

2022-00

국가 고위험·고성과 중장기 연구개발사업 추진 전략방향 수립 연구

(Research on establishing strategic directions for
national high-risk, high-performance R&D projects)

연구기관 : (주)스페이스매직
연구책임자 : 김대전

2022.12.31

과 학 기 술 정 보 통 신 부

안 내 문

본 연구보고서에 기재된 내용들은 연구책임자의
개인적 견해이며 과학기술정보통신부의 공식견
해가 아님을 알려드립니다.

과학기술정보통신부 장관 임 혜 숙

제 출 문

과 학 기 술 정 보 통 신 부 장 관 귀 하

본 보고서를 “ 국가 고위험·고성과 중장기 연구개발사업 추진 전략방향 수립 연구”의 최종보고서로 제출합니다.

2022. 12. 31.

연구기관명 : (주)스페이스매직

연구책임자 : 김대전

연 구 원 : 이호규

연 구 원 : 전문환

연 구 원 : 이나영

연 구 원 : 김민재

목 차

1. 서론	3
1.1 추진배경	3
1.2 연구목적	12
1.3 연구의 내용 및 범위	14
2. 고위험-고성과 연구	17
2.1 고위험-고성과 연구의 정의	17
2.2 고위험-고성과 연구의 특성	23
2.3 고위험-고성과 연구의 정부지원 근거	28
3. 국내·외 사례분석	35
3.1 미국	35
3.1.1 DARPA	35
3.1.2 ARPA-E	49
3.2 일본	66
3.2.1 ImPACT(혁신적 R&D 추진프로그램)	66
3.2.2 Moon Shot	76
3.2.3 미래사회창조사업	83
3.3 EU	86
3.3.1 ERC Advanced Grants	86
3.3.2 EIC Pathfinder pilot	91
3.3.3 FET 플러그십	92
3.3.4 영국 ARIA	95

3.4 국내	98
3.4.1 미래융합기술 파이오니어	98
3.4.2 과학난제도전 융합연구개발사업	99
3.4.3 혁신도전 프로젝트	101
3.4.4 산업기술 알키미스트 프로젝트	102
3.4.5 글로벌프론티어	105
4. 정책방안	113
4.1 개요	113
4.2 재정지원 체계의 구축	115
4.2.1 고위험-고성과 전용 연구프로그램 마련	115
4.2.2 고위험-고성과 프로그램 지원형태 및 기간의 다양화	120
4.2.3 연구자 중심의 고위험-고성과 프로그램 신설	123
4.2.4 고위험-고성과 프로그램 예산구조 구축	127
4.3 목표·관리 체계의 구축	133
4.3.1 체계화된 고위험-고성과 연구프로그램 목표설정	133
4.3.2 새로운 방식의 관리 체계 도입	135
4.4 정책적 지원체계 구축	141
4.4.1 장기적인 정책적 지원 마련	141
5. 결론	148
참고문헌	151

표 목 차

<표 1> 국내 분야별 최고기술 분야 개수	5
<표 2> 우리나라 R&D 투입 및 성과의 글로벌 대비 수준(`20년)	6
<표 3> 우리나라 ICT 인프라 현황	7
<표 4> 변혁적 기술의 특징	20
<표 5> 일반성 연구 사례	25
<표 6> 지식과급효과의 작동 예시(BLAST)	29
<표 7> DARPA의 사업추진 방식	36
<표 8> BAA의 종류	37
<표 9> DARPA 주요 프로그램 현황	39
<표 10> DARPA의 혁신 요소별 세부내용	43
<표 11> DARPA 주요 성과 및 사업화 사례	48
<표 12> ARPA-E 운영프로그램 리스트	51
<표 13> ARPA-E 지원프로그램 특징	57
<표 14> ARPA-E 추진 단계	58
<표 15> ARPA-E 상세 추진 프로세스	59
<표 16> ARPA-E의 지향 가치	61
<표 17> ImPACT PM의 선정 절차 및 역할	67
<표 18> ImPACT 프로그램 및 목표	68
<표 19> ImPACT 사업추진전략	72
<표 20> IMPACT 추진 절차	74
<표 21> ImPACT 평가 착안사항	75
<표 22> PM 수행 활동 평가 기준	76
<표 23> Moon shot project 추진경과	77
<표 24> 문샷 9대목표	79
<표 25> Moon shot 3대요건	81
<표 26> 미래사회창조사업 중점 추진 영역	84
<표 27> ERC 연구지원 프로그램	87
<표 28> EU FET 플래그십 6개 이니셔티브 개요	94
<표 29> 산업기술 알키미스트 프로젝트 주요 내용	103
<표 30> 글로벌 프론티어 추진경과	105

<표 31> 글로벌 프론티어 사업철학	105
<표 32> 연구단별 사업규모 및 기간	106
<표 33> 사업 추진 기관 역할	107
<표 34> 연구단장의 자격	108
<표 35> 국가별 고위험-고성과 연구 프로그램	115
<표 36> 고위험-고성과 연구의 지원방식과 장단점	122
<표 37> 재정지원 체계 구축 정책 액션플랜	130
<표 38> 글로벌프론티어 종료연구단의 목표 대비 성공률	134
<표 39> 고위험-고성과 프로그램 평가 형태	136
<표 40> 목표·관리체계 분야 정책 액션 플랜	138
<표 41> 정책적 지원체계 분야 정책 액션 플랜	144

그림 목 차

[그림 1] 주요국 총 연구개발비 및 GDP 대비 연구개발비 비중 비교	5
[그림 2] 주요국 경제활동인구 및 인구천명당 연구원 수(FTE기준)	5
[그림 3] 우리나라 혁신역량과 노동생산성 증가율	8
[그림 4] 고혁신국가와 우리나라 생산성 증가율 비교	8
[그림 5] 연구프로세스	14
[그림 6] 유럽 주요 연구 예산 성과	23
[그림 7] DARPA의 BAA 방식 단계별 주요 내용	38
[그림 8] DARPA의 Project pool 관리방식	41
[그림 9] Open Solicitation 추진 영역 및 프로젝트	51
[그림 10] ARPA-E 프로그램 추진 단계	58
[그림 11] 프로그램 생성, 프로젝트 선택 및 수행자 관리를 위한 ARPA-E의 내부 프로세스	60
[그림12] ARPA-E 프로젝트를 통한 새로운 학습 곡선의 창출	62
[그림 13] ARPA-E의 포지셔닝	62
[그림 14] ARPA-E의 연구 Target	63
[그림 15] ARPA-E의 마일스톤 변경 현황	63
[그림 16] Impact 사업추진체계	68
[그림 17] 문샷 프로그램 추진체계	78
[그림 18] 일본 Moon-shot 프로젝트의 경쟁형 R&D 운영 방식	80
[그림 19] 목표설정 및 프로그램 발굴과정	80
[그림 20] 사업추진방안	82
[그림 21] 미래사회창조사업 추진 흐름	85
[그림 22] 프로그램 구성 및 리스크 포지셔닝	88
[그림 23] Advanced Grant 평가 프로세스	90
[그림 24] 미래융합기술 파이오니어 사업 비전/목표	98
[그림 25] 과학난제도전 융합연구개발 사업 비전/목표	100
[그림 26] 산업기술 알키미스트 프로젝트 비전체계도	102
[그림 27] 산업기술 알키미스트 프로젝트 사업추진방식	104
[그림 28] 사업추진체계	107

[그림 29] 추진주체별 역할 및 주요 역할	114
[그림 30] DARPA, ARPA-E 등 고위험-고성과 프로그램 개념도	118
[그림 31] 연구개발투자 VS 고위험-고성과 투자	120
[그림 32] 연구프로세스	148

국가 고위험·고성과 중장기 연구개발사업 추진 전략방향 수립 연구

제 1 장 서론

1. 서론

1.1 추진배경

- **첨단 핵심기술은 차세대 성장동력 및 첨단전략기술의 단초가 되어 미래사회 도전에 대응한 지속성장을 가능하게 함**
- (차세대 성장동력 확보) BIG3(반도체, 미래자동차, 바이오헬스) 이후 국가 성장을 이끌 차세대 성장동력 육성 절실 → 미래 핵심기술 확보 집중 투자
 - “미래기술=성장동력” 등식에 따라 국가 간 미래기술 기반의 성장동력 확보 경쟁이 심화되고, 게임체이저형 미래기술 개발에 집중 투자
 - * (예시) mRNA 백신기술은 백신, 치료제 등 다양한 분야에서 기존 방식의 백신, 치료제를 대체하는 게임체이저로, 바이오헬스 분야의 새로운 성장동력으로 급속히 부상 중
- (첨단전략기술 육성·호) 기술패권 심화에 따라 경제·안보에 중요한 첨단전략기술에 국가적 역량 집중 → 핵심기술 확보로 기술주권 확보
 - 美·中·EU 등 각국은 경제·안보 정책의 중심에 ‘기술’을 놓고 전략기술을 선정하고 ‘선택과 집중’의 전략적 지원체계 수립
- (미래도전 대비) 탄소중립, 디지털 전환 등 미래 도전을 기술혁신을 통해 해결 노력 → 기존 기술을 뛰어 넘는 혁신적 기술 개발 집중
 - 탄소중립 해결을 위해 현장 특화 연구와 더불어 혁신적인 탄소중립 기술 확보가 필수적 → 글로벌 선도 탄소기술로 성장동력 병행 추진
 - 디지털 대전환 시대를 맞이하여 디지털 주도권 확보 차원의 핵심기술 기술 확보 경쟁이 치열
- **국가경쟁력 확보를 위해서는 미래 성장동력 확보가 중요한 이슈로써, 핵심 원천기술을 통한 기술집약능력이 글로벌 패권 경쟁의 승패를 결정**

○ 첨단기술이 경제 및 안보에 미치는 영향이 높아지면서 국가 간 기술패권경쟁이 심화되고 있는 상황

- 중국의 부상으로 미국 중심의 국제질서가 위협받으며 갈등 본격화, 기술을 경제·안보 패권의 핵심으로 인식한 기술패권경쟁 돌입
- 기술패권전쟁에서 미래산업에서의 핵심이 되는 반도체 기술이 핵심으로 부각되고 있고, 미 백악관의 반도체 기업 대상 비밀정보 제출 요구('21.12) 및 대러시아 수출 통제 준비 통보('22.01) 등을 추진
- 경쟁의 전선은 반도체를 중심으로 기후기술(에너지 안보, 녹색경제), 우주(우주군, 우주경제), ICT(사이버안보, 디지털경제 등), 바이오(백신 무기화, 바이오경제) 등 전 분야로 확대

○ 글로벌 패권 전쟁에서 경쟁우위를 차지하기 위해서 미래사회에 대응한 전략적 기술 확보 추진

- 4차 산업혁명을 이끄는 첨단기술과의 융복합이 확산되면서 산업구조가 급격히 변화되고 기술개발 속도전쟁이 가속화
- 각국의 경쟁적인 기술투자와 미·중 무역분쟁에 따른 글로벌밸류체인(GVC) 개편에 대응한 전략적 관점의 기술 확보 필요성 대두

□ 우리나라는 막대한 R&D 투자로 기술 확보 중이나, 기존 R&D 방식을 통한 성과 확보의 한계를 체감

○ 우리나라는 다년간의 막대한 R&D 자금 투입 및 연구인력 육성을 통해 높은 연구역량을 보유하고 있으나, 세계선도기술은 확보하지 못하고 있음

- '19년 우리나라의 GDP 대비 연구개발비 비중은 4.64로 세계 2위 수준¹⁾
- 경제활동인구 천명당 연구원 수는 15.4명, 인구천명당 연구원 수는 8.3명으로 주요국보다 높은 연구역량 보유

1) 한국과학기술기획평가원(2021), 2020년 우리나라와 주요국의 연구개발투자 현황.
https://www.kistep.re.kr/boardDownload.es?bid=0031&list_no=42452&seq=1



[그림 1] 주요국 총 연구개발비 및 GDP 대비 연구개발비 비중 비교



[그림 2] 주요국 경제활동인구 및 인구천명당 연구원 수(FTE기준)

* Full Time Equivalent(상근상당 연구원)

- 우리나라는 매우 높은 수준으로 R&D에 투자 중이나, 세계최고기술을 보유한 분야는 전무²⁾

* 120개 전략기술 중 우리나라가 세계최고기술을 보유한 분야는 전무

<표 1> 국내 분야별 최고기술 분야 개수

분야	국 가					
	한국	일본	중국	미국	EU	합계
1. 건설교통	0	0	0	8	4	12
2. 재난안전	0	0	0	4	0	4
3. 우주항공해양	0	0	0	6	1	7
4. 국방	0	0	0	3	0	3
5. 기계제조	0	2	0	9	7	18
6. 소재나노	0	3	0	5	0	8
7. 농림수산식품	0	0	0	5	4	9
8. 생명보건의료	0	0	1	20	1	22
9. 에너지자원	0	2	0	11	6	19
10. 환경기상	0	0	0	10	5	15
11. ICT·SW	0	1	0	16	0	17
합계	0	8	1	97	28	134

* 120개 국가전략기술 대상, 2020년 기준

** 전체 대상분야는 120개이나 일부 분야에서 복수의 국가가 최상위 기술보유국으로 집계되어 합계가 134개로 산정

2) 한국과학기술기획평가원(2021), 2020년도 기술수준평가 결과.

https://www.kistep.re.kr/reportDownload.es?rpt_no=RES0220210120&seq=res_0026P@2

○ 막대한 R&D 투자에도 지식자원 기반 성과 창출이 부족한 ‘R&D 패러독스’지속³⁾

- 막대한 투자에 따른 높은 성장잠재력에도 불구하고 지식자원 기반의 성과 창출은 부족하여 R&D 투자효율성이 매우 낮은 상황

<표 2> 우리나라 R&D 투입 및 성과의 글로벌 대비 수준(‘20년)

구분	항목	지표	글로벌 순위
보유자원·투 입	인적자원	총 연구원 수	6위
		인구 만 명당 연구원 수	2위
	조직	세계 상위 대학 및 기업 수	7위
	연구개발 투자	연구개발투자 총액	4위
		GDP 대비 연구개발투자 총액 비중	2위
		GDP 대비 정부연구개발예산	1위
성과	지식자원	최근 15년간 SCI 논문 수(STOCK)	10위
	경제적 성과	연구개발투자 대비 지식재산사용료 수입 비중	22위
		연간 R&D 투자 대비 특허건수	17위
	지식창출	연구원 1인당 SCI 논문 수 및 인용도	29위

* 출처 : 한국과학기술기획평가원(2020), 2020년 국가과학기술혁신역량평가 기반 연구진 제작성

○ 기술의 성장잠재력이 높음에도 불구하고 생산성 둔화가 지속되는 ‘생산성 패러독스*’현상이 나타나고 있음

* 기술발전과 생산성 간 괴리 현상

- 우리나라의 ICT인프라와 ICT산업 비중은 선도국을 상회하고 있음
 - 우리나라 ICT산업 비중은 14.8%(‘18년 명목부가가치 기준)로 기술 선도국인 미국(8.8%)과 일본(7.9%) 수준을 상회함(OECD STAN DB)
- * `19년에 디지털 혁신의 기본 인프라가 되는 5G를 세계 최초로 상용화하였고, 인터넷 속도(세계 1위), 인터넷 망(1위), 디지털SOC(1위) 등 ICT 인프라 및 접근성 면에서 세계 최고 수준⁴⁾

3) 한국과학기술기획평가원(2020), 2020년 국가과학기술혁신역량평가.

https://www.kistep.re.kr/reportDownload.es?rpt_no=RES0220210093&seq=res_0026P@4

4) 전국경제인연합회(2020), 한국 ICT 산업 현황과 시사점.

<표 3> 우리나라 ICT 인프라 현황

항목	순위	세부내용
모바일 네트워크 중 5G 비율	1위(24개국)	한국 67%, 미국 50%, 중국·일본 47%, 유럽 34%, 글로벌평균 20%(`25년 전망)
인터넷속도	1위(37개국)	다운로드 기준, 1위 한국 156Mbps, 2위 미국 116Mbps, OECD 평균 78Mbps(`19년 기준)
초고속인터넷 보급률	1위(37개국)	1위 한국 81.7%, 2위 일본 79%, OECD 평균 26.8%(`19년 기준)
모바일데이터 사용량	1위(13개국)*	스마트폰 1대당 트래픽 월 사용량(셀룰러+와이파이) 기준, 1위 한국 24GB(셀룰러 6.4, 와이파이 17.6), 2위 스웨덴 18GB(`18년 기준)
디지털정부평가	1위(33개국)	1위 한국, 2위 영국(`19년 기준)

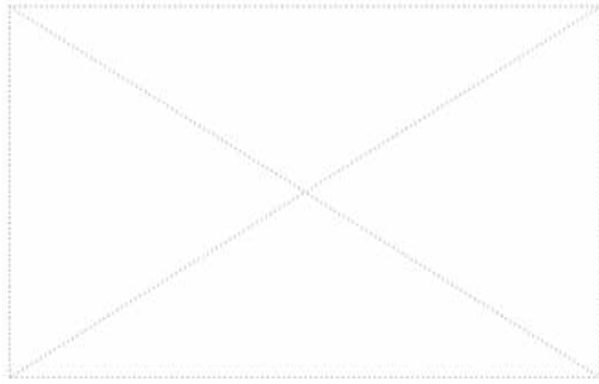
* 정확한 데이터사용량 집계를 위해 OECD 회원국 중 사용량 자료 확보가 가능한 13개국 대상으로 분석

- 그러나 견고한 디지털 역량에도 불구하고 경제성장 및 생산성은 둔화세가 계속되고 있어, 기술의 잠재력을 사회로 빠르게 과급하기 위한 대응 필요
 - 기술의 시장잠재력이 높음에도 경제적 효과가 부진한 이유는 신기술 실행 과정에서의 시차가 발생하기 때문
 - 국내 글로벌 혁신지수 순위는 '12년 21위에서 '20년 10위로 상승하였음에도 불구하고, 고(高)혁신국가그룹(글로벌혁신지수 상위 20개국)과의 생산성 증가율 격차는 오히려 축소되는 추세⁵⁾

OECD(2020a), Digital Government Index: 2019 Results, OECD Public Governance Policy Papers No. 3. <https://www.oecd.org/gov/digital-government-index-4de9f5bb-en.htm>

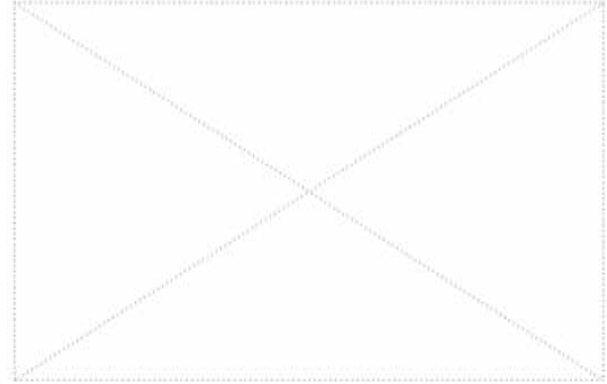
OECD(2020b), OECD Digital Economy Outlook 2020. <https://www.oecd.org/digital/oecd-digital-economy-outlook-2020-bb167041-en.htm>

5) Global Innovation Index (2020), "The Global Innovation Index (GII) 2020: Who Will Finance Innovation?," <https://www.globalinnovationindex.org/Home>.



[그림3] 우리나라 혁신역량과
노동생산성 증가율

- * 혁신역량 : 세계 지식재산권기구(WIPO)의 글로벌혁신 지수를 인용
- * 노동생산성 증가율 : 5년 이동평균



[그림4] 고혁신국가와 우리나라
생산성 증가율 비교

- * 생산성 증가율 : 5년 이동평균
- * 고혁신국가는 글로벌혁신지수 상위 20개국의 단순평균

○ 우리나라는 외부기술의 도입을 통한 제품화·생산에 집중하고 있어
원천기술 자체의 확보는 미흡한 상황으로, GVC 재편에 따른 기술확보 필요

- 코로나-19 및 글로벌 무역전쟁 심화에 따라 가치사슬에서 비용절감과 효율성을 중시하던 관점에서 벗어나 안전과 위기관리 능력, 복원력을 갖춘 공급망 확보전략으로 GVC 재편 중
- '19년 한국의 중국 의존도는 수출 25.1%, 수입 21.3%를 기록하고 있으며, 중간재의 수출 비중은 79.5%에 달해 의존도가 매우 높음
- STEPI는 자국 내 대체가 어려워서 국가안전보장 및 국민경제 발전에 중대한 영향을 미치는 기술의 안정적 확보가 불가능할 시 산업현장의 막대한 피해가 초래됨을 지적⁶⁾

□ 선도국가들도 미래 핵심기술 확보를 위해 핵심기술 분야에 대규모로
고위험-고성과 분야에 대한 연구개발 투자 추진 중

○ 주요국에서는 사회경제적으로 영향을 주는 국가현안문제를 근본적으로
혁신하기 위한 기술개발 및 이를 통한 성장동력 확보를 목적으로 하는
전략을 추진

6) 조용래, 박현준, 이선아, 최종화, 이정노(2020). 산업기술안보 관점의 국가 전략목적기술 (CPT) 도입과 정책방향. STEPI Insight, 1-58.

https://www.stepi.re.kr/common/report/Download.do?reIdx=258&cateCont=A0501&streFileNm=A0501_258&downCont=0

- (미국) 미래 10대 핵심 첨단기술에 전략적으로 5년간 120조 투자하고 국립과학재단(NSF) 기술혁신국 신설('21.6)을 통해 전략적 지원 강화하고 있으며, 기존의 DARPA와 같은 고위험-고성과에 연구개발이 지속적으로 추진
 - 10대 핵심기술을 ①인공지능, ②고성능컴퓨팅, ③양자정보, ④자동화·첨단제조, ⑤재해예방, ⑥첨단통신 기술, ⑦생명과학, ⑧사이버보안, ⑨첨단에너지, ⑩소재·탐사 기술로 정하고 이에 대한 대규모 투자계획을 마련
 - 美 DARPA는 R&D 성과 극대화를 위해 경쟁 R&D를 도입 운영
 - 고위험·대형과제의 경우 성공 가능성을 높이기 위해 동일 주제에 대해 경쟁 촉진을 통해 토너먼트형 R&D 제도 시행
 - 정부의 개발전략에 민간의 창의적 아이디어를 수렴하기 위해 목표만 제시하는 품목지정 과제 공고
 - 수행기관들은 과제 목표를 달성하기 위한 각각 다른 방식 제안
 - 각 단계 종료 시 평가를 통해 R&D 성공 가능성이 있는 기관만 계속 지원
- (일본) 성공가능성이 낮은 ‘Moon-shot 프로젝트’에 `19년부터 대규모 투자
 - ‘문샷(Moon-shot)기술’은 달에 사람을 보내는 것처럼 실현 가능성은 매우 낮고 난해하지만 성공하면 기술적 파급력이 매우 큰 초혁신적 기술
 - 파괴적인 혁신 창출을 목표로 기존 기술의 연장이 아닌 더 대담한 발상에 근거하는 도전적인 연구개발을 추진
 - 초고령화 사회와 지구 온난화 문제 등 중요한 사회 문제에 대해 사람들을 매료시킬 만한 야심찬 목표(문샷 목표)를 국가가 설정
 - 문샷의 목표는 종합과학기술혁신회의(CSTI)가 6개(①~⑥), 건강·의료 전략추진본부에서 1개(⑦)를 설정
 - 각 부처 관련 전문가 회의 등을 거쳐 ‘10~20년 후 일본에 필요한 기술’에 대한 주제로 결정
 - 문부과학성, 경제산업성, 농림수산업성, 후생노동성 등의 다부처 사업으로 추진

- (중국) 7대 첨단 과학기술 강화, 8대 신산업 육성 등 첨단기술을 통한 국가 발전전략 수립 및 발표
 - (7대 기술) ①AI, ②양자정보, ③반도체, ④뇌과학 ⑤유전자·바이오 ⑥임상의학·헬스케어 ⑦우주·심해·극지
 - (8대 산업) ①희토류 포함 신소재, ②중대기술장비, ③스마트제조 및 로봇기술, ④항공기 엔진, ⑤위성항법시스템 응용, ⑥신에너지 차량 및 스마트카, ⑦첨단 의료 장비 및 신약, ⑧농업기계
- (유럽) 글로벌 도전 대응, 미래 산업 경쟁력 등을 위해 ‘Horizon Europe('21-’27)’을 통한 우주, 바이오, 기후에너지 등 6대 기술 지원
- (영국) 첨단기술 확보를 위해 과학기술전략실 신설, 연구개발 지원 기능을 UKRI로 통합하여 핵심기술 확보에 역량 결집
 - 美 DARPA 모델 기반으로 혁신적인 미래기술을 지원하기 위해 ‘ARIA’ 출범
 - 에너지산업전략부(Department for Business, Energy&Industrial Strategy) 산하에 설치하며 '22년부터 약 1.2조 규모 지원 예정
 - 임무 중심의 방식이라기보다는 문제해결을 목적으로 함에 DARPA방식과는 차이
- 우리나라는 막대한 R&D투자로 기술확보 중이나, 실제 고위험-고성과의 연구개발 투자보다는 저위험-저성과에 대한 투자가 집중되고 있음
- 우리나라는 다년간의 막대한 R&D 자금 투입 및 연구인력 육성을 통해 높은 연구역량을 보유하고 있으나, 세계선도기술은 확보하지 못하고 있음
 - 막대한 투자에 따른 높은 성장잠재력에도 불구하고 지식자원 기반의 성과 창출은 부족하여 R&D 투자효율성이 매우 낮은 상황
 - EU ERC연구과제중 대부분이 고위험-고성과 연구이며, NIH 고위험-고성과 과제의 특허생산성은 NIH 전체 특허생산성에 비해 높음

- 기초원천에 대한 투자를 지속하고 있으나, 기초원천 연구의 경우도 사업화 관점이나 성과 관점에서 접근함에 따라, 고위험-고성과에 대한 R&D투자가 이루어지지 않고 있음
 - 현안 및 미래대응을 위한 기술개발 테마를 선정하여 해당 기술 확보에 주력하고 있고, 실제 도전적 연구를 수행하지 못하는 문제가 발생
- 이에 따라 우리나라의 고위험-고성과 중장기 연구개발사업의 활성화와 사업 추진을 위한 전략방향 마련이 필요
 - 고위험-고성과 중장기 연구개발사업은 시장실패 가능성으로 인해 민간 참여가 어려운 반면, 주요국의 혁신적 성과창출은 고위험-고성과 연구개발 투자를 통해 창출되고 있어, 국가R&D투자의 필요성이 증대

1.2 연구목적

- 세계적으로 경쟁력있는 연구 매커니즘은 국가 정책 특성 기반 프로그램 구성 및 개발로 진보되어가고 있는 추세임
- 정부 차원의 고위험-고성과에 대한 정책제안 및 특히 과학기술분야에서 고위험 고성장 연구 촉진
 - (영국)영국의 경제사회위원회는 변혁적 연구 팀(transformative research call)을 만들어 바텀업 방식의 연구 지원을 운영하고 있음
 - (독일)독일의 DFG는 혁신 또는 고위험 연구를 수행하는 뛰어난 연구자들을 대상으로 'Reingart Koselleck Project'를 지원하고 있음
 - (일본)혁신기술(ImPACT)을 통한 패러다임 추구를 위해 이에대한 프로그램을 지원하고 기업가 환경을 조성하고 낮은성과지만 고위험 요소를 다루는 연구 분야의 지원 개선 및 강화 구축
 - (필리핀)필리핀의 DARPA프로그램은 새롭게 부각되고 있는 도전적 과제를 극복하기위한 목적으로 프로젝트 기반 과제에 대해 자금지원 형태이며, 고위험 연구에 대한 지원 및 관리 등으로 운영되고 있음
 - 공통의 문제 해결을 추구하되 상이한 기술적 접근이 예상되는 R&D 지원
 - 중소기업 관련(SBIR, STTR)등 특정목적 이외 주요 R&D 프로그램은 기본적으로 고위험 고보상 연구 지향
- 해외 국가에서는 과학기술의 잠재적 성과 창출을 위한 가시적 성과를 위한 지원 프로그램 구성 및 세계를 이끄는 혁신 R&D예산체계 구성
 - (유럽)유럽 위원회는 신규 및 최신 과학기술 지원에 관한 법률을 제정하고, 6개 프레임워크 프로그램(FP6)을 구성하여 유럽 과학기술의 혁신분야를 개척할 뿐만아니라 과학에 의해 새롭게 발견되는 잠재적 이슈사항에 대한 연구를 촉진시킬 수 있도록 함
 - 새로운 지식의 창조와 개발을 리드하는 연구로 기반지식의 발견, 이론적,

경험적 이해의 발전, 일반적인 지식을 혁신으로 발전시킬 수 있는 연구

- 본질적으로 위험성을 내포한 연구로 새로운 연구분야의 개발을 위한 접근 방법이 명확하지 않은 연구
- 이론적 배경, 개념적 접근, 관련기술 및 연구방법론 등이 다른 다양한 분야를 효과적으로 연계할 수 있는 학제각, 다학문적, 변혁적 성격의 연구

- (독일) 독일연구재단은 혁신요소에 기반한 고위험 프로젝트 추구하고 이에 대한 연구 촉진을 위해 'Reinhart Koselleck Project'를 구성 함
- (일본) 일본 정부는 연구프로젝트 위험요소 회피 및 이에 대응하기 위해, 최첨단 연구개발 관련하여 글로벌 리딩 이노베이션 R&D예산 프로그램(FIRST Programme)을 구성 함

□ 세계적으로 고위험-고성과 연구가 국가 R&D 포트폴리오에 필수로 구성되어 진행되고있지만 이러한 연구 프로그램 방법에 대한 '최적운영 방법'에 관한 연구가 부재

- 고위험-고성과 연구 포트폴리오 관리를 위한 지표 및 틀이 부재하여 고위험-고성과 연구에 적합한 환경을 육성하기 위한 정책 분석에 한계가 있음
- 연구 시스템 체계에서, 연구 지원 구조와 제도 및 연구 역량 등을 고려하고, 과학 커뮤니티 분야에서 문화적 규범과 연구 평가 시스템과 전략적 우선순위를 고려한 프로세스 구축 필요

□ 이에 본 연구는 고위험-고성과 연구개발사업의 정의와 특성, 국가 지원의 근거 등을 발굴하고, 국내·외 운영현황과 한계점을 진단하여, 우리나라의 고위험-고성과 연구 추진전략을 발굴하는데 목표가 있음

- 고위험-고성과 연구개발사업에 범위를 정하기 위하여, 명확한 정의 및 특성을 파악하고, 정부지원을 위한 타당성을 확보

- 해외 주요국의 고위험-고성과 연구프로그램 운영 현황과 방식을 확인하고, 우리나라의 고위험-고성과 연구의 현황을 진단하여, 향후 우리나라 고위험-고성과 연구의 진흥을 위한 시사점을 발굴함
- 우리나라의 고위험-고성과 연구 추진을 위한 지원정책과 프로그램 운영 등을 위한 세부 추진방안 마련

1.3 연구의 내용 및 범위

- 본 연구는 고위험-고성과에 대한 정책 전 단계의 이슈 및 한계점을 진단하고, 고위험-고성과 연구개발사업의 효율적 추진을 위한 정책개발을 위하여 다음과 같은 프로세스로 연구를 진행



[그림 5] 연구프로세스

국가 고위험·고성과 중장기 연구개발사업 추진 전략방향 수립 연구

제 2 장 고위험-고성과 연구

2. 고위험-고성과 연구

2.1 고위험-고성과 연구의 정의

□ 고위험-고성과 연구의 개념

- 고위험-고성과(HRHR) 연구에 대한 표준적인 정의는 없으나, 일반적으로 불확실성과 영향력이 높은 연구를 의미
- 과학 연구의 특징인 파급효과 및 불확실성 요인에 대한 시장실패 등을 포함할 수 있으며, 이러한 특성은 고위험-고성과 연구 특성에서 더욱 강조될 수 있는 사항
 - 지식 창출을 위해 새로운 과학적 연구에 대한 자금 지원은 고위험이 될 수 있는 사항으로 이는 고위험-고성과 측면에서, 가장 영향력이 높은 과학적 관점에서 극복될 수 있는 탐구(발견)이 요구되지만 이러한 특성을 지닌 연구는 실패 가능성이 높다는 특성을 가지고 있음
 - 고위험-고성과 연구의 분명한 특성은 과학 연구 자금 지원 기관이 해당 연구에 대한 위험을 효율적으로 평가하고 관리할 수 있도록 추가적인 평가 측정 기준이 요구될 필요성이 있음
- 미국 국립보건원(NIH)에서 정의한 고위험-고성과 연구는 잠재적으로 높은 영향력을 행사할 수 있는 아이디어로 구성된 연구를 의미하지만, 이는 다양한 분야에서의 매우 포괄적 범주의 내용을 의미함⁷⁾
 - 연구 결과가 사회·경제·문화적으로 충격을 줄 가능성이 매우 높지만, 너무 비모호하거나 다양한 분야에 걸쳐져 있거나, 피어리뷰를 할 수 없는 단계의 아이디어
 - 일반적인 전문가 집단의 피어리뷰에서는 비모호한 연구나 연구를 통해 달성하거나 하는 목적이 명확해야하지만, 고위험-고성과 연구는 이를

7) Packalen, M. and J. Bhattacharya (2018), Does the NIH Fund Edge Science?, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA. <https://www.nber.org/papers/w24860>.

