 대한 정책적 중요성, 투자를 최근 급격히 확대하고 있으며 이는 나노기술의 상업화, 제조업 분야 글로벌 리더십 확보를 위한 나노기술 연구개발 활동과 밀접한 관련이 있는 것으로 파악하고 있다.

마지막으로 나노기술 정책의 추진에 있어 연구개발 뿐 아니라 나노기술 인력 교육 및 활용, 인프라 형성, 부처간 협력 프로세스 및 워크프레임 형성 등 정책의 전반에 관한 시스템 차원에서 추진되고 있어서 정책의 의미있는 성과 도출을 위해 나아가야할 정책의 방향성을 보여준다.

참고문헌

미래창조과학부(2015), 나노기술연감2014.

박기범·이광호(2009), 미국 나노인프라 기관 운영사례 및 시사점, 한국과학기술정책연구원.

산업통상자원부, 한국산업기술진흥원(2015), Global Tech Korea, National Nanotechnology Initiative 5th Assessment.

지식경제부·한국산업기술진흥원(2012), Kiat 산업기술정책브리프, 미국의 나노기술 전략 및 정책.

이하영·이선영·손상학(2014), 주요국 나노기술 교육프로그램 현황, 국가나노기술정책센터.

NSTC(2014a), The National Nanotechnology Initiative, Supplement to the President's 2015 Budget.

NSTC(2014b), National Nanotechnology Initiative Strategic Plan.

NSTC(2015), The National Nanotechnology Initiative, Supplement to the President's 2016 Budget.

인터넷 사이트

www.nano.gov

www.nnin.org

부록 1 NNI의 목표, 목적 및 우선순위 성취를 향한 진행

부록에서는 국가 나노기술 이니셔티브(NNI)의 4가지 목표와 15개 목적이 성취되는 과정을 (1) 각 기관별 (2) NNI 기관 및 다른 기관들의 협력 활동을 통해 분석했다. NNI 소속 기관에서 현재 진행되고 있거나, 기획되었던 일을 대상으로 한다.

<목표 1> 세계 수준의 나노기술 연구개발 프로그램

1.1 나노기술 선도 분야의 확대 및 과학 분야의 교차점을 강화하는 R&D 지원

- 국토안전부(DHS): 폭발물 추적 탐지 시스템 및 나노물질, 차세대 수하물 스크리닝에 사용되는 X-선, 고성능 질량 분석기용 전자 방출기를 위한 마이크로/나노 크기 구조체 나노물질 개발
- 국방부(DOD): 재료의 특정 기능을 증가시키기 위한 나노과학 및 나노재료 공정 강화
- 에너지부(DOE): 나노과학 및 개발 분야에 폭넓고 다양한 투자 지원
- 국가정보국(IC/DNI): 국가정찰국(NRO)은 탄소 나노튜브의 특성 향상을 위해 (1) 기능 향상을 위한 키랄성 조절 및 다양한 형태의 CNT 분리, (2) CNTs 성장 배열 개선, (3) 시트나 안에서 CNTs의 밀도 증대
- 항공우주국(NASA): 항공기의 공기 역학 효율을 향상시킬 수 있는 나노코팅제, 나노튜브와 보론 질산화 나노튜브 기반 물질 및 기기, 나노 크기 진동 전자소자 개발 등을 추진
- 국립보건원(NIH): 기초연구의 임상기술 전환에 초점을 맞추고 있음. 바이오의약 이미징 및 약물 전달, 질병 검사와 모니터링을 위한 기기와 관련하여 나노기술·공학·바이오의약임상 부문 커뮤니티의 공동 연구 진행
- 국가과학재단(NSF): 나노 관련 모든 학문 분야를 지원하며 2015년도 기획에서는 2차원 나노재료, 화학 및 나노 복합재료, 나노과학 및 포토닉스 연구를 지원함
- 산림청(USDA/FS): 자동차, 항공기, 바이오 의약 기기 및 플라스틱 사용을 대체하기 위한 셀룰로오스 나노재료 연구 지원
- 농식품연구소(USDA/NIFA): 나노과학 및 공학의 다학제간 연구 선도, 다양한 외부 연구 지원 메커니즘을 통해 농업과 식품 시스템에 직면하고 있는 사회 문제와 기회

에 대한 기술 R&D

1.2 국가 우선순위 및 이해관계자의 적극적인 참여에 기반한 나노 과학기술 지원

- 육군(DOD/Army): 해양 모델을 이용한 말라리아 백신의 공동연구
- 방위고등연구계획국(DOD/DARPA): 전자산업에서의 상용화 기술 선도를 우선 과제로 하여 새로운 방어 기술을 확보하고자 하며, 나노기술을 이용한 트랜지스터 개발, 기존 트랜지스터 집적 회로 성능 향상을 위한 신기술을 연구함
- 해군(DOD/Navy): 나노과학을 기반으로 혼합 유연 전자 시스템의 초고속 연속 제조, 필름 위에 다기능(센서, 무선 주파수 식별(RFID), 디스플레이 등) 시스템을 갖춘 기기 등을 연구 개발
- 에너지부(DOE): 태양으로부터 직접 에너지를 생산하기 위한 혁신적인 방법 개발을 목표로 나노기술을 이용한 배터리, 에너지 저장 분야 연구를 지원
- 연방도로관리청(DOT/FHWA): 내구성, 성능, 수송 인프라 구조를 향상시킬 수 있는 혁신 재료와 코팅제, 구조 유지 모니터링·자가 회복·부식 탐지 및 완화 향상을 위한 시멘트의 다중 인프라 구조 나노재료 등을 개발
- 국립보건원(NIH): 국립암연구소(NCI)는 전략 워크샵을 통해 외부 이해 관계자 커뮤니티와 연계하여 나노기술의 전환을 통한 환자 보호 및 제약/바이오산업 추진
- 질병통제관리국(NIOSH): 민간 부분의 활발한 파트너십에 기반하여 나노기술 연구를 폭넓게 지원하며, 기술 개발의 책임 있는 개발 및 안전을 강조함
- 국가과학재단(NSF): 나노기술의 사회적인 측면, 사회-기술 통합 연구에 대한 향후 시나리오 개발 및 통계 자료에 초점을 맞춰 겨울학교를 개최함
- 농업연구소(USDA/ARS): 부가가치를 창출하는 건강한 특수작물 식품 생산 공정기술, 식품 안정과 보안을 위한 이미징 기술, 농업 원료 기반 바이오 제품 생산 기술, 환경 친화적인 가축 처리 공정 및 새로운 응용 기술, 효소/펩타이드를 증착한 나노 결정 기반의 바이오센서, 항생제, 바이오 치료제 등을 개발
- 농식품연구소(USDA/NIFA): 천연 자원·환경·농업 경제 시스템 보호를 위한 국가 우선순위 설정에 따라 생산성·품질·생물 다양성 향상, 기후 변화에 따른 농업 생산 시스템의 유연성 확대, 식품과 사료의 영양 품질 향상, 식품 안정과 생물 안정성 조기 진단, 동물 보건과 웰빙에 영향을 미칠 수 있는 보다 효과적인 치료제 등을 나노기술 기반으로 개발

1.3. 미국 나노기술 R&D 프로그램의 성과 평가

- DOD/Air Force: 필터 기술과 광학 탐지기술, 접착제 제조 시스템 성능 향상을 위한 나노재료를 연구개발하며, 나노-패터닝 시스템 내의 적외선 감지기 나노소자 개선 연구
- NIH: 성과 평가는 암 치료를 위한 나노기술연합을 성공적으로 연장하기 위한 핵심 요소. 평가 결과는 NCI의 지속적인 나노기술 투자에 대한 구조 및 전략을 제시
- NSF: 아리조나 주립대학의 '사회 속의 나노센터(CNS-ASU)'가 연구 수행 및 나노기술 결과물에 대해 평가
- USDA/NIFA: 연구비를 받는 연구자들의 회의를 통해 나노기술 R&D 프로젝트의 수행 및 진도에 대한 계속 평가 시행
- 특허청(USPTO): 나노기술 개발을 분석하는 벤치 마커와 미국-세계 나노기술 특허 현황의 경향 분석을 위한 다양한 관련 특허 자료 제공

1.4 NSI(Nanotechnology Signature Initiative) 포트폴리오의 진보

- 태양 에너지 수집과 전환을 위한 나노기술
 - DOD/Air Force: 지속적인 나노구조체 유기 광전지 소자 개발
 - DOE: 재생에너지와 에너지 효율 관련 나노연구, 태양 에너지 관련 기초연구를 광범위하게 지원
 - 국립표준기술연구소(NIST): 광전지 재료 및 기기에 필수인 나노공정, 3차원 분석이 가능한 측정 방법론을 개발하여 제조업 응용을 촉진
 - NSF: 고효율의 태양 에너지 수집, 전환 및 저장과 관련한 기초과학 및 대학 연구자간 공동 연구를 지원. 잘 훈련된 과학 및 기술 인력을 강조하는 교육 강조
 - USDA/NIFA: 새로운 에너지원 확보를 위한 혁신기술 탐색, 국가 경제를 강화할 수 있는 농업 바이오-나노재료와 제품의 부가가치 활용을 지원
- 지속가능한 나노 제조: 기업 미래 창조
 - DOD/Air Force: 나노 전자, 탄소 나노튜브, 2차원 및 3차원 전자기체 구조, 산화 나노구조체, 박막 공정 등을 개발. 감시 및 전쟁에서 응용 가능한 재료 모델링을 위해 금속, 유기, 탄소 나노튜브 잉크 개발에 초점을 맞춤
 - DOD/Army: 밀도 강화에 필요한 고온 공정 중 미세 구조에 내성을 가진 안정적 나노 결정 파우더 생산 연구. 군의 보병, 무기, 차량의 성능을 혁신적으로 개선하기 위해 첨단 나노결정 합금 개발

- NASA: 기업, 대학, 연방 정부기관들의 협력 하에 탄소 나노튜브 강화제를 바탕으로 초경량, 고강도 부품 개발 및 우주 항공 분야 응용에 대한 연구를 지속
 - 국립산업안전보건연구원(NIOSH): NSI에 기반한 나노기술 개발 지원
 - NIST: 나노크기의 조형을 특징지을 수 있는 고성능 측정-마이크로 파장을 이용한 측정으로 품질 확인 및 조절. 나노 부품의 공정-구조 특성 이해를 위한 새로운 고해상도 기술 개발. 30 나노미터 길이에 대한 기계 특성 정보획득, 나노크기의 복합 행동에 대한 보강제의 역할 규명 등에 활용
 - NSF: 탄소기반 나노재료, 광학 메타 재료 및 셀룰로오스 나노재료에 기여할 수 있는 기초 연구를 지원
 - USDA/NIFA: 산림, 작물, 부산물 바이오매스 기반 나노바이오 재료 개발. 탄소 나노재료 합성, 저비용 생산법 및 나노 재료의 기능성 연구. 압전(piezoelectric) 재생 가능한 나노 중합체, 유연 디스플레이, 식품 포장, 장벽 필름 및 창문 등을 개발
- 2020년 이후의 나노전기
- DOD/Air Force: 나노전지 재료 및 합성 과정에 대해 연구. 기기 성능 및 신뢰성을 향상 시키고, 외국 의존성을 낮추기 위한 기술을 개발한다. 현재 전기 소자는 외국에서 만들어지며, 미국은 차세대 전기 재료에 전략적인 불이익을 당할 수 있다. 전자 재료에 대한 대체 공정이 연구되고 있다.
 - DOD/Army: 육군연구소(ARL)가 육각형 보론니트릴(hBN) 2차원 나노재료의 결정 크기를 15배 이상 증가시킬 수 있는 합성 전략 개발. 그래핀 나노전자체에 절연체 면으로 사용되도록 hBN를 최적화하고 있음
 - NIST: 반도체 나노선과 전자 나노광 응용을 위해 2차원 박막 기기 플랫폼을 기반으로 한, 고성능 기기 측정 및 제조 방법 개발. 금속 또는 실리콘 전극을 가진 강력한 전자 기기에 분자적인 구성 요소를 통합한 공정 발전, 탄소 기반 나노전자 소자에서 획기적인 발전을 달성
 - NSF: 논리 및 메모리 구성을 위한 컴퓨터 제조 연구 추진. 나노전기 및 나노광, 새로운 양자 정보 시스템 구성 요소 및 시스템에 초점을 맞추고 있음
- 나노기술 지식 인프라구조 (NKI): 지속가능한 계획을 통한 국가적 리더십 확보
- NIH: NCI가 caNanoLab(웹 기반 포털, 나노입자에 대한 정보를 저장할 수 있는 자료 저장소, 월 평균 120명 방문) 지원. 나노재료의 특징 조사에 사용된 프로토콜 정보, 출판 정보들을 담고 있는 본 저장소를 통해 저널의 에디터와 저자들은 논문 출판 시, 나노재료 및 기타 정보들을 공유할 수 있음

- NIOSH: EHS 참여자를 위한 효과적인 나노정보 제공 개발 추진
- NIST: 다양한 나노 재료의 물리화학 특성을 예측하는데 사용된 이론 모델과 계산 알고리즘을 검증하는 표준 과정 개발
- NSF: 나노크기 모델링과 모의실험, 데이터베이스 네트워킹과 컴퓨터 사용자 시설 분야에 투자. 나노재료 및 나노기기의 새로운 개발 및 제조를 가속화 할 수 있는 나노기술 사이버 도구 상자의 사용과 개발을 지원. 이는 차세대 모델링 커뮤니티 훈련을 포함하고 있음
- 더 나은 환경·건강·안전 확보를 위한 나노기술 및 나노기술 센서
 - DOD/Air Force: 인체 피로 및 인식 등을 표시하는 바이오 마커 탐지 센서 개발
 - DOD/Army: 빛, 열과 소리를 탐지할 수 있는 광전기 섬유 연구
 - 방위고등연구계획국(DOD/DARPA): 자연 내 생물학적 센서들의 높은 민감도 및 선택성, 정확성(광합성, 자기성 센서 등)과 관련하여 센서를 합성하는 연구를 진행 중 이나 기대에 미치지 못하고 있음
 - NASA: 유성 탐사, 차량 성능 모니터링, 우주 비행사 건강관리에 사용할 수 있는 생화학 검출용 센서 개발을 지원
 - NIH: 바이오센서, 나노구멍 시퀀싱 기기 개발, 바이오마커 개발과 검증 연구에 많은 연구비를 투자하고 있다. 나노재료의 독성, 수명 이슈에 대한 연구도 지원한다.
 - NIOSH: 공기 중 나노입자 탐지 측정을 직접 판독할 수 있는 기기의 테스트 및 평가 연구를 지원
 - NIST: 나노센서와 나노재료에 대한 다양한 측정 방법을 개발. 측정 응용과 표준화에 사용할 수 있는 나노센서, 나노재료 제조. 환경과 바이오 의약에 응용하는 휴대형 저전력 반도체 나노센서, 나노구조체 재료 기반의 첨단 화학 및 생화학 센서 개발
 - NSF: 새로운 감도, 감지 기능을 갖추고 쉽게 작동되는 저비용 바이오센싱 시스템 및 다기능 나노재료 개발 지원. 새로운 생체인식 전략 개발을 위한 혁신적인 아이디어 지원. 물리, 화학, 생물학적 특징, 다양한 환경 매트릭스에 기반해 제작되는 나노입자 탐지 센서 개발 지원
 - USDA/NIFA: 식품의 병원균, 독소, 오염 물질을 더욱 민감하게 감지하는 나노바이오센서 개발을 지원함으로써 식품 안정성과 바이오 보안을 향상시키고자 함. 곡물과 가축 생산품에 대한 환경 스트레스를 모니터링 할 수 있는 센서 개발 지원