명확하게 제시하지 않음

- 일반적으로는 프로젝트를 최단시간에 성공을 증명하기 피어리뷰 위한 압력을 받는 경향이 있어 단기적으로 성공확률이 매우 높은 프로젝트 들을 선정하는 경향이 있음
 - 연구가 명확한 확립되지 않아, 해결되는 문제를 확인하기 어렵고, 연구개발 결과물이 사회·경제·과학기술에 어떠한 영향력이 끼칠지 확인하기 어렵기 때문에 평가하기 어려움
 - 과거의 연구실적을 중시하는 전통적 평가기준은 연구자의 창의성 혁신성, 잠재성이 중시되는 고위험-고성과 연구의 평가에 적합하지 않은 측면이 있음
- 미국의 경쟁법(2007)에 의하면 고위험-고성과 연구를 기초기술 또는 과학 과업에 충족, 다학제적 활동, 혁신 고도화 등을 포함한 요건을 충족해야 한다고 정의⁸⁾
- 장기적 관점에서 광범위한 분야를 대상으로 유용한 연계성을 가진 결과를 창출할 수 있는 연구
 - 중대한 국가적 필요성에 초점이 맞추어진 연구
 - 참신성이 뛰어나거나 다학문적인 특성으로 일반적인 동료 평가 검토를 통한 심사 시 선정되기 어려운 연구

□ 고위험-고성과 연구의 유사개념

- 국가별 활용목적에 따라 고위험-고성과(HRHR)연구는 변혁적 연구, 고위험-불확실연구, 기초원천연구, 미래연구 등 다양한 개념을 사용하고 있으나, 개념적으로는 급진적 혁신(Redical Innovation)을 기반의 연구형태
- 유럽연합에서는 고위험-고성과 연구의 유사개념으로 프론티어 연구를 정의하고 있음
 - 새로운 지식의 창조와 개발을 리드하는 연구로 기반지식의 발견, 이론적

8) US Congress (2007), AMERICA COMPETES ACT, Public Law 110-69.
<https://www.congress.gov/110/plaws/publ69/PLAW-110publ69.pdf>

- 경험적 이해의 발전 일반적인 지식을 혁신적으로 발전시킬 연구
- 본질적으로 위험성을 내포한 연구로 새로운 연구분야의 개발을 위한 접근방법이 명확하지 않은 연구
 - 이론적 배경 개념적 접근 관련기술 및 연구방법론 등이 다른 다양한 분야를 효과적으로 연계할 수 있는 학제적(inter-disciplinary), 다학문적 범학문적 성격의 연구
- 영국에서는 High Potential, High-Impact Research 개념을 활용
- 모험적이고 도전적이며 위험도는 높지만 혁신적이며 창조적이고 급진적이며, 관습에 얽매이지 않는 혁명적 연구
- 핀란드는 고위험 연구의 개념을 포괄한 Breakthrough Research 연구를 다루고 있음
- High-Risk 'Research의 범위를 넘어 현저한 불확실성과 커다란 연구결과의 영향력과 잠재성을 내포한 혁신적 연구
- 고위험-고성과 연구와 가장 유사한 개념으로 변혁적 연구가 있는데, 변혁적 연구는 지식, 기술, 사회분야에서 잠재적 영향이 있도록 혁신 연구를 기반한 고위험-고성과 연구를 포괄함⁹⁾
- 고위험-고성과 연구에 대한 프로젝트의 초기 목표 성취 어려움에 대한 위험을 강조하는 반면 변혁적 연구는 성과 관점에서 이를 다루고 있음
 - 연구 증진보다 연구 성과 실패의 위험이 많은 과제에 근본적인 변화를 이끌 수 있는 연구(연구에 대한 위험)를 수행하는 것으로 정의

9) National Science Foundation (2007), Enhancing Support of Transformative Research at the National Science Foundation, National Science Foundation.
https://www.nsf.gov/nsb/documents/2007/tr_report.pdf.

<표 4> 변혁적 기술의 특징

구분	참석자
임무지향적	<ul style="list-style-type: none"> • 사회, 기술, 지속가능한 변화에 기여하기 위해서, 공통으로 잘 정의된 목표를 향해 집단이 정해진 시간 내에 달성하기 위해 도전 • 과학, 기술, 혁신을 활용해 잘 정의된 사회적 과제를 주어진 시간 내에 해결하기 위해 조율된 정책과 규제 방안의 조합기획사
High Risk - High Reward	<ul style="list-style-type: none"> • 시장적 인센티브가 충분하지 않지만, 과학연구 투자를 통해 대규모/긴시간적 파급효과를 창출하는 특성 • ERC 과학위원회가 평가한 ERC지원 연구성과 중 혁신적 성과를 창출한 기술 대부분이 High Risk-High Reward의 과제에서 창출
Multidiscipline	<ul style="list-style-type: none"> • 다양한 개인과, 그룹, 과거의 아이디어를 포함한 지적 원천, 혁신적/점진적 발전 경로를 통해 발생 • 학계 및 연구계의 오픈이노베이션시스템 간 정보교환을 촉진시키고, 혁신주체들과 혁신수요자간 신속한 소통을 통해 변혁적 혁신의 창출과 확산이 진행
새로운 관리시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 고위험 혁신 연구 장려를 위하여 기존 프로그램 재설계 관점이 아닌 새로운 접근법을 활용한 프로그램 기획 • 포트폴리오 접근 방식을 통해 리스크 관리와 더불어, 위험을 감수 할 수 있는 자금관리, 평가 패널 및 개별연구원에 대한 인센티브 방안 마련

○ 미국 국립과학재단(NSF)은 변혁적 연구에 대한 개념을 다루면서 고위험-고성과 연구의 특성을 보유하고 있으며, 해당 연구에 대한 높은 영향력을 필수적으로 수반하고 있다고 정의¹⁰⁾

- 변혁적 연구란 새로운 교육, 엔지니어링, 과학 분야에서의 혁신성을 이끄는 교육 활동이나 기존 과학 및 엔지니어링에 대해 근본적으로 변화될 수 있는 ‘아이디어’, ‘발견’, ‘방법들’을 포함하는 것으로 정의
- 변혁적 기술은 새로운 접근방법을 통해 과학/사회 등 분야의 패러다임

10) National Science Foundation (2007), Enhancing Support of Transformative Research at the National Science Foundation, National Science Foundation, https://www.nsf.gov/nsb/documents/2007/tr_report.pdf

전환을 이끌어낼 수 있는 기술을 의미

- (NSF) 주요 과학적, 공학적 개념 또는 교육활동에 대한 이해를 급진적으로 변화시키거나, 과학/공학/교육 분야의 새로운 패러다임이나 신영역을 창출시키는 아이디어나 발견 또는 도구를 대상으로 하는 기술
- (NIH) 참신한 접근방법을 통해 과학의 근본 패러다임을 창출 또는 뒤집거나 새로운 도구와 기술을 통해 연구수행방법을 전환시키거나, 고도로 혁신적인 치료법, 진단수단, 예방전략 개발을 통해 중대한 건강 개선 실현 잠재력을 가진 기술
- NSF는 변혁적 연구가 경제적 또는 사회적 영향력 보다 과학적 영향요소에 근본적으로 기반을 두어야 한다고 주장
- 기술 경제 분야에서 변혁적 기술과 기초 과제 또는 사회적 과제에서의 솔루션을 형성하여 패러다임 변화를 통한 사회 경제적 영향 요소 확대를 포함해야한다고 정의 함
- 주요 과학적, 공학적 개념 또는 교육활동에 대한 이해를 급진적으로 변화시키거나, 과학, 공학, 교육 분야의 새로운 패러다임이나 새로운 영역을 창출시키는 아이디어 발견 또는 도구를 대상으로 하는 연구

□ 유사개념과의 차이점

- 대부분 고위험-고성과 연구과 유사개념에서는 파괴적인 혁신을 가져오기 위한 연구로써, 사회·경제·과학기술 등의 패러다임을 변화시키는 연구로써, 높은 영향력 측면에서 공통적인 특징을 가지고 있음
- 반면 고위험-고성과와 유사개념의 차이는 고위험-고성과 연구에 대한 대부분의 논의가 상대적으로 고성과에 높은 비중을 두지 않고 고위험 부분에 집중
- 고위험 관점에서 연구위험의 특성이나 발생 가능성의 빈도에 대해 상당한 불확실성이 있기 때문에 고위험 연구의 범위적인 측면에서 접근이 많이 이루어지고 있음
- 고위험-고성과 연구와 고위험 연구의 의미는 의학 분야에서 인간의 건강에 영향을 미치는 위험 요소이기 때문에 이에 대해 분명하게 구분

짓는 것이 중요

- 또한 고위험-고성과 연구와 유사개념과의 다학제적 연구의 특성은 학제간 또는 통합문적인 연구와는 차이점이 있음
- 이러한 관점의 차이는 대부분 고위험-고성과 연구 및 유사연구가 정책적 관리 개념에서 연구성과적 측면에서 더 나은 목표로 두고, 경제, 사회, 재무적 차원에서의 다양한 연구개발 투자적 접근이 이루어지기 때문
- 연구 성과가 과학 성과물에 대한 출판, 인용, 특허, 경제 활동 및 가시적인 진행 사항으로 측정될 수 있는 요소로 간주하고 있어, 무성과, 저성과로 평가되는 지표를 개선하고 해당 연구에 대한 잠재적인 성과로 이해
- 다양한 연구적 성과는 해당 논문에 대한 높은 이해도를 바탕으로 시장성 영역에서의 기술 혁신 또는 양적인 연구적 접근방식의 성과보다 지속적인 문제 해결을 극복

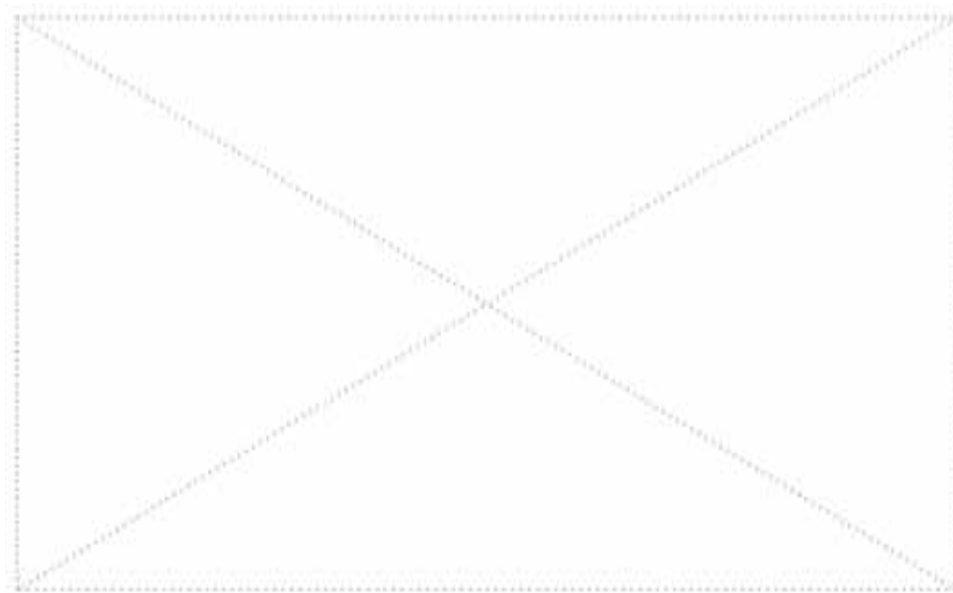
□ 연구의 범위

- 본 연구에서는 고위험-고성과와 유사개념, 유사특성을 가진 용어를 모두 포괄한 연구를 진행
- 고위험-고성과에 관한 명확한 정의가 없고 관련 용어 들이 모호하게 정의되고 있으며, 프로그램운영·예산 지원의 문서에서도 암시적으로 정의
- 고위험-고성과 연구는 다양한 위험 및 변혁적 요소는 넓은 범주까지 대체되어 정의 될 수 있음
- 이에 본 연구에서는 고위험-고성과 연구 뿐만 아니라, 고위험 연구, 고보상 연구, 변혁적 연구, 기초·원천 연구 등 다양한 용어를 포괄한 연구를 추진
- 본 연구의 고위험-고성과 연구는 다음의 4가지 목적을 위해 고려
- 과학기술 분야의 도전적 과제에 대한 솔루션 지원 및 이해 강화
- 혁신적 방법의 과학, 기술, 사회적 패러다임의 노력
- 연구의 참신성 고도화 포함
- 과학, 기술 또는 사회적 과제에 과제에 영향을 미치는 혁신 요소

2.2 고위험-고성과 연구의 특성

□ 고위험-고성과 연구의 범위

- R&D의 기대역할 제고와 투자 확대에도 혁신적 성과 창출 부족에 따라 2000년대 중반부터 고위험-고성과 연구에 관한 연구가 집중
 - 높은 실패위험에도 불구하고 일반 R&D에 비해 높은 성과 창출됨에 따라, 다양한 프로그램이 개발
 - ERC(European Research Council) 과학위원회가 평가한 ERC지원 연구 성과 중 19%가 혁신적 성과 창출에 기여하였는데, 대부분 고위험-고성과 과제들에서 창출¹¹⁾
 - ERC의 223개의 프로젝트 중 79%가 과학적 진보를 가져왔으며, 그중 19%가 근본적 혁신적 성과를 달성
 - 19%는 고위험-고보상 연구가 주를 이루고 있으며, 이에 따라 더 많은 위험을 감수해야한다는 정책적 시사점 도출



[그림 6] 유럽 주요 연구 예산 성과

11) European Research Council. (2018). Qualitative Evaluation of completed Projects funded by the European Research Council.
<https://erc.europa.eu/sites/default/files/document/file/2018-qualitative-evaluation-projects.pdf>

- NIH에서도 변혁적 연구의 주요 예산인 Common Fund에서 특히 생산성이 NIH 전체 특히 생산성에 비해 월등히 높은 것으로 조사¹²⁾

○ 다만, 각국은 고위험-고성과 연구의 관점과 활용 목적에 따라 범위가 달라 특성이 달리 정의되고 있으며, 각 연구에서 정의한 용어와 개념을 활용한 연구 추진

□ 고위험-고성과 연구성과물의 특징

○ 고위험-고성과 연구에서 특히 강조되는 고난이도의 특성을 지닌 연구는 기본성, 일반성, 참신성을 가짐

- 기본성(Basicness) : 구체적 적용 또는 사용 없이 사실에 기초한 현황 및 관찰에 대한 연구의 실험적 또는 이론적 발견
- 일반성(Generality) : 일반적인 발견은 광범위한 과학 분야에 적용 가능
- 참신성(Novelty) : 극도로 새로운 탐구(발견)은 최첨단 기술과 다른 차원의 잠재적인 도약을 나타냄

○ 기본성(Basicness) : 기초 연구는 가설, 이론 또는 법칙을 공식화하고 시험하기 위한 특성, 구조 및 관계성에 대해 기술하는 것으로 구성 함

- Frascati Manual에서 기초 연구는 특별한 적용이나 관점에서의 사용 없이 주로 현상과 관찰 가능한 사실의 기초에 대한 새로운 지식 획득을 위한 실험 또는 이론적 작업으로 정의¹³⁾
 - 예를들어 1900년과 1905년 양자역학에 대한 막스 플랑크 또는 알베르트 아인슈타인의 기여는 자연의 기본 이론을 더욱 확장시킨 지식 결과
 - 개인용 컴퓨터에 사용되는 트랜지스터나 CT스캔에 사용되는 레이저에서 활용되는 양자연구가 경제적 가치로 나타나데 수십 년이 걸렸고 응용 및 실험적 후속 연구에 대한 대규모 투자가 필요하였음¹⁴⁾

12) NIH(2017), Common Fund Patent Report,

13) OECD. (2015). Frascati Manual 2015: Guidelines for Collecting and Reporting Data on Research and Experimental Development, The Measurement of Scientific, Technological and Innov

- 기초 연구는 더 높은 수준의 위험을 갖는 경향이 있으며, 이는 시간과 높은 수준의 기술적 불확실성 및 과학자와 연구 자금 지원 기관 사이의 정보 비대칭성과 관련이 있음
- 주어진 연구 과정이 기초적일수록, 이러한 요소들은 더욱 강조되며, 기업들은 상업적 응용과는 동떨어진 연구에 투자할 인센티브가 제한적

○ 일반성(Generality) : 일반적인 발견은 많은 과학 분야에 적용될 수 있는 특징

- 고위험-고성과 연구가 기초·원천 연구의 결과이기 때문에, 이러한 요소는 다양한 분야에서 활용될 수 있음
 - 예를들어 전기장과 자기장이 전파되는 방식을 공식화하는 Maxwell의 방정식은 광학에서 행성 운동 또는 전자기학에 이르기까지 다양한 영역에서 적용할 수 있는 넓은 범위에 활용¹⁵⁾
- 일반화된 지식은 다양한 분야에서 후속적으로 활용될 수 있는 요소 및 발견을 촉진시킬 수 잠재력을 보유
 - 이에 따른 기업은 일반적으로 지식의 획득 하기 위한 전문영역 에서의 연구보다는 특정활동 분야에 중점적으로 연구하면서 여러영역으로 적용/확산

<표 5> 일반성 연구 사례

☑ 파스퇴르는 와인, 맥주, 식초의 생산에서 정상적 또는 비정상적 발효를 가져오는 특정한 미생물을 분리해내고 그것들이 무엇인지를 확인하였다. 와인, 맥주, 우유를 비교적 높은 온도로 몇 분 동안 가열하면, 유해한 미생물이 살균 되어 변질하지 않고, 예측된 발효과정이 일어난다는 것을 증명하였다. 음료 오염으로부터 미생물이 동물이나 인간에게 감염된다는 결론을 내린 파스퇴르는 미생물이 인체에 들어오는 것을 막아야 한다고 주장했고, 이는 스코틀랜드의 외과 의사 조제프 리스터가 외과 수술 소독법을 개발하는 데에 이르렀다.

14) Kakalios, J. (2010). The amazing story of quantum mechanics : a math-free exploration of the science that made our world. Gotham Books.

15) Nelson, R. (1959). The Simple Economics of Basic Scientific Research. Journal of Political Economy, 67(3), 297-306. doi:10.1086/258177

Lowther, D., & Freeman, E. (2008). The application of the research work of James Clerk Maxwell in electromagnetics to industrial frequency problems. Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences, 366(1871), 1807-20.

doi:10.1098/rsta.2007.2188

더불어 연구 결과는 단순히 식품의 발효 및 부패에 관한 것 뿐만 아니라 화학, 생물학, 면역학과 같은 여러 분야에 중요한 의미를 지닌 세균학의 현대 과학으로 확립하였다.

- ☑ 조지 해리슨 셸(George Harrison Shull)은 구체적인 적용을 염두에 두지 않고 자신의 학문적 호기심을 충족하기 위하여 옥수수 식물의 유전자 구성에 대한 연구를 수행했습니다. 그러나 그의 연구는 훨씬 더 높은 수확량을 가진 옥수수의 일종인 잡종 옥수수를 발견하게 되었습니다. 잡종 옥수수는 옥수수 산업을 근본적으로 변화시켰으며 기초 연구에서 비롯된 특정 상업적 응용이 가능하였다.
- ☑ 원자시계는 주파수 및 시간 표준에 크게 의존하는 글로벌 및 지역 항법 위성 시스템, TV 전송 또는 인터넷 애플리케이션과 같은 여러 분야에서 많은 과학 및 기술 발전을 이끌었다. 원자시계는 또한 전파천문학의 긴 기준선 간섭계와 같은 많은 과학 분야에서 사용¹⁶⁾되며 생명 공학 및 지질 조사에 점점 더 많이 응용되고 있다.¹⁷⁾

○ 참신성(Novelty) 참신한 발견은 최첨단 기술과 매우 다른 차원의 잠재적 도약을 나타내며, 지식의 영역을 크게 발전시키는 과학적 대응 요소를 의미함

- 참신성에 기반한 새로운 발견은 지식 차원에서의 파급효과가 크고 주요 패러다임 변화를 이끌 수 있는 잠재력을 가지고 있는 분야
 - 모든 R&D활동은 참신성을 보유하고 있으며, 모든 논문은 선행 기술에 대해 새로운 것으로 간주되는 내용이 포함된 경우에 출판이 허용
- 새로운 아이디어를 탐구하거나 새로운 접근법을 사용하는 연구는 사회 전반에 파급효과가 크지만 이러한 수준 높은 연구는 불확실성에 직면한다는 문제점도 안고 있으며, 연구자들이 검증도지 않은 과정을 탐구하는 위험을 감수해야 하므로 고난이도의 참신성을 추구하는 것은 이에 상응하는 불확실성을 포함
- 또한, 과학적 미숙함, 깨달음의 지연 또는 기존 패러다임 변화에 대한 저항으로 새로운 지식이 영향을 미치는 시간이 장기적으로 소요될 수 있

16) Mccarthy, D., & Seidelmann, P. (2009). TIME - From Earth Rotation to Atomic Physics. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Retrieved 10 27, 2017

17) Norton Quinn. (2007). How Super-Precise Atomic Clocks Will Change the World in a Decade WIRED. . <https://www.wired.com/2007/12/time-nist/?currentPage=2>

으나, 이러한 고 난이도의 참신성은 고위-고성과 연구의 본질과 밀접하게 관련되어 있음

- Arthur(2009)는 과학기술 역사관점에서 이미 존재하는 기술들이 서로 조합하여 새로운 기술이 창출하는 방식을 제안하였는데, Paul Romer & Ricardo Hausmann은 이와 같은 방식을 활용하여 경제 부문의 국가 경제발전 경로를 설명¹⁸⁾
- 더불어 기존의 지식을 새로운 방식으로 활용함으로써 새로운 결과를 생성한 발견도 존재하는데, Oncomouse는 암에 매우 취약하게 만드는 활성화된 종양 유전자를 보유하도록 유전자 변형을 한 쥐를 만들어 암 연구의 획기적인 방향을 마련¹⁹⁾

○ 캐나다는 고위험에 관한 연구를 지원하기 위하여 연구 기금 위원회(NFRF)를 설립하고 고위험 연구를 다음과 같은 특징이 있다고 정의

- 독특한 방법(아이디어) 제안
- 현 연구 패러다임에 도전
- 복잡하고 도전적인 이슈에 대한 이해 강화
- 기존 프로그램에 대한 해결을 위한 신규 접근법을 사용하여 다각적인 측면에서의 가능성 제시로 새로운 연구 제시
- 적합한 프레임워크, 방법 및 기술 향상

18) Arthur, W. (2009). The nature of technology: what it is and how it evolves. Free Press.

19) Arts, S., Appio, F., & Van Looy, B. (2013). Inventions shaping technological trajectories: do existing patent indicators provide a comprehensive picture? Scientometrics, 97(2), 397-419. doi:10.1007/s11192-013-1045-1

2.3 고위험-고성과 연구의 정부지원 근거

□ 정부지원의 필요성

- 고위험-고성과 연구는 높은 지식의 파급효과, 장기적 연구, 높은 불확실성이라는 특징으로 인하여 공공영역에서의 지원이 필수적임
- 고위험-고성과 연구의 높은 지식의 파급효과는 지식이 경쟁적이지 않으며, 부분적으로 배제가 불가능한 상황에서 파급효과가 나타남
 - 지식이 만들어지고 공유된 후에는 다른 사람들이 비용을 지불하지 않고도 지식을 배우고 사용할 수 있음
 - 기업이나 연구개발 주체가 지식을 만들어 수익을 얻는 방법이 제한적으로 이에 따른 성과가 낮아짐²⁰⁾
 - 고위험-고성과 연구의 결과물은 새로운 개념의 제안으로 인하여, 그 파급효과는 높은 반면 그 활용을 제약하는 것은 거의 불가능하여, 실제 연구개발을 투자한 주체가 성과를 독점하는 것이 불가능
 - 예를 들어, 어떠한 기업이 새로운 지식의 개념을 발견한다고 하여도 이러한 지식을 활용하는 것은 제한하지 못하며, 실제 상업적으로 이용하는 것은 이러한 지식을 바탕으로 한 서비스를 제공하는 기업인 경우가 높음
 - 지식을 공유하는 과정에서 효과가 감소되지 않고, 개인이 지식을 사용한다고 하더라도 다른 사람이 이를 막는 것은 불가능
 - 지식의 사용에 따른 증분비용이 0이며, 지식의 축적이 광범위하게 사용되더라도 효능이 감소되지 않을 뿐만 아니라 오히려 확대되는 경향을 보임²¹⁾
 - 연구를 통해 적절한 보상을 얻기위하여 지식을 공개하는 과정에서 오히려 보상가치를 약화시키는 문제가 발생

20) Arrow, K. (1962). Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention. In The rate and direction of inventive activity: Economic and social factors (pp. 609 - 626). Princeton University Press.

21) Stephan, P. (1996). The Economics of Science. Journal of Economic Literature, 34(3), 1199-1235. doi:10.2307/2729500

- 고위험-고성과 연구는 ‘수익’차원에서 과급효과가 밀접하게 연결
- 더불어 고위험-고성과 연구결과물은 높은 과급효과로 인하여, 선구 연구자의 연구결과물 보다는 후속 연구의 활용도와 과급력이 더욱 큰 상황이 발생
- 과급효과가 크면 클수록 연구그룹에서 선행적인 연구보다는 후속 연구에 집중할 가능성이 높음
- 또한 연구의 모든 이익을 전유하는 것은 더욱더 어려워지고 있음
- 이와 같은 효과로 인하여 과급효과가 큰 고위험-고성과에 대한 연구 투자를 회피하거나 전혀 투자하지 않은 결과를 초래할 가능성이 높음
- 공공지원의 부재는 고위험-고성과 연구의 시도 자체를 하지 않음

<표 6> 지식과급효과의 작동 예시(BLAST)

BLAST(basic local alignment search tool)는 DNA, RNA, 아미노산, 단백질 등의 서열을 입력하면 데이터베이스에서 유사한 서열을 찾아주고 비교할 수도 있는 프로그램이다. BLAST 프로그램은 2개 이상의 핵산(nucleic acid) 서열이나 아미노산 서열이 서로 얼마나 비슷한지 비교하는 용도로 사용한다. 또한 뉴클레오타이드(nucleotide) 서열이나 아미노산 서열이 서열 데이터베이스(sequence database)에 저장된 서열과 일치하는지 비교하고 통계적 유의성을 계산하는 용도로도 사용한다.

미국 국립보건원(National Institute of Health-NIH)의 스테픈 알츨(Stephen Altschul), 워렌 키쉬(Warren Gish), 웹 밀러(Webb Miller), 유진 마이어스(Eugene Meyers), 데이비드 립만(David Lipman)이 1990년에 분자생물학 저널(Journal of Molecular Biology)이라는 학술지에 발표한 것이 BLAST 프로그램의 시초이다. 이 논문은 1990년대 생명과학계에서 발표된 논문 중 최고 피인용도를 기록한 논문이라는 기록을 갖고 있기도 하다. 2020년 까지 68,000번 이상 피인용 되었다.

2020년 기준 스테픈 알츨(Stephen Altschul) 등이 게시한 기사에 포함된 지식을 활용하여 Du Pont, Novartis, Henkel과 같은 여러 경쟁 조직의 특허 출원에서 이미 7,000건 이상 인용하였다. 또한 이러한 인용 특허는 단일 응용 분야에 집중되어 있지 않고 인간과학, 화학, 심지어 물리학, 전자학에 이르기까지 8개의 서로 다른 CPC(Cooperative Patent Classifications) 섹션의 특허에서 인용되었다. 일반적으로 특정 분야를 전문으로 하는 단일 회사는 BLAST를 개발하여, 이렇게 다양한 영역에 적용할 수 없다.

- 고위험-고성과 연구는 장기연구의 특성으로 인하여, 실제 연구개발의 성과를 사용하는데 시간이 오래걸리고, 그 과정에서 기업이 실패하는 경우가 발생
 - 단기적으로 높은 영향을 미칠 가능성이 있는 고위험 연구를 수행하는 것은 불가능하지 않음
 - COVID-19 백신을 개발하기 위한 과학적 노력은 많은 연구개발 투자를 통해 고위험 연구를 수행하여 성과를 나타냄
 - 하지만 실제 연구개발이 활용 되는데 있어, 해당 연구뿐만 아니라 이를 극복하기 위한 타분야의 연구에서 혁신이 이루어질 때 그 한계점을 극복하는 경우가 발생
 - 예를들어 현재 코로나-19백신으로써 각광받고 있는 mRNA이 백신은 이미 30년전에 개념이 제안되었지만, 실제 상용화에는 한계점을 가지고 있다가, mRNA합성기술과, 지질나노입자 기반 체내전달 기술이 완성되고 나서야 실제 성과물로 활용 가능
 - 더불어 대부분의 연구가 수년간 연구가 이루어지다 갑자기 하루새 성공으로 성과가 나타남
 - 또한 개발된 성과물이 너무 획기적인 경우 사회에서의 저항/이해 측면과 경제적 측면 직면하여 새로운 솔루션을 적용하는데 기간도 오래 걸림
 - 인공 지능(AI)에서 널리 사용되는 신경망을 최적화하는 방법론은 1986년 David Rumelhart 등이 제안하였지만, 저렴하게 컴퓨터를 사용할 수 없었던 시대에서는 전혀 활용되지 않다가, 2000년대 후반 이후 인공지능 관심 증대와 컴퓨팅 기술의 발전으로 활용도 급격히 증가²²⁾
 - 저온전자현미경은 1970년대부터 개발이 진행되어 기초연구결과를 도출하였으나, 실제 상용화에 있어서는 긴 시간이 지나서 상용화 되었으며, 2017년이 돼서야 저자가 노벨 화학상을 수상²³⁾
- 높은 불확실성은 앞서 실제 프로젝트 추진되었을 때와 프로젝트가

22) Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., & Williams, R. J. (1985). Learning internal representations by error propagation. California Univ San Diego La Jolla Inst for Cognitive Science.

23) Chang, K. (2017). Nobel Prize in Chemistry Awarded for 3D Views of Life's Biological Machinery - The New York Times. The New York Times.
<https://www.nytimes.com/2017/10/04/science/nobel-prize-chemistry.html>

마감 될 때의 시점의 차이가 크고, 앞서 장기연구의 특성으로 인하여 불확실성이 높아 기업의 투자가 어려움

- 불확실성이 높을수록 기업은 투자할 이유를 확인하기 어려우며 공적자금이 없다면 위험이 큰 분야에 대한 투자는 거의 없을 것으로 판단
- 아이슈타인의 예측 검증한 레이저 간섭계 중력과 관측연구는 1975년부터 연구되어 성과를 거두기까지 40년이 걸려 2015년에 종료²⁴⁾
 - 중력과 발견은 노벨상을 수상하게 되었고 천체 물리학의 완전히 새로운 분야를 확장

□ 정부지원 필요성 요약

- 고위험-고성과 연구에는 과학 및 혁신에 대한 공적 자금 지원의 일반적인 근거는 일반적으로 고전적인 시장실패이론을 강력히 뒷받침
 - 위험성이 크기 때문에 정부의 지원이 없으면 기업이 투자할 준비가 되어 있지 않거나 투자 동기가 충분하지 않기 때문에 시장 실패에 취약한 활동이 제대로 제공되지 않음
 - 특히 일반적인 연구개발사업보다 위험성이 매우 크고, 장기적 투자가 이루어지는 특성으로 인하여 기업이 감당하는데 제약
- 고위험-고성과 연구의 특성상 R&D에 대한 투자 결과에 따라 기업에게 충분한 인센티브를 제공하지 않음
 - 고위험-고성과 연구의 특성은 큰 파급효과, 긴 시간적 효과 및 높은 불확실성이 포함되는데, 이러한 결과는 과학적 성과로써 의미가 있을 수 있지만, 기업에게는 큰 유인효과가 이루어지지 않음
 - 그럼에도 불구하고, 고위험-고성과 연구는 일반적인 R&D보다 과학적 성과가 더욱 강조됨
- 고위험-고성과 연구는 대중적 지원에 대한 정당성을 제공할 수 있는 특징을 가지고 있으며, 이러한 특성은 서로 다른 성격의 과학 및

24) Overbie Dennis. (2017). 2017 Nobel Prize in Physics Awarded to LIGO Black Hole Researchers - The New York Times. New York Times.
<https://www.nytimes.com/2017/10/03/science/nobel-prize-physics.html>

혁신 활동의 공적 자금 지원을 타당하게 만드는 요인

- 과학기술과 연구개발의 특성상 정부지원의 필요성이 있다는 특징은 일반적인 논리이지만, 고위험-고성과 연구에서는 이러한 특성이 특히 강조

국가 고위험·고성과 중장기 연구개발사업 추진 전략방향 수립 연구

제 3 장 현황분석

3. 국내·외 사례분석

3.1 미국

3.1.1 DARPA

□ 개요²⁵⁾

- (설립 배경) 1957년 구 소련의 스푸트니크 발사(스푸트니크 쇼크)를 계기로 1958년 2월 ARPA, 7월 NASA 설립(당시 대통령 : 아이젠하워)
 - * 명칭 변화 : ARPA(Advanced Research Projects Agency, 1958) → DARPA(1972)→ ARPA(1993) → DARPA(1996)
- (미션) 파괴적 혁신기술에 전략적 선제 투자로 적국으로부터의 기술적 충격은 방지하고 적국에 대한 기술적 충격은 창출
 - * to prevent strategic surprise from negatively affecting U.S. national security and create strategic surprise for U.S. adversaries
- (역할) “국가안보를 위한 혁신기술 투자에 중심역할”을 하는 국방 R&D 기획, 평가 및 관리 전문기관
 - * to make pivotal investments in breakthrough technologies for national security
 - * a funding agency : it has no laboratories or research staff of its own
- (인력) 약 220명<PM : 100명 (2022.9.28. 기준)>
- (예산) 41억 1,900만 달러(2023 요구예산)

25) <https://www.darpa.mil>

○ (프로그램 수) 약 250개

□ 사업운영 방식

○ DARPA의 사업공고는 BAA, RA, RFP, SBIR, STTR 등으로 구분

- 중소기업 지원 등 특수목적 외의 R&D지원에는 주로 BAA와 RA 방식 활용

<표 7> DARPA의 사업추진 방식

종류		목적
BAA	Broad Agency Announcement	기초 및 응용연구 지원 제안서들 간에 상이한 과학적·기술적 접근 예상 시 DARPA가 가장 많이 활용하는 사업추진 방식
RA	Research Announcemen	BAA와 유사. 지원수단 일부 차이(procurement 불가)
RFP	Request for Proposa	구체적인 시스템 또는 하드웨어 솔루션 개발
SBIR	Small Business Innovation Research	중소기업의 연방정부 지원 R&D 활동 참여기회 제공
STTR	Small Business Technology Transfer	중소기업과 연구기관 간 아이디어·기술 협력 촉진
기타	other DARPA-sponsored solicitations	

- BAA와 RA는 제안서들 간에 상이한 과학적·기술적 접근이 예상될 때 활용 (FAR 35.016)하며, 선정평가는 상대평가가 아닌 절대평가 실시
- * 구체적인 시스템이나 하드웨어 솔루션 개발이 주 목적인 RFP(Request For Proposal) 방식(FAR 15.0203)은 제안서 간 상대평가 실시