<목표 2> 경제적 이익과 공익을 위해 신기술 이전을 통해 제품화 촉진

2.1 연방정부의 연구개발 투자와 규제환경에 대한 이해증진을 위해 나노기술 기반 사업 커뮤니티 지원

■ 2.1의 달성을 위한 기관들의 활동

- 산업안보국(DOC/BIS): 나노기술에서 미국의 리더십을 촉진시키기 위해 다양한 컨퍼런스를 통하여 규제, 정책 및 실무에 대한 가이드라인을 보급함. 규제에 관한 자원이 제한적인 중소기업에서 유용하게 활용되고 있음
- 식품의약국(FDA): 제약 제품에서 나노기술의 응용과 연관된 규제 이슈들을 나노기술 관련 산업체에 제공
- 국가정보국(IC/DNI): 정보협의체(IC) 내 국가정보국은 전사(print-through)를 막기 위한 탄소 나노튜브 기반 광학거울, 에너지 효율 두 배의 리튬이온전극, 열과 환경 테스트 센서, 탄도 보호용 천, 상업 비행기용 경량 바닥재 등 다양한 개발 활동 전개
- NASA: TechPort 웹사이트를 개발하여 연구비가 지원되는 분야, 산업체와의 계약 및 생산품을 포함하는 나노기술 R&D 정보 제공
- NSF: 대학과 중소기업을 포함하는 산업체 간 연계를 촉진시키는 나노기술 프로그램 지원
- USDA/NIFA: 농무부 중소기업혁신연구(SBIR) 프로그램은 미생물 병원체, 병충해, 곡물의 환경 스트레스 탐지와 항병원체의 전달을 위한 나노기술 산업화를 지원
- USPTO: 나노기술의 지적 재산권, 특허권 보호 및 교육을 지원

■ 2.1의 달성을 위한 기관의 협력 활동

국가과학재단(NSF)과 NNI 위원회는 국가나노제조네트워크(National Nanomanufacturing Network) 컨퍼런스와 NNI 워크숍을 통하여 매해 주 단위별 나노기술 모임을 지원하고 있음

2.2 나노기술 기반 상업화와 공공-민간 파트너십 지원 증대

■ 2.2의 달성을 위한 기관들의 활동

- DOD/Air Force: 중소기업, 민간 나노바이오제조 컨소시엄을 통해 나노기술의 상업화를 지원
- DOD/Army: 육군과 기업 파트너는 나노기술 제품생산 과정에서 파생되는 나노입자

의 잠재적인 문제점을 주시하고 있음

- DOD/DARPA: DARPA STARnet을 통해 대학과 산업체 간의 연구 및 기술 연계, 협력 체제를 구축함
 - DOD/Navy: Raytheon 프로그램을 통해 대학들과 협력하여 미사일의 적외선 (infrared, IR) 돔과 같이 극한 환경에 대응하는 IR 투명 세라믹 개발. 그 외 러츠거 대학과 함께 비행기 엔진에 활용되는 그래핀 기반 폴리머 합성 소재 개발
 - 국방장관실(DOD/OSD): 군인용 천과 장비의 무게 경감을 위하여 산업체와 함께 나노기술을 활용해 군의 이동성·안전성을 향상시켰으며, 이를 다양한 장비에 응용
 - DOE: 새로운 나노기술을 제품화하기 위해 스타트업 기업 지원, 민간 투자 유도
 - NASA: 2012년 나노물질, 전기, 센서, 추진 시스템 및 추진체 R&D에 2천만 달러를 투자하였으며 나노기술의 산업화를 지원
 - NIH: 2012년 이후 NCI는 학계와 산업체로 이루어진 컨소시엄을 형성하여 나노기술을 이용한 약물 전달 시스템, 진단 및 치료제 개발을 촉진시키고 있음. 70여개가 넘는 산업체들로 구성된 NCI 연합체를 통해 연구결과의 임상 및 상품화 전환 노력 추진
 - NIST: 나노기술의 산업화, 기술전환과 기업가 활동을 촉진시키기 위한 특허정책, 교육을 지원하고 활동을 이끌어감
 - NSF: 공공-민간의 파트너십을 지원하고 나노기술 개발 및 산업화 지원을 통해 나노 제조 촉진
- 2.2의 달성을 위한 기관의 협력 활동
- DOD/Air Force와 산업계: 나노바이오 제조 컨소시엄을 통해 산·학 간 협력 도모
 - DOD/Army와 대학: 화학증기증착(chemical vapor deposition)을 통해 다양한 소재에 폴리머를 코팅. 음식물의 병원체들을 탐지하기 위한 기능적 코팅 표면 개발 상용화
 - DOE와 NSF: 기업체와의 협력을 통한 기술 산업화 추진
 - IC/DNI, DOD와 산업계: 비행사를 위해 탄소 나노튜브를 활용한 천, 직물, 테이프를 제조하고 있으며 2013년 국방부는 1,460만 달러를 추가 편성
 - NIH, FDA, NIST와 산업계: 나노기술을 이용한 항암제 개발을 주도함. 약물에 미치는 나노입자의 기능 및 역할을 조사하여 NCL 웹사이트에 공개하고 자료를 발간함
 - NIST, NSF, 산업계와 대학들: NSF와 NIST는 나노전자연구이니셔티브(NRI)를 통해 공공과 민간의 파트너십을 지원하여 대학과 산업체의 나노기술 연구를 촉진

- USDA/FS와 산업계: 셀룰로오스 나노물질의 산업화 연구를 지원하고 새로운 이해 당사자들을 참여시키고 있음

2.3 나노기술 산업화 이전을 가속화하기 위한 공동연구시설, 협력연구센터, 지역 이니셔티브의 설립 및 유지

- 2.3의 달성을 위한 기관들의 활동
 - DOE: 5개의 나노스케일과학연구센터(Nanoscale Science Research Centers)를 통해 새로운 과학, 기술, 컴퓨터 기능을 포함한 융합연구 수행
 - NIH: NIH 로드맵과 나노의학 센터를 통해 협동적인 연구 모델을 형성
 - NIST: 나노과학기술센터(Center for Nanoscale Science and Technology)를 통해 NanoFab 웹사이트를 개선하고 시설의 접근성과 사용을 향상시키고 있음
 - NSF: 미국 전역에서 사용할 수 있는 사용자 시설 웹사이트를 운영하고 있음

- 2.3의 달성을 위한 기관의 협력 활동
 - NSF, DOD, NIST와 산업계: NSF는 위원회, 산업계 파트너들과 함께 미국의 나노 제조를 발전시키기 위해 사용자들이 활용할 수 있는 시설들의 데이터베이스를 구축

2.4 나노기술 제품의 공정과 관련된 책임감 있고 지속가능한 상업화, 기술이전, 혁신, 무역을 촉진하는 국제적 참여활동 증대

- 2.4의 달성을 위한 기관들의 활동
 - DOC/BIS: BIS는 출판물들을 통해 수출 법규에 따른 프로그램과 온라인 훈련을 개발함
 - DOD/Navy: 2012년 이후 이스라엘 국방부와의 협력을 통해 나노기술과 발전된 나노물질 개발에 참여
 - DOD/Air Force: 그래핀 기반 나노기구들, 나노자성 물질, 광학 나노안테나 개발에 초점을 맞추고 이 분야의 연구자들을 평가하여 산업화를 촉진
 - DOS: 나노기술을 활용한 생산품 및 생산 과정 개발, 산업화를 통합하는 국제 활동에 참여

- 2.4의 달성을 위한 기관의 협력 활동
 - DOD/Army, 환경보호청(EPA), NIST와 국제기관: 이들 기관들은 국제적인 협력을 통해 나노기술의 환경 안정성 평가 방법을 조사함
 - DOD와 NNI 위원회: 육군과 국방부를 통해 국제 활동에 참여

- 국무부(DOS), NNI 위원회와 OECD: 나노기술 개발과 관련된 과학, 기술, 혁신 부분의 정책적 이슈에 대한 조언 제공
- NIOSH와 국제표준기구(ISO): 2015년 NIOSH는 나노물질의 대량 생산을 위한 나노물질 사이즈 결정 방법을 개발하기 위해 국제적인 연구를 실행
- NIOSH, NIST와 국제기구: 측정의 질을 향상시키기 위해 나노크기 비교 물질을 개발
- NIOSH와 NNI 위원회들: 나노물질이 인간 건강에 미치는 영향, 노출과 위험 평가, 위험 요소 처리 및 조절 분야 연구에 기여함
- NIST와 표준개발기구(SDO): NIST는 나노기술의 생산품, 생산 과정 개발 및 상업화를 통합하는 국제 인증기준을 개발하는데 기여함
- NSF와 국제기구: 국제적인 포럼 활동에 참여
- USDA/FS와 ISO: 산업화의 장벽을 제거하기 위해 셀룰로오스 나노물질의 국제 기준 개발
- USPTO와 다른 나라의 특허 기구: USPTO는 세계 대부분의 특허 자료를 포함하고 있는 국제 특허 분류(International Patent Classification) 시스템으로 전환

<목표 3> 나노기술 선진화를 주도할 교육자원, 숙련된 노동력 및 기반시설·장비의 개발과 지원

3.1 나노기술의 가치와 영향에 관한 홍보 및 비정규 교육사업의 지속

- 3.1의 달성을 위한 기관들의 활동
 - DOD/DARPA: 세미나와 웹 캐스트를 통해 대학, 정부 기관들이 나노기술 정보를 교류함
 - IC/DNI: 나노기술 개발을 위해 탄소 나노튜브 부문의 박사 후 과정 연구자들을 선발
 - NSF: 아리조나 주립대학(ASU)과 캘리포니아 대학(UCSB)에 세워진 센터를 통해 학문 및 인적 교류 추진

- 3.1의 달성을 위한 기관의 협력 활동
 - NIH, NSF와 대학: NCI는 암 분야의 나노기술 개발을 위해 심포지엄, 교육 등 사회적 활동을 수행
 - NIST와 대학: 소속 과학자들이 고등학생들을 대상으로 나노기술의 개념을 소개하는 교육 활동을 전개

3.2 나노기술 숙련인력 교육 및 역량 유지활동 지속

- 3.2의 달성을 위한 기관들의 활동
 - DOD/Air Force: 전국 학생들을 대상으로 하계 인턴십을 실시하여 나노과학 및 안정성과 관련된 나노물질, 장비 교육
 - DOE: 나노기술 전문가 양성을 위해 대학과 산업체의 교육 프로그램을 지원
 - FDA: 나노기술과 연관된 과학, 규제적 이슈와 FDA가 조정하는 생산품의 나노물질들을 분석하는 기구 사용 교육
 - NASA: 나노기술 분야에 종사할 차세대 과학자와 엔지니어들의 교육을 지원함
 - NIH: 암 관련 나노기술 연구에 종사하는 연구자들의 커리어 개발을 위해 혁신연구 교육 프로그램을 지원함
 - NIOSH: 독성학, 에어로졸의 특징 및 분석 측정과 관련하여 대학원생과 박사 후 과정 방문 과학자들을 직접 교육함
 - NSF: 학교의 나노과학 커리큘럼에서 활용하는 자료 개발 등 교육 관련 활동들을 지원함

- USDA/NIFA: 식품 및 농업 분야의 대학과 대학원생들을 위한 나노기술 커리큘럼의 개발을 지원

■ 3.2의 달성을 위한 기관의 협력 활동

- DOE와 NSF: 태양열 기술 개발을 위한 교육 자원 및 기술 인력 창출 활동 전개
- NIST와 NSF: 커뮤니티 컬리지와 대학생들을 대상으로 한 나노기술 교육 프로그램 운영
- NIST와 산업계: 교육 워크숍 지원 및 개발

3.3 사용자 중심의 협동 연구시설 등 연구개발 인프라의 활용 극대화 및 유지

■ 3.3의 달성을 위한 기관들의 활동

- DOD/Navy: 새로운 구조를 가진 물질 개발을 위해서 나노구조 물질들의 물리적 반응을 탐색하는 시설 공개
- DOE: 5개의 나노과학연구센터(NSRCs)의 사무소는 학계, 산업계, 비영리 연구단체를 위해 나노기술 사용자 실험실을 운영함
- FDA: 2009년 이후, FDA 과학자들에게 나노물질을 특징짓기 위한 장비 및 시설을 지원하며 관련 지식을 제공
- NIH: 암 관련 나노기술 개발을 위해 NCI 연합단체는 협력 연구모델을 형성하고 운영함
- NIST: 사용자가 활용하는 웹사이트의 기능을 향상시키고 유지하여 산업계, 학계, 정부 기관들이 세계 수준의 나노스케일 측정, 제조 방법들과 기술에 신속히 접근할 수 있도록 지원함

<목표 4> 나노기술의 책임 있는 개발 지원

4.1 나노물질이 야기하는 위험의 평가 및 관리 의사결정 개선을 위한 정보체계 구축 지원

■ 4.1의 달성을 위한 기관들의 활동

- DOD/Air Force: 공군연구소(AFRL) 과학자들은 제조나노물질(ENM)의 잠재적 독성에 대한 생물학적 상호작용을 조사하는 연구 프로젝트를 수행. 강력한 추진 및 폭발력 증대와 더불어 장기 저장 안정성을 위해 나노 물질들을 이용하는 군수품 시