<표 8> BAA의 종류

종류	목적
Program-specific BAA	<ul style="list-style-type: none"> • 특정 프로그램에 대한 수행자 공모를 위한 공고 • 공통의 과업지시서(common statement of work)가 아닌 공통의 문제·이슈(common problem or issue) 제시, 이를 해결할 제안서 요청
Office-wide BAA	<ul style="list-style-type: none"> • Technical Office 또는 DARPA 차원의 R&D 지원에 대한 수행자 공모 • 기술실 또는 기관 차원의 미션을 지원하기 위한 제안서를 요청. 프로그램 발굴을 위한 소규모 탐색연구(seedling)에도 많이 활용

□ 사업운영방향 및 전략

- DARPA의 경영철학은 민첩하고 유연하며 비정형적인 ‘발상 → 제안 → 토론→ 결정 → 수정’의 사이클을 추구하며, 이는 기획과정에도 그대로 적용
- DARPA-hard niche라는 분명한 초점을 지향하고 있고, 군사기술 전문성이 집중된 작고 플랫폼 조직이라는 특성으로 인해 이러한 시스템이 매우 효과적으로 작동하고 있는 것으로 알려짐

단계	주요내용	담당
프로그램 기획	<ul style="list-style-type: none"> 아이디어 발굴 : 국방부 수요, RFI, 워크숍, Seeding, 현장방문, DARPA Challenge 등 프로그램 초안 도출 및 관련부서 협의 Tech, Council 자문 프로그램 확정 	<ul style="list-style-type: none"> PM PM, 관련 부서 Tech. Council 국장
광고·소통	<ul style="list-style-type: none"> BAA(안) 작성 BAA(안) 검토 BAA(안) 승인/BAA 게시 Proposers Day 개최 Open Discourse(접수 전 잠재적 제안자와 소통) 	<ul style="list-style-type: none"> PM PM, CO, GC CMO실장/CO PM PM
평가(SR)	<ul style="list-style-type: none"> 평가팀(Scientific Review team)구성 평가팀 키프회의 개최 예비제안서(Preproposal) 적합성 검토/결과 통보 예비제안서 평가/결과 통보 제안서접수(1차, 최종)/Restricted interaction(제안자 소통) 적합성 검토/결과 통보 평가(Scientific Review) 	<ul style="list-style-type: none"> PM PM, CO, GE CO/CO 평가팀/PM 접수처/CO CO/CO 평가팀
선정·협약	<ul style="list-style-type: none"> 평가결과 취합 및 PM 검토 리뷰어 재협의(평가결과 미동의 시) 및 선정(안) 추천 SRO 검토 및 승인(Concurrence) 여부 판단 결과 통보(선정 또는 탈락/부분선정) 지원수단 및 지원조건 협상 Informal Feedback Session 개최 분기별 평가과정 점검(평가패키지 무작위 선택) 	<ul style="list-style-type: none"> PM PM SRO PM/CO CO PM 부국장
Go/No-Go 평가	<ul style="list-style-type: none"> 매월 재무 및 기술리포트 제출 매월 진도점검회의 프로그램단위 통합 점검회의 Go/No-Go Review : 다음 단계(phase) 지원 여부 결정 	<ul style="list-style-type: none"> 수행기관→PM PM PM, 실장 PM, 지도부

[그림 7] DARPA의 BAA 방식 단계별 주요 내용

- DARPA가 지원하는 각 프로그램 예산 범위는 상이하나, 단계적 지원이라는 공통점을 가지고 있음

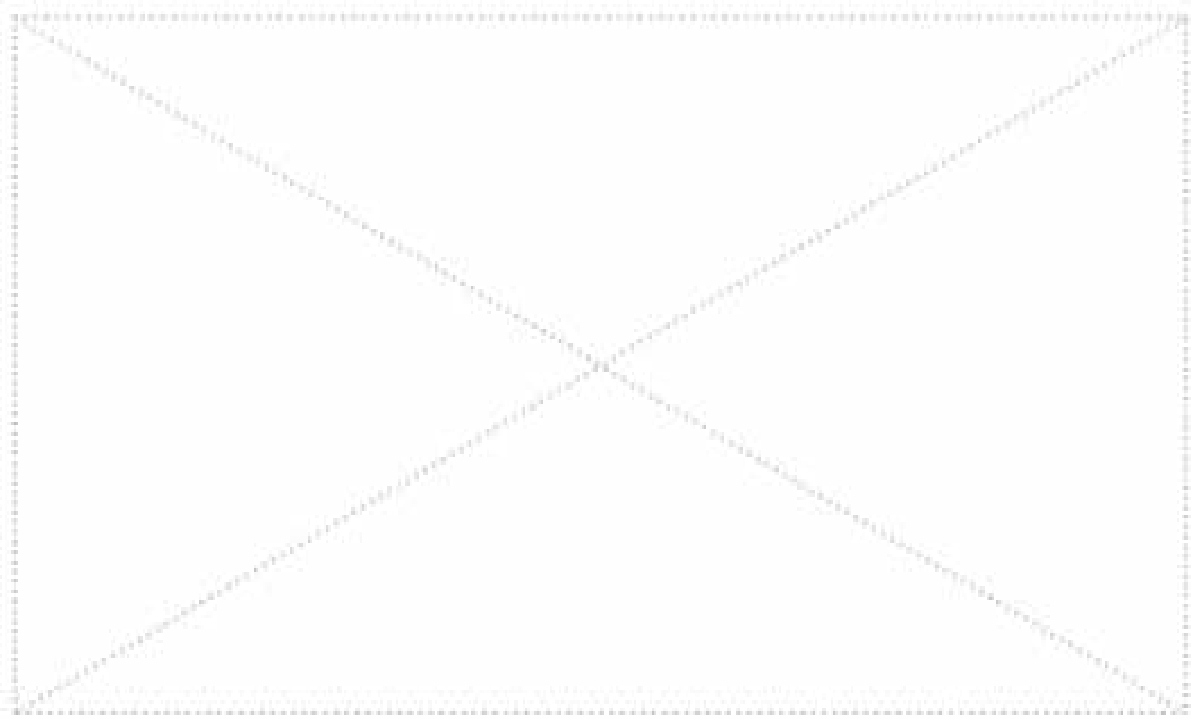
<표 9> DARPA 주요 프로그램 현황

Advanced Plant Technologies(APT)	
목적	<ul style="list-style-type: none"> 차세대 영구 지반(ground-based) 센서로 활용 가능한 식물 개발
기간	<ul style="list-style-type: none"> 2018년 시작 예상. Phase1(6개월), Phase2(18개월), Phase3(24개월)
예산	<ul style="list-style-type: none"> 4년, 30~70백만 달러(예상)
개발내용	<ul style="list-style-type: none"> 위험탐지 : 화학, 방사능, 핵, 폭발물 등 식물에 내재된 메커니즘을 활용한 위험 탐지 및 감시 센서 개발 기존의 육·해·공·우주에 있는 감시체계를 통해 모니터링 가능한 형태(Phenotype)로 송신 실제 자연환경에서 서식할 수 있어야 함
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> 넓은 지역에서 저비용으로 분포가능(유지·관리비용 無) 분쟁지역 투입을 통한 인도주의적 활동 가능
Agile Teams (A-Teams)	
목적	<ul style="list-style-type: none"> 인간-기계 결합형 부대(팀)개발
기간	<ul style="list-style-type: none"> 2017년 말 시작, 4-Phase(Phase 당 12개월 씩)
예산	<ul style="list-style-type: none"> 총 예산 22백만 달러(수행기관 나와 있지 않음)
개발내용	<ul style="list-style-type: none"> 인간-지능형 기계의 최적화된 결합을 가능하게 하는 수치(프레임,알고리즘) 개발
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> 전투 지역에서의 불확실한 환경, 유동적 팀 구조 등에 대한 상황 판단 의사결정 능력 및 속도 향상 인간-기계 협업을 다루는 기타 DARPA 프로그램에도 적용 가능
Soldier Centric Imaging via Computational Cameras (SCENICC)	
목적	<ul style="list-style-type: none"> 군인용 시각 보조 장치(SCENICC) 개발
기간	<ul style="list-style-type: none"> 2011년부터 시작하여, 2014년 시제품 완성
예산	<ul style="list-style-type: none"> 2011년 5개 연구진(대학 및 기업)에 5백만 달러 지원 전체 예산은 40백만 달러
개발내용	<ul style="list-style-type: none"> 위험 감지 : 360°, 수 km밖 물체 탐지를 통한 3D 비전 제공 (총구, 발사체추적, 대상 라벨링 등 정보 제공)

	<ul style="list-style-type: none"> • 임무 수행 : 임무 데이터 오버레이, 비이미지 정보 해석 포함 • 접안렌즈용 형태 • 핸즈프리 : 대상 초점·확대 조절 및 무기 조준 가능
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> • 군인 생존능력 향상 지원
Deep Exploration and Filtering of Text (DEFT)	
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 다양한 자연어(natural language) 기반 자료의 통합 필터링 기술 개발
기간	<ul style="list-style-type: none"> • 2012년 시작. 3-Phase(Phase 당 18개월)
예산	<ul style="list-style-type: none"> • 공고당시 미정(이 경우, 제안서의 수준에 따라 결정)
개발내용	<ul style="list-style-type: none"> • 비구조화 된 텍스트로부터 명시적 및 암시적 정보 식별 • DARPA의 타 부서에서 개발된 자연어 처리 프로그램 기반으로 추론·인과관계 이해·이형탐지 등이 가능한 처리프로그램으로 개발 (자연어를 구조화된 텍스트로 변환)
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> • 대규모 데이터 처리를 통한 국방부 분석가 업무 지원 • 분석을 통한 위기상황의 예측·분석
Explainable Artificial Intelligence (XAI)	
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 설명가능 인공지능(XAI)의 개발
기간	<ul style="list-style-type: none"> • 2017년 시작. 1Phase(18개월), 2Phase(32개월)
예산	<ul style="list-style-type: none"> • 12개 프로젝트, 총 75백만 달러 지원(약 800억원)
개발내용	<ul style="list-style-type: none"> • AI의 의사결정과정에 대한 근거자료를 제시할 수 있는 인공지능 개발 • AI의 의사 결정에 대한 신뢰도 향상
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> • 의료·법률·금융·국방 등 투명성 및 정확성이 필요한 분야 활용
Airborne Launch Assist Space Access (ALASA)	
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 저비용 소형위성 발사장치 (ALASA)
기간	<ul style="list-style-type: none"> • 2012년부터 진행 중
예산	<ul style="list-style-type: none"> • 전체 총 예산은 164백만 달러 • Phase 1에는 총 3개의 기업(보잉 포함) 참여 • Boeing은 현재까지 45백만 달러 수혜, • 기타 기업은 각각 1.9백만과, 2.3백만 수혜 (연구 종료)
개발내용	<ul style="list-style-type: none"> • 위성 당 1백만 달러 미만의 저비용 소형 위성 발사 장치 개발 • 전투기 내에 탑재 후, 지구 궤도에 도달 시 자동 분리되어 인공 위성만 원하는 궤도로 도달
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> • 인공위성 발사에 드는 시간·공간·예산 등의 비용 절감
비고	<ul style="list-style-type: none"> • 현재 Phase 1 완료, Boeing만 Phase 2로 진출하여 다음 연구 수행(2017)

○ 경쟁형 R&D 도입·운영

- 美 DARPA는 R&D 성과 극대화를 위해 경쟁 R&D를 도입 운영
- 수행 프로젝트의 경쟁촉진을 통한 성과 극대화를 위해 매년 평균 20% 규모 중간 탈락 제도 시행, 최종 10% 정도가 성공적 결과 창출



[그림 8] DARPA의 Project pool 관리방식

○ 고위험·대형과제의 경우 성공 가능성을 높이기 위해 동일 주제에 대해 경쟁 촉진을 통해 토너먼트형 R&D 제도 시행

- 정부의 개발전략에 민간의 창의적 아이디어를 수렴하기 위해 목표만 제시하는 품목지정 과제 공고
- 수행기관들은 과제 목표를 달성하기 위한 각각 다른 방식 제안
- 각 단계 종료 시 평가를 통해 R&D 성공 가능성이 있는 기관만 계속 지원
- 1단계는 제안기술의 타당성 검토(소액)→ 2단계는 설계(중간 금액)→ 3단계는 시제품 개발 및 테스트(큰 금액)

* 단, DARPA도 목표(스펙 제시)와 개발 방법이 분명한 기술 개발은 예산 낭비가 될 수 있어 경쟁방식이 아닌 지정공모 형태로 추진

□ DARPA의 혁신 요소와 각 요소별 상호작용²⁶⁾

- DARPA는 연구문화 형성 및 상호작용을 통한 혁신 추구
 - (1단계) 연구과정-제도-행위자 간 선순환적인 상호작용을 통해 다양한 연구문화 형성
 - (2단계) 연구문화 간 유기적 상호작용을 통해 혁신시스템 구축
- (도전성-개방성-수월성) 도전성, 개방성 연구문화는 수월성을 가진 전문가들이 각종 제약 없이 DARPA 프로그램에 PM이나 연구원으로 참여하여 난제 해결에 집중할 수 있도록 유도
 - 창출된 우수성과는 조직의 역량으로 누적되어 최고 전문가들에게 DARPA 프로그램 참여에 대한 자부심을 제공하는 선순환 구조 형성
- (도전성-독립성-민첩성) DARPA와 PM은 변혁적 연구 성과 창출을 위해 과제 선정·운영에 대한 자율성과 독립성을 갖고 있으며, 조직의 신속한 변화와 적응의 기반으로 작용
 - 유연성과 민첩성은 연구자원 활용을 최적화하여 변혁적 성과 창출을 촉진하는 선순환 구조 형성으로 연계
- (민첩성-개방성-수월성) 제한된 PM의 임기 및 프로그램 지원 기간은 민첩한 조직 문화를 형성하고, 유연한 환경에서 새로운 아이디어와 전문가 확보를 위한 개방적 문화 형성 촉진
- (부정적 상호작용) 연구문화 간 상호작용은 환경에 따라 부정적인 영향이 발생하는 경우도 존재
 - (기술이전) 혁신적인 파괴적 기술개발을 지향하는 DARPA의 임무 자체가 기술이전 장벽의 하나로 작용하여 기술이전의 효율성 저해
 - 새로운 혁신은 항상 기존의 제도·체제의 저항에 직면*
 - 기성 조직이 갖기 쉬운 위험 회피와 혁신에 대한 저항은 연구개발 과정에서의 충분한 기술성숙(maturation) 및 실증(demonstration)으로

26) 한국산업기술진흥원(2019). DARPA와 알키미스트 프로젝트 혁신모델 비교·분석. KIAT 이슈페이퍼 2019-14

극복 가능

- (기술 중심의 상향식 기획) 과제 자체가 잠재적 수요자가 될 수 있는 특정 군조직의 임무와 명확하게 일치하지 않을 수 있으며, 경우에 따라 최종고객이 불분명한 경우 발생

<표 10> DARPA의 혁신 요소별 세부내용

Ⅰ 도전성	
임무	<ul style="list-style-type: none"> • 과학기술 지식의 진보를 통해 새로운 기회를 창출하거나, 현실의 문제를 해결할 수 있는 변혁적 기술개발을 미션으로 추구 • 예) 새로운 기회 창출: 스텔스 기술, 현실 문제 해결: GPS 기술 • 변혁적 기술혁신에는 성공 시 큰 파급효과를 가져올 수 있으나 실패의 위험도 높은 특징 존재
제도	<ul style="list-style-type: none"> • 의회 주도하에 채용, 인사, 구매, 계약 등에 관한 지원제도 구축 • 지리적·환경적 제약에 관계없이 다양한 전문가들이 DARPA 프로그램에 PM 및 외부 연구진으로 참여할 수 있는 기반 마련
연구과정	<ul style="list-style-type: none"> • PM은 아이디어 발굴, 기획 및 선정 과정에서 도전성을 지속적으로 질문하며, 고위험-고수익 연구 중심의 투자 추진 • 실패 위험이 높거나 성공 가능성이 크지 않은 연구에 대한 과감한 투자인 DARPA의 임무를 반영
행위자	<ul style="list-style-type: none"> • DARPA가 해결하지 못하면 문제가 심각해진다는 인식을 바탕으로 우수한 연구자가 자발적으로 프로그램에 참여하여 연구에 집중할 수 있도록 동기 부여 • 과학을 활용하지 않으면 해결될 수 없는 충분히 도전적인 문제 취급 • 바로 활용할 수 있는 긴급한 기술 수요 존재 • 기존에 시도되지 않은 아이디어를 기반으로 최첨단의 기술혁신 추구

문화	<ul style="list-style-type: none"> • 분명한 임무의 설정과 연구과정-행위자-제도의 상호작용은 도전적인 문화의 형성으로 연계 • 위험을 적극적으로 감수하면서, 실패를 혁신적인 R&D를 위한 잠재적 비용으로 인식하고 긍정적으로 용인 • DARPA의 고위험-고수익 도전적 연구문화는 현재까지 다양한 실패사례 산출 • 텔레파시와 염력 등 초자연적 현상을 원거리 도청에 활용하기 위한 연구개발 추진, 베트남의 정글에서 활용할 수 있는 운송용 로봇 코끼리 개발, '11년 발사 9분만에 폭발된 극소음속 비행체 등 • 많은 기술 자체가 새로운 시도였기 때문에 완벽한 목표달성에는 실패하더라도 도전하는 과정의 일부로 인식
② 독립성 및 자율성	
제도	군으로부터 명백하게 분리되어 있는 독립적인 R&D 기관 체제 공식적인 군사적 수요나 특수 역할에 한정되지 않는 연구개발 지원
연구과정	프로그램 전 주기에서 PM이 주요 의사결정 및 자원배분 권한을 갖는 개인 중심 의사결정 체계 유지
행위자	PM은 최고의 기술적 통찰력과 프로젝트 관련 지식을 보유하고 있으며, 성과창출 역량이 증명된 전문가이기 때문에 대내외적인 신뢰 확보 PM에 대한 신뢰는 DARPA의 독립성 유지, 최고 인재의 영입, 개인 중심 의사결정 시스템을 추구할 수 있는 핵심요소로 작용
문화	조직차원의 독립과 신뢰를 기반으로 하는 의사결정 체계와 요소 간 상호작용은 자율적인 문화 형성으로 연계 PM의 전문성과 판단을 존중하고 프로그램 설계·운영에 대해 폭넓은 자율성 인정
③ 수월성	
임무	DARPA의 미션은 임무를 수행하는 데 매력적인 환경 제공 국가에 대한 봉사, 오랜 역사를 가진 엘리트 조직에서 일한다는 명예, 새로운 것을 추구하는 기회
제도	PM은 3~5년의 제한된 임기직으로 채용 끊임없는 새로운 PM의 유입은 신선한 사고와 새로운 관점의 아이디어 발굴, 현실적인 성과 창출을 위한 전문가의 공급을 촉진 과업 성취 기간의 제한성, 시급성의 지속적인 인식을 위해 PM의 이름표에 임기 표기

연구과정	과제 선정 시 3~5년 사이에 타당성을 확인할 수 있는 아이디어에 집중 투자 PM은 새로운 아이디어의 가능성이 불분명할 경우 신속하게 종결하고 연구비를 새로운 프로젝트나 잠재력 있는 기존 프로젝트에 재배분
행위자	오랜 기간 높은 위상을 유지하고 있는 DARPA에서 PM으로 근무하는 것이 전문가로서 큰 명예로 인식 향후 경력에도 유리하게 작용하여 수월성과 도전성을 보유한 연구자들에게 높은 참여 동기를 부여
문화	수행 기간과 임기를 명확하게 정함으로써, 다양한 분야, 배경을 보유한 우수 인재들이 적극적으로 참여하여 연구에 몰입하는 수월성 유지 문화 형성
④ 개방성	
임무	<ul style="list-style-type: none"> • 해결해야 하는 문제의 강도, 요구되는 집중력, 한정적인 시간은 도전성을 추구하는 최고 수준의 인재를 모으는 요인으로 작용 • 이러한 도전성은 통상적이지 않은 수준의 긴밀한 협력이 필요 • 최고 수준의 인재들이 다른 우수한 인재들과 함께 협력하며 중요한 문제해결에 도전할 수 있도록 유도
제도	<ul style="list-style-type: none"> • 의회는 국방부와 의 협력에 소극적인 우수 전문가나 기관의 참여를 위해 계약 및 채용에 대한 특별 권한을 DARPA에 부여 • 외부 전문가 및 벤처기업과의 협력관계 구축을 위해 간략한 비밀유지 계약서를 활용하는 등 상당히 유연한 권한 활용 가능
연구과정	<ul style="list-style-type: none"> • PM이 직접 연구를 수행하거나 연구실을 운영하지 않고, 발굴된 아이디어의 구체화를 위해 외부 기관과 계약하여 연구개발 추진
행위자	<ul style="list-style-type: none"> • PM은 다양한 조직 출신으로 구성되며, 프로그램 기획 및 수행과정에서 관련된 외부 커뮤니티와 활발한 커뮤니케이션 추진
문화	<ul style="list-style-type: none"> • 연구기획·관리 기능에 전문성을 두어, '외부 역량'을 바탕으로 '내부 혁신'을 구축하는 개방적 연구문화 형성으로 연계
⑤ 유연성 및 민첩성	
제도	<ul style="list-style-type: none"> • 작고 수평적인 조직구조를 기반으로 주요 의사결정이나 집행을 지연시킬 수 있는 내부 프로세스 및 규정 최소화 • 기존 이슈에 매몰되는 비효율을 피하고, 새로운 혁신을 위해 조직이 빠른 시간 내에 유연하게 재적응할 수 있도록 유도

연구과정	<ul style="list-style-type: none"> DARPA 프로그램은 일정 기한이 정해져 있으며, 잠재적 성과가 지속적 투자를 정당화하지 못하는 경우 마일스톤 기반 평가를 통해 프로그램 종료 PM의 임기와 프로그램 기한을 한정하여 단기간에 수요를 충족하고 과학적 도전에 대응해야 한다는 ‘긴급함(urgency)’ 유발
행위자	<ul style="list-style-type: none"> 프로젝트 수행 과정 새로운 장애가 발생했을 경우 빠르게 참여 연구진 변경 접근 가능한 다양한 인력 pool을 활용하여 최고의 연구팀을 지속적으로 구성하고 유지
문화	<ul style="list-style-type: none"> 다른 연구조직보다 신속하고 효율적으로 프로그램 및 연구진 포트폴리오를 변경할 수 있는 유연하고 민첩한 연구문화를 구축

□ 프로그램 운영방향

○ DARPA는 경이적인 성과와 ‘DARPA Model’로 불리는 독특한 운영 방식으로 R&D 혁신을 추진하는 국가들의 이목을 집중

* DARPA(Defence Advanced Research Projects Agency) : 미 국방부 산하 R&D 기획·평가·관리 전담기관

- 에너지부, 국토안보부, 교육부, 국가정보국장실(ODNI) 등 미국의 다수 부처에서 DARPA를 벤치마킹한 R&D 기획평가관리기관을 설립하였고, 프랑스의 마크롱 대통령도 DARPA같은 기관을 EU에 설치할 것을 주장

○ DARPA는 설립 이후 컴퓨터 과학, 통신, 소재과학 등 중요분야에서 혁신적인 과학기술 및 산업적 성과 창출

- 정밀유도 미사일, 스텔스 기술, 무인항공기, 적외선 감지기술 등 국방역량의 획기적 발전을 촉진한 과학기술적 결과 산출
- 연구개발 프로젝트 성과는 인터넷, GPS, 자동음성인식 등 주요 상용제품 개발로 이어져 산업발전에 기여

○ DARPA는 점증적 발전보다 변혁적 변화(transformative change)를 유발할 수 있는 연구개발 투자 추구

- 고위험 고수익(high-risk high reward) 연구개발이나 혁명적

(revolutionary) 연구개발을 언급할 때 자주 사용되는 용어로, ① 기존의 중요한 과학적, 공학적 개념에 대한 우리의 이해를 급진적으로 바꿀 수 있는 잠재력을 가지거나, ② 새로운 과학·공학 영역이나 패러다임을 창출해 낼 수 있는 아이디어에 대한 연구개발을 의미(National Science Board, 2007)

- 변혁적 연구 과정에서 다양한 실패가 발생하기도 하지만, ‘DARPA Model’의 독특한 운영방식으로 ‘혁신’의 상징적 조직으로 인식
 - * R&D 혁신을 추진하는 다양한 국가와 기관들의 벤치마킹 대상으로 부각
 - * 미국 에너지부 산하의 ARPA-E(the Advanced Research Projects Agency-Energy) 등 미국 내 다른 연방기관에서의 고위험 고수익 연구를 위한 모델로도 활용

□ 주요 성과 및 사례

- DARPA 성과들은 많은 실패를 바탕으로 창출된 것이 중요한 부분
 - 프로그램 수행방식 자체가 다수 연구진에 의한 다양한 방법을 경쟁적으로 시험하는 방식으로 중단되는 사례들이 다수 발생
 - 이와 같이 중단되는 과제들은 문제탐색과 연구과정의 일환으로서의 기여도를 갖음
 - 자율주행 차량개발을 위한 Grand Challenge가 사례 중 하나
 - 2004년 첫 번째 대회는 미국 모히비 사막 내 150마일(240km) 경로 주파가 목표였으나 100개 이상 연구팀 중 경로주파를 완료하지 못해 비판을 받았지만 2005년 5개 팀이 132마일(212km)를 완주하여 자율주행차의 가능성을 제시
- 변혁적 혁신을 목표로 하여 프로그램 평가에 제한적 특징
 - 고위험·고수익 연구를 지향하는 DARPA의 역할을 반영하여 프로그램에 대한 통상적인 동료평가 및 정량평가 부재
 - 도전하고자 하는 기술분야는 현재 산업·기술에 적용하기 힘들거나 현재 지표로 평가하기 어려워 기존의 방식으로 평가하기 힘들

○ DARPA 시스템을 통해 개발된 다양한 기술적 성과들은 기존의 발생되지 않는 기술적 위협을 예방하는 데 활용

- 산업적 다양한 파급경로가 존재하여 사회경제적 효과를 엄밀히 추정하기에는 불가능
- 다양한 산업 분야에 확산되어 혁신을 이루고 상호연계되어 DARPA 시스템 목적해결 뿐만 아니라 새로운 혁신을 창출
- 즉, 국방 분야에서 활용될 뿐만 아니라 민간에도 많은 신규 제품 및 서비스 창출에 활용

<표 11> DARPA 주요 성과 및 사업화 사례

번호	DARPA 과제	필요성	사업화사례
1	ARPANET(1962)	핵 공격으로 인한 통신망 손상을 대비한 분산형 통신시스템	INTERNET (1973)
2	TRANSIT/NAVSAT(1964) Global Positioning System (1973)	위성신호를 기반으로 한 지구상 물체 위치 파악 장치	GPS (1994)
3	Aspen Movie Map(1979)	낮선 지역에서의 군 작전 수행에 필요한 지리정보	Google Maps
4	CALO(Cognitive Assistant that Learns and Organizes)(2003)	병사들의 정보습득을 위한 보조용 무인 의사소통 기술	Siri (2007)

3.1.2 ARPA-E

□ 개요

- (설립배경) 2005년 미국의회는 GPS, 스텔스 전투기, 컴퓨터 네트워킹 등을 성공적으로 개발한 DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency)를 모델로 하여 DOE(Department of Energy)에 ARPA-E(Advanced Research Projects Agency-Energy)를 설립할 것을 권고
 - 2007년 'The America Competes Act'에 의거하여 공식 설립된 ARPA-E는 석유소비 세계 1위 국가 미국의 외국산 에너지의 수입을 10년 동안 20%까지 감소시키기 위한 '파괴적이고 혁신적 (Disruptive & Innovative)'인 에너지기술과 정책 개발을 목적으로 추진
 - 해외 에너지 수입 의존을 줄일 수 있는 기술, 온실가스 배출을 감축 기술, 에너지효율 향상기술, 미국의 리더십을 유지하는 첨단 에너지 기술개발 등 변환적 에너지 기술(Transformational Energy Technologies) 개발을 임무로 추진
- (미션) ARPA-E는 에너지 기술 개발의 통해 미국의 경제 및 에너지 안보와 기술적 주도권을 유지하는데 목표가 있음
 - ① 미국의 경제 및 에너지 안보를 강화하기 위해 다음과 같은 에너지 기술을 개발
 - 해외로부터의 에너지 수입 감소
 - 에너지 효율성 개선
 - 온실가스를 포함한 에너지 관련 배출 저감
 - 방사성 폐기물, 사용 후 핵연료의 관리/정화/처리에 대한 개선
 - 에너지 인프라의 탄력성, 신뢰성 및 보안의 개선
 - ② 미국의 기술 주도권 유지를 위한 첨단 에너지 기술의 개발 및 보급
- (예산) 2009년 ARPA-E의 초기 4억 달러 예산에서 지속적으로 증

가하여 현재 기준(2022년) 요구예산은 5억 달러까지 증가

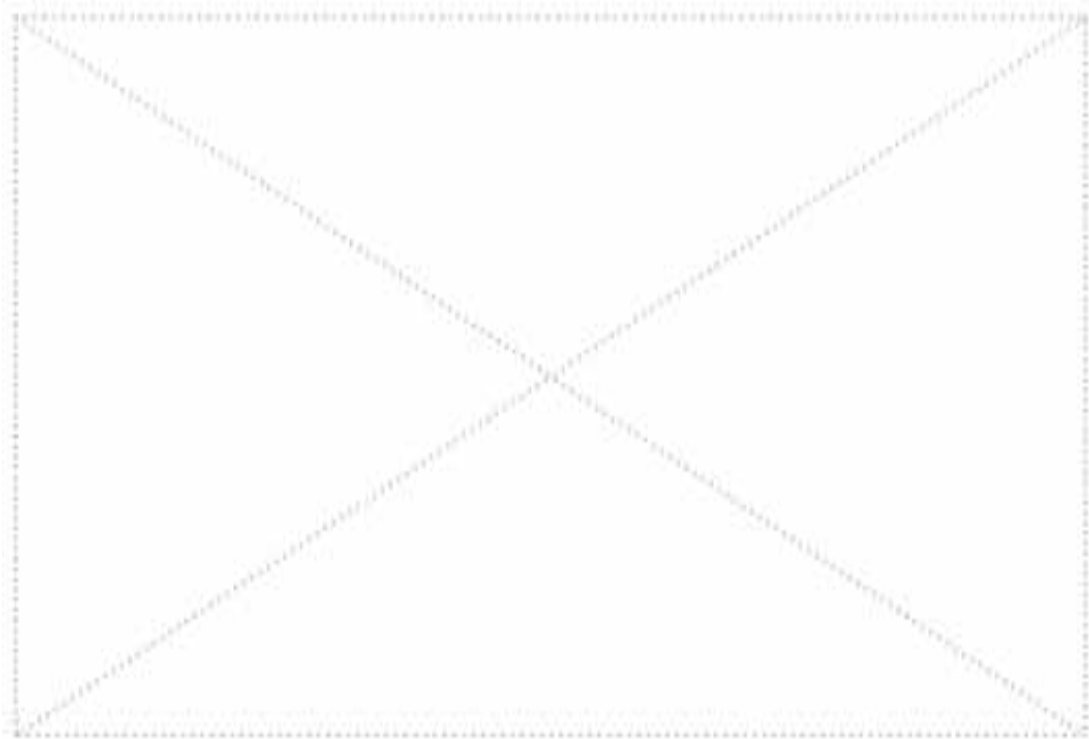
- 혁신적인 에너지 기술개발에 대한 투자를 지속적으로 증가시키고 있는 추세
- (조직) ARPA-E의 조직은 Program Directors, Fellow, Technology-to-Market Team, Legal Team, 그리고 Budget & Strategic Outreach로 구성
 - 15명의 PD(Program Directors)는 하나 또는 그 이상의 에너지 기술 분야 리더로서 적절한 기술 및 시장 분석을 통해 프로그램 개념을 정립하고 FOA 개발, 평가 등 프로그램 개발의 모든 단계를 리드
 - 또한, PD는 Technical Milestones, 지적재산권, 상용화 전략 등 PD의 프로그램 내에 있는 모든 프로젝트 관리를 담당
 - 2년 임기의 Fellows는 전문가들과의 브레인 스토밍, 기술적·경제적 분석 등을 통해 혁신적 에너지 기술개발을 돕고 PD와 함께 신규 프로그램 기획 및 개발을 지원하며 진행 중인 프로젝트들을 지원
 - Technology-to-Market팀은 ARPA-E 총책임자, PD, 그리고 Advisors로 구성
 - Advisors는 Financial Analysis, Business Development/Technical Marketing, Supply Chains과 같은 분야의 전문적 지식을 가지고 기술 실용화 조기 달성을 위해 R&D 프로그램 개발 및 수행을 지원

□ 사업운영방식

- 개념증명과 기술개발 등 2가지 범주의 프로젝트를 지원
 - 개념 증명 : 새로운 기술 개념을 증명하거나 반증하기 위한 첫 번째 예비 데이터를 제공하기 위한 프로젝트
 - 비용은 100만 달러 미만이며 기간은 6-18개월로 제한
 - 기술 개발 : 아이디어에서 합의된 사양에서 작동하는 실험실 규모의 프로토타입에 이르기까지 기술을 개발하기 위한 프로젝트
 - 기간은 일반적으로 36개월이며 비용은 200만~1000만 달러

○ ARPA-E 프로그램은 3가지 형태의 프로젝트를 지원²⁷⁾

- (Focused Program) 기술분야별로 개발 목표를 설정하고 이를 달성하기 위해 추진되는 Top-down식 공모 사업
- (Open Solicitation) 특정한 주제를 정해두지 않고 연구자의 자유로운 제안을 심사하여 우수과제를 채택하여 지원하는 bottom-up형 포괄식 공모사업
 - * 각각 2009, 2012, 2015, 2018, 2021년 공모가 시행
 - * 출범한 연도에 따라 OPEN 2009, OPEN 2012, OPEN 2015 등으로 프로그램을 구분하여 운영·관리



[그림 9] Open Solicitation 추진 영역 및 프로젝트

- (IDEA) 에너지 관련 응용과학에서의 혁신적인 기술 개발을 목적으로 수행되는 사업으로, Focused Program의 후속을 위한 탐사 기능 등 수행