시스템을 포함

- DOD/Army: 정확성, 신뢰성 있는 위험 평가 및 관리 지원을 제공하기 위한 장비, 방법, 접근법을 개발하고 있음. 무기연구개발공학센터(ARDEC)가 데이터베이스 개발 예정임
- EPA: 제품수명주기에 따라 나노물질의 화학적, 물리적 영향을 평가하며 예측 모델을 개발. 이 모델을 통한 정보 제공으로 더 안전한 나노기술 제품 개발을 촉진하고자 함
- FDA: 나노기술 개발 규정과 관련하여 ‘우수한 과학연구 촉진을 위한 협동작업’(Collaborative Opportunities for Research Excellence in Science) 프로그램을 통해 화학적, 물리적 특성평가 방법, 생체 외/내 모델 등을 조직화
- NIH/NIEHS: 2010년 설립된 나노기술건강영향연구센터(NCNHIR)는 다양한 물리적, 화학적 특성을 가진 12가지 ENM의 독성 데이터를 분석하여 이를 계산예측모델이 활용할 수 있도록 함. 종합적인 ENM 독성 영향 연구 및 다양한 매체 내 노출 평가 장비 개발을 지원
- NIOSH: ENM의 중요 종류들(탄소 나노튜브, 금속 산화물, 은, 실리카, 타이타니아 나노와이어 형태, 그래핀과 그래핀 산화물, 셀룰로오스 나노결정과 나노섬유)을 이용하여 안전성 평가 개발. 효과적인 시설 및 공정 디자인 개발 기업과 협력 예정
- NIST: 은 나노입자와 형광 실리콘 나노입자 비교물질 개발 및 입자 감지를 위한 방법 비교연구. 생물학과 환경시스템에서 탄소 나노튜브의 위치 및 수명을 추적하는 방법 개발
- 원자력규제위원회(NRC): 핵 산업계의 안전한 신기술 응용을 위해 확증적인 연구에 초점을 맞추고 있으며, 이들을 관리 감독함
- USDA/NIFA: 농업 생산과 식품 응용들에 관련된 EHS 연구 목표들을 지속적으로 지원함

■ 4.1의 달성을 위한 기관의 협력 활동

- DOD/Air Force, Army: 나노구조 물질들과 기술에서의 잠재적인 나노입자 방출을 확인하기 위해 예측/계산 모델링 접근법을 활용함
- DOS, NNI 위원회, 유럽연합: 2011년 미-EU 워크숍에서 프로토콜 및 접근법 공유, 연구 장벽의 극복, 과학자 간의 전문적 관계 향상을 위한 플랫폼이 제안됨
- 소비자안전위원회(CPSC), DOD/Army, EPA, FDA, NIOSH, NIST: 제품들 내 나노물질의 방출과 노출 잠재성을 이해하기 위한 방법들을 개발함
- EPA와 국제조직: OECD 실무협의회의 지원 하에 다른 국가들과 함께 국제 ENM

평가 프로그램 수행

- EPA, NSF, USDA/NIFA, CPSC, 영국, OECD: NIH/NIEHS는 목표 4.1의 달성을 위해 다른 기관들과의 협력 하에 미래 연구 계획들을 추진 예정
- NIOSH, CPSC, 독성물질관리프로그램(NIH/NIEHS/NTP): NIOSH는 ENM의 제조와 이용 과정에서 노동자가 노출될 잠재성을 조사를 위해 NTP와 협력하며, NTP는 셀룰로오스 나노물질들의 노출에 관련된 잠재적인 위험성들을 조사하기 위해 NIOSH와 협력함
- NIST와 CPSC: 소각, 광유도 및 가수분해 감소 시 ENM 방출, 다중벽 탄소나노튜브-폴리머 합성제품 대상 측정 프로토콜과 데이터를 개발
- NIST, EPA, NIOSH, CPSC, 직업안전위생관리국(OSHA), NRC-캐나다, 산업계: 미국과 캐나다 연방기관들은 실용적인 나노물질 테스트 프로토콜을 개발하고 있으며, 국제생명과학연구소의 연구기금에 의해 조직된 나노물질 방출 프로젝트를 통해 산업계와 협력
- NIST, FDA, NIOSH: ENM과 나노기술 제품들의 EHS 평가들을 위해 측정 방법들과 비교 물질들의 개발을 주
- NSF와 EPA: 나노기술의 환경영향에 대한 나노기술환경영향센터(CEIN) 운영을 5년 주기로 갱신하고 있음
- 지질조사소(USGS), 대학, 국제조직: 금속 나노입자들의 생물학적 가용도에 대한 입자 응집과 분해 등 물리적, 화학적인 매개 변수 및 과정들의 영향연구를 수행

4.2 나노안전 관련 정보 및 최선의 사례(best practice) 등을 확산, 평가할 수 있는 방법론 개발

- 4.2의 달성을 위한 기관들의 활동
 - DOD: 새로운 위험 화학물질들을 확인, 평가하여 인체 건강, 환경, 산업의 위험들을 감소시키기 위해 나노물질의 위험관리 활동 수행
 - DOD/Air Force: AFRL은 ENM의 잠재적인 건강위험평가, 적절한 노출한계 확인, 관련 EHS 지식의 보급, 평가, 통합에 기여하고 있음
 - EPA: 화학적 스크리닝을 이용하여 나노물질 건강효과를 평가하고 이를 예측. 나노물질의 수송, 변형, 잠재적 효과 등을 확인하고 있으며 이를 조절하기 위한 데이터베이스 개발
 - FDA: 2015년 승인된 나노물질, 나노기술 응용제품들의 개발지원을 위해 규제 과학 프로그램 계획. 관련 연구뿐만 아니라 내부 과학 전문가와 역량 향상, 다른 기관

및 국제 유관기관과의 조직화 등을 추진. 이를 통해 안전과 위험 평가를 위한 다학제적 연구 수행

- NIOSH: 산업위생, EHS 종사자, 나노제조 산업계, 공학도, 국제 연구 파트너들을 대상으로 지식 전달, 훈련을 추진. 노출측정, 평가전략 훈련코스의 수준을 향상시키기 위한 계획 수립
- NSF: 나노입자의 특성, 나노물질들의 독성에 대한 새로운 측정 방법 개발을 위한 다학제간 나노기술 환경영향 연구 지속 추진. 세포 및 물질대사 등과 관련한 나노구조의 영향에 대한 연구 수행

■ 4.2의 달성을 위한 기관의 협력 활동

- CPSC와 국립의학도서관(NLM): 일반 소비자를 대상으로 건강 정보를 요약한 보고서 작성
- DOD, NNI 기관, 민간조직: 실무자조직은 중복 배제, 영향력 향상, 지속적인 국방부 정책 추진, 위험관리 측정 조직화를 위해 연구 및 연구 우선권을 관리
- EPA, FDA, NIOSH, NIST, OECD: 나노물질들에 대한 OECD 실무자조직은 참여 기관 및 여러 국가를 대상으로 관련 정보를 제공하고 있음
- EPA, NSF, USDA, CPSC, 국제조직: EPA 과학자들은 ENM에 대한 OECD 실무자조직의 지원 하에 수행되는 국제 평가 프로그램에서 다른 국가들과 협력하여 조직적인 연구 수행
- NSF, EPA, USDA, 유럽연합: 나노기술 EHS에 대한 공동 협력을 지속하고 있으며 차세대 나노기술 제품과 생산적인 공정들에 대한 공적 참여를 수행. 나노기술의 영향과 응용들에 대한 연구는 비임상 생물학적 영향에 초점을 맞추고 있음

4.3 나노관련 ELSI(Ethical, Legal, Societal Implication) 등을 확산, 평가하는 방법론 개발

■ 4.3의 달성을 위한 기관들의 활동

- NIOSH: 경제적·사회적 이익의 실현과 나노기술의 책임 있는 개발을 촉진하고 있음
- NSF: 사회, 경제, 일터, 교육, 윤리, 법적 단체 등을 위한 나노기술의 광범위한 영향들을 확인하고 수량화하는 연구를 지원. 더 큰 협력을 위한 미래 모델 구축을 위해 전 세계에 걸쳐 나노기술 관련 인문학자, 사회과학자들을 포함하는 프로젝트를 지원
- USDA/NIFA: NIFA의 농식품연구계획(AFRI) 내 나노기술 프로그램은 나노기술과

나노기술 기반식품, 그 외 제품에 대한 인식 및 사회적인 수용의 평가, 분석에 대한 연구를 제안하고 있음

■ 4.3의 달성을 위한 기관의 협력 활동

- DOD/Air Force, EPA: AFRL은 건강, 기술 연구 환경, 제조 개발의 영향과 관련된 나노물질 정보 수집의 규정 개발에 있어 EPA에 기여해옴

4.4 나노기술의 책임 있는 개발에 있어서 지속 가능성을 통합

■ 4.4의 달성을 위한 기관들의 활동

- DOD/Air Force: AFRL 과학자들은 생물학적 시스템들에 대한 나노입자 노출의 효과 확인 연구를 집중 수행하고 있음
- DOD/Army: ARL은 바이오 파생 나노물질들을 이용하여 저비용·고성능 투명 합성 물질의 멀티스케일 연구 프로그램을 수행. 또한 나노섬유 제품들로 플라스틱 폐물 질들을 변형하는 부가가치 기술을 개발함
- EPA: ENM 응용을 위한 중요 매개변수들을 확인하고 나노물질들의 적용 가능성 확대를 위한 실제 모델들을 평가. 또한, 금속, 금속 산화물, 이중벽 탄소나노튜브 등의 ENM을 예측모델, 구조활동에 기반하여 평가하기 위한 모델을 개발
- NSF: 2012년 이후 지속가능성을 위한 과학·공학·교육(Science, Engineering, and Education for Sustainability)을 통해 지속가능한 나노기술조직(SNO) 설립 및 개발 등을 다수 지원

■ 4.4의 달성을 위한 기관의 협력 활동

- DOD/Air Force, NNI 위원회, 대학, 산업계: 공군은 DOD 내의 독성, 건강, 환경 문제를 조사하기 위해 나노물질의 생물학적 상호작용에 대한 첫 번째 워크숍을 개최. DOD 돌발 오염 거버넌스 위원회와 함께 나노물질 환경안전 및 노동위생(ESOH) 실무자조직은 ENM 안전성과 관련한 기술, 정책, 법률 정보를 제공
- DOD/육군, NNI 위원회, 대학: ARL은 나노 셀룰로오스 표면 화학과 미세구조의 효과들을 이해하기 위해 USDA 산림 제품 연구실과 협력하고 있음. 또한, ARL은 새로운 물질을 테스트하고 평가하기 위해 육군 응용공학 연구실과 파트너십을 맺음. 관련 기관으로는 NIST, 퍼듀 대학, 메인 대학, 위스콘신-매디슨 대학이 있음
- EPA와 CPSC: 소독 스프레이 제품으로 이용되는 은 나노에 대한 협동 평가 사례연구를 마무리함. 갑판과 울타리를 만드는 나무를 보호하기 위해 이용되는 구리 나노 물질들의 효과들을 평가하기 위해 국가차원에서 협력하고 있음

부록 2 2015년 오바마 대통령 연두교서 - 과학기술 부문

출처 - Transcript: Obama's State of the Union address 2015

(http://www.washingtonpost.com/politics/transcript-state-of-the-union-address-2015-remarks-as-prepared-for-delivery/2015/01/20/fd803c4c-a0ef-11e4-b146-577832eafcb4_story.html?wpisrc=al_alert)

1. 요약

- 과학기술 및 연구개발에 기반한 21세기 산업진흥을 목표로 특히 의료 부문에서의 기술개발 및 새로운 지식탐색을 강조
 - 인간 계놈 지도를 통해 의약품 및 치료의 효율성 제고
 - 21세기의 비즈니스는 미국의 과학기술, 연구와 개발에 의존
 - 미국은 이를 통해 소아마비를 종식시키고 인간계놈지도를 만들어 적절한 시간에 적절한 치료를 할 수 있는 새로운 시대의 주도국 역할
 - 정밀의약 이니셔티브(Precision Medicine Initiative)를 기반으로 암, 당뇨와 같은 질병 치료를 촉진하고 국민건강을 위한 개별적 정보 접근을 활성화
 - 낭포성 섬유증(유전자 결함으로 발생)을 앓고 있는 환자들에게 질병의 새로운 치료에 대한 희망을 제시
 - 암이나 당뇨와 같은 질병 치료를 촉진하고, 동시에 우리자신과 가족들을 더 건강하게 유지하기 위해 필요한 개별적 정보에 접근하게 해줄 새로운 정밀의약 이니셔티브를 발표
- 인터넷 네트워크를 개선하여 선도적 디지털 혁신가, 기업가를 위한 플랫폼 형성
 - 무료로 개방된 인터넷을 안전하게 보호하여 모든 분야 모든 커뮤니티에 사람들이 최고로 빠른 네트워크 형성을 지원
 - 우리 세상을 새롭게 하기 위한 차세대의 디지털 혁신가와 사업가들의 플랫폼을 구축
- 태양광 기반의 액체연료 생산, 혁신적 인공기관의 발명 등 새로운 발견을 통해 일자

리를 창출하고 국민 생활을 향상시키는 방안 제시

○ 새로운 직업을 촉발시키는 방법이나 발견하는 경쟁에서 미국의 주도적 역할을 지원

– 태양광을 액체연료로 변환하거나, 혁신적인 인공기관을 만들어 나라를 위해 팔을 잃은 상이군인이 일상생활에 적응하도록 지원

□ 기후변화에 대응하기 위한 과학기술의 역할을 강조하고, 국가 안전과도 직결된 문제로 분류하며, NASA와 NOAA를 대표 기관으로 제시

○ 2013년부터 2015년까지 NOAA의 예산 지속적으로 증가

– 2014년은 역사상 가장 지구가 더웠던 해였으며, 역사상 가장 더웠던 15개의 해 중 14개해가 21C 15년에 집중

– NASA와 NOAA, 주요 대학들의 탁월한 과학자와 세계 최고의 과학자들은 우리가 기후를 변화시키고 있다고 주장

○ 기후변화 위기 극복을 위한 미국의 대응 필요

– 지속적으로 올라가는 해수면, 더 길고 더 더운 폭염, 점점 위기로 직면하는 가뭄과 홍수, 지구상에서 더 많은 이민과 분쟁과 배고픔을 야기할 대단위의 붕괴를 막기 위해서는 우리의 단호한 행동이 필요

– 기후변화가 국가안보에 즉각적인 위협이 된다고 펜타곤의 주장에 대해 즉각적이고 동일한 행동 필요

□ 화성 탐사 프로그램을 재점화 등 우주개발에 대한 의지 표명

○ 단지 방문이 아닌 거주를 위해 태양계로 진출 필요

– 이에 대해 지난달, 화성에 미국인을 보내는 우주프로그램의 일환으로 새로운 우주선을 발사

□ 기반시설 및 기초연구 투자를 위한 초당적 지지, 기업 이익의 국내 재투자 강조

○ 기반시설과 기초연구 이슈에 대해 초당적지지

– 주요 쟁점은 재투자방법과 미국인으로서 세금부담에 대한 의지 표명

○ 로비스트들은 조세제도의 허점을 이용하여 슈퍼갑부에게 필요 없는 사은품을 제공하여 탈세를 조장

– 이는 중산층의 몰락을 주도

○ 올해, 기업의 투자가 다시 혜택으로 돌아가는 기회를 갖도록 미국에 재투자가 필요

- 제조업 진흥에 대한 강한 의지를 나타내면서 제조업 아웃소싱의 흐름을 바꿔 새 일자리를 미국내에서 창출하는 방안 모색
 - 아웃소싱의 물결을 되돌려 새로운 일자리의 창출기회 필요
 - 지난 5년 동안, 미국 산업에서 1,100만개 이상의 새로운 일자리가 생성
 - 중국으로부터 일자리를 되돌려오는 기회 제공
 - 제조업 경영자중 50% 이상은 중국으로부터 일자리를 되찾아올 수 있도록 검토중, 이를 지원하는 제도 마련 필요