27) ARPA-E. (2019), ARPA-E Fusion-Energy Programs and Plans

<표 12> ARPA-E 운영프로그램 리스트

연도	프로그램명	프로젝트 개수	예산 (백만달러)
2009	OPEN 2009	41	\$174
2010	Batteries for Electrical Energy Storage in Transportation (BEEST)	12	\$38
2010	Innovative Materials and Processes for Advanced Carbon Capture Technologies (IMPACCT)	15	\$40
2010	Electrofuels	13	\$48
2010	Agile Delivery of Electrical Power Technology (ADEPT)	14	\$38
2010	Building Energy Efficiency Through Innovative Thermodevices (BEETIT)	17	\$38
2011	Grid-Scale Rampable Intermittent Dispatchable Storage (GRIDS)	15	\$40
2011	Plants Engineered To Replace Oil (PETRO)	10	\$56
2011	High Energy Advanced Thermal Storage (HEATS)	15	\$37
2011	Rare Earth Alternatives in Critical Technologies (REACT)	14	\$39
2011	Green Electricity Network Integration (GENI)	15	\$43
2011	Solar Agile Delivery of Electrical Power Technology (Solar ADEPT)	7	\$12
2012	Methane Opportunities for Vehicular Energy (MOVE)	13	\$42
2012	Advanced Management and Protection of Energy Storage Devices (AMPED)	15	\$34
2012	OPEN 2012	66	\$171
2013	Innovative Development in Energy-related Applied Science (IDEAS)	59	\$28
2013	Robust Affordable Next Generation Energy Storage Systems (RANGE)	22	\$45
2013	Reducing Emissions using Methanotrophic Organisms for Transportation Energy (REMOTE)	16	\$48

연도	프로그램명	프로젝트 개수	예산 (백만달러)
2013	Modern Electro/Thermochemical Advancements for Light metals Systems (METALS)	19	\$45
2013	Strategies for Wide Bandgap, Inexpensive Transistors for Controlling High Efficiency Systems (SWITCHES) & SBIR/STTR	14	\$36
2014	Full-Spectrum Optimized Conversion and Utilization of Sunlight (FOCUS)	14	\$35
2014	Reliable Electricity Based on Electrochemical Systems (REBELS)	13	\$37
2014	Cycling Hardware to Analyze and Ready Grid-Scale Electricity Storage (CHARGES)	2	\$6.5
2014	Delivering Efficient Local Thermal Amenities (DELTA)	11	\$32
2014	Methane Observation Networks with Innovative Technology to Obtain Reductions (MONITOR)	12	\$39
2015	Accelerating Low-cost Plasma Heating and Assembly (ALPHA)	9	\$31
2015	Advanced Research In Dry cooling (ARID)	15	\$33
2015	GENerators for Small Electrical and Thermal Systems (GENSETS)	14	\$37
2015	Transportation Energy Resources from Renewable Agriculture (TERRA)	6	\$38
2015	Traveler Response Architecture using Novel Signaling for Network Efficiency in Transportation (TRANSNET)	5	\$15
2015	Micro-scale Optimized Solar-cell Arrays with Integrated Concentration (MOSAIC)	11	\$26
2015	OPEN 2015	39	\$124

연도	프로그램명	프로젝트 개수	예산 (백만달러)
2015	Network Optimized Distributed Energy Systems (NODES)	12	\$35
2016	Generating Realistic Information for the Development of Distribution and Transmission Algorithms (GRID DATA)	7	\$11
2016	Single-Pane Highly Insulating Efficient Lucid Design (SHIELD)	14	\$27
2016	Integration and Optimization of Novel Ion-Conducting Solids (IONICS)	16	\$37
2016	Next-Generation Energy Technologies for Connected and Automated On-Road Vehicles (NEXTCAR)	11	\$35
2016	Rhizosphere Observations Optimizing Terrestrial Sequestration (ROOTS)	10	\$36
2016	Renewable Energy to Fuels Through Utilization of Energy-Dense Liquids (REFUEL)	16	\$33
2017	Energy-Efficient Light-Wave Integrated Technology Enabling Networks that Enhance Datacenters (ENLITENED)	9	\$25
2017	Power Nitride Doping Innovation Offers Devices Enabling SWITCHES (PNDIODES)	7	\$6.9
2017	Creating Innovative and Reliable Circuits Using Inventive Topologies and Semiconductors (CIRCUITS)	21	\$30
2017	Macroalgae Research Inspiring Novel Energy Resources (MARINER)	18	\$22
2017	Saving Energy Nationwide in Structures with Occupancy Recognition (SENSOR)	15	\$20
2017	Innovative Natural-gas Technologies for Efficiency Gain in Reliable and Affordable Thermochemical Electricity-generation (INTEGRATE)	8	\$16

연도	프로그램명	프로젝트 개수	예산 (백만달러)
2018	Modeling-Enhanced Innovations Trailblazing Nuclear Energy Reinvigoration (MEITNER)	6	\$14
2018	Duration Addition to electricity Storage (DAYS)	10	\$28
2018	Building Reliable Electronics to Achieve Kilovolt Effective Ratings Safely (BREAKERS)	8	\$21
2018	High Intensity Thermal Exchange through Materials and Manufacturing Processes (HITEMMP)	15	\$29.2
2018	Grid Optimization (GO) Competition Challenge 1	10	\$3.4
2018	OPEN 2018 (and related OPEN+ cohorts)	77	\$202.8
2019	Aerodynamic Turbines Lighter and Afloat with Nautical Technologies and Integrated Servo-control (ATLANTIS)	13	\$26
2019	Solicitation on Topics Informing New Program Areas (Topics A-F)	33	\$38
2019	Design Intelligence Fostering Formidable Energy Reduction and Enabling Novel Totally Impactful Advanced Technology Enhancements (DIFFERENTIATE)	23	\$15
2019	Solicitation on Topics Informing New Program Area (Topics G - H)	22	\$21.3
2020	Environmental Security Technology Certification Program (ESTCP)	4	\$3.2
2020	Performance-based Energy Resource Feedback, Optimization, and Risk Management (PERFORM)	12	\$30.5
2019	Generating Electricity Managed by Intelligent Nuclear Assets (GEMINA)	9	\$27
2019	Aviation-class Synergistically Cooled Electric-motors with iNtegrated Drives (ASCEND)	9	\$14.5
2020	Breakthroughs Enabling Thermonuclear-fusion Energy (BETHE)	16	\$35

연도	프로그램명	프로젝트 개수	예산 (백만달러)
2020	FLExible Carbon Capture and Storage (FLECCS)	12	\$11.5
2020	Solicitation on Topics Informing New Project Areas (Topics I - K)	12	\$10.4
2019	Range Extenders for Electric Aviation with Low Carbon and High Efficiency (REEACH)	9	\$20
2020	Seeding Critical Advances for Leading Energy technologies with Untapped Potential (SCALEUP)	2	\$24
2020	Systems for Monitoring and Analytics for Renewable Transportation Fuels from Agricultural Resources and Management (SMARTFARM)	6	\$16.5
2020	Galvanizing Advances in Market-Aligned Fusion for an Overabundance of Watts (GAMOW)	6	\$16.5
2020	Rapid Encapsulation of Pipelines Avoiding Intensive Replacement (REPAIR)	10	\$33
2020	Solicitation on Topics Informing New Project Areas (Topics L - P)	19	\$18.7
2020	Submarine Hydrokinetic and Riverine Kilo-megawatt Systems (SHARKS)	11	\$35
2020	Ultrahigh Temperature Impervious Materials Advancing Turbine Efficiency (ULTIMATE)	17	\$16
2020	Energy and Carbon Optimized Synthesis for the Bioeconomy (ECOSynBio)	15	\$25
2021	Reducing Emissions of Methane Every Day of the Year (REMEDY)	12	\$35
2021	OPEN 2021	68	\$175
2021	Optimizing Nuclear Waste and Advanced Reactor Disposal Systems (ONWARDS)	11	\$36
	TOTAL	1,204	\$2,821

□ 사업운영방향 및 전략

- ARPA-E의 프로그램의 특징은 고위험-고성과, 혁신성, 가교적 연구라는 특징이 존재

<표 13> ARPA-E 지원프로그램 특징

구분	내용
High Risk & High Reward	성공할 경우 획기적인 수혜를 기대할 수 있지만 기술적인 실패의 위험도가 큰 연구
Out of the Box	공정 혁신, 기능 전환과 같은 부분적인 변화가 아니라 기존 개념을 초월할 수 있는 발군의 혁신성을 지닌 연구
HUB	기초연구와 산업 혁신 간의 간극(gap)을 좁힐 수 있는 가교적 연구

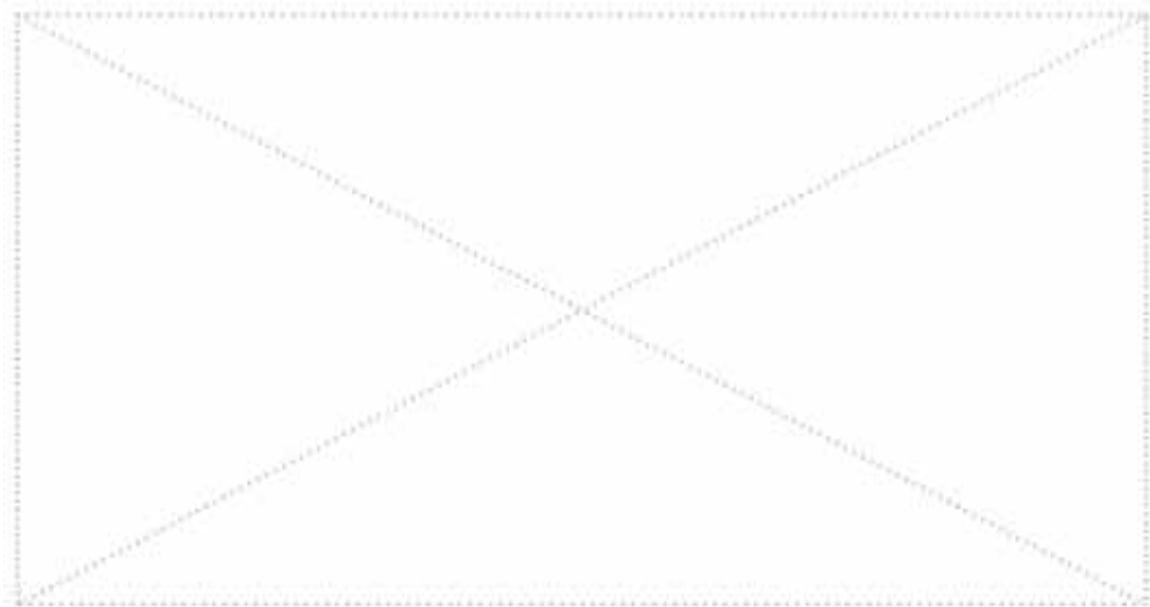
- ARPA-E 프로그램은 기본적으로 5 단계를 통해서 개발됨
 - 구상(Envision), 정립(Engage), 그리고 확정(Establish) 단계에서는 PD들이 핵심 역할을 수행하고 평가(Evaluate) 단계에서는 Fellow들이 중요 역할 담당²⁸⁾
 - 프로젝트들은 명확한 목표(Technical and Commercial Milestones)를 제안하고 프로그램의 성공을 위해 PD들은 집행(Execution)단계에서 정기 미팅과 현장 방문을 통해 프로젝트별 Milestones달성을 관리하며 프로그램의 최종목표(Goals)에 도달하지 못할 경우 지원 중단²⁹⁾

28) ARPA-E. (2019), ARPA-E Fusion-Energy Programs and Plans

29) ARPA-E. (2019), Advanced Research Projects Agency-Energy(ARPA-E) Overview

<표 14> ARPA-E 추진 단계

단계	내용
Step 1. Envision (구상단계)	프로그램의 개념(idea/vision) 정립
Step 2 Engage (정립단계)	워크숍, FOA 개발 등을 통해 개념을 더욱 정밀화
Step3 Evaluate (평가단계)	정식제안, 반박 토론 등
Step4 Establish (확정단계)	프로젝트 선정 및 계약협상 등
Step5 Execute (집행단계)	최종집행



[그림 10] ARPA-E 프로그램 추진 단계

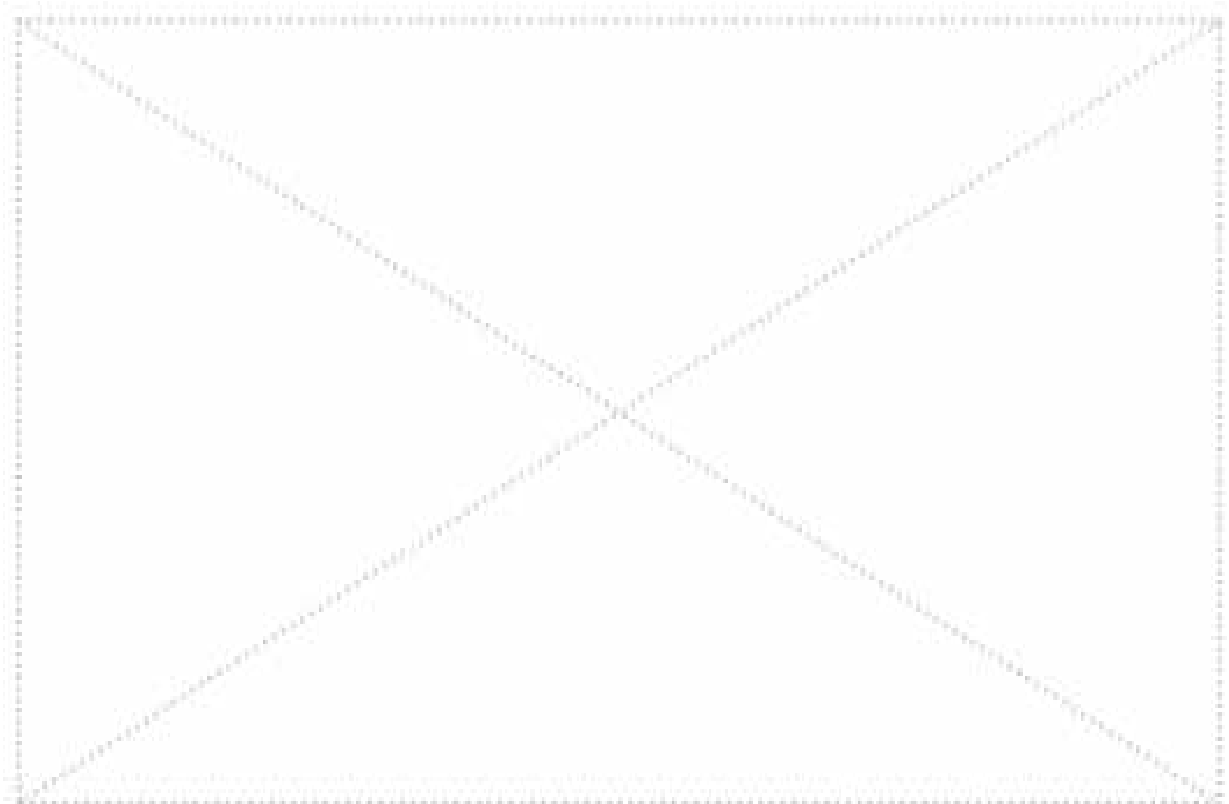
○ 내부 프로세스에 대해서 상세하게는 다음과 같이 진행됨³⁰⁾

30) ARPA-E. (2017), An Assessment of ARPA-E 2017

<표 15> ARPA-E 상세 추진 프로세스



- ARPA-E는 조직 미션에 해당하는 테마를 PD 주도로 선정하고, 이에 적합한 프로젝트를 공고를 통해 접수, 평가³¹⁾
 - 프로그램 선정 시 Staff 조직과 함께 연구개발 마일스톤과 목표 등을 정량적으로 제시하고, 예산, 방법 등을 협상하여 연구계획서를 재작성하는 SOPO negotiation 과정을 거침



[그림 11] 프로그램 생성, 프로젝트 선택 및 수행자 관리를 위한 ARPA-E의 내부 프로세스

□ ARPA-E 혁신 요소와 각 요소별 상호작용

- ARPA-E는 Director에게 개방성과 권한을 부여할 수 있는 문화 조성을 통하여 지향하는 임무와 목표를 달성하고자 함
 - Director는 기술 및 리더십 스킬을 가질 수 있는 권한을 부여
 - ARPA-E Program director에게 프로그램과 프로그램 관련하여 결정할

31) 31) ARPA-E. (2017), An Assessment of ARPA-E 2017

수 있는 권한, 책임 및 능력을 부여

- 적극적인 프로젝트 관리

○ ARPA-E는 관련 연구 시설을 직접 보유하거나 운영하지는 않지만 해당 프로그램을 총지휘할 수 있는 우수 인재를 영입하고 각종 프로그램을 기획하여 대학, 연구소, 기업의 R&D에 지원하고 있으며 ARPA-E에서 지향하는 가치는 크게 4가지로 분류³²⁾

<표 16> ARPA-E의 지향 가치

지향 가치	내용
IMPACT	<ul style="list-style-type: none">• ARPA-E 임무 지역에 대한 높은 영향력• 신뢰할 수 있는 시장 진출 경로• 대형 상용 애플리케이션
TRANSFORM	<ul style="list-style-type: none">• 가능한 것에 도전• 기존 학습 곡선 중단• 현재 기술을 넘어선 도약
BRIDGE	<ul style="list-style-type: none">• 과학을 획기적인 기술로 변환• 다른 곳에 대한 연구 및 자금 지원하지 않음• 새로운 관심과 투자의 촉진
TEAM	<ul style="list-style-type: none">• 최고 수준의 인재로 구성• 교차 학문적(Cross-disciplinary) 기술• 변혁(Translation) 지향

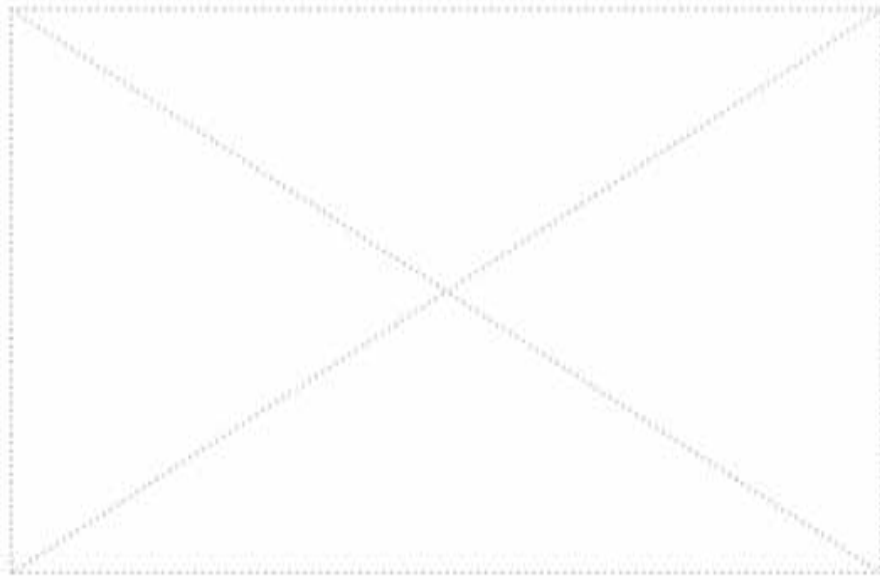
□ 사업의 차별화

○ ARPA-E는 민간에서 추진하기 어려운 고위험·고수익(High Risk·High Reward) 프로젝트의 연구개발에 중점적으로 투자

- 기술 확보를 통해서 기존 학습곡선을 중단하고, 새로운 학습 곡선을 창조하고자 함³³⁾

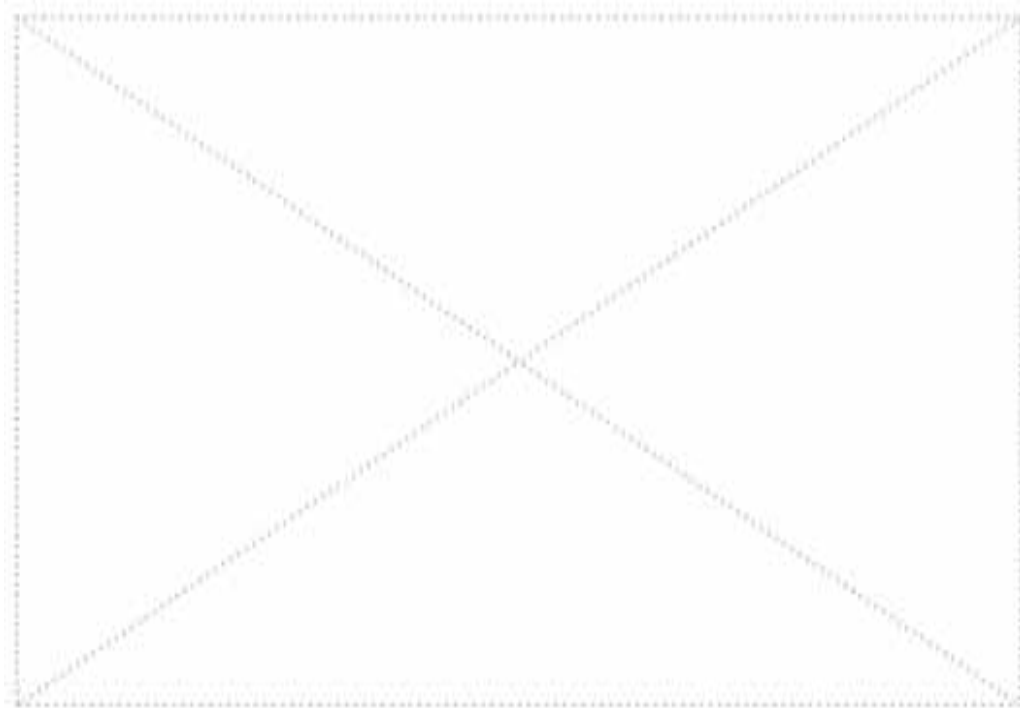
32) ARPA-E. (2019), Advanced Research Projects Agency-Energy(ARPA-E) Overview

33) ARPA-E. (2019), Advanced Research Projects Agency-Energy(ARPA-E) Overview



[그림12] ARPA-E 프로젝트를 통한 새로운 학습 곡선의 창출

- 기초 연구 분야와 상용화 사이에서의 격차를 해소할 수 있는 응용 R&D를 지원³⁴⁾

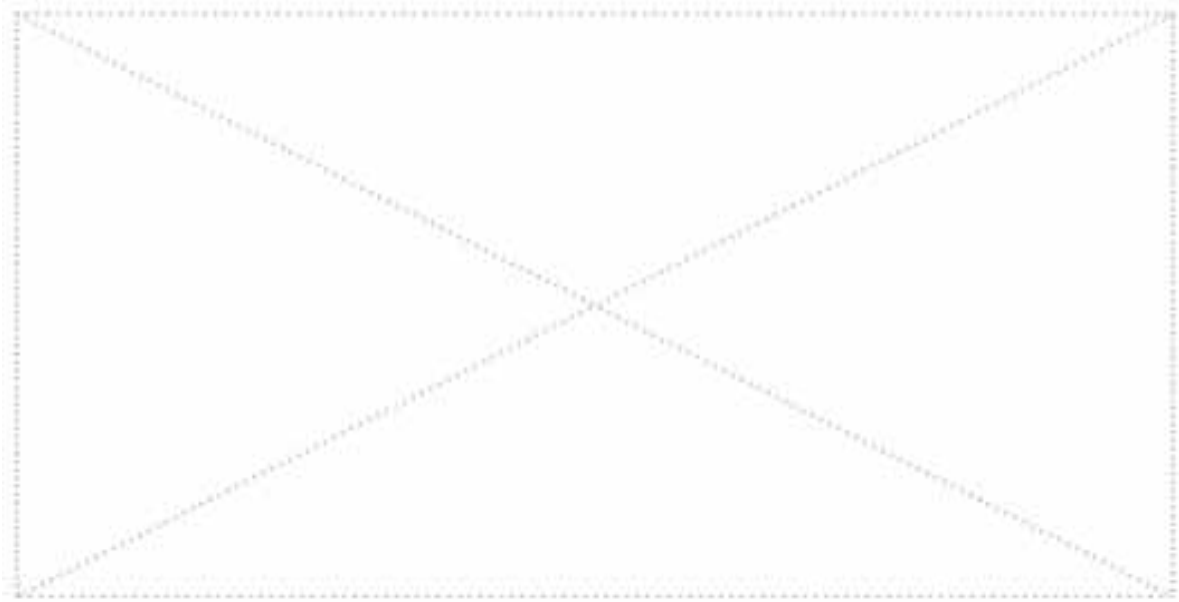


[그림 13] ARPA-E의 포지셔닝

- 민간이나 타 공공영역에서 다루지 않는 백색지대(white space)의 gap을 극복하기 위한 R&D 지원

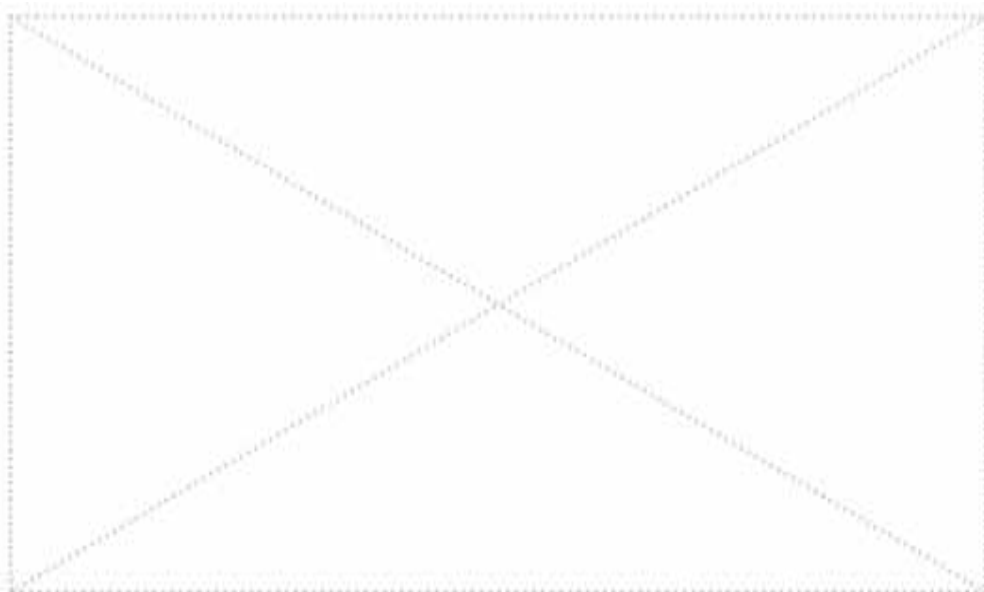
34) ARPA-E. (2019), ARPA-E Fusion-Energy Programs and Plans

- 현재 가능한 기술 한계를 넘어서 기술역량을 확보할 수 있는 경계선 확장(Frontier Pushing)형 R&D 지원



[그림 14] ARPA-E의 연구 Target

- 연구과정시 요구되는 방향전환에 대응하여 새로운 마일스톤을 도입하거나 삭제하는 것을 허용함
- 약 28%의 프로젝트가 드문 정도로 마일스톤을 변경하였고, 17%의 프로젝트가 빈번하게 마일스톤이 변경되었음



[그림 15] ARPA-E의 마일스톤 변경 현황

- ARPA-E는 민간에서 수행하기 어려운 고위험·고수익(High Risk & High Reward) 프로젝트의 기술개발 초기 자금(Seed Money)을 지원하고 이후 민간 기업의 추가 투자나 기술사업화를 유도
 - 성공사례로 손톱 크기의 1MW SiC 트랜지스터, 수소와 이산화탄소를 이용하여 액체 연료를 만 드는 미생물, 유사 등은 압축 공기 에너지 저장 시스템 개발 등의 프로젝트들이 민간 부분의 후속 투자를 지원받거나 회사 창립에 성공
- ARPA-E의 핵심 중 하나로 여겨지는 PD는 에너지 분야의 최고 인재로서 학계, 산업계, 정부기관 등 다양한 배경을 바탕으로 3~4년의 임기 보장
 - PD는 이론뿐만 아니라 실증적 기술연구와 제품 구현을 추진할 수 있는 역량 보유와 새로운 기술의 제품개발 및 사업화에 대해서도 풍부한 경험 보유
 - 임기동안 PD는 DOE나 정부 부처 등 조직 내외의 간섭에 구애 받지 않고 연구의 창의성과 혁신성을 최대한 보장받을 수 있도록 폭 넓은 재량권 부여
 - ARPA-E는 프로그램의 구성, 프로젝트 선정, 관련 예산의 집행 등 전반적인 프로그램 관리를 PD가 수행할 수 있도록 유연하고 과감한 운영을 지향
- ARPA-E의 또 다른 핵심 요소로 손꼽히는 Technical-to-Market(T2M)팀의 Advisors는 비즈니스 통찰력을 가지고 기술실용화를 위한 다양한 전략을 제안
 - T2M 프로그램은 프로젝트 성공을 위해 시장의 니즈를 명확히 분석하고 중요한 비즈니스 정보 와 교육 등을 제공
 - 프로젝트들은 T2M plan을 제안하고 Advisors와 긴밀한 관계를 통해 전략을 개발하며 원활한 시장진입을 위해 투자자, 정부 기관, 대기업, 중소·중견기업 등 다른 조직들과의 Networking 기회도 제공

□ 주요 성과 및 사례

- ARPA-E 지원 후, 후속연구를 위한 추가자금 지원 및 기술이전, 회사설립 등의 기술사업화는 태양광, 풍력, 바이오 연료, 에너지저장, 전기자동차, 배터리 분야에서 활발히 추진
- 23개의 ARPA-E 프로젝트 팀이 새로운 회사를 형성하였고 16개의 ARPA-E 프로젝트가 정부기관과 공동연구를 진행
- ARPA-E 자금지원을 통해 9,500만 달러를 지원받은 22개의 프로젝트들이 6억 2,500만 달러의 민간투자를 유치하는 데 성공
 - ARPA-E를 통해 400만 달러를 지원받은 1366 Technologies는 태양전지 패널 핵심부품인 결정질 실리콘 페이퍼의 저가화를 위한 연구에 3,340만 달러의 민간 추가 투자를 확보
 - ARPA-E를 통해 400만 달러를 지원받고 있는 Alveo Energy는 Stanford 대학 Post-Doc.과 사업가 Colin Wessels가 설립한 신생회사로써 고성능, 장수명, 저가의 배터리 기술개발이 목표
 - Envia는 Argonne National Laboratory(아르곤 국립연구소)와 함께 세계 최고 에너지 밀도의 리튬이온전지를 개발을 하고 있으며 400만 달러의 ARPA-E 지원 이후 1,700만 달러의 자금을 민간으로부터 지원 확보

3.2 일본

3.2.1 ImPACT(혁신적 R&D 추진프로그램)

□ 개요

- (설립배경) 1980년대 버블경제로 인한 장기적인 경제 침체로 산업 경쟁력을 기술 전략이 강조되어 미국의 DARPA를 벤치마킹하여 추진
 - 일본과 미국의 혁신환경 차이를 고려하여 일본의 상황에 맞는 방향으로 계획 수립
 - ImPACT 프로그램은 국가 부흥전략의 하나인 ‘과학기술혁신 창출’ 목적 달성을 위해 종합과학기술회의가 선정하는 주제를 대상으로 최고 수준의 연구개발 역량을 결집하여 추진
 - 종합과학기술회의의 컨트롤타워(Control-Tower) 기능을 강화하기 위해 IMPACT와 함께 범부처적 SIP(cross-ministerial Strategic Innovation Program)을 추진
 - 컨트롤타워(Control-Tower) 역할을 강화하기 위한 내각부 법개정 추진 : 과학기술혁신 종합전략(2013.6.7.) 및 일본재흥전략(2013.6.14.) 결정
- (미션) 공공과 민간이 실패를 두려워하지않고 R&D과제에 도전하여 산업 및 사회에 많은 변화를 가져다줄 수 있는 과학기술혁신창출을 위하여 고위험-고영향력 (High Risk-High Impact) R&D 추진³⁵⁾
 - 기존의 공공사업 및 시장중심 경제정책을 극복하고 새로운 수요를 창출하기 위하여 사회 문제 해결 및 혁신 전략방안으로 IMPACT 도입
- (역할) 안정적인 내수·외수 창출, 산업경쟁력 강화, 부(富)의 순환형 경제구조 구축을 도모할 필요성이 있다고 보아 사회문제 해결형과 새로운 수요 대응을 위한 문제 해결형 혁신전략 마련

35) <https://www.jst.go.jp/impact/intro.html> (검색일: 2020.07.02.)

○ (예산) 550억 엔('13년 독립행정법인 과학기술진흥기구법 일부 개정, 5년 단위 기금 마련)

* 기금설치를 위해 독립법인 과학기술진흥기구(JST) 설치

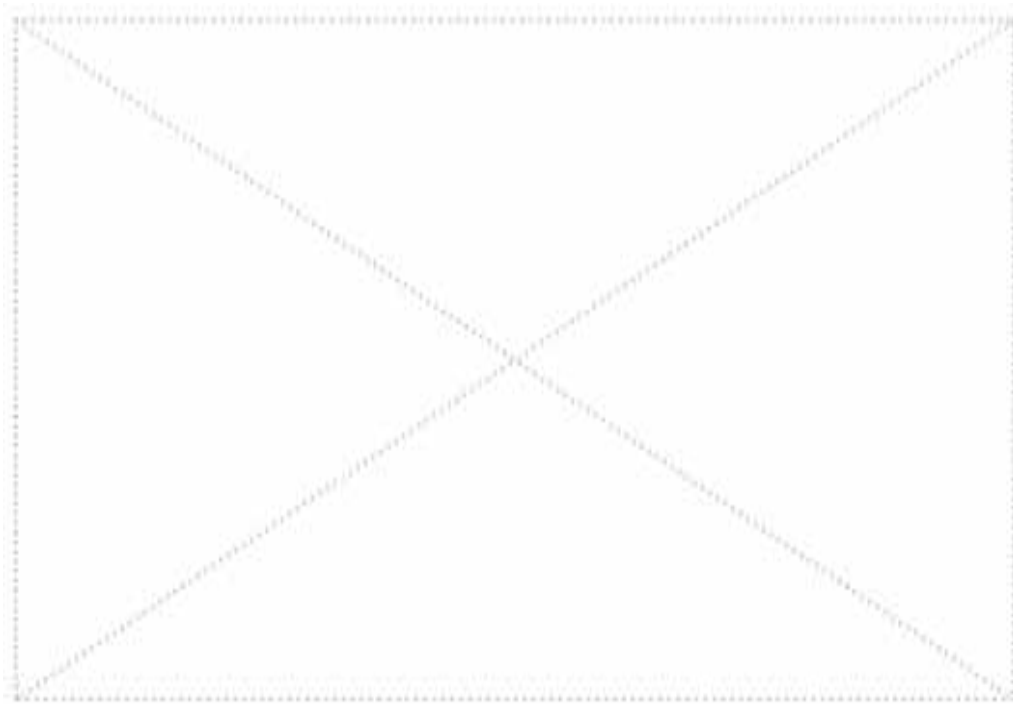
○ 운영체계

- (정부) 과학기술혁신을 위한 정부지원체계 강화를 위해 종합과학기술·혁신회의 기능을 확대
 - 특히 일본판 제 4차 산업혁명인 Society5.0실현을 위한 혁신 시스템 구축 도모
- (PM) R&D 비전 제시 및 서로 다른 분야간 융합을 촉진하며 R&D 기획 및 우수 연구자 섭외 등의 관리자 역할 수행
 - PM은 JST소속으로 업무를 수행하여 고용에 의한 신분 안정, 사무적 지원(회의 개최, 공모, 계약 등), 전문적 지원(지적재산권 관리, 법령), 노하우 지원, 홍보지원(심포지엄, 홈페이지) 등을 제공
- R&D관리형태는 PM별로 팀 내부에 경쟁 환경을 도입하는 stage gate방식이나 산학연계 매트릭스 등이 존재
 - (Stage Gate) PM의 명확한 목표 혹은 요구 하에 같은 목적을 향해 여러 기관이 서로 다른 접근방식으로 경쟁하는 것
 - 종래 고정적인 협력관계에서 벗어나 장래 실용화 및 제품화를 우선으로 하여 목적이나 기능에 따른 유연한 팀 편성

<표 17> ImPACT PM의 선정 절차 및 역할

구분	내용
자질	<ul style="list-style-type: none"> • 기술 및 시장 동향에 대한 폭넓은 이해도와, 이를 다각도로 검토하여 사업화 등을 추진할 수 있는 연구자 • 국내외 연구자와 충분히 소통하고, 목표 달성을 위해 리더십을 발휘할 수 있는 연구자
선정 절차	<ul style="list-style-type: none"> • 종합과학기술회의에서 PM공모 → PM선정(안)을 ImPACT 추진회의에 보고 → 추진회의의 선정(안) 조정 후 종합과학기술회의에 보고 → 종합과학기술회의에서 최종 결정

구분	내용
역할 및 권한	<ul style="list-style-type: none"> • 관리업무 지원에 관한 권한을 가지고 있으며, 필요하다면 기관 내에 한정하지 않고, 외부자원을 활용할 수 있음 ※ 잠재적 수요 및 동향조사, 연구개발 동향 및 연구자 조사, 워크숍 개최, 지적재산 및 국제표준화추진 등
원칙	<ul style="list-style-type: none"> • PM은 약 6개월마다 종합과학기술회의에 진행상황을 보고하고 개선 요청사항을 수렴하여 반영 • 전임을 원칙으로 하지만, 우수 연구자의 확보를 위해서는 겸임도 가능 • 우수한 PM에게는 소속기관과의 협의 통해 추가적인 인센티브를 제공할 수 있음 • 종합과학기술회의에서 요청한 개선사항이 반영되지 않거나 성과를 기대할 수 없는 경우 추진회의 심의를 거쳐 PM 해임 가능



[그림 16] Impact 사업추진체계

□ 사업운영 방식

- 과제별 연구비 30~50억엔 책정하고 배정예산을 PM별로 자율적으로 활용
 - ImPACT에서 배정예산을 PM이 자유롭게 프로그램을 배치하고, 운영하여 성과물을 도출

<표 18> ImPACT 프로그램 및 목표

PM	R&D 프로그램	프로그램 목표
이토 코조	초박막화·강인화 “유연한 터프 폴리머”의 실현	<ul style="list-style-type: none"> 자동차를 비롯한 다양한 제품·서비스의 에너지 절약성과 내구성의 비약적 향상 현행의 금속 구조재 등을 쇠신하는, 보다 경량·강인한 새로운 플라스틱 재료(폴리머)인 「유연 터프 폴리머」를 개발
고다 케이스 케	세렌디피티의 계획적 창출을 통한 새로운 가치 창출	<ul style="list-style-type: none"> 종래의 생물학·의학에 있어서, 방대한 시간이나 수고가 걸려 있던 세포의 식별·선발하는 작업을 궁극적으로 효율화하는 것으로, 바이오 산업이나 의료를 혁신 세렌디피티(우연한 행운의 발견)를 계획적으로 창출하는 세포검색엔진을 개발·실증
사노 유지	유비쿼터스 파워 레이저로 안전, 안심, 장수 사회 실현	<ul style="list-style-type: none"> 재료 개발에 유용한 「X선 자유 전자 레이저(XFEL)」를 가까이 사용할 수 있도록(듯이) 하기 위해, 소형화(1km 오더로부터 트레일러 사이즈에)를 개념 실증 · 인프라 보수나 치료 등에 사용할 수 있는 「고출력의 펄스 레이저(파워 레이저)」를 언제 어디서나 누구나 사용할 수 있도록 초소형화해, 산업의 쇠신·창출
사하시 마사시 마사시	무충전으로 장기간 사용할 수 있는 궁극의 에코 IT 기기 실현	<ul style="list-style-type: none"> 폭발적으로 증대하는 정보의 처리, 증대하는 기기의 소비 전력의 억제 등의 사회적 과제의 해결을 도모 세계를 선도하는 스핀트로닉스 기술※1을 이용한 자기 메모리(MRAM)에 의해, 초저 소비 전력화를 실시할 수 있는 궁극의 에코 IT 기기를 실현

PM	R&D 프로그램	프로그램 목표
야마카이	중개호 제로 사회를 실현하는 혁신적인 사이버닉 시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 사람의 뇌신경계와 로봇·정보계를 융합 복합하여 사람의 기능을 개선·재생·보조하는 “혁신적 사이버닉 시스템”의 연구 개발(기술적 대처)과 사회적 대처를 동시 전개해, 심각화 하는 저출산 초고령 사회의 중개호라는 사회 과제의 해결과 혁신 창출(신시장 창출)(『사람』 + 『사이버 피지컬 공간』을 융합한 미래 사회 「Society5.0/5.1」의 실현과 신산업 「사이버닉스 산업」의 창출)에 도전
스즈키 타카시	초고기능 구조 단백질에 의한 소재 산업 혁명	<ul style="list-style-type: none"> • 석유등의 고갈 자원에 의지한 제조에서의 탈각을 도모하기 위해, 천연물을 넘는 성능·기능을 가지는 인공의 구조 단백질의 설계·제조 프로세스를 확립 • 인공의 구조 단백질 소재를 의류품이나 고무 제품 등의 차세대 소재의 요구가 높은 분야에 전개해 신산업의 창출을 도모
타도코로	터프 로보틱스 챌린지	<ul style="list-style-type: none"> • 재해 발생시에 상정되는 극한 환경 하에서 인명 구조나 응급 공사 등을 실시하는 원격 자율 로봇을 목표로, 필요한 기술을 터프하게 단련해, 재해 예방·긴급 대응·복구의 고도화에 기여함과 동시에, 산업에의 파급의 기초를 구축
후지타 레이코	핵 변환에 의한 고수준 방사성 폐기물의 상당한 감소 및 자원화	<ul style="list-style-type: none"> • 고레벨 방사성폐기물(HLW)의 처분부담의 경감과 자원화에 의한 제로화 • 상기 실현을 위해, HLW 중에 포함되는 장수명 핵분열 생성물을 반감기의 짧은 핵종이나 유용 귀금속으로 변환하는 새로운 처리 프로세스 개념을 확립
미야다 레이코	진화를 초과하는 극미량 물질의 초고속 다항목 감지 시스템	<ul style="list-style-type: none"> • 병원성 약제 내성균이나 신형 병원성 바이러스의 발생·공기질 등에 관한 공중 위생 등에 있어서의 장래의 위기에 대비 • 주변의 다양한 유해·위험물질을 1분차 레벨로 간편하고 고감도로 검출·식별할 수 있는 「초미세 일렉트로닉스 디바이스」 원리를 확립

PM	R&D 프로그램	프로그램 목표
야기 타카유키	혁신적인 시각화 기술을 통한 신성장 산업 창출	<ul style="list-style-type: none"> 기존법에서는 실현할 수 없는 미세한 혈관 등을 비침습·비파괴로 3차원 영상화하여 의료·미용·비파괴검사 등에서 신산업을 창출 광 초음파법에 의한 고해상도의 실시간 시각화 기술을 확립
야마가	뇌 정보의 시각화와 제어에 의한 활력 넘치는 생활의 실현	<ul style="list-style-type: none"> 사람들이 간편한 방법으로 스트레스와 뇌기능 저하에 대처하여 뇌와 마음의 건강을 유지할 수 있게 하고, 세계에 앞서 뇌정보산업의 창출 상기를 향해, 개개인의 뇌 정보를 간편하게 측정할 수 있는 수법의 개발이나 뇌 기능을 최적화하는 세계 최초의 제어 수법을 확립
야마모 토 요시히 사	양자 인공 뇌를 양자 네트워크로 연결하는 고도 지식 사회 기반 실현	<ul style="list-style-type: none"> 사회와 산업의 각 방면을 안전하게 최적화하는 혁신적인 디지털 기술을 개척 빛의 양자성과 고전성을 조합한 코히어런트 이징 머신: CIM(양자 신경망: QNN)을 개발해 조합 최적화 문제의 고속 처리 실현에 도전 통신과 데이터 처리에 있어서의 정보의 비밀성의 실현을 향해, 양자 암호와 비밀 분산을 조합한 양자 네트워크를 개발
시라사 카 성공	온디맨드 즉시 관측이 가능한 소형 합성 개구 레이더 위성 시스템	<ul style="list-style-type: none"> 야간이나 악천후 시에도 관측 가능한 전파를 이용한 소형 위성 시스템을 개발 우주로부터 시간적 공간적으로 연속한 모니터링의 요구에 대응하는 위성 비즈니스를 전개하기 위해, 전지구 규모의 고빈도 관측 데이터의 취득을 목표
노지 히로유키	풍부하고 안전한 사회와 새로운 바이오 제조를 실현하는 인공 세포 반응기	<ul style="list-style-type: none"> 생물이 가지는 물질생산 기능을 활용하여 유용한 물질을 인공적으로 합성하는 새로운 바이오산업을 창출한 상기의 기반 기술이 될 수 있는 「인공 세포 리액터」 나 DNA의 인공 합성 기술 등을 개발하여, 창약 등의 제조 분야에 있어서의 혁신을 창출

PM	R&D 프로그램	프로그램 목표
하라다 카나코	바이오닉 휴머노이드가 개척하는 신산업 혁명	<ul style="list-style-type: none"> 의료분야 등에서의 활용을 통해 시행착오 없는 연구개발·평가환경을 구축하여 혁신적 기술의 사회실장을 가속화 인체를 정교하게 모방한 「바이오닉 휴머노이드」에 의해 인간의 감각이나 스킬을 정량화
하라다 박사	사회적 위험을 줄이는 슈퍼 빅 데이터 플랫폼	<ul style="list-style-type: none"> 지금의 빅데이터를 훨씬 능가하는 방대한 데이터를 활용해, Society 5.0이 목표로 하는 사이버 공간과 피지컬 공간의 융합에 의한 지식 집약적인 사회의 실현에 공헌 광역으로부터 다종·대량의 데이터를 수집하는 「무선 통신 네트워크」 기술과, 대량 데이터를 고속으로 해석하는 「빅 데이터 처리」 기술을 통합

□ 사업운영방향 및 전략

- 사업추진절차는 해결해야하는 과제를 선정하고, 이를 통해 구상과제, 프로그램, 수행관리, 성과활용의 프로세스를 가짐

<표 19> ImPACT 사업추진전략

구분	내용
해결해야할 과제선정	<ul style="list-style-type: none"> 산업과 사회의 본연의 자세 변화를 대변하는 테마를 바탕으로 PM이 R&D프로그램으로 해결하고자 하는 과제 설정 및 그 달성을 위한 목표 명확화
과제해결을 위한 구상	<ul style="list-style-type: none"> 목표달성을 위한 참조적 연구개발에 소요되는 아이디어와 기술적 접근전략 수립 사회·산업과 과학기술의 현황과 동향파악, 미래의 사업화 가능성 고려
R&D프로그 램 편성	<ul style="list-style-type: none"> PM 의 R&D 구상을 실현하기 위해, 최고 수준 연구자를 분야 및 기관에 얽매이지않고 거시적 시각에서 선정(캐스팅) PM 지원체제를 포함한 최적의 R&D 추진체계 구축

구분	내용
R&D수행관리	<ul style="list-style-type: none"> PM 은 수행관리의 핵심역할 수행. 성과 극대화하기 위해 강력한 리더십을 기반으로 연구자들을 협동 또는 경쟁시키며, 필요 시 연구궤도를 수정
성과활용	<ul style="list-style-type: none"> R&D 성과를 기초로 이노베이션 창출을 위해, 지적 재산의 전략적 매니지먼트와 기술의 표준화 등에 임하면서, 성과의 사회 적용, 벤처 창업 혹은 기업에 의한 사업화 등을 추구

○ 패러다임 변화를 가져오는 과학기술혁신에 의한 산업경쟁력 향상, 풍요로운 국민생활 기여, 사회적 과제해결 등의 관점에서 5개의 주제 선정

- * 자원제약의 극복과 제품 제조능력 혁신, 생활양식을 변화시키는 혁신적 에너지 절약과 환경보전, 정보 네트워크 사회를 뛰어넘는 고도의 기능화 사회실현, 저출산·고령화 사회의 쾌적한 생활환경 제공, 자연재해와 위험의 영향제어 및 피해 최소화 등

○ 종합과학기술·혁신회의는 다음과 같은 관점에서 주제를 설정하고 있음

- 비연속적인 변화 및 패러다임 전환을 가져오는 과학기술혁신을 통해서 국가 산업경쟁력을 높이고 국민들의 생활에 크게 공헌할 수 있는 것
- 과학기술혁신을 통해 국가가 직면한 사회 경제적 과제를 극복 할 수 있는 것
- 산업경쟁력의 제고와 국민 삶의 질 향상을 동시에 추구할 수 있는 민군 겸용(Dual Use) 기술 주제

○ ‘High Risk, High Impact’ 연구개발의 성공을 위해 주제별 적합한 프로그램 책임자(PM)를 선정하여 일본 최고 수준의 연구개발 역량을 동원

- 프로그램 책임자는 국적불문의 연구자를 대상으로 자질, 연구실적, 프로그램 계획서를 종합적으로 평가하여 결정

<표 20> IMPACT 추진 절차

	절차	내용
PM 및 프로그램 기획	공모개시	서류제출
	혁신적 연구개발추진프로그램 유직자 회의	서류심사, 면접 PM안 및 연구개발 프로그램 채택
	혁신적 연구개발추진회의	PM안 및 연구개발 프로그램 정리
	종합과학기술회의	PM 및 연구개발프로그램 결정
프로그램 작성	연구개발 프로그램 주제선정	PM이 작성 PM은 성과의 상용화를 위해서 규제개혁 및 제도개선이 필요할경우 협조를 요청
	연구개발기관 선정	PM이 선정한 기관을 유직자회의을 거쳐 선정
	추진회의에 의한 연구개발기관 확인 및 승인	
프로그램 실시 및 평가	프로그램 실시 및 추진보고	
	유직자 회의	PM은 R&D 진도상황을 연 2회 유직자 회의에 보고 유직자 회의에서는 개별 PM에 대한 담당자를 지정하여, R&D 현황에 대해서로 보고를 받을 수 있음 유직자회의결정을 바탕으로, 필요할 경우 PM에게 연구 내용의 개선 요청 가능
	추진회의	IMPACT의 운영
	종합과학기술회의	
	사후평가	프로그램 종료 후 실시

○ ImPACT 유격자회의는 각 PM으로부터 진행상황을 보고받고 전체적인 관점에서 반기별로 조언 제시

- 진도관리는 매년 외부 Reviewer에 의한 리뷰회의 개최 및 각 프로그램

별로 외부전문가(3명 내외)로 구성된 피어리뷰(기술 히어링) 실시

- 외부 전문가에 의한 기술히어링이나 리뷰회의에서는 연구 개발의 진척 상황이나 성과 획득 전망뿐 아니라, 고위험·고임팩트 연구 개발 취지에 적합한 내용 여부를 포함한 종합적이고 객관적인 평가를 실시

<표 21> ImPACT 평가 착안사항

1. 산업과 사회의 현실 변혁을 위한 출구 전략이 구체적이고 명확하게 되고 있는가?
2. 출구전략의 실현을 위한 기술적 과제는 명확한가?
3. 기술적인 과제를 극복하기 위한 아이디어·점검 사항의 참신함, 기술적인 서프라이즈가 존재하는가?
4. 목표 달성(성공)을 위한 로드맵이 적정하고 실현 가능한가?
5. 목표 달성(성공)의 전망이 확실한가? 진도는 순조로운가? 관련 국내외 연구 개발 동향 고려 시 목표 변경 필요는 없는가(벤치마크)
6. 출구전략의 실현을 위한 산업계와의 제휴·연계 등이 이루어지고 있는가?
7. 지적 재산·표준화 전략이 명확하고 적정한가?
8. 이상을 근거로 산업이나 사회의 본연의 자세 변혁에 대한 임팩트가 충분히 전망되는가?
9. PM으로서 하이리스크·하이임팩트 과제에 과감히 도전하고 있는지, 또 요구되는 자질과 능력을 충분히 발휘하고 사업관리를 적정하게 하고 있는가?

□ 사업의 차별화

- PM을 중심으로 연구팀 구성, 연구 개발 시작 후 연구 기관에 대한 연구비의 탄력적인 배분 변경 연구수행기관 교체 1 단계별 평가제도(Stage Gate) 등 각 단계에서 PM에 강력한 권한 부여로 목표달성을 위한 유연한 운용과 리더십 발휘 가능
- PM은 약 6개월마다 종합과학기술회의에 진행상황을 보고하고 개선 요청사항을 수렴하여 반영
- 종합과학기술회의에서 요청한 개선사항이 반영되지 않거나 성과를 기대할 수 없는 경우 추진회의 심의를 거쳐 PM 해임 가능

<표 22> PM 수행 활동 평가 기준

구분	내용
PM이 수행하는 연구프로그램에 관한 평가기준	<ul style="list-style-type: none"> • 산업 및 사회의 변혁을 가져오는 전망을 얻었는가? • 비연속적(파괴적/변혁적) 혁신을 가져왔는가? • 고위험/고영향력(high Risk · high Impact) 기준에 부합하는가? • 일본의 최고 연구역량 및 다양한 지식의 결합이 진행되었는가?
PM활용에 관한 자기 평가기준	<ul style="list-style-type: none"> • PM에 의한 R&D 프로그램 관리는 적절하게 이루어졌는가? • 본 목표의 달성이 어려울 경우 기존 계획의 변경이 적절하게 이루어졌는가? • 연구 과정 중에서 새롭게 파생된 주제가 있을 경우 이를 적절하게 관리했는가? • 목표성과를 얻을 수 없는 경우에 대한 원인분석이 적절했는가? • 해결방안의 모색과 이를 통해 유익한 교훈을 도출하였는가?

3.2.2 Moon Shot

□ 개요

○ (추진배경) 성공가능성이 낮은 ‘Moon-shot* 프로젝트’에 `19년부터 대규모 투자

- 일본의 기초연구로부터 미래에 산업적, 사회적 변혁을 가져올 잠재력을 가진 연구결과들이 도출되어 왔으나 이 연구결과들을 산업과 사회분야에 신속하고도 글로벌하게 실현시키는 과업은 일본이 선도하지 못함
- 내각부 과학기술혁신회의 (CSTI) 가 파괴적 혁신창출을 목표로 한 Moon Shot 프로그램 도입 결정 ('19.3.15)
- 미래회의가 산업계 청문회, 일반 대중의 1,800 여개 아이디어, 정부 부처 및 전문기관들의 아이디어 등을 토대로 25 개 후보 목표 도출 완료. 최종 5~10개로 압축

* ‘문샷(Moon-shot)기술’은 달에 사람을 보내는 것처럼 실현 가능성은 매우 낮고 난해하지만 성공하면 기술적 파급력이 매우 큰 초혁신적 기술

<표 23> Moon shot project 추진경과

일시	내용
2020.07	제30회 건강·의료전략추진본부(문샷 목표 7 결정)
2020.02~07	1PM공모(문샷 목표 1~6의 PM을 공모)
2020.01	제48회 CSTI(문샷 목표 1~6 결정)
2019.12.	문샷 국제 심포지엄 개최
2019.11	문샷형 연구개발 제도 로고 결정
2019.07	제4회 문샷형 연구개발 제도 미래 회의(문샷 목표 설정 논의)
2019.05	제3회 문샷형 연구개발 제도 미래 회의(문샷 목표 설정 논의)
2019.04	제2회 문샷형 연구개발 제도 미래 회의(문샷 목표 설정 논의)
2019.03	제1회 문샷형 연구개발 제도 미래 회의(문샷 목표 설정 논의)
2019.03~05	문샷형 연구개발 제도에 관한 제안·아이디어 공모 (문샷 목표 설정에 있어 일반인이 해결을 기대하는 사회문제와 실현해야 할 미래상을 공모)
2018.12.	제41회 CSTI(문샷형 연구개발 제도의 기본개념 결정)
2018.06	제39회 CSTI(문샷형 연구의 필요성 제언)

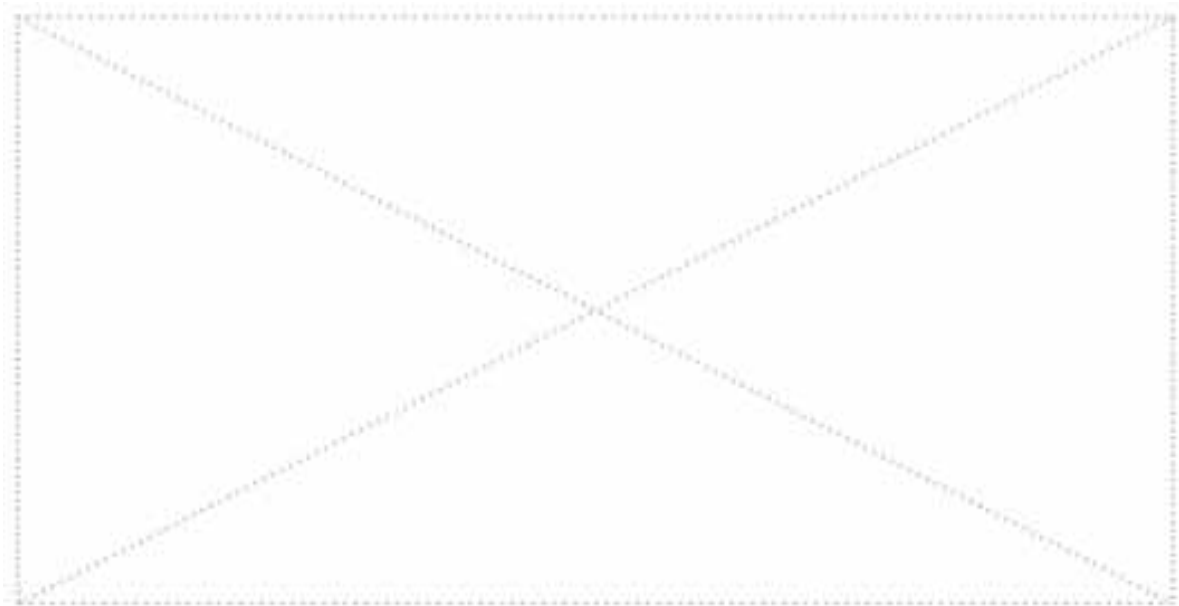
- (추진목적) 파괴적인 혁신 창출을 목표로 기존 기술의 연장이 아닌 더 대담한 발상에 근거하는 도전적인 연구개발을 추진
 - 초고령화 사회와 지구 온난화 문제 등 중요한 사회 문제에 대해 사람들을 매료시킬 만한 야심찬 목표(문샷 목표)를 국가가 설정
 - 기존 상식과 상상력을 뛰어 넘는 영향력을 발휘하며 사회 현안과 미래 사회 문제에 선제적으로 대응할 수 있는 초혁신 기술 개발
 - 이를 통해 정부 차원의 R&D 시스템을 보다 개방형, 글로벌형, 도전형으로 변화시키고 실패 두려움없이 과감히 도전하는 사회적 전기(모멘텀)를 마련
- (관리체계) 문부과학성, 경제산업성, 농림수산성, 후생노동성 등의 다부처 사업으로 추진
 - 콘트롤타워로 과학기술이노베이션회의(CSTI)에 미래회의(Visionary

Council)를 설치

* 전 일본 경단련 의장인 요시미츠 고바야시 박사(위원장), 소니 컴퓨터과학연구소 히 로아키 키타보 박사, 미디어 아티스트 유이치 오치 아이 박사 등

- CSTI가 미래사회 비전 제시, JST와 NEDO가 이를 구현하기 위한 혁신적 연구 아이디어를 국내외 연구자 등으로부터 접수
- 개별 프로그램의 전문적 관리를 위해 최고 연구자들을 PM(Program Manager) 으로 임명
- 진행상황과 글로벌 트렌드에 따른 유연한 연구관리 수행 및 외부 전문가 협력 적극 활용

* 관리기관 : JST, NEDO, NARO, BRAIN, AMED



[그림 17] 문샷 프로그램 추진체계

- (투자현황) 2019년부터 일본 정부는 내각부, 문부과학성, 경제산업성 등이 공동 대규모 (총 사업비 약 1조원) 투자

□ 사업운영 방식

- 문샷은 사람의 행복의 실현을 목표로 3개영역 9개 목표를 결정

- 사회 : 급진적 혁신으로 저출산 고령화 시대를 개척한다. [과제 : 저출산 고령화, 노동 인구 감소 등]
- 환경 : 지구 환경을 회복시키면서 도시 문명을 발전시킨다. [과제 : 지구 온난화, 해양 플라스틱, 자원 고갈, 환경 보전과 식량 생산의 양립 등]
- 경제: 과학과 기술로 프론티어를 개척한다. [과제 : Society5.0 실현을 위한 계산 수요 증대, 인류의 활동 영역 확대 등]

<표 24> 문샷 9대목표

목표 1. 2050년까지 사람이 신체, 뇌, 공간, 시간의 제약으로부터 해방된 사회를 실현
목표 2. 2050년까지 초조기에 질병의 예측·예방을 할 수 있는 사회를 실현
목표 3. 2050년까지 AI와 로봇의 공진화에 의해 스스로 학습·행동하여 사람과 공생하는 로봇을 실현
목표 4. 2050년까지 지구 환경 재생을 위한 지속 가능한 자원 순환 실현
목표 5. 2050년까지 미이용 생물기능 등의 풀 활용에 의해 지구규모로 무리·낭비가 없는 지속적인 식량공급산업을 창출
목표 6. 2050년까지 경제·산업·안전 보장을 비약적으로 발전시키는 오류 내성형 범용 양자 컴퓨터를 실현
목표 7. 2040년까지 주요 질환을 예방·극복하고 100세까지 건강 불안 없이 인생을 즐기기 위한 서스테인 가능한 의료·개호 시스템을 실현
목표 8. 2050년까지 격렬해지고 있는 태풍과 호우를 제어하여 극단 풍수해의 위협으로부터 해방된 안전 안심한 사회를 실현
목표 9. 2050년까지 마음의 평화와 활력을 증대함으로써 정신적으로 풍부하고 역동적인 사회를 실현

□ 사업운영방향 및 전략

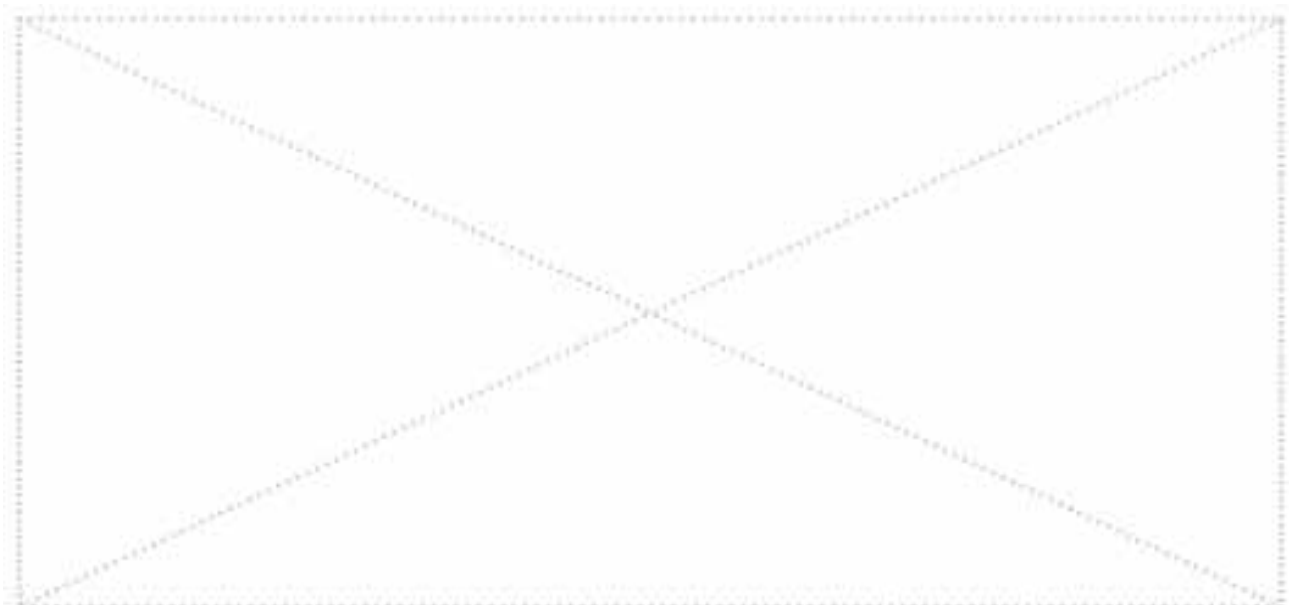
○ 경쟁형 R&D, PM제도, Pre-R&D 등의 특징 보유

- (경쟁형R&D) 복수 팀에 동일한 연구개발을 맡겨 서로 경쟁시키는 ‘토너먼트형 연구개발(R&D)’을 본격 도입



[그림 18] 일본 Moon-shot 프로젝트의 경쟁형 R&D 운영 방식

- (PM제도/Pre-R&D) 동일 연구 주제에 복수의 프로젝트 매니저(PM)팀이 각각 6개월간 연구계획을 수립하고 2년 동안 Pre-R&D 수행
 - (본연구) 정부와 전문위원회 공동으로 사업별 성과와 창의성, 잠재력 등을 평가 재정 지원 지속 여부와 팀 통합 등을 결정 후 경쟁우위팀만 본 연구 진행
- 사회 과제의 해결 등을 위한 backcast 형 접근을 추구하고 있어 챌린지(사회 과제 등), 미션(문 샷 목표), 프로그램의 3가지 단계로 구분하고, 목표의 구체적인 내용 검토



[그림 19] 목표설정 및 프로그램 발굴과정

□ 혁신 요소와 각 요소별 상호작용

- 사회적 난제 해결에 도전하고 그 속에서 혁신적인 솔루션을 개발함으로써 새로운 가치를 창출하여 세계를 리드
- 발상력·상상력 풍부한 과학자의 능력을 끌어내고, 기존의 연구 제도에서는 나설 수 없는 같은 야심적인 목표를 내걸고 목표 달성 과정에서 다양한 연구 개발을 유발함으로써 30년 후의 미래를 개척

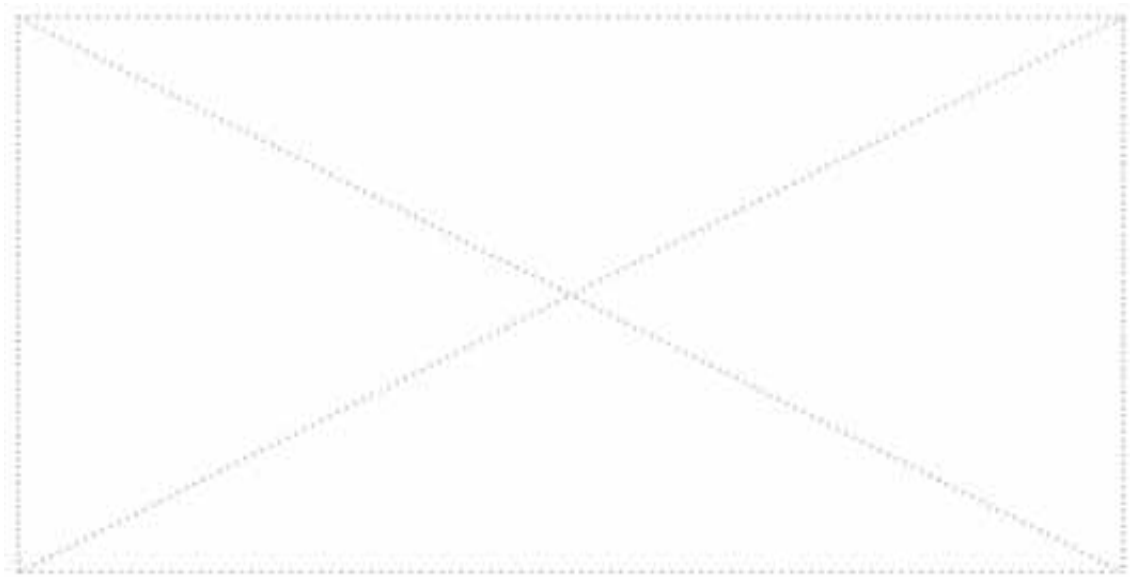
<표 25> Moon shot 3대요건

요소	내용
Inspiring	<ul style="list-style-type: none"> • 목적과 긴요성이 명확하게 이해되고 • 어렵지만 실현되면 미래의 산업·사회에 큰 임팩트가 예상되며 • 많은 국민 및 해외와 가치관을 공유 할 수 있고(▶국민 · 세계) • 일본의 국익과 산업 경쟁력 확보를 위해 과학자의 지혜를 결집할 수 있는 것(▶ 연구자 · 산업계)
Imaginative	<ul style="list-style-type: none"> • 미래 사회 시스템의 변혁 추구 • 많은 국민이 기술이 개척할 미래 가능성을 명확히 이미지화 할 수 있는 것
Credible	<ul style="list-style-type: none"> • 야심적이면서도 과학적으로 실현가능(실현가능한 기술적 아이디어가 복수로 존재) • 목표달성 상황 검증 가능 • 기존의 관련 전략이나 시책의 방향성과 정합적이며, 그 성과들을 통합적으로 활용 가능