2. 시사점

- 오바마 대통령은 2015년 연두교서에서 경제성장을 강조, 추진 기반으로 과학기술 및 연구개발을 제시
 - 미래 유망기술로 의약 부문을 강조
 - 환자중심연구소(Patient Centered Outcomes Res.)의 설립 및 예산 확대
 - ※ 2011년 설립, 2015년 전년 대비 예산 증가율 13.8%(OSTP, 2014.3)
 - 국민 생활의 질 개선과 밀접한 분야로 경제성과 사회성을 동시에 확보하는 노력 제시
 - 신기술 개발 및 제조업의 국외 아웃소싱 감소로 일자리 창출을 제시
 - 연구개발이 새로운 성장동력의 요인으로 인식하고, 연구결과의 실용화 단계에 해당하는 제조업 및 산업현장 혁신을 지속적으로 강조
 - 기반시설, 인터넷 네트워크 플랫폼 등으로 혁신을 촉진하는 방안 모색

부록 3 2015년 예산안을 통한 오바마 행정부의 R&D 정책방향 분석

1. 개요

- 오바마 정부는 선도 국가로서의 경쟁력 확보를 위해 지속적인 과학기술 발전이 필요하다는 인식을 가짐. 일자리 창출, 지속가능한 경제 성장, 기회의 확장을 위한 방안으로 연구개발에 대한 투자를 강조
 - 경제 발전, 국민 건강, 청정에너지 확보, 세계기후변화 대응, 자연자원 수요경쟁 관리, 국가안보 강화 등 경제적·사회적·환경적 도전과제에 대응하기 위해서는 과학기술 투자가 필요함을 명시
 - 국가 부채 감소를 위한 예산조정법(Budget Control Act)으로 인해 2012년 이후 10년간의 예산 제한이 시행되었으나, R&D 예산 투자는 2013년부터 다시 증가 추세
 - 물가상승률을 반영할 경우 그 증가 정도는 크지 않으나, R&D 투자에 대한 정부의 중요성 인식을 확인할 수 있음
- 혁신 확산을 위한 R&D 투자 추가 확보를 위하여 지속적인 노력을 전개
 - 초당적 예산법(Bipartisan Budget Act), 기회·성장·안보이니셔티브(Opportunity, Growth, and Security Initiative, OGSИ) 등을 통해 연구개발 투자 증대 모색
 - 그러나 재량지출(의회 승인이 요구되는 국방·비국방지출)의 증액 및 총 예산 증액을 결의한 초당적 예산법에도 불구하고, 의무지출(사회보장, 의료 등의 경직성 지출)에 비해 예산 비중이 지속적으로 감축되고 있는 상황
 - 비국방 R&D의 예산증가율(1.2%)이 전체 재량지출 예산 증가율(1.0%)을 상회하는 등 혁신을 위한 연구개발 투자에 강한 의지를 나타냄(KISTEP, 2014)
 - OGSИ는 경제적 성장과 모든 국민에 대한 기회 확장, 재정적 책임성 증대를 위해 기반시설 및 직업훈련을 강조하는 로드맵
 - 오바마 대통령은 OGSИ의 추진을 위해 53억 달러를 추가로 요청

국가의 미래를 위한 기회·성장·안보 이니셔티브

□ 비국방 부문: 6개 핵심 영역

○ 교육

- 미취학 아동에 대한 교육 강화, K-12 교육의 심화, 교육 전 과정의 고급화

○ 연구 및 혁신

- 기초연구에서의 글로벌 리더십 재설정
 - BRAIN 이니셔티브를 통해 진행되고 있는 뇌신경기술 개발 및 국가과학기금(National Science Foundation)의 추가 투입을 통한 기업 혁신, 안전한 연구 환경 구축
 - 청정에너지 연구개발 강화
 - 에너지 효율과 실용 그리드의 선도를 위한 과정 형성
 - 기초연구 및 청정에너지로의 경제 전환

○ 기반시설 및 일자리

- 제조업 발전의 확장과 지역경제성장을 위한 투자
 - 공공-민간을 위한 'Scale-Up' 프로그램을 통해 혁신적인 심화 제조기술을 가진 기업을 대상으로 규모화를 도모

○ 기후 회복 개발

- 기후변화에 대응해 더 나은 문제 해결을 이끌어낼 수 있도록 기술 및 기반시설에 투자
- 그 외에도 국립공원, 항공우주 시스템, 재향군인 보건, 금융안전 등에 투자하고 소형 사업에서의 일자리 창출 등을 추진

○ 기회와 사회적 유동성

- 커뮤니티 칼리지에서의 견습 제도 및 일자리 맞춤 훈련 지원
 - 수요가 많은 직업군에서의 훈련, 향후 5년 내 직업훈련(Apprenticeship) 제도의 2배 확장을 위한 훈련 프로그램

- 대학, 고용인, 그 외의 행위자 간 협력 지원
 - 훈련 및 고용 서비스 향상
 - ‘Jobs-Plus’를 통하여 고용에 문제를 겪고 있는 가정 대상으로 훈련 실시
 - 10대가 참여하는 National Guard Youth ChalleNGe 실시로 고용, 교육을 증대
 - 그 외 노동자들이 가족의 질병을 돌볼 수 있도록 하는 프로그램, 경제적 기회의 증대 및 소비자 보호 활동을 전개
- 공공 보건·안전·안보
- 국토 안보 및 법률 강화, 청소년 교화 및 수감 시스템 개선
 - 국제적 감기 바이러스 백신 개발
 - 국제 수준에서의 빈곤 퇴치 및 보건 강화, 에이즈·결핵·말라리아 등을 치료 하기 위한 추가 자금지원
- 효율적·효과적 정부
- 소비자 서비스 이니셔티브, 행정 처리 기간의 단축, 연방 공무원의 훈련, 정부 책임성 강화
- 국방 : 네 개 주요 부문
- 국방 시스템의 개발 및 무기 구입을 진행
- 국방 관련 예산이 줄어들고 있는 가운데, OIGSI를 통하여 잠재적 적대자에 대응하는 기술 우월성을 유지
- 그 외 군사시설 개선을 위한 지원, 핵 R&D와 기반 시설 및 DOD 시설 개선을 위한 자금 지원

자료: Fiscal Year 2015 Budget of the U.S. government, OMB(2014)

- 연구개발을 위한 정부투자는 민간부문의 충분하지 않은 투자를 보완하면서 사회적 니즈에 대응하는 필수적 활동
- 기존 예산 및 문서들을 바탕으로 투자의 우선순위를 설정
- 가용자원의 활용을 낮은 순위에서 높은 순위로 재조정하는 작업을 강조(효율적 연구개발 투자)

- OSTP에서 ‘연구 기반시설’, ‘국가정보기술연구개발(NITRD)’, ‘국가나노기술 이니셔티브’, ‘STEM 교육 조정’을 관련 보고서로 다루고 있음

- 연구 포트폴리오에서 연방 기관들은 ‘거대한 도전(Grand Challenges)’으로 명명되는 과학기술혁신 내 고도화를 달성하고자 함
 - 높은 위험과 높은 수익을 가져오는 연구개발에 대한 지원 추진