□ 사업의 차별화

- 거버닝위원회, 구상디렉터(PD), 프로젝트매니저(PM)기반 운영
 - 거버닝위원회 : 사업 운영 전반에 관한 총괄, 운영상의 중요 안건의 심의 등
 - 구상디렉터(PD) : 각 문샷 프로그램 책임자, 세부 프로젝트의 조합·자원 배분 등의 정책을 관리, 계획(포트폴리오)의 전략적 구축, 연구개발 프로젝트 제안자 및 추진 책임자인 프로젝트매니저(PM)의 선정, 연구개발 프로젝트의 실시 결정·평가 등 연구개발 프로젝트의 진척 관리 및 그에

- 따른 PM에 추진 지시 등을 실시(외부 자문위원 등을 활용)
- 프로젝트매니저(PM) : 목표 달성 및 연구개발 구상을 실현하기 위한 시나리오 수립, 연구개발 프로젝트의 설계, 연구개발 체제 구축, 연구개발 프로젝트 수행 관리 등을 실시
 - 목표횡단적 분과회의 : 수리과학이나 윤리적·법제도적·사회적 과제(ELSI: Ethical, Legal and Social Issues) 등의 분야 횡단적 지원 실시



[그림 20] 사업추진방안

- 전 세계 연구자와 전문가들을 유인할만한 야심적 목표 설정~국제협업을 통한 혁신 창출
 - 실수를 용인하고 기초연구역량을 최대한 활용함으로써 혁신적 R&D를 진흥—기초연구와 긍정적 피드백을 통해 혁신을 창출함으로써 새로운 기초 연구 투자를 유인
 - 연구관리방법론을 혁신하고 첨단 연구지원시스템을 구축하며 개방형·폐쇄형 전략을 효과적으로 실행~ 추세를 채택하고, 도전적이고 민첩한 연구관리시스템을 구축
- 기초연구의 다양한 결과물과 아이디어를 활용한 기획 실시 및 단계별연구로 구성된 장기(최대 10년) 프로젝트로 추진

3.2.3 미래사회창조사업

□ 개요

- (추진배경) 일본 미래사회창조사업은 「제 5기 과학기술기본계획」 명시된 ‘국가는 각 부처의 연구 개발 프로젝트에 도전 연구 개발의 추진에 적합한 기술을 보급 확대 할 것’에 따라 '17년에 JST에서 추진
- (미션) 사회 및 산업 요구를 기반으로 경제·사회적 영향력을 고려한 도전적인 기술개발 목표를 설정하고 기존 사업의 유망 성과의 활용을 통해 실용화 측면에서 개념 증명(POC)을 목표로 연구 개발을 추진
 - 프로그램 관리자 (PM) 방식을 도입하여 뛰어난 지도력하에 도전적인 성과의 달성을 목표로 함

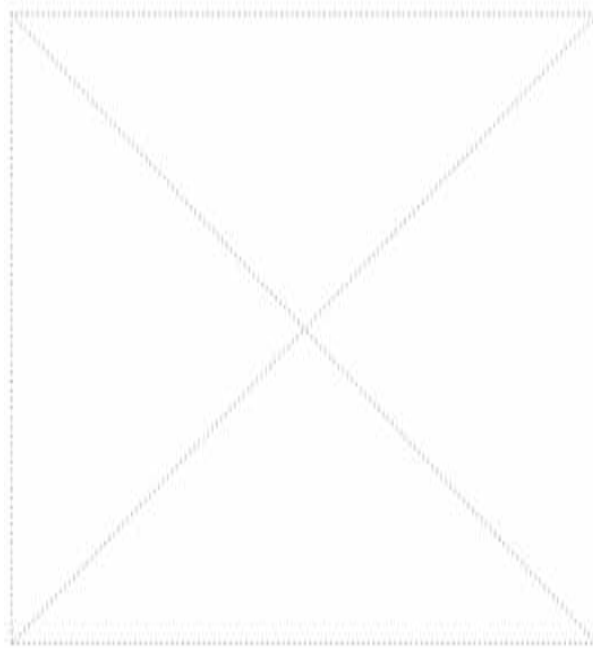
□ 사업운영 방식

- 프로그램은 탐색가속형과 대규모프로젝트형으로 구성
- 탐색가속형은 소액 과제를 다수 채택하여 추진하는 Small Start형 탐색 연구와 이 과제에서 집중 투자 과제를 선정하여 추진하는 본격 연구로 단계적으로 추진하며, 문부과학성이 정하는 영역에 근거하여 공모함
 - 탐사연구는 많은 참신한 아이디어를 공모하고 도입하고 본격 연구를 향해 아이디어의 실현 가능성을 파악하기 위한 연구개발을 실시
 - 본격연구는 탐사연구에서 본격연구 실시기간 중 스테이지 게이트 평가를 실시하여 연구개발과제를 좁히는 것으로 최적의 연구개발과제를 편성
 - * 스테이지 게이트 평가 : 연구 개발 기간을 복수의 스테이지로 나누어 각 스테이지에서의 연구 개발 과제의 속행 또는 종료를 결정하는 평가
- 대규모 프로젝트형은 과학기술이노베이션에 관한 정보를 수집·분석하고, 현재의 기술체계를 바꾸어 미래의 기반기술이 되도록 문부과학성이

특정한 「기술 테마」에 관한 연구개발과제를 공모하고 집중적으로 투자

<표 26> 미래사회창조사업 중점 추진 영역

영역	내용
차세대 정보사회 실현	<ul style="list-style-type: none"> 현실 세계에서 다양하고 신뢰성이 높은 데이터를 수집하여 다양한 「물건」과의 제휴에 의한 새로운 가치의 창조나 불확실·비연속적인 변화에의 즉각적인 대응을 가능하게 한다 차세대 정보사회의 실현을 목표로 합니다.
현재화하는 사회 과제 해결	<ul style="list-style-type: none"> 신형 코로나바이러스 감염과 같은 공중위생 위기나 예상을 넘어선 재해, 저출산 고령화 문제, 기후변화 문제, 지방과 도시 문제, 식량 문제, 자원 문제, 인프라 노후화 문제, 자연재해 위험 등 사회 문제의 해결을 목표로 한 영역
개인에 최적화된 사회 실현	<ul style="list-style-type: none"> 개인의 이동이나 상습관, 생활습관 등의 행동양식이 물리적 공간이나 시간 등의 제약으로부터 해방되어 다양하게 적용됨에 따른 물건이나 서비스가 다양한 유저에 최적화된 사회의 실현을 목표
슈퍼 스마트 사회 실현	<ul style="list-style-type: none"> 네트워크 및 IoT를 활용하는 방안을 제품 제조 분야의 산업뿐만 아니라 다양한 분야로 확장 연구 개발과 울트라 스마트 사회에서 글로벌 경쟁력을 유지·강화 해 나가기 위한 기반 기술 강화 등을 대상으로 하는 영역 또한, 위성 측위 위성 원격 탐사 위성 통신·위성 방송에 관한 우주 관련 기술 등을 대상으로 함
지속 가능한 사회 실현	<ul style="list-style-type: none"> 자원, 식량의 안정적 확보, 초 고령화·인구 감소 사회 등에 대응하는 지속 가능한 사회의 실현, 제조·코트 만들기의 경쟁력 향상 생물 다양성에 대한 대응 등을 대상으로 하는 영역 또한 해양의 지속 가능한 개발·이용 등에 도움이 해양에 관한 기술 등을 대상으로 함
세계 제일의 안전·안심 사회의 실현	<ul style="list-style-type: none"> 자연재해에의 대응, 식품안전, 생활환경, 노동위생등의 확보, 사이버 보안의 확보, 국가안보상의 과제에의 대응 등을 대상으로 하는 영역
지구 규모 과제인 저탄소 사회 실현	<ul style="list-style-type: none"> 2050년 온실가스의 대폭 삭감을 위해 에너지의 안정적인 확보와 에너지 이용의 효율화 등을 대상으로 하는 영역
공통 기반	<ul style="list-style-type: none"> 새로운 학제 분야를 개척하고 세계 최첨단 연구 성과를 초래하는 기반으로 기초 과학력을 지원하고 지속적인 과학 기술 혁신의 창출에 공헌하는 광범위하고 다양한 연구 개발 활동을 지원하는 공통 기반 기술이나 첨단적인 연구 기기 등을 대상



[그림 21] 미래사회창조사업 추진 흐름

□ 사업의 차별화

- PM방식을 통해 참신한 아이디어의 도입, 사업화를 위해 유연하고 신속하게 연구개발 매니지먼트를 실시
- 스플 스타트·스테이지 게이트 방식을 활용하여 많은 참신한 아이디어를 도입하면서, 최적의 과제 편성·집중 투자를 실시
- 산업계 참가를 통해 사업결과 중심의 사업 운영
 - 테마 선정 단계의 산업계 참가와 연구 도상에서의 적극적인 연계로 민간 투자를 유발
 - 현재의 기술체계를 바꾸어, 장래의 기반기술이 되는 기술 테마를 국가가 기술에 관한 연구개발에 집중적으로 투자
- 국가가 정하는 중점 개발 영역을 근거로, 「사회·산업이 바라는 새로운 가치」의 공모 등에 의해, JST가 중점 공모 테마를 설정
 - 참신한 아이디어를 끊임없이 도입하는 구조를 도입한 연구 개발을 실시

3.3 EU

3.3.1 ERC Advanced Grants

□ 개요

- (추진배경) 유럽연구위원회(이하 ERC)는 첨단 기초연구 분야의 유럽 최고 연구자의 세계적인 프론티어 연구를 지원하기 위해 '07년에 Framework Programme7(FP7) 시행에 따라 출범하여 Horizon Europe 까지 지속적으로 지원
 - 매년 국적과 연령, 연구 분야에 제한 없이 EU 회원국에서 진행되는 획기적이고 리크스가 높은 프로젝트를 수행하는 연구자들 중 우수 연구자를 선정하여 지원
- (미션) 우수 연구자들의 창의적 연구에 대한 기반을 조성하고, 전 유럽에 걸쳐 새로운 첨단 연구분야의 개척
 - 과학공학 및 모든 학문분야를 대상으로 유럽연구자 주도의 Investigator-Driven·Bottom-Up Frontier Research 형태의 지원을 통한 창의적·혁신적 연구 및 우수연구 성과창출 지원
 - 간략한 자금지원 절차의 운영을 통해 사회에서 요구하는 새로운 이슈 관련 연구에 대한 민첩한 투자를 실시
 - 핵심적인 역할은 획기적이고, 고위험 고수익(high-gain/high-risk) 연구를 추진하는 연구책임자 및 연구팀에 장기간의 연구재원을 공급하는 것임
 - 과학적 탁월성이 지원의 주된 기준이며, 연구분야, 연구자 국적/나이/경력 상관없이 지원서 작성 가능
 - 단, 주관 기관은 연구책임자에게 연구를 수행할 수 있는 적절한 환경을 조성 필요
- (예산) Horizon Europe 프로그램 예산의 약 17%에 해당하는 약 160억 유로(약 22.4조 원) 승인

- FP7부터 Horizon2020까지 연간 약 1.6조원 투입되었으며 Horizon Europe 프로그램은 11억 유로 증액

□ 사업운영 방식

- 신진·경력 연구자를 지원하고 연구자들 간 공동연구를 육성하기 위한 연구자금 지원 프로그램 운영³⁶⁾
 - 연구단계별로 신진연구자 지원 (starting grant), 중견연구자 지원 (consolidator grant), 우수연구 지원(advanced grant) 등 세 종류의 프론티어 연구 프로그램을 운영
 - 추가적으로 2~4명의 연구자 추진하는 공동연구를 지원하는 공동연구 지원(Synergy Grant), ERC 연구결과의 사업화를 지원하는 사업화 지원 (Proof Of Concept Grant) 등을 운영
 - 사회·인문과학, 생명공학, 물리공학 등 3개 영역에 대한 25명의 전문가 패널을 중심으로 동료 평가시스템을 통해 제안서 평가

<표 27> ERC 연구지원 프로그램

프로그램명	내용
신진연구자 지원 (Starting Grants)	<ul style="list-style-type: none"> • 독립적인 팀 또는 프로그램 시작하는 단계에서 우수한 연구책임자를 지원 • 연구책임자는 과학적 제안의 획기적인 특성, 목표 및 실현가능성을 증명해야 함 • (지원 금액) 5년간 최대 150만 유로 수준으로 지원, 추가 지원은 최대 100만 유로 지원
중견연구자 지원 (Consolidator Grants)	<ul style="list-style-type: none"> • 독립적인 팀 또는 프로그램 통합되는 단계에서 우수한 연구책임자를 지원 • 연구책임자는 과학적 제안의 획기적인 성향, 목표 및 실현가능성을 증명해야 함 • (지원 금액) 5년간 최대 200만 유로 수준으로 지원, 추가 지원은 최대 100만 유로 지원

36) ERC. (2021), ERC Work Programme 2021

프로그램명	내용
우수연구 지원 (Advanced Grants)	<ul style="list-style-type: none"> 연구성과를 인정 받아 연구리더로 자리 자은 단계에서의 우수한 연구책임자르 지원 연구책임자는 과학적 제안의 획기적인 성향, 목표 및 실현 가능성을 증명해야 함 (지원 금액) 5년간 최대 250만 유로 수준으로 지원, 추가 지원은 최대 100만 유로 지원
공동연구 지원 (Synergy Grant)	<ul style="list-style-type: none"> 2~4명의 연구책임자와 소속 팀으로 구성된 공동연구 그룹의 연구 육성 지원
후속연구 지원 (Proof of Concept Grant)	<ul style="list-style-type: none"> ERC 프로그램에 참여 중이거나 과제 종료 후 12개월이내의 과제 연구책임자 및 팀에 대한 연구 지원

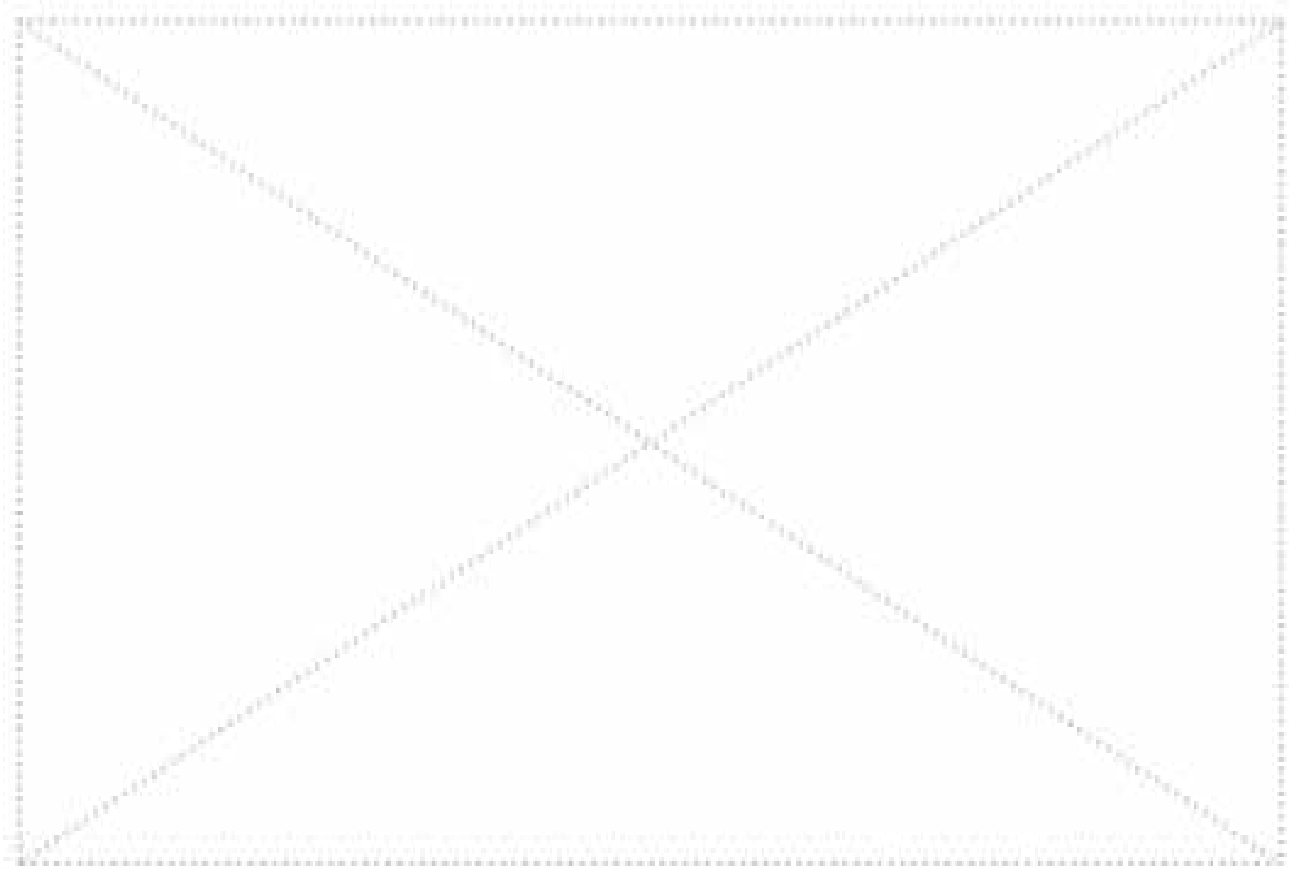


[그림 22] 프로그램 구성 및 리스크 포지셔닝

- 파괴적 혁신성, 도전성, 실현성을 갖춘 연구를 지원
 - ERC의 모든 연구는 기본적으로 다학제간 접근을 권장
- 최근 10년 간 주요성과 달성자를 대상으로 독창성과 연구공헌도에 서 탁월함을 입증한 연구자를 지원함
 - 주요 국제 학제간 저널 또는 해당분야 최상위 국제저널 및 컨퍼런스 프 로시딩에 주 저자로 10편 emdow 또는 3대 메이저 research monograph
 - 특히 5건, 저명 국제 학술대회 초청발표 10건 등 지원

□ 사업운영방향 및 전략

- 1단계 평가 : 온라인 평가 후 오프라인 패널회의 제안서 중 Part B1만 평가(1 단계 평가위원은 제안서의 다른 영역은 접근 불가)
 - 연구제안서는 Part B1(인적사항 및 요약문, 연구 타당성, 연구이력, 10년간 연구성과), Part B2(동향 및 연구 목적, 연구방법), Section3(예산)으로 구성
 - 평가 주체 : 패널위원
 - 2단계 평가대상은 평가결과 A 등급으로서 예산 3배수 이내 제안서
 - 등급 B 및 C 제안서는 평가결과 통보(등급 A는 1 단계 결과통보 없음). 통보내용은 평가 등급, 패널 평가의견 및 평가위원별 의견
- 2단계 평가 : 온라인 평가 후 오프라인 패널회의
 - 제안서 전반(B1, B2 및 Section 3-Budget) 평가
 - 온라인 평가 후 브뤼셀에서 오프라인 회의 개최
 - 온라인 평가 : 패널위원 및 원격평가위원 (Remote Reviewers)
 - 오프라인 회의 : 패널위원
 - 선정(안) 추천 요구예산 검토 및 필요 시 수정 권고
 - 2단계 평가 결과는 A 또는 B로 구분
 - A는 자금지원/예비/지원제외의 3등급으로 구분, B는 비원 제외
 - 결과 통보 : 평가보고서와 함께 통지문 발송. 포함 내용은 최종 접수/순위 구간 패널 및 개별 평가자 의견



[그림 23] Advanced Grant 평가 프로세스

- ERC는 2018 AdG 사업추진 후 현황분석을 통해 잠재적 제안자들을 위한 몇 가지 권고를 제시
 - 절차적 요소(충분한 시간을 두고 준비 등) 외에 연구특성 관련 사항으로 가장 강조된 것은 개선형 과제(incremental nature)는 불가하다는 것임
 - 특히 AdG의 경우 이미 해당 분야에서 주목받는 성과를 달성한 연구자를 대상으로 하므로 매우 의미있는 연구이지만 그동안 수행하던 연구의 연장선상에서 제안서가 제출되는 경향 존재
 - 이를 위해 자체검증을 위한 incremental의 예시 제공

3.3.2 EIC Pathfinder pilot

□ 개요

- (배경) Horizon Europe에서 정규 출범에 앞서 시범운영을 위한 EIC의 High Risk/High Return형 R&D 프로그램

□ 사업운영 방식

- Horizon 2020(2014~2020)에서 추진 중인 FET-Open(전체)과 FET-Proactive(일부)를 활용하여 추진

- FET-Open : Challenging Current Thinking(RIA)

- 현재 패러다임에서 도전과 미지의 영역 개척을 위한 미래 신기술 아이디어를 탐색하는 초기단계의 학제간 연구지원
- 급진적 비전, 파괴적 목표, 도전적인 학제간 연구
- 국적 요건 외 제한이 없으나 3개 회원국 및 준회원국 3기관 이상 참여 필요
- 지원기간은 과제별로 상이하나 300만 유로 지원
- 평가기준
 - 각 지표별 임계점을 통과하지 못하는 과제는 탈락
 - 지표별 점수는 개별 평가자의 점수 평균으로 결정
 - 개별 평가자의 평가의견 종합 또는 요약하여 consensus report 작성
- 최종평가패널 (final review panel) 이 평가점수 기초로 최종 판단 및 추가 의견 제시

- FET-Proactive

- 지정된 분야에서 새로운 기술패러다임 정립 잠재력을 가진 첨단 high risk/high reward 연구 및 혁신 프로젝트 지원
- Horizon 2020 Work Program에서 식별된 연구주제 또는 도전과제 분야를 지원

- FET Proactive 주제(tech. topic) 은 광범위한 의견수렴과 FET Advisory Group 의 자문을 통해 발굴
- 4년, 400만/500만 유로 한도 지원

□ 사업의 차별화

- DARPA 형 EiC Program Manager 제도 도입
 - 유연하고 적극적인 사업관리와 기술 및 미션 기반 포트폴리오 운영을 위해 5명의 PM 채용 중
- EiC Support Action을 통해 기반 확충 노력
 - 약 2,500 명 규모 평가위원 풀 운영
 - EIC Ambassadors' community 구축 중 : speakers at the EIC Summit 2018, former members of the EIC High-Level Group, members of the EIC Pilot Advisory Board 등
 - EIC Pilot Advisory Board(2020년 말까지 한시적 운영) : 15~20 명의 고위전문가로 구성
 - EIC pilot 프로그램의 기획 및 운영 관련 자문, EIC 미래전략 자문 등

3.3.3 FET 플러그십

□ 개요

- (배경) 2016년 초 유럽위원회는 미래의 FET* Flagship을 통해 해결할 수 있는 도전적 과학·기술 문제에 대한 아이디어 발굴을 위해 연구계와의 공개 논의·자문(public consultation) 추진
 - Future and Emerging Technologies (FET) : 주요 과학 기술 과제를 해결하고 유럽의 사회 및 경제적 복지에 기여하도록 설계된 프로그램
- 미래에 사회·경제적 파급효과가 클 것으로 예상되는 영역에서 대규모 고위험 연구를 추진(연구기간 10년, 연구비 각 10억 유로)

- 동 사업을 통해 유럽이 특정 연구 영역에서 주도적 위치를 차지하고 국제협력을 유도
- 2016년 말 EU 회원국과 고위 대표들 간 유망한 주요 도전적 과학 기술을 세 가지로 합의 ① ICT와 연계된 사회(ICT & Connected Society), ② 건강과 생명과학(Health & the Life Sciences), ③ 에너지, 환경 및 기후 변화(Energy, Environment & Climate Change)

□ 사업운영 방식

- (목표) 선정된 6개 예비연구는 1년간 유럽에 전략적으로 중요한 과학·기술 아젠다를 도출, 각 예비연구 별로 1년간 100만 유로(12억 7천만 원)를 지원하고, 연구 커뮤니티와 주요 산업계를 활용하여 상세한 타당성 제안서 작성
- Horizon 2020* FET Work Program 2018'의 일환으로 3가지 도전적 과학기술과 관련된 예비연구 선정
 - Horizon 2020 : 7년(2014~2020) 동안 약 800억 유로(101조 6천억원)가 투자되는 산학연이 모두 참여하는 EU 최대의 연구 및 혁신 사업
 - Horizon이 예비연구는 EU의 신규 연구개발 계획의 일부로서 총 10억 유로(약 1조 2,700억원)가 투자되는 초대형 프로젝트의 일환
 - 33건의 제안서 중 2단계 전문가 평가를 거쳐 6건을 예비연구 대상으로 선정
- 6개 예비연구에 대한 평가를 통해 최종적으로 3개를 선정하여 향후 7년 간 Horizon Europe*의 일환으로 지원 예정
 - Horizon Europe : Horizon2020의 차기 사업으로 향후 7년(2021~2027년)간 약 1,000억 유로(127조원)가 투자될 예정(회원국 간 합의 필요)인 유럽연합의 연구 및 혁신사업

<표 28> EU FET 플래그십 6개 이니셔티브 개요

① 타임머신 (Time Machine)	
목적	<ul style="list-style-type: none"> 유럽의 역사적 기록물, 대형 박물관/도서관 소장품, 수천년에 걸친 유럽의 역사적/지리학적 진화를 나타내는 데이터를 디지털화하고 컴퓨팅하는 대형 인프라(다양한 규모의 모델링/시뮬레이션 및 AI 기술 기반)를 구축
연구팀	<ul style="list-style-type: none"> Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne 등
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> 유럽의 역사적/사회적 진화에 대한 이해, ICT 산업/창의적 산업(creative industries)/관광 등 주요 부분에 영향을 끼칠 수 있음
② 휴메일 AI (Humane AI)	
목적	<ul style="list-style-type: none"> 투명한 의사결정 과정 활용과 역동적인 현실 환경 적용을 통해 인간과 복잡한 사회적 맥락을 이해할 수 있는 AI 시스템을 구축하여 인간을 지원하고 AI 시스템의 능력 확대
연구팀	<ul style="list-style-type: none"> 독일 연구팀이 이끄는 Humane AI팀은 전유럽 AI 연구실 네트워크인 CLAIRE와 협력 예정
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> 인간과 사회에 모두 혜택을 줄 수 있고 유럽의 윤리적 가치와 사회적/문화적/정치적 규범에 따르는 방향의 AI 혁명 추진
③ 회복 (RESTORE)	
목적	<ul style="list-style-type: none"> 재생의학과 암 치료를 위한 표적 면역 재구성(targeted immune reconstitution)을 목표로 신약과 새로운 세포·유전자 치료법을 개발 ※ (예시) 실험실에서 만든 DNA 신장부(stretches)를 인체에 주입하거나 조직을 만드는 방법으로 손상된 조직을 치료/대체하고 궁극적으로는 장기(organ)까지 확대
연구팀	<ul style="list-style-type: none"> Berlin university hospital Charité
④ 생애 (Life Time)	
목적	<ul style="list-style-type: none"> 개인 맞춤형 의학을 위한 혁신적 플랫폼 구축을 목적으로 질병이 인체 내에서 어떻게 발병하고, 악화되는지에 대한 심도 있는 이해* 추진 single-cell multi-omics, 이미징, 머신러닝, AI 등 획기적 기술들을 통합·개발하여 생물학적으로 의미있는 중요한 패턴 파악
연구팀	<ul style="list-style-type: none"> 독일 연구팀이 이끄는 컨소시엄
기대효과	<ul style="list-style-type: none"> 만성/진행성 질병의 조기 진단/예방/혁신적 치료 등에 극적인 영향을 끼칠 것
⑤ SUNRISE	

목적	<ul style="list-style-type: none"> • 자연의 광합성을 모방하여 재생에너지 저장과 청정 화학 산업을 위한 지속가능한 연료 및 화학물질을 생산할 수 있는 방법 개발 • 고성능 컴퓨팅, 첨단 생체모방 기술, 합성생물학을 활용해 태양 에너지를 포집, 저장할 수 있는 신소재를 설계 • 대기 중 질소 고정, 이산화탄소를 활용한 화학물질 생산에 활용
연구팀	• 네덜란드 Leiden University
기대효과	• 기후변화 대응에 중요한 게임 체인저가 될 것임
⑥ 에너지-X (ENERGY-X)	
목적	<ul style="list-style-type: none"> • 태양/풍력 에너지를 화학적 형태로 효율적으로 변환하기 위한 방법 모색 • 물, 이산화탄소, 질소를 연료와 기초화학물질(base chemicals)로 변환하기 위한 새로운 프로세스 및 촉매 개발
연구팀	• Technical University of Denmark

3.3.4 영국 ARIA

□ 개요

○ (추진배경) 영국은 세계 최고 수준의 과학기술 선진국으로써 지위를 유지하기 위해서 미국의 ARPA를 벤치마킹한 혁신연구 예산 지원 기관인 고등연구혁신기관(이하 ARIA)을 신설하였으며, '22년부터 지원

- 기업·에너지·산업전략부(BEIS, Department for Business, Energy & Industrial Strategy)* 산하에 설치되며, 영국 연구혁신기구(UK Research and Innovation, UKRI)와는 독립된 조직으로 운영
- 영국은 기존 연구비 지원기관이 위험을 감수할 만한 연구분야에 투자하기 어려운 체계라는 인식하에 ARIA를 설립하기로 결정
- 연구자들은 수차례의 연구비 신청과 피어리뷰 과정은 창의성을 발휘하지 못하게 하고 있으며, 과제 검토자가 기존과학 또는 기술의 합의를 벗어나서 위험을 감수하는 것을 꺼리고 있다고 판단

- (미션) 도전적이고 고위험적 성격을 갖지만 성공 시 고수익을 창출될 수 있는 과학, 엔지니어링, 기술에 자금을 지원
 - ARIA는 실패를 두려워하지 않는 연구를 추진할 것으로 방향
- (예산) '22년부터 4년간 8억 파운드(약 1조 2,000억원)을 지원할 예정
 - ARIA의 신규 예산은 영국 정부 연구 예산의 1% 수준이지만 성과달성에 따라 확대해 나갈 전망
 - 정부는 R&D 에 대한 공공 투자를 2024-2025년에 200억 파운드로 늘리기로 약속했으며 총 R&D 지출은 2027년까지 GDP의 2.4%까지 확대 예정
- (추진체계) UKRI와는 독립된 조직으로 운영될 예정이며, 변화하는 과학기술에 대해 빠르게 파악하고 자금조달을 할 수 있도록 자유를 부여받은 저명한 과학자가 주도
 - 과학기술 연구자금 지원 및 거버넌스 개혁에는 정부 부처에서 직접 지출할 연구자금 요구와 연구 우선순위에 대해 과학자들에 조언할 신규 고위급 위원회를 포함

□ 사업운영방식

- 프로그램 보조금, 상금 인센티브 등을 포함한 자금 지원 모델을 실험하고 성공에 따라 프로젝트를 시작 및 중지, 필요한 경우 재지정할 수 있는 기능을 가짐
 - 연구 실패에 대한 관용이 다른 연구 지원 사업보다 훨씬 더 높을 것으로 예상
- 고위험 연구에 초점을 맞추고, 추진 연구 및 프로젝트 선정의 자율성, 재정적 유연성, 운영상의 자유성을 통해서 조직의 독립적인 리더십을 가질 수 있도록 함
 - 혁신적인 기술변화 및 과학 분야의 패러다임 전환을 창출할 수 있는 고위험 연구에 초점을 맞춰 추진

- 추진할 연구 및 프로젝트 선정, 절차, 프로그램 포트폴리오 등에 대한 결정에 대해서는 ARIA에서 결정하도록 하여 전략적·과학적·문화적 자율성을 가질 수 있도록 함
 - 자금 배분에 관련해서는 기술전문성을 갖춘 전문가에 의해서 결정하도록 함
 - 소수의 최고 수준의 연구자에게 프로그램 관리자로서 자금의 조달 권한, 프로젝트 목표 및 이정표 변경, 리스크 관리 등 프로그램 관리 대한 자유와 통제력을 부여
 - 민첩하고 효율적인 자금 조달을 위해서 일반 프로젝트에서의 장애 요인을 최소화 할 수 있는 의제에 주력하고, 다양한 혁신적인 접근 방식을 사용 할 수 있도록 지원하여 재정적인 유연성 및 운용상의 자유성 확보
- 현재 사업운영방식에 관한 구체적인 방안은 마련되지 않았지만 2022년 7월 19일 기준 Activate의 설립자인 Ilan Gur가 책임자로 임명되었으며, Entrepreneur First의 공동 설립자이자 CEO인 Matt Clifford MBE 초대회장으로 임명
- 기관의 의제를 설정하고 고위험 프로그램에 대한 초기 자금 지원을 지시 하며 뛰어난 프로그램 관리자 팀을 구성하고 국내 및 국제 R&D 부문에 참여
 - 뛰어난 과학자와 연구원이 새로운 기술, 발견, 제품 및 서비스로 이어지는 혁신적인 연구를 식별하고 자금을 지원할 수 있도록 하여 세계 과학 초강대국으로서의 영국의 위치를 유지하고 경제 성장과 번영을 촉진하기 위해 최고의 인재를 유치

3.4 국내

3.4.1 미래융합기술 파이오니어

□ 개요

- (사업목적) NT, BT, ET, IT 등의 이종기술간의 융합을 통해 고위험-고수익(High-risk, High-return)형 융합원천기술 개발
- (사업기간) : '08~'20년

□ 사업운영방식

- 집단연구를 통해 세계적 수준의 과학난제 해결을 목표로 함



[그림 24] 미래융합기술 파이오니어 사업 비전/목표

- 지원대상 : 제품화 요소 원천융합기술
- 과제별 지원 기간 : 6년(3+3년)
- 규모 : 연간 5억 원
- 추진체계 : 융합기술 수요조사에 기반한 소규모 연구단 다수 지원
- 주요 특징 : 기술 융복합을 위한 소규모 집단연구, 주기적으로 연구단을 선정하여 지속 지원

□ 사업의 한계

- 해당 사업의 주된 목적은 혁신적 기술확보도 있지만, 2개 이상의 기술분야 간 융합연구를 주된 목적으로 함
 - 융합연구를 위한 파이오니어 융합연구단 구성 및 기업참여 추진
- 연구과제는 전문기관(연구재단)이 관리하는 기존의 관리방식을 따르고 있으며, 포트폴리오 과제 관리방식은 미 도입
 - 선정된 과제는 4.5년은 지속적으로 지원하며, 경쟁형 방식 등 미적용

3.4.2 과학난제도전 융합연구개발사업

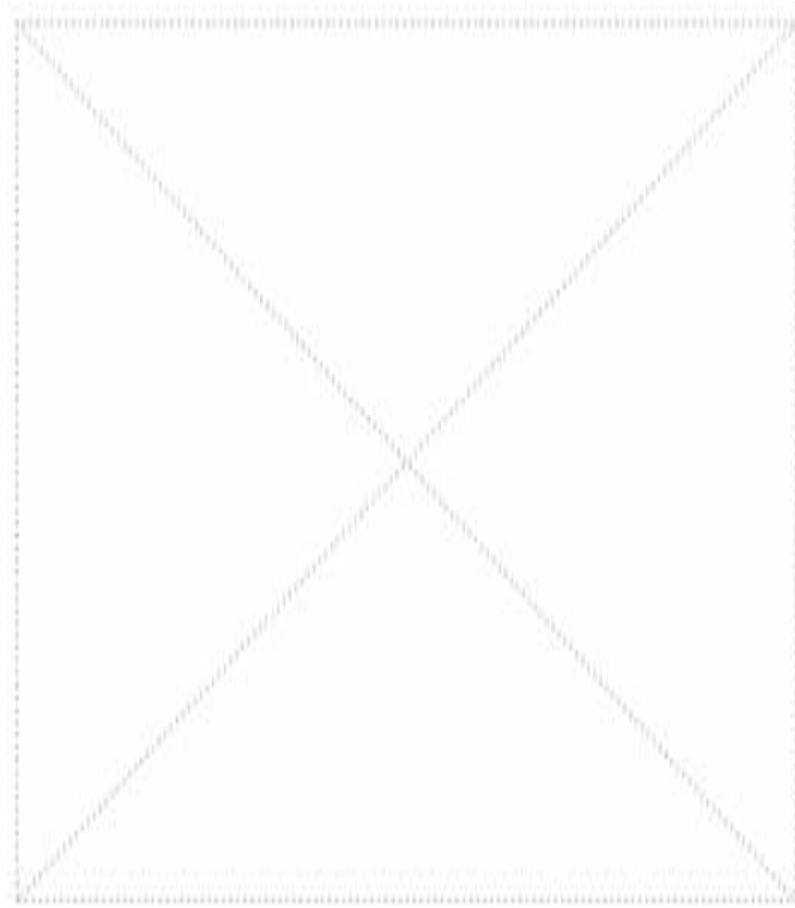
□ 사업개요

- (사업목적) 기초과학-공학 간 융합·협력연구 수행을 통한 과학난제 도전으로 인류공영 가치 및 혁신 창출에 기여
 - 정부가 그간 달성 가능한 목표 위주의 안정적 R&D 수행 관행을 벗어나 파괴적 혁신을 주도할 고위험 과학난제 연구 지원
 - 실패 확률이 높고 단기적으로 수익이 보장되지 않아 민간의 적극적 지원이 어려운 도전적 연구에 대한 정부 지원
 - 과학난제 특성상 단일학문 분야 연구보다는 다수 연구자의 융합연구 등이 필요한 경우가 많아, 정부의 국제협력연구 등을 통한 파급력 있는 성과 창출
- (사업기간) : '20~'25년

□ 사업운영방식

- 오픈 R&D 플랫폼을 지향하여, 소규모 집단연구를 통해 과학난제를 해결하려 하나, 시장과의 관련성 낮음
- 지원대상 : 과학난제

- 과제별 지원 기간 : 4.5년
- 규모 : 연간 30억원
- 추진체계 : 연구책임자 중심의 소규모 그룹 융합연구(7인 이상 참여 불가)
- 주요 특징 : 집단지성을 활용한 오픈 플랫폼 지향, 산업계 수요와 관련성 낮음



[그림 25] 과학난제도전 융합연구개발 사업 비전/목표

□ 사업의 한계

- 고위험의 난제 해결을 목표로 하지만, 혁신적인 기술 확보 보다는 새로운 지식의 발견과 학문의 지평을 여는 내용이 중심
 - (주제) 암 재발 방지, 면역 조절, 기초연구·공학 융합, 생명 원리 연구 등
- 과제 발굴은 '과학난제 도전 협력지원단'에서 하지만 이후의 연구관리는 기존의 전문기관(한국연구재단)에서 기존의 방식으로 관리

3.4.3 혁신도전 프로젝트

□ 사업개요

- 국가 차원의 초고난도의 연구개발을 통해 국가적 문제 해결 및 미래 혁신선도 산업 창출
- (사업기간) : '20~'23년

□ 사업운영방식

- 추진단장 중심의 추진단과 사업단장 중심의 프로젝트 간 연계를 통한 제도개선사항 발굴 및 사업단장(전담PM) 주도의 연구관리
- 지원대상 : 국가차원의 선제적 해결이 필요한 연구주제
- 과제별 지원 기간 : 4년(선기획 이후 3년)
- 규모 : 연간 50억원
- 추진체계 : 추진단장은 사업목적에 부합하는 사업 기획, 사업단장은 연구테마의 과제 구성 및 관리
- 주요 특징 : 부처 칸막이를 넘나들며 문제해결에 집중, 민간 전문관리자의 사업관리, 유연한 연구관리제도 도입

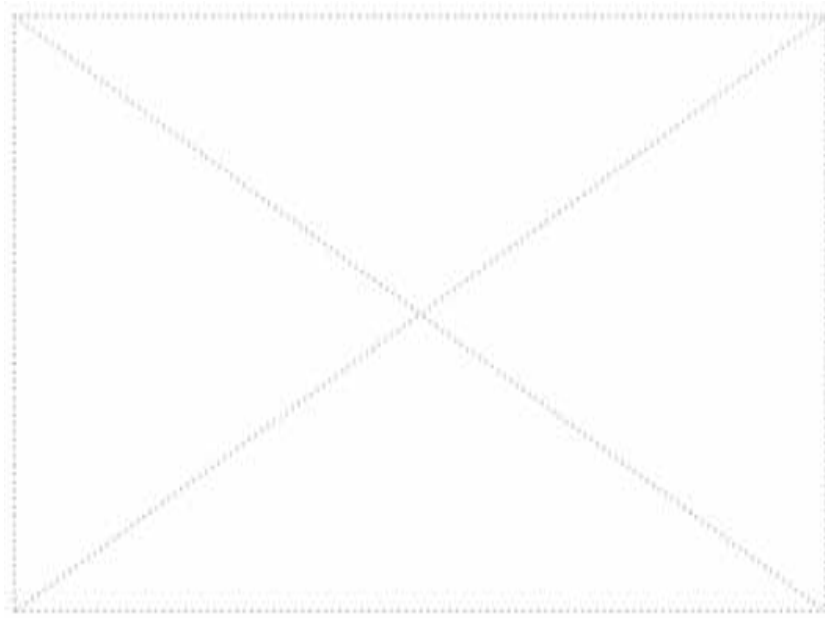
□ 사업의 한계

- 연구테마 선정 및 초고난도 연구개발 등 변혁적 기술 확보를 위한 R&D로서 기획되어 혁신본부가 과제를 선정하나, 이후에는 전문기관에서 통상의 과제와 동일하게 기존의 방식으로 관리

3.4.4 산업기술 알키미스트 프로젝트

□ 사업개요

- 10~20년 후 시장의 판도를 바꿀 수 있는 경제·사회적 파급효과가 큰 핵심원천기술개발을 통해 새로운 시장 및 산업영역 창출을 위한 도전혁신형 사업
- (사업 목적) 10~20년 후 산업의 판도를 바꿀 핵심원천기술 개발을 통해 미래 신산업·신시장 창출
- (사업 목표) 신시장 창출의 기반이 되는 핵심원천기술 확보



출처: STEPI(2021), 2020년도 예비타당성조사 보고서-산업기술 알키미스트 프로젝트

* 해당 사업의 예비타당성 조사 이후 일부 조정

[그림 26] 산업기술 알키미스트 프로젝트 비전체계도

□ 주요내용

- 사업기간 : 2022년 ~2023년(10년)
- 총 사업비 : 4,412억 원(국비 3,742억 원)
- 지원 분야 : 향후 10~20년 내, 산업의 판도를 바꿀 수 있는 게임

체인저(Game Changer)로서 강력한 산업적 파급력(impact)을 가진 도전적·혁신적 주제

- 해결기술이 존재하지 않는 산업의 난제영역에 도전하여 성공 시 사회·경제적 파급성이 매우 크나 실패 가능성도 높은 초고난도 과제 지원
- 와해성(Disruptive) 기술 : 세상에 존재하지 않는 기술·제품 개발을 통해 시장의 패러다임을 바꾸거나 새로운 시장을 창출

□ 사업운영 방식

- 총 3단계 경쟁형으로 과제를 수행하여, 최종단계(본연구)에서는 테마 당 1개 과제만 지원하는 방식으로 수행

<표 29> 산업기술 알키미스트 프로젝트 주요 내용

구분	1단계	2단계	3단계
지원내용	개념·선행연구	선행연구	본 연구
주관기관	대학, 연구소 등 비영리기관		
참여기관	제한없음		
지원기간	9개월 이내	1년 이내	5년 내외
지원규모	최대 2억원 이내/년	5억원 이내/년	40억원 이내/년
	과제별 특성에 따라 달리함		
선정범위	테마별 6개 과제 내외 (경쟁형 R&D*)	테마별 3개 과제 이내 (경쟁형 R&D*)	테마별 1개 과제 이내
기술료	징수		

출처: 산업기술 알키미스트 프로젝트 공고문

*경쟁형 R&D : 선정평가를 통해 복수의 연구개발기관을 선정·지원할 수 있으며, 예산 및 평가결과 등에 따라 지원하지 않을 수 있음

- (3단계 스케일업 경쟁형) 과감하고 혁신적인 기술개발을 위해 테마별 다수의 과제가 경쟁하는 총 3단계 스케일업 경쟁형 R&D 방식을 도입
 - 단계별 6:3:1 경쟁을 통해서, 테마별로 1단계 6개팀 지원, 2단계는 1단계 6개팀 중 3개팀 선정 지원, 3단계는 최종 1개팀만을 지원
 - 1단계 개념연구는 1년간 2억원, 2단계 선행연구는 1년간 5억원, 3단계 본연구는 5년간 연 40억원 내외 등 과제당 최장 7년, 최대 207억원 내

외를 지원할 계획

- (혁신적 테마) 각계 최고 민간전문가로 구성된 그랜드챌린지위원회 *에서 10~20년 뒤 미래 산업의 게임체인저가 될 혁신적인 테마를 발굴하고, 테마별 과제는 연구자가 직접 기획
 - * 산업계 포함, 인문·기술분야 등 다양한 민간 전문가로 구성(국내 산학연 최고리더 15인 내외)
- (테마PM) 테마별로 알키미스트 테마PM을 운영하여 과제의 연구 전주기를 관리함으로써 혁신적 연구성과를 유도



출처: 산업통상자원부(2021), 보도자료-산업기술 알키미스트 프로젝트, 예비타당성조사 통과

[그림 27] 산업기술 알키미스트 프로젝트 사업추진방식

□ 사업의 한계

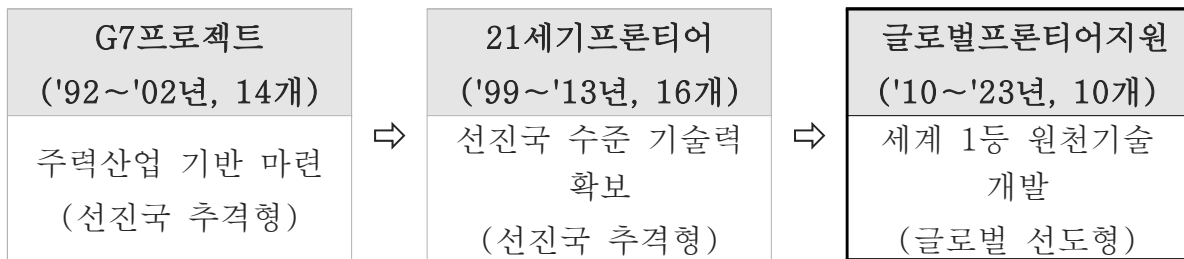
- 최종적인 목표는 도전적·혁신적이거나, 개별기술에 대한 접근은 점진적인(incremental) 연구개발 수준에 가까움
 - 모델 제작 등 산업적 목표 달성을 중점목표로 하여, 핵심 원천기술 개발을 위한 충분한 시간적 지원은 미흡
 - * 1분 충전 600KM 전기차 개발의 경우, 7년 차에 전기차 모델 제작을 목표로 하여 1~3년 차에만 원천기술 개발을 진행하고 이후에는 시제품 제작에 중점
- 기존의 전문관리기관(산기평)이 수요 발굴, 평가위원회 운영, 성과 활용 등을 전담하여 기존 R&D 체계의 관리방식을 유지
 - PM이 과제 선정 이후에 선임되어 프로그램 기획과 관리가 통합·유기적으로 연결되지 못할 위험 존재

3.4.5 글로벌프론티어

□ 사업개요

- (사업목적) 5대 미래전략 분야(IT, BT, NT, CT, ET)의 세계 1등 원천기술 확보 및 글로벌 기초·원천 연구거점 네트워크 구축

<표 30> 글로벌 프론티어 추진경과



- (사업 개념) 대형 중장기 전략 기초·원천 R&D
- 사업 비전 및 철학
 - (비전) 세계 최고 수준의 원천기술 확보
- 사업 철학(4G)

<표 31> 글로벌 프론티어 사업철학

선도성 (Global R&D)	혁신성 (Ground-breaking R&D)	융합성 (Group approach)	과급성 (Growth & Sustainability)
세계적 수준의 과학기술 톱 브랜드 구축	기존기술의 한계를 돌파하는 혁신적 기술 연구	전략적인 집단 융합연구 및 네트워크 구축	원천기술 확보를 통한 미래 성장동력 확보

○ 규모 및 기간

- '10년~'23년까지 총 사업비 1조 1,910억 원
- 10개 연구단별 지원규모 연 90억 원 내외, 9년(2+3+4*)
 - * (1단계) 요소·기반기술, (2단계) 시스템/융합화, (3단계) 안정/최적화

<표 32> 연구단별 사업규모 및 기간

사업 기간	연구단명	단장(소속)	연구비 (억 원)	비고
2010~ 2019	의약바이오컨버전스	김성훈(서울대)	958.8	존속
	실감교류인체감응솔루션	유범재(KIST)	881.5	해산('21)
	차세대바이오매스	장용근(KAIST)	883.6	해산('20)
2011~ 2020	멀티스케일 미래에너지	최만수(서울대)	826.7	존속
	나노기반소프트일렉트로닉스	조길원(포항공대)	793.8	존속
	다차원스마트IT융합시스템	경종민(KAIST)	807.9	존속
	지능형바이오시스템설계및합성	김선창(KAIST)	836.0	존속
2013~ 2022	하이브리드인터페이스 미래소재	김광호(부산대)	742.8	-
	바이오나노헬스가드	신용범(생명연)	726.0	-
2014~ 2023	파동에너지극한제어	이학주(기계연)	649.5	-

□ 사업운영방안

○ 중점 추진 분야

- 기획추진위원회 주도 하에 4대 미래 이슈 대응을 위한 중점추진 후보 26대 분야 도출

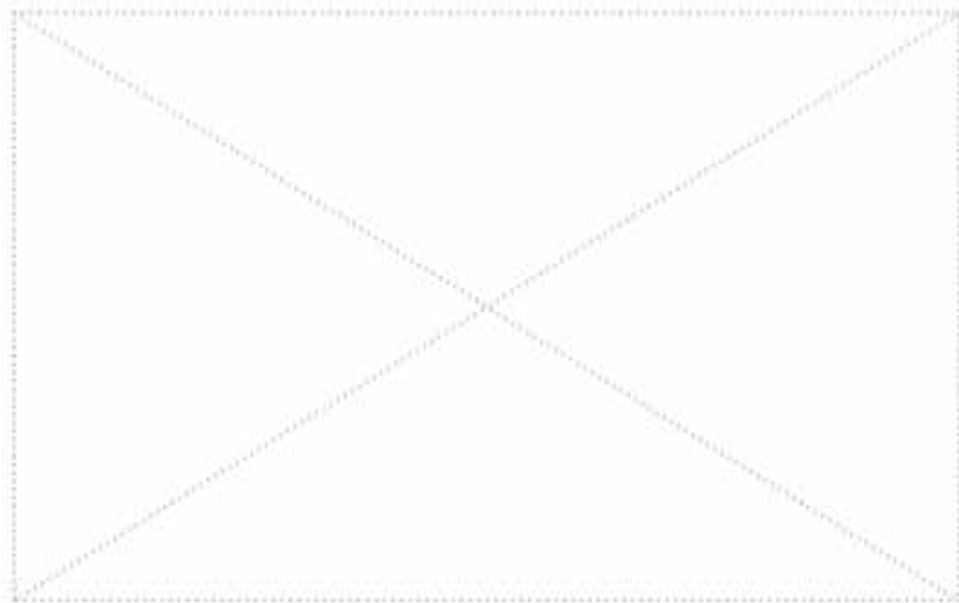
○ 사업추진체계

- 과학기술정보통신부
 - 연구개발정책 목표 및 방향 설정, 사업시행계획 수립, 추진위원회 운영, 사업총괄 협약(과기정통부↔연구재단) 등
- 한국연구재단
 - 신규 연구단 선정, 연구단 R&D 평가(연차/단계), 전주기적 성과관리 지원, 연구단별 연구협약(연구재단↔연구단) 등
- 연구단(장)
 - 연구단 프로젝트 총괄 책임, 연구네트워크 활성화 및 융합·연계 연구 주도, 세부과제 평가 및 관리, 세부과제 협약(연구단↔주관연구기관) 등

- 주관연구기관 : 세부 연구과제 수행
- 과학기술일자리진흥원 : IP 창출 컨설팅(성과분석 및 BM 수립) 및 기술 마케팅 지원

<표 33> 사업 추진 기관 역할

주체	역할
과학기술정보통신부	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 글로벌프론티어R&D사업 시행계획 수립 ◆ 글로벌프론티어R&D투자 우선순위결정 ◆ 글로벌프론티어사업 추진위원회 운영 ◆ 사업총괄협약(과기부↔연구재단) 등
한국연구재단	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 연구단 R&D기획 및 평가 ◆ 프로그램평가 및 단계평가 ◆ 전주기 성과관리 지원 ◆ 연구단별 연구협약(연구재단↔연구단) 등
연구단장	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 연구단 프로젝트에 대한 총괄책임 ◆ 국제자문단 운영 ◆ 연구단 프로젝트 R&D평가 및 관리 ◆ 세부과제 협약(연구단↔주관연구기관) 등
주관연구기관	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 세부연구프로젝트 수행에 대한 책임 ◆ R&D예산의 집행관리



출처: 글로벌프론티어사업 본부장 협의회, 글로벌프론티어사업 미래를 향한 9년의 도전(2019)

[그림 28] 사업추진체계

○ 연구단 구성·운영

- (구성) 기존의 우수한 연구그룹(Center of Excellence)이 참여하는 우수 연구 네트워크(Network of Excellence) 사업으로 우수한 연구자가 아닌 우수한 연구그룹을 선정
- (지위) 인사 및 예산권의 독립적인 운영이 가능한 형태로 9년 존속 후 해체를 원칙으로 하나 필요시 정부 지원 없이 존치 가능
- (운영) 연구단장의 책임과 권한을 강화하여 연구단의 자율성을 높이고, 연구 재투자를 통한 선순환 구조 확립을 위해 연구단을 별도 법인화하여 연구단의 독립성 보장

○ 연구단장 선정

- (자격) 박사 후 10년 이상의 실무경력과 리더십, R&D기획평가관리 경험, 탁월한 연구실적 및 국내외 연구 네트워크 보유, 국가R&D참여제한 등의 조치를 받은 경력이 없는 인사

<표 34> 연구단장의 자격

구분	주요 내용
연구 경력	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 박사 후 10년 이상의 실무경력 보유 ◆ 전문연구분야의 미래 비전과 통찰력을 보유한 전문가
R&D기획평가 관리 경력	<ul style="list-style-type: none"> ◆ R&D기획평가관리 업무 또는 자문위원으로 활동한 경력 보유
연구 실적 및 네트워크	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 탁월한 연구실적을 가지고 있어 관련분야 연구자로부터 신뢰를 확보 ◆ 선진국 우수 연구팀과 국제협력 관계를 구축할 수 있는 능력은 보유
도덕성	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 공정한 평가 및 도덕성을 보유하여 리더로서 결격사유가 없는 자 ◆ 부실한 과제 수행 등으로 국가R&D참여제한 등의 조치를 받은 경력이 없는 자

- (권한) 연구단 임무 및 목표 달성을 위해 R&D프로젝트 관리 전반에 대한 책임과 권한을 부여하고, 연구단 운영 전반에 대한 의사를 결정하는 운영위원회 구성·운영, 전체 예산의 15%범위 내에서 연구 분야 선정·지원 등의 권한 부여
- (임기) 9년을 원칙으로 하고 유고시 새로 선임

○ 연구단 관리 및 평가

- (진도관리) 연구단의 연구행정본부는 연구단 하위 과제의 연구책임자가 제시한 마일스톤을 기반으로 목표달성도 평가를 통해 연구과제의 지속 또는 중단 여부, 연구내용/연구비 조정 등을 결정
- 연구과제 중도 탈락 시 6개월 간의 연구종료기간을 설정하여 지원

○ (자체평가) 한국연구재단의 자체평가매뉴얼을 참고하여 연구단 자율적으로 추진

- 연구단의 특성을 고려한 성과지표 선정, 평가기준 및 성과측정방법 구상, 평가 결과 및 후속조치 등 전반에 대한 책임과 권한은 연구단장이 보유

○ (단계(결과)평가) 기획추진위원회 주관 하에 2+3+4 방식으로 수행하며, 연구단이 작성한 성과보고서를 기반으로 컨설팅사가 제3자 평가보고서를 작성하여 단계평가 실시

- 연구단 내 탈락 또는 지원 중단된 하위 과제는 단계적인 연구비 삭감 기간(Phase-down) 1년 간 지원
- 성과가 우수한 과제는 상세 추적 평가를 실시

국가 고위험·고성과 중장기 연구개발사업 추진 전략방향 수립 연구

제 4 장 정책방안

4. 정책방안


4.1 개요

국내여건

- (투자) 국내에서는 기초연구 혁신을 위한 지원프로그램이 다양하게 투자되고 있으나, 고위험 연구를 진행하는 현장 연구자들의 체감도가 낮은 상황
 - 기초연구 프로그램 내 별도의 고위험을 목적으로 한 프로그램이 제안되지 않고 있으며, 기초연구 프로그램 중 일부만이 고위험-고성과를 지향하고 있음
 - 국내 고위험-고성과 연구의 경우 기술 중심으로 기획되는 기존 R&D 사업들과 차별성 불명확
 - 국내 연구자의 역량의 증가해도 불구하고, 연구지원체계는 과제중심의 연구지원에 집중
- (목표 및 관리) 국내 고위험-고성과를 지향하는 일부 사업들은 임무형 연구가 대다수
 - 알키미스트, 파이오니아사업, 프론티어 사업 등은 결과물과 활용목적이 명확한 과제별 임무형 연구에 집중
 - * 고위험-고성과 연구의 특성상 연구결과물의 활용과 범위를 특정하지 못하고, 과급효과나 활용성에 예상되기 어려운 연구영역으로, 임무형 연구와 목적이 상이
 - 특히, 임무형 연구는 사업목적이 명확한 만큼, 관리체계가 목표달성을 위한 관리·평가체계 중심으로 이루어지고 있음
- (정책 지원체계) 고위험-고성과 연구에 명확한 지원근거가 부족하여, 부처 등 정책입안자의 정책추진이 제한적
 - 고위험-고성과 연구의 별도의 법적·정책적 근거가 미약하여, 국가연구개발사업과 동일한 법적근거로 인한 사업추진이 제약



개선방안

- (투자) 고위험-고성과 전용 프로그램과 예산 구조를 마련하고, 다양한 형태의 고위험-고성과 과제를 마련
 - 고위험-고성과에 한정한 전용예산과 프로그램을 마련하고, 다양한 관점에서 고위험 연구가 가능하도록 다양한 지원형태의 과제 마련
 - 프로그램 단위의 예산 포트폴리오 마련과 국가 정책과의 연계방안 마련
 - (목표 및 관리) 포괄적 목표설정 및 고위험-고성과를 위한 별도의 지원·관리체계 마련
 - 연구자의 자율성과 연구몰입을 높이고, 장기적 관점의 성과 확산을 위한 포괄적인 목표설정 및 관리 추진
 - 고위험-고성과 과제에 적합한 독립적이며 자율적인 지원과 관리, 효과적인 성과 창출을 할 수 있도록 지원체계 마련
 - (정책 지원체계) 장기적 관점에서 정부주도의 정책적·법적 근거 마련 추진
 - 고위험-고성과 연구의 별도 재정지원정책과 법적근거를 마련하여, 장기적인 투자전략 구축
- 

[그림 29] 추진주체별 역할 및 주요 역할

4.2 재정지원 체계의 구축

4.2.1 고위험-고성과 전용 연구프로그램 마련

□ 현황진단

- 고위험-고성과 연구를 촉진하기 위해 많은 재정지원 프로그램이 존재하고 있으며, 이러한 지원프로그램을 마련은 가장 강력한 촉진 정책
 - 실제 정책 입안자들이 고위험-고성과 연구를 활성화 하기 위해서는 연구자금을 마련하여 연구자들을 유인
 - 이에 따라 다양한 목적에 맞춰 국가별로 다수의 고위험-고성과 연구프로그램을 운영하고 있으며, 그에 따른 성격과 접근방식이 상이
- 고위험-고성과 연구를 추진하는 목표와 접근방식, 추진내용이 다양하기 때문에 재정지원 체계를 유형화 하는데는 제한적
 - 그럼에도 불구하고, 고위험-고성과 촉진을 위하여 재정지원 체계 구축 방향의 특징과 개선방안은 고위험-고성과라는 특성에 고려한 재정지원 체계 구축이 필요

<표 35> 국가별 고위험-고성과 연구 프로그램

국가	프로그램 명
아르헨티나	STRATEGIC PROJECTS
호주	NEXT GENERATION TECHNOLOGIES FUND
호주	ARC CENTRES OF EXCELLENCE
오스트리아	Innovation Fund: Research, Science and Society
캐나다	Canadian Institute for Advanced Research
캐나다	NEW FRONTIERS IN RESEARCH FUND
칠레	MILLENNIUM SCIENCE INITIATIVE
키프로스	RESTART EXCELLENCE HUBS PROGRAMME
체코 공화국	GRANT PROJECTS OF EXCELLENCE IN BASIC RESEARCH
덴마크	GRANTS AND PROFESSORSHIPS FROM THE DANISH

국가	프로그램 명
	NATIONAL RESEARCH FOUNDATION
덴마크	INDEPENDENT RESEARCH FUND DENMARK
유럽 연합	FUTURE AND EMERGING SCIENCE AND TECHNOLOGIES OPEN
유럽 연합	EUROPEAN RESEARCH COUNCIL RESEARCH GRANTS - Consolidator Grants
핀란드	ACADEMY OF FINLAND FLAGSHIP PROGRAMME FOR TOP-LEVEL, HIGH-IMPACT RESEARCH CLUSTERS
프랑스	OH Risque
독일	Reinhart Koselleck Projects
그리스	HELLENIC FOUNDATION FOR RESEARCH AND INNOVATION
아일랜드	SFI FRONTIERS FOR THE FUTURE PROGRAMME
일본	Funding Programme for World-Leading Innovative R&D on Science and Technology (FIRST)
일본	Impulsing Paradigm Change through Disruptive Technologies Programme (ImPACT)
일본	Moonshot Research and Development Programme
한국	국가 R&D 선진화 전략
한국	미래유망 융합기술 파이오니아사업
한국	알키미스트 프로젝트
네덜란드	Off Road
네덜란드	Diabetes II Breakthrough
네덜란드	Open Mind
네덜란드	Ideas Generator
네덜란드	Open Competition ENW-XS
뉴질랜드	MARSDEN FUND
뉴질랜드	STRATEGIC SCIENCE INVESTMENT FUND
뉴질랜드	ENDEAVOUR FUND
노르웨이	EnergiX
노르웨이	FRIPRO

국가	프로그램 명
노르웨이	Aquaculture
폴란드	[NCN] MAESTRO ADVANCED GRANTS
폴란드	[NCN] Research programmes for advanced researchers
포르투갈	EXPLORATORY RESEARCH PROJECTS
슬로베니아	ERC COMPLEMENTARY SCHEME
스페인	PROJECTS "EXPLORE SCIENCE" AND "EXPLORE TECHNOLOGY"
영국	Transformative Research and Development Fund
미국	Early-concepts for Exploratory Research (EAGER)
미국	National Science Foundation RAISE (Research Advanced by Interdisciplinary Science and Engineering)
미국	National Institutes of Health HRHR Research Programs: Pioneer Award
미국	National Institutes of Health HRHR Research Programs: New Innovator Award
미국	National Institutes of Health HRHR Research Programs: Transformative Research Award
미국	National Institutes of Health HRHR Research Programs: Early Independence Award
미국	ARPA-E
미국	Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA)
미국	National Science Foundation Special Creativity Extensions
미국	National Science Foundation Ideas Lab
미국	IARPA Better Extraction from Text Towards Enhanced Retrieval
미국	DOD Newton Award for Transformative Ideas during the COVID-19 Pandemic
미국	NOMIS Foundation
미국	Howard Hughes Medical Institute (HHMI)

□ 개선방향

- **고위험-고성과 연구과제 전용 예산을 마련**하고, 연구주제는 고위험-고성과 연구주제에 한정하여 추진 필요
 - 각국의 고위험-고성과 연구과제가 다양하게 추진됨에도 불구하고, 실제 전용 프로그램은 소수 프로그램에 한정
 - 미국의 NIH의 HRHR, 프랑스의 OH Risque 프로그램, 영국의 UKRI 등은 명시적으로 고위험 고성과를 위한 프로그램을 운영하고 있으며, 명시적이지 않지만 60년이상 높은 위험성의 연구를 지원해온 DARPA, ARPA 등 포함
 - 이들의 연구는 대부분 고위험-고성과 연구를 강조하고 있음



[그림 30] DARPA, ARPA-E 등 고위험-고성과 프로그램 개념도

- 반면 우리나라의 알키미스트 프로그램이나 파이오니아사업은 고위험-고성과를 지향하고 있지만, 실제 명시적으로 제시되지 않고 있으며 권장수준에 머물러 있음
- 고위험-고성과에 초점된 연구는 새로운 연구방향에 대하여 근본적이고 새로운 통찰력을 발굴할 수 있으나, 권장수준의 연구는 연구의 성과물이 기존의 전문성으로 확장되는 수준에 머무를 가능성이 높기 때문에 **프로그램 내 고위험-고성과를 명시적으로 제안** 필요

- 연구를 기획하고 추진하는 과정에서 고위험 연구가 단순히 권유사항으로 제안된다면, 과제 수행자는 이전의 수행경험과 전문성을 기반으로 위험성이 상대적으로 낮은 연구를 추진
 - 위험을 부담하고 경계를 넘는 시도를 지원하지 않으면 국가의 장기적인 혁신역량 및 과학기술 경쟁력을 위태롭게 할 우려
 - 혁신적인 임무를 설정하지 않으면, 성공적인 결과 도출의 부담 등으로 인해 기존의 아이디어를 점진적으로(incremental) 개선하는 과학기술 위험회피주의(conservatism)가 나타날 가능성이 큼

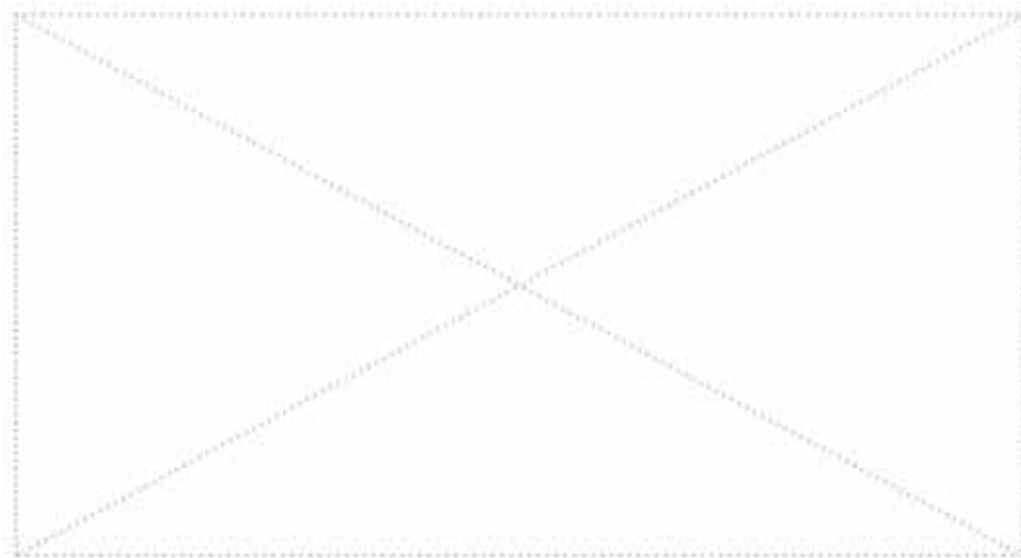
「혁신적 연구가 지원되지 않고 위험회피주의(Conservatism)가 나타나는 이유」

- ① 펀딩 기관이 공적인 지원에 대한 성공적인 결과를 중시
- ② 평가자들도 명백하게 실현가능한 프로젝트를 더 잘 이해하고 선호
- ③ 기존 연구를 통해 달성된 기득권은 새로운 시도를 가치 절하