2. 연방 R&D 예산 구성

- 2015년 미국 연구개발 예산은 총 1365억 달러
 - 과학 및 연구에서의 세계적 선도 유지를 강조
- 연구개발 중 ‘연구’(기초와 응용 모두 포함)의 경우 총 647억 달러가 편성. 이는 2014년을 기준으로 0.4% 증가한 수치. ‘개발’ 부문은 작년 대비 2.3% 증가한 총 68억 달러가 투자됨
 - 제조업과 연결되는 연구결과의 실용화에 대한 관심 증대가 반영
- 전체 기초, 응용연구 중 가장 많은 예산 증가를 나타낸 부문은 공익적 목적의 임상연구 활성화 기관인 환자중심결과연구소(Patient Centered Outcomes Res.). 그 다음을 잇는 부문은 지질 연구(5.9%)와 에너지(5.8%)
- 가장 많이 변화한 것은 에너지에 대한 투자 증가, 안보에 대한 투자 저감
 - NNI 차원에서 에너지 부문의 예산 증가율이 가장 높게 나타남
- 비국방 R&D의 경우, 가장 큰 예산은 NIH의 보건 부문이 차지. 그 외 에너지, 항공우주, 국가과학재단(기초연구)에 대한 투자가 뒤를 잇고 있음
 - 각각 302억 달러, 123억 달러, 116억 달러, 73억 달러
- 상무부(Department of Commerce)의 경우 2015년 들어 전체 예산이 작년보다 감소했지만, 하위 부처인 NOAA와 NIST의 예산은 2013년부터 지속적으로 증가하고 있음. 2015년은 작년 대비 각 4.1%, 3.4% 증가
 - NIST(국가표준기술연구원)의 예산 증가는 혁신 및 제조업 촉진과 관련되어 있음

- 소규모 제조업자의 신기술 수용을 지원하는 M-TACs(Manufacturing Technology Acceleration Centers) 건립, 공공-민간 협력 프로그램인 Advanced Manufacturing Technology Consortia 추진 등 현재 미국 산업이 처해있는 도전적 과제에 대한 해결책을 제공하여 국가 경제 발전 도모
- STEM(과학·기술·공학·수학) 교육지원으로 숙련 인력 및 혁신 행위자를 확보한다는 목표 하에 29억 달러 투자. 이는 작년보다 3.7%가 증가한 수치
 - STEM은 5개년 전략 계획 하에 강조되는 프로그램으로 교육 효과를 명확히 분석하기 위하여 평가 및 결과 측정을 개선하고 있음
 - 프로그램 대상자에게 효과적인 영향을 미치고 있는가를 점검
 - 인력 양성을 위해 교육을 강조하는 활동이며 PCAST 차원에서 지속적인 이니셔티브를 통해 조정해나갈 예정

* STEM(Science, Technology, Engineering, and Mathematics): 첨단기술 중심의 경제발전에 대응할 수 있도록 고등학교 교육 시스템을 재설계하여 고등학교와 대학·기업 간의 협력을 촉진하고, 다양한 직업훈련 및 기술자 격증 취득 기회를 제공하는 프로그램

- 부문별 연구개발 예산 편성 비율은 보건, 항공우주, 기초과학 및 기초연구, 에너지 순으로 높게 나타남. 2015년 예산으로는 NIH(302억 달러), DOE(123억 달러), 116억 달러(NASA)가 뒤를 이음
- 한편 부처 간 핵심 이니셔티브는 크게 세 부문에서 예산이 조정됨
 - 글로벌 변화 연구 프로그램(USGCRP) 25억 달러, 네트워크정보기술연구개발(NITRD) 38억 달러, 국가나노기술이니셔티브(NNI) 15억 달러 투자

3. 2016년 과학기술 예산편성 우선순위

- OSTP의 2016년 과학기술 예산편성 우선순위 보고서를 통해 미국 연구개발 투자의 거시적 방향을 확인할 수 있음
 - 2016년 예산 회기는 다부처 연구 활동을 강조하는 동시에 기초연구를 포함한 부처 역할, 미션 중심 연구에 자원을 재배치할 계획
 - STEM 교육, 기술이전, 연구개발 시설, 기업에 대한 지원 활동, 과학적 데이터 수집 및 관리 등에 초점
- 미래 첨단 제조업 및 산업의 촉진에 초점을 맞춤. 미국 제조 부문의 활기를 되찾기 위해 생산 시스템 내에서의 혁신을 확보하고자 함

- 부처들은 제조 기술을 첨단화하기 위한 프로그램에 우선순위를 두고, 정부·기업·대학 협력을 강조
- 정보기술과 고성능 컴퓨터, 생명과학·생물·신경과학의 혁신 강조
 - 개인 데이터 보호와 함께 빅데이터 확장 지원의 기회를 확보하고자 함
 - 이를 통해 국가 안보, 과학적 발견, 경제적 경쟁력을 증대하는 고성능 컴퓨팅 혁신을 촉진. 이때 민간 영역과의 협력을 강조
- 다부처 연구개발 프로젝트의 추진과정에서 부처 간 협력만이 아니라 다양한 행위자의 참여를 통해 효율성과 효과성을 제고하고자 함
 - 정부-기업-대학 협력을 활용한 Advanced Manufacturing, 민간영역과의 조정을 언급하고 있는 Information Technology and High-performance Computing 부문
- 국내뿐만 아니라 국제 협력을 통해 정부의 우선순위를 더욱 정교화 하는 작업 추진
 - 다양한 행위자 간 협력의 복잡성에 대응하기 위해서는 높은 수준의 관리 기준이 필요. 이를 기반으로 연구 효율성을 확보할 수 있을 것으로 기대
- 기초연구의 중요성과 더불어 제조업 등을 통한 경쟁력 강화 의지를 지속적으로 나타냄
- 기술 강조 영역은 생명과학, 생물학, 신경과학 세 부문으로 이를 통해 보건, 에너지, 식품 안전 등을 확보하고자 함
- R&D 부처와 미션 수행 부처가 수요자 중심의 정보 및 수단에 초점을 맞춰 정책형성을 지원할 필요가 있음을 밝힘
 - 더불어 연구개발 결과도출의 활성화를 위해 영역을 가로지르는 새로운 부문 개발의 필요성 및 관련 이해관계자의 결집을 강조
- 연구 수단 및 기반시설에 대한 투자가 이공계 경쟁력을 강화하는 방안임을 강조하면서, 그 방안으로 연방 연구시설 연계 계획안 제시
 - Best Practices for Federal Research and Development Facility Partnership을 통해 조정, 기획, 자금지원, 프로젝트 협의, 거버넌스, 소통, 협력 문화와 신뢰 형성을 위한 12가지의 실천 방안을 제시
 - 연방 내 연구개발 시설 및 기반에서의 협력을 최적화하기 위해 노력

- Grand Challenge를 달성하기 위한 노력 전개
 - 자금 지원, 결과 기반의 시장 인센티브 지급 등 여러 방안을 통해 시장 실패의 극복, 혁신의 촉진, 광범위한 문제 해결을 추진

- STEM은 NSTC 산하 ‘STEM 교육 위원회’(CoSTEM)의 5개년 전략 계획을 통하여 프로그램의 분절화 축소, 효율성 강화를 꾀하고 있으며, Prepare and Inspire, Engage to Excel 리포트를 통해 다른 프로그램들과 우선순위를 조정할 예정

미국의 나노기술정책 동향과 시사점

인 쇄 2015년 10월

발 행 2015년 10월

발 행 인 한 선 화

발 행 처  **한국과학기술정보연구원**
Korea Institute of Science and Technology Information
www.kisti.re.kr

주 소 서울시 동대문구 회기로 66

전 화 (02)3299-6114

I S B N ??

인 쇄 처 승람디앤씨 (02)2271-2581

<비매품>