- 실제 고위험 연구의 파급효과를 높이기 위해서는 기존의 아이디어 보다 대담하면서도 도전적이며 혁신적인 연구를 통해 기존의 접근방식과 반복적인 틀에 얽매이지 않아야 미래산업 및 사회에 강력한 파급효과를 미침
 - NIH Pooneer Award는 과제 신청자에게 연구주제에 대한 제안을 받으면서 보유하고 있는 역량과 경험을 활용할 수 있지만 기존에 추진해 온 연구 영역은 지원하지 않음. 오히려 새로운 연구방향을 제시해야만 함
 - 일본의 Moonshot프로그램은 지원과정과 수행과정 전체에서 프로젝트가 고위험-고성과여야 함으로 여러 가지 방식으로 강조하고 있음
- 고위험-고성과 초점의 연구가 아닌 **고위험에 초점이 된 연구 프로그램** 추진 필요
 - 고위험-고성과 연구가 고성과에 초점을 두면서 사업의 목표가 성과지향적으로 제안되고, 이에 따른 실제적인 고위험 연구가 지양되는 문제가 발생
 - 고위험-고성과 연구가 고성과에 초점이 되어 있다는 점만 부각되면서, 고위험 연구가 고성과로 이어질 것이라는 막연한 기대감으로 인하

여 나타나는 오류임

- 고성과는 고위험 연구 과정에서 기존에 시도하지 않은 방법을 시도하는 과정에서 소수의 방법이 나머지의 실패로 인한 손실을 충족 할 뿐만 아니라 이를 뛰어넘는 다는 점에 관심을 집중이 필요
- 고위험-고성과의 연구의 특성사 대부분의 연구가 실패나 기존의 일반적인 R&D보다 낮은 무의미한 결과물을 산출하는 것이 대부분



[그림 31] 연구개발투자 VS 고위험-고성과 투자

4.2.2 고위험-고성과 프로그램 지원형태 및 기간의 다양화

□ 현황진단

- 고위험-고성과 연구들은 특징은 일반 연구개발 투자보다 장기적 관점에서 지원을 추진
 - 연구자가 논문이나 기타 연구 결과물을 급하게 도출하려고 하거나 후속 연구과제 수탁을 위해 단기 결과물에 초점을 줄 위험을 낮추도록 하기 위함
- 즉각적 성과에 부담을 경감하고, 성과보다 리스크를 감수하도록 장기적인 지원이 필요하나 프로그램의 지원기간과 관리방안이 명확하지 않음

- 국가별/사업별 짧게는 12개월부터 길게는 10년까지 추진하는 과제가 다양하게 구성되어 있음
- NIH의 4개의 고위험-고성과 연구프로그램은 5년간의 지원이 이루어지며, 일본의 Moonshot프로그램과 DFG의 재단 Reinhart Koseleck Projects 등도 5년간의 투자가 진행(최대 10년 까지)
- 반면 프랑스의 OH Risque프로그램은 2년동안 지원받고 지속/불지속으로 결정으로 2년간 추가 자금을 받는 형식으로 추진
- 네덜란드의 OffRoad프로그램이나, 미국의 Newton Award for Transformative Ideas프로그램은 6개월 동안 추진하는 프로그램이 진행

□ 개선방향

- 고위험-고성과 연구의 목적에 따라 지원시기, 비용규모가 **다양한 형태 프로그램 제안**이 요구
 - 고위험-고성과의 특성상 짧은기간의 연구는 즉각적 성과 요구에 대한 부담이 증가되며, 리스크 관리가 어렵기 때문에 높은 성과를 도출되기 어려워 장기연구가 진행되어야 할 것으로 예상되나 꼭 그렇지는 않음
 - 연구과정에서 발생하는 위험요소는 시간적 리스크도 포함되어 있지만, 예산, 시기, 방법론, 프로젝트 관리 등 다양한 리스크가 존재
 - 그렇기 때문에, 지원기간이나, 지원관리, 연구관리 체계 등을 일률적으로 적용되는 것이 아니라, 각 과제의 목적에 따라 이를 선택하여 추진해야함
 - 국가연구개발사업의 경우도 세부사업별로 기술, 연구개발단계(기초, 응용, 개발, 사업화 등), 연구수행주체(산, 학, 연, 협동 등), 사업규모, 지원기간 등이 상이하며, 이러한 연구생태계 조성과정에서 효과적인 R&D 결과물이 생성
 - 단순히 하나의 프로그램을 효율적으로 운영한다는 개념이 아닌, 고위험-고성과 연구의 생태계 조성을 위해서 다각화된 관점의 전반적인 프로그램 운영 생태계가 마련되어야 함
- **지원기간, 지원규모, 관리방안**은 일반적으로 연동되어 있으나, 사업의 목적에 따라 **선택적으로 활용**되어야 함

- 장기지원 프로그램은 상대적으로 대규모지원이며, 이에 따른 적극적 관리가 필요하며, 반대로 단기지원은 중소형지원이며 상대적으로는 불간섭으로 추진될 가능성이 높음
- 하지만 코로나-19와 같은 연구는 단기적 지원인 반면 대규모의 불간섭의 연구개발을 통해 높은 성과를 달성하였으며, 일본의 도전적 연구와 같은 사업은 장기간의 중소형지원을 통해 학술체계와 방향성을 크게 바꾸는 불간섭의 연구를 지원
- 즉, 같은 고위험-고성과 프로그램이라고 하더라도 프로그램의 형태와 목적, 지원대상 등을 고려하여 추진 필요

<표 36> 고위험-고성과 연구의 지원방식과 장단점

구분	지원 방식	지원 내용	장단점		정책사례
지원 기간	장기 지원	단기적 성과보다 리스크를 감수하도록 장기적인 지원	장점	즉각적 성과에 대한 부담 경감	미국 NIH HRHR 프로그램
			단점	대규모 예산 필요, 상황 변화에 따른 유연한 과제관리 어려움	
	단기 지원	리스크 관리를 위한 6개월 ~ 2년간의 예산을 지원	장점	탐사적 연구 지원	네덜란드 오프로드 프로그램 영국 UKRI 전략적 연구기획
			단점	성공적일 경우 추가 지원 필요	
지원 규모	대규모 지원	기술/사회/국가적으로 중대한 문제 해결을 위하여 연구대비 높은 비용을 지원	장점	연구개발 비용부족 문제 탈피	일본 Moonshot 영국 Program Grants
			단점	국가 연구개발 체계상의 높은 리스크를 보유	
	중소형 지원	특정목적을 창의적으로 해결하기 위하여 상대적으로 낮은 비용을 지원	장점	탐색적 성격이 높은 연구 지원 가능	영국 TRDF : TRT 미국 Newton Award for Transformative Ideas
			단점	성공적일 경우 추가 지원 및 후속 프로그램 마련 필요	

구분	지원 방식	지원 내용	장단점		정책사례
관리 방안	불간섭	평가 부담을 덜고 연구자에게 유연성 제공	장점	연구자의 연구몰입 향상	기초연구 지원 프로그램 등
			단점	연구의 전략성 확보 어려움	
	적극 관리	PD와 연구자 간 치열한 토론과 지속적인 소통	장점	전략성 확보 용이, 아이디어 발전과 문제 해결에 도움	미국 DARPA, ARPA-E 등 일본 moon-shot
			단점	시간과 자원 많이 소요	

4.2.3 연구자 중심의 고위험-고성과 프로그램 신설

□ 현황진단

- 대부분의 연구과제가 그렇듯 고위험-고성과 연구 프로그램 대다수가 특정 연구주제를 수행하기 위하여 예산이 지원
 - 대다수의 성공적인 연구는 연구자가 위험을 감수하면서 새로운 아이디어를 제시하고 창의적이고 혁신적인 연구방법을 통해 높은 연구성과를 도출하는 등 ‘인적 기반’으로 진행
 - 높은 성과를 나타내는 연구자는 일반적으로 자신의 인적 자원을 바탕으로 혁신적인 연구를 통해 성과를 창출하고 있으며, 이에 따라 대규모의 연구개발 영역에서도 인력의 매튜효과*가 발생함³⁷⁾
 - * 매튜효과는 부자는 더욱 부자가 되고 가난한 자는 더욱 가난해지는 부익부 빈익빈 현상을 지칭하는 사회학적 용어으로써, 실제 연구개발 영역에서도 높은 성과를 나타낸 연구자가 향후에도 더 높은 성과를 창출하여 국가연구개발비를 더 많이 확보함
 - 이러한 사실은 실제 높은 연구의 성과는 높은 인적자원을 바탕으로 성과가 창출되고 있음을 시사

37) Bol, T., de Vaan, M., & van de Rijdt, A. (2018). The Matthew effect in science funding. Proceedings of the National Academy of Sciences, 115(19), 4887-4890.

- 이러한 배경에도 불구하고, 대부분의 고위험-고성과 프로그램은 특정 아이디어나 연구주제를 수행하기 위한 방법으로 예산을 지원
 - 연구자는 연구주제 및 아이디어를 구현하기 위하여 장기적으로 이에 관한 연구개발을 수행하게 되며, 이러한 연구주제 및 아이디어는 지원 기간동안 엄격하게 변화없이 연구가 추진
- 그렇기 때문에 연구자 인적자원 중심의 연구가 요구되는 상황
- 고위험-고성과 연구주제·아이디어를 기획하는 과정에서 기획을 수행하는 전문가는 미래에 ‘예상 가능’한 연구주제·아이디어를 선정하거나 연구 기간을 고려하여 ‘실현 가능’한 연구주제·아이디어를 선정함에 따라 실제 고위험의 연구가 상대적으로 고위험적이지 않은 문제가 발생
 - 연구자의 아이디어를 최소 3년 이상의 프로그램으로 그룹핑 하여 운영하고자 하는 생각은 새로운 아이디어를 창출하는 것보다 기존 논리를 확장하는 연구나 프로젝트를 선호하게 함
 - 기획과정에서 연구자체보다는 프로그램 운영 차원에서 기획이 진행되면서, 혁신적인 아이템 제안이 어려움
 - 더불어, 연구주제나 문제를 기획하는 과정에서 선정된 아이템이 연구자가 관련 아이템의 해결방식은 혁신적일 수 있지만 아이템 자체는 혁신적이지 않은 연구가 진행될 가능성이 있음
 - 고위험-고성과 연구의 결과물은 기본성, 일반성을 가진다고 하였으며, 이러한 결과물의 특징은 구체적인 적용을 고려하지 않다가 갑자기 광범위하게 적용가능하며, 예상하지 못하는 결과를 창출하는 특징을 가짐
 - 이러한 고위험-고성과 연구결과물의 특성에 따라 ‘예상 가능’하거나 ‘실현 가능’한 연구는 실제 고위험-고성과 연구라고 볼 수 없음
 - * 기본성(Basicness) : 구체적 적용 또는 사용 없이 사실에 기초한 현황 및 관찰에 대한 연구의 실험적 또는 이론적 발견
 - * 일반성(Generality) : 일반적인 발견은 광범위한 과학 분야에 적용 가능
 - * 참신성(Novelty) : 극도로 새로운 탐구(발견)은 최첨단 기술과 다른 차원의 잠재적인 도약을 나타냄

□ 개선방향

- 연구자 인적자원을 기반으로 한 **연구자 지원 고위험-고성과 프로그램** 마련
 - 연구자가 오랜 기간동안 창의력을 발휘 할 수 있도록 자유로운 연구와 새로운 연구주제에 대응하여 연구를 진행하며, 중간에 변경 하거나 재시도 할 수 있는 유연성 있는 프로그램 마련
 - 연구의 범위는 기존의 틀을 바꾸는 연구나, 기존에 실패한 실험 등 연구자가 다양한 시도를 수행할 수 있도록 자금과 장기간의 지원을 추진
 - 세부 예산내역서, 프로젝트 계획, 제안된 연구의 기준이나 실험 내용 등이 없으며, 인적자원의 제안을 통한 프로젝트를 선정
 - 서류작업 및 제안준비를 최소화 하며, 연구의 세부사항이 아닌 연구자의 대한 설명을 중심으로 추진
 - 즉, 고위험-고성과 연구 프로그램의 선정은 연구자의 자격과 혁신성, 아이디어 설명에 중점을 두고, 그 외 추진계획이나 상세내용 등은 제안시 제외 하는 프로그램을 추진
 - NIH HRHR연구 프로그램의 일부인 Director's pioneer award은 연구자의 적합성, 혁신성, 아이디어의 설명 등 5페이지로 제한한 페이지를 제출하여 최대 5년간 70만 달러의 비용을 지원
 - 독일의 Reinhart Koselleck는 제안서는 최대 5페이지로 제출하며, 제출된 연구 아이디어를 연구자가 수행할 수 있다는 근거를 제출하도록 함
 - 반면, 우리나라의 미래유망융합기술파이오니어 사업은 어려운 임무를 해결하기 위한 파이오니어 연구임에도 연구주제가 제시되어 있으며, 2단계사업에서는 기업참여를 필수로 하는 등 사업화를 염두하여 진행
- 사회·과학적 문제 해결을 위한 **상금 및 챌린지 형태의 고위험-고성과 프로그램** 운영
 - 상금과 챌린지를 바탕으로 하는 프로그램 운영을 통해 과학관련 기관 및 연구자의 아이디어가 광범위하게 수집될 수 있도록 프로그램 운영

- 과학적 또는 기술적 문제의 해결방안을 제공할 수 있는 과학자 및 발명가에게 현금이나 인센티브를 제공하는 방법은 다양한 국가에서 활용하는 프로그램
 - * 상금을 통해 인센티브나 도전을 유도하는 방식은 아주 오랜 역사를 가진 방식으로써, 18세기 영국에서는 배의 경도를 결정하기 위한 방법이 최초로 이후에 많은 국가에서 이를 활용
- 상금을 수여할 수 있는 범위는 연구자, 대학, 연구기관 뿐만 아니라 단체, 기업, 민간인의 경우도 참여할 수 있도록 그 폭을 제한하지 않음
- 정부는 성공 가능성과 결과물의 예측을 할 필요없이 매우 높은수준의 목표를 설정하고 성공에 대한 인센티브를 부여
 - 목표를 설정하는 과정에서 문제를 해결하는 방식이나 결과물의 수준, 목표물의 성공 가능성 등은 전혀 고려하지 않으며, 향후 성공한* 성과에 대해서 높은 상금과 인센티브를 부여
 - * 성공에 가장 가까운 과제에 상금이나 성공할 가능성이 높은 과제에 선정하는 것이 아니라, 성공한 성과에만 상금을 부여
 - DARPA는 DARPA 그랜드 챌린지 시리즈 프로그램을 통해 연구지원 프로그램의 연구자보다 더 광범위한 연구자를 참여시키고 인센티브 상금을 사용하여 고위험의 과학기술문제를 해결하고자 함
 - XPRIZE는 1994년부터 기술개발을 장려하고 공개대회를 설계하고 주최하는 비영리 단체로써 다양한 사회적 문제해결을 위해 대회를 추진하고 있으며, 100만여명의 사람이 참여하여 문제해결을 수행
- 정부는 고위험-고성과 연구개발 투자과정에서 발생하는 높은 수준의 위험을 감수할 필요 없이 문제를 해결이 가능하면 더 폭넓은 새로운 접근법의 수집이 가능
 - 보상에 대한 보장없이 상금을 받기 위해 연구하는 연구자 및 연구기관은 모든 재정적 비용을 부담하기 때문에, 정부의 고위험-고성과 연구개발에 관한 리스크가 상대적으로 낮음*
 - * 단, 연구자 및 기관에게는 리스크가 전가 되는 형태로 연구자 및 기관의 리스크가 높아짐

- 더불어, 현재 특정연구의 커뮤니티만 참여하는 형태의 연구보다 다양한 연구 커뮤니티가 참여함으로써, 원하는 결과를 도출하기 위한 다양한 새로운 접근법의 수집이 가능
- 다만 상금을 이용한 고위험-고성과 연구프로그램은 많은 상황에서 적용할 수 없음
- 오직 연구자 및 기관이 연구를 성공하지 못하더라도 관련 기술확보를 통해 특허나 새로운 상용제품을 통해 비용회수가 가능성이 높은 주제로 활용해야함

4.2.4 고위험-고성과 프로그램 예산구조 구축

□ 현황진단

- 국내 연구개발 지원이 예산관리 및 사용관점에서 접근하고 있어, 투자 관점의 사업관리체계 부족
 - 연구개발의 투자가 지속 및 확대되고있으나, 연구개발 내용의 중복수행, 예산낭비에 대한 외부의 감사 우려 등이 반복되는 상황
 - 예산이 연구 과정의 리스크 관리 차원에서 접근함에 따라, 세부 프로젝트 단위에서 지속수행, 중단을 결정하는 구조로 사업 등이 수행
 - * 예를들어 대부분의 연구 프로그램은 다수의 주제를 선정하고, 각각의 주제에 따른 연구기관을 선정하여 연구를 수행하게 하고, 그 결과물을 기획/진도점검/중간평가 등으로 사업의 지속수행을 결정
- 또 다른 측면에서 우리나라는 과급효과가 큰 기초연구를 위하여 출연(연)을 중심으로 연구개발이 집중되고 있으나, 출연금 방식의 경우 자율성과 창의성을 높이는 반면 연구 보수주의를 확대하는 문제도 발생
 - 출연금을 통한 연구는 여러 연구자들에게 안정성을 제공함으로써, 연구자는 실패로 인한 문제를 고려하지 않고, 두려움없이 혁신적이며 실패가능성이 높은 연구를 추진 가능

- 반면 높은 자율성으로 인하여, 연구자들은 기존의 연구한 결과물을 바탕으로 점진적인 연구*를 계속 추구함으로써 연구 보수주의를 확대하는 역할을 하는 문제 발생
 - * 기존의 연구개발한 성과물을 더 높은 수준으로 올리기 위하여 수행하는 연구

□ 개선방향

- 고위험-고성과 프로그램의 관리는 개별 프로젝트가 아니라 **프로그램 단위에서의 예산 포트폴리오 구조 마련**
 - 연구 프로그램의 예산 포트폴리오를 일반적인 금융투자 포트폴리오와 유사하게 접근 필요
 - 금융투자 포트폴리오는 위험을 관리하고 재무수익을 극대화하기 위한 방안으로 이루어지고 있으며, 이를 위한 기대수익, 리스크 등을 종합적으로 고려하여 최고의 수익을 도출하기 위하여 구성
 - 금융투자 포트폴리오가 단순히 수익률만을 높이거나 리스크를 최소화하는 방안을 활용하지 않고 포트폴리오 단위에서 최적의 위험과 수익을 고려하여 운용
 - 마찬가지로 고위험-고성과 연구 프로그램의 경우도 포트폴리오 단위에서 관리가 필요
 - 세부적인 프로젝트의 성과나 관리차원이 아니라 프로그램의 운영 차원에서 고위험 연구를 장려하고, 일부의 프로젝트 성공이 프로그램의 성공으로 이어질 수 있는 포트폴리오 체계 마련이 요구
 - 예를들어 10개의 프로젝트 중 1개만 새로운 지식의 창출이나 파급효과가 예상되고, 나머지 90%가 성공적이지 않은 연구의 가능성이 높은 상황에서
 - 1) 프로젝트 단위로 관리하는 사업일 경우 국가의 재정적 지원이 없을 가능성이 높으며, 연구프로그램의 위험을 줄여야 한다고 지적을 받을 것으로 예상
 - 2) 하지만 포트폴리오 차원에서 구축할 경우 만약 10개의 프로젝트 중 하나의 주요한 성공으로 인하여 10개 프로젝트의 성과보다 높은

보상을 받을 경우 투자의 정당성 확보가 가능

- 이러한 포트폴리오 수준의 관리는 위험을 감수하면서도 성공적인 프로젝트의 영향과 덜 성공적인 프로젝트와의 균형이 가능하고, 프로그램의 관리자는 여러 잠재적 접근 방식을 시도할 수 있으며, 전체시스템으로 관리 가능

○ 고위험-고성과 프로그램 **포트폴리오 방식의 적용범위를 국가 전체 시스템으로 활용** 확대

- 포트폴리오 접근방식의 특성상 프로젝트 관리 레벨부터 국가전략적 차원으로 활용 가능하기 때문에 전체시스템으로 활용 고려
 - 위에서 설명한 바와 같이 다양한 연구프로젝트의 위험을 분산시키고 성과를 제고하기 위하여 프로그램 수준에서의 관리 가능
 - 기관에서는 전통적인 자금조달과 고위험-고성과 프로그램의 지원방식을 혼합하는 과정에서 시스템으로 활용
 - 국가전략적 차원에서, 국가가 돌파하고자 하는 문제해결을 위하여 더 높은 위험성이 있는 영역에 고위험-고성과 프로그램을 설정
 - * 예를들어 국내에서는 차세대 12대 국가전략기술 중 미래도전이 요구되는 첨단바이오, 우주항공·해양, 수소, 사이버 보안 등에 대체불가 원천기술을 확보를 목표를 설정하였는데, 포트폴리오 관점에서 관련 영역에 고위험-고성과 프로그램의 영역설정 가능
- 더불어 우리나라의 대부분의 연구평가는 일반적인 서지 지표를 사용하는 경향이 높은데, 포트폴리오에서의 관점은 영향력 관점에서 관리가 가능

○ 고위험-고성과 연구를 장려하기 위하여 **출연금**의 일부를 경쟁형으로 **고위험-고성과 사전연구의 자금으로 활용**하며, 국가는 **후속연구를 추진하는 형태**로 사업을 추진

- 출연(연)은 일부 출연금을 활용하여 기관 내에서 경쟁형 프로그램을 마련하고, 연구자/연구팀은 고위험-고성과 프로그램을 위한 예비 연구를 수행
 - 사전연구에서는 제안된 고위험 연구에 대한 다양한 접근법과 수행방법을 검토하고, 사업의 방향성을 다수로 제시

- 사전 연구를 통해 고위험-고성과 연구의 위험도를 낮추고, 국가로부터 자금지원을 통해 본격적인 고위험 연구를 수행
 - 미국의 UCI에서는 교수의 연구아이디어를 내부 교수 주도로 동료 검토를 통해 선정하여 출연자금을 지원하여, 이를 통한 예비작업을 수행하고 연방 연구자금을 지원기관으로부터 수탁받아 추진
 - 프랑스에서는 Sorbonne University가 고위험-고성과 연구를 위한 자금을 마련하고 이를 수행하는 과정에서 어느정도*의 연구내용을 제공하기 위한 제한된 연구가 추진
- * 정부가 고위험-고성과 연구를 지원할 정도의 정책적·수요적·가능성 등의 기준치를 초과하는 정도의 연구

<표 37> 재정지원 체계 구축 정책 액션플랜

추진과제 1

국가연구개발사업 내 고위험-고성과 연구분야 블록펀딩

① 고위험-고성과 전용 블록펀딩 마련

- 고위험-고성과 연구의 운영 취지에 맞춰 사업특성을 고려한 블록펀딩* 할당
 - * 정부가 큰틀에서 연구방향과 총액만 결정해 지원하고 연구수행자에게 예산집행의 자율권을 주는 지원방식
- 연구자들의 창의성·다양성에 기반하고, 연구자들이 실질적으로 체감 가능하도록 국가연구개발사업 중 일부 비중을 고위험-고성과 연구분야 블록펀딩 운영

② 고위험-고성과 연구기관·연구자의 자율성 확대

- 블록펀딩의 운영 취지에 맞게 고위험-고성과 연구의 수행기관 운영, 연구주제선정, 연구수행, 연구비사용 등의 자율성을 보장
- 연구수행 기관 및 연구자가 연구주제 선정과 연구방법의 자율성을 확보할 수 있는 방안 마련

③ 고위험-고성과 전용 블록펀딩 예산 지속 확대

- 고위험-고성과 연구의 지속적인 확대를 통해 연구자의 연구기회를 지속적으로 확대
 - 이를 통해 고위험-고성과 연구의 활성화 및 저변 확대

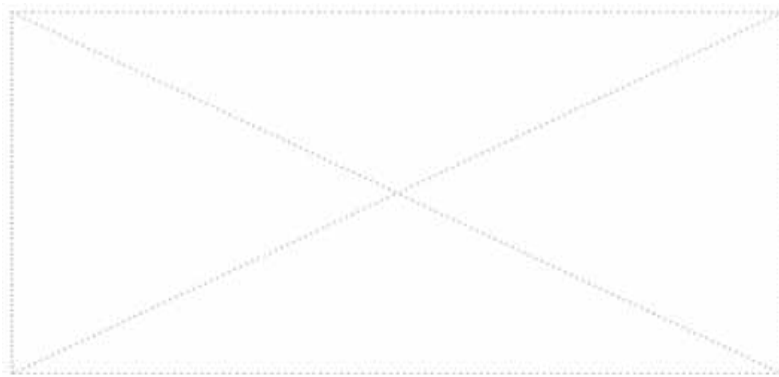
추진과제 2

고위험-고성과 전용 연구프로그램 마련 및 유형화

① 고위험-고성과 전용 연구프로그램 마련

- 연구주제가 고위험-고성과 연구주제에 한정된 연구프로그램에 마련
 - 기초연구 및 다른 국가지원프로그램과의 차별성이 명확하도록, 고위험에 관한 제안이 가능한 연구프로그램 마련
- 고위험-고성과 연구프로그램이 연구자에게 연구단절 없는 안정적인 연구비 지원을 위하여 연차/단계평가의 결과가 연구비 지급에 영향을 미치지 않는 지원 프로그램 마련
 - 우수 연구기관 및 연구자가 연구단절 없이 연구를 지속할 수 있고 연구성과를 지속적으로 창출 할 수 있도록 중단 없는 연구비 지원
 - * 연구비의 축소나 중단이 없는 대신 관리기관 및 PM등은 연구과제의 필요성과 과급성을 고려하여 주제의 변경이나 확장, 타과제와의 융합 등이 이루어지도록 관리·지원

② 고위험-고성과 지원의 연구프로그램 다각화



- 개인연구자가 초기부터 지속적인 연구를 진행할 수 있도록 중·장기의 개인역량 연구지원부터 심화연구 프로그램 진행
 - 연구자가 자신의 연구분야에서 수행하는 연구부터 장기적 관점에서 지속적인 연구를 수행할 수 있도록 지원하는 프로그램 마련
- 국가정책목표달성을 위하여, 단기-장기간 투자해야하는 영역에 대한 연구가 진행될 수 있도록 지원 유형의 다양화하여 프로그램 마련
- 프로그램에 외에도 각종 시의성을 고려한 챌린지 프로그램 운영

추진과제 3

고위험-고성과 투자 포트폴리오 마련

① 고위험-고성과 프로그램 간 장벽없는 투자 추진

- 고위험-고성과 세부 연구프로그램 간 예산을 할당하는 방식이 아니라 블록펀딩 내 자유롭게 활용을 위한 유연한 지원 추진
 - 각 프로그램의 필요성과 고위험-고성과 우수 연구의 제안 등을 고려하여, 프로그램 간 예산의 할당없이 유연하게 활용 추진

② 고위험-고성과 프로그램 투자 포트폴리오 구조 마련

- 블록펀딩 내에서 연구 프로그램의 예산을 포트폴리오를 단위에서 관리 추진
 - 목표 달성을 위해 필요한 다양한 기술을 포트폴리오로 구성하여 동시 지원
- 고위험-고성과 프로그램 포트폴리오 방식의 적용범위를 국가 전체시스템으로 활용 확대를 위한 연계방안 마련

4.3 목표·관리 체계의 구축

4.3.1 체계화된 고위험-고성과 연구프로그램 목표설정

□ 현황진단

- 고위험-고성과 연구의 성과를 확대하기 위해서는 명확한 목표설정이 요구되나, 너무 세부적인 연구주제의 제안은 혁신적이고 새로운 형태의 연구를 제한할 가능성이 있음
 - 고위험-고성과 연구는 연구자가 얼마나 적극적으로 새로운 방법과 연구주제를 통해 목표를 실현하고, 이로 인한 혁신이 파급되는 효과가 가진 연구
 - 고위험-고성과의 연구 목표가 없다면 연구자는 무엇을 해야하는지 모르는 상태가 되어버리고, 목표 달성을 위한 세부목표가 너무 세분화 되어 있다면 세부목표 달성을 위해 새로운 형태의 연구나 방법론을 시도를 하지 않을 가능성이 높음
- 이에 연구프로그램의 목표설정과 각 구성요소의 목표설정은 매우 다른 설계를 해야하는 상황
 - 프로그램의 시행에 대한 정책적 거버넌스, 프로그램운영, 연구주제의 선정 등 각 계층별 다른 설계와 연계가 되어야 함
- 우리나라의 고위험-고성과 프로그램은 혁신성·도전성이 떨어지는 점진적인(incremental) 목표를 설정하였으며, 목표를 달성하기 위한 세부목표 설정도 미흡
 - 우리나라의 대표적인 고위험-고성과 연구프로그램인 글로벌 프론티어 사업은 연구목표 대비 성공률이 약 100%로 DARPA 등 고위험(성공확률 10% 수준)의 혁신적 연구프로그램에 비해 매우 높은 수준

<표 38> 글로벌프론티어 종료연구단의 목표 대비 성공률

연번	연구단 명	연구기간	목표 대비 성공률
1	바이오매스 연구단	10.10~19.8	99%
2	의약바이오컨버전스 연구단	10.10~19.8	98%
3	인체감응솔루션 연구단	10.10~19.8	99%
4	지능형바이오시스템 연구단	11.9~20.10	100%
5	나노기반소프트일렉트로닉스 연구단	11.9~20.10	100%
6	다차원스마트IT 연구단	11.9~20.10	100%
7	멀티스케일에너지시스템 연구단	11.9~20.10	100%

□ 개선방안

○ 우리나라의 전체 고위험-고성과 연구프로그램의 포괄적 목표 지향적인 전략적 거버넌스 구축

- 고위험-고성과 연구프로그램에 연구개발에 참여하는 연구자·기관에 한정하지 않고 아니라 정책입안자, 정부, 민간 등이 참여하고 포괄적 목표를 지향하는 거버넌스를 구축

- 우리나라의 고위험-고성과 연구프로그램 정책적 방향성을 설정하고, 이를 포괄할 수 있는 목표체계를 설정하기 위한 거버넌스 구축

- 유럽의 호라이즌 유럽이나, 하이테크 전략 2025와 같이 국가단위의 정책적 목표 달성을 위해, 장기적이면서도 도전적인 포괄적인 목표를 설정

* 예시>호라인즌 유럽(2021~2027) 목표 : 1)암정복, 2)사회적변혁을 포함한 기후변화에 대응, 3)건강한 대양, 바다, 해안 및 해상수자원, 4)기후중립적 스마트 도시, 5)토양건강과 식량

- 거버넌스에서는 목표설정 뿐만 아니라 고위험-고성과 연구의 파급효과, 정책적대비, 추진을 위한 정책시행을 위한 방안을 마련

- 국가, 정책입안자 뿐만 아니라 민간 등 모든 관련된 인력이 참여하여 정책의 의제를 검토

○ 부처/부문/분야 고려하여 통합적인 고위험-고성과 프로그램의 주제별 목표를 설정

- 고위험-고성과 프로그램은 각 영역에서 갖는 어려운 문제에 초점을 맞추고 다양한 요구사항이 반영된 목표를 설정
 - 앞서 설정된 포괄적인 목표를 바탕으로 프로그램 단위에서 다양한 요구사항과 해결방안을 포함하여 보다 정교하고 통합적인 목표를 설정
 - * 예시> 오스트리아는 저에너지 건물의 전환을 목표 제로에너지 패시브 주택개념을 실현하는 프로그램을 1999년부터 대규모 연구 및 기술프로그램인 Future프로그램을 추진하였는데, 설계·배출가스제거·에너지효율성·지속가능한원자재·재생에너지원·에너지 활용 등 다양한 문제 도출하고, 이를 포괄하여 “Building of Tomorrow/City of the Future'를 목표로 설정하고, 지속적인 연구개발 수행
 - 우리나라의 정책 목표를 달성하기 위하여 다양한 주체들의 요구사항 등을 종합하여 고위험-고성과 연구프로그램의 목표를 제안
 - 고위험-고성과 연구프로그램의 목표는 목표달성을 통해 갖게되는 경제적, 사회적 영향력을 고려하여 제안
- 프로그램의 목표는 일반적인 연구개발 목표 뿐만 아니라 고위험-고성과 프로그램을 추진하기 위한 연구재정을 포함이 요구

4.3.2 새로운 방식의 관리 체계 도입

□ 현황진단

- 고위험-고성과 프로그램은 대부분 불확실성을 전제로 하고 있으며, 사업의 추진과 리스크 관리 방향 등 구체적인 관리방안이 부족
 - 우리나라는 연구관리 전문기관을 바탕으로 효과적 관리 및 전문·공정성 유지를 위한 전문가 활용제도를 운영하여 프로그램 등을 운영하고 있으나, 절차적 타당성 관점에서 접근하고 있어 지원체계의 한계가 있음
 - 전문기관에의 연구개발성과 관리 업무 위탁 개념을 밝히고 있으나 성과관리에 집중되어있어 연구계획·수행에 관한 관리는 미흡
 - 프로그램 단위의 관리를 총괄하는 PM이 별도로 존재하지 않으며, 주관

기관 및 연구단장 등 사업수행에 있어서 관리와 운영의 역할이 분산되어 과제 전체를 전담하는 관리자의 역할이 부재함

- 특히 우리나라는 PI가 연구개발을 직접 수행 임무비율이 높아 효율성이 감소하여 연구몰입도가 저하

○ 고위험-고성과 프로그램의 특성으로 인하여 세부 프로그램을 선정하는데 있어 기존의 방법은 제약사항이 많고, 이를 활용하는 근거가 부족한 상황

<표 39> 고위험-고성과 프로그램 평가 형태

평가형태	설명/근거		장점/단점
과학적 우수성의 전문가 평가	외부 전문가 검토	장점	확립된 메커니즘
		단점	연구 보수주의를 조장
협업·학제간·혁신적 연구의 전문가 평가	관련 유형의 연구가 더 고위험-고성과 연구인 경향이 존재	장점	제안서를 작성 용이
		단점	협업, 학제간 및 혁신적 연구가 고위험-고성과 연구와 동일하지 않음
고위험-고성과의 명시적 선택기준의 전문가 평가	고위험-고성과 연구는 지원자와 검토자 모두에게 선택기준이 제시	장점	고위험-고성과 연구에 집중가능
		단점	평가자는 고위험-고성과 연구를 평가하기 위해 교육 수료
전문가평가/익명	익명 전문가평가는 평가자가 지원자 서로가 신원을 확인하지 못함	장점	특정 범주의 지원자(신입 연구원, 여성, 소수 집단 구성원)에 대한 편견을 낮춤
		단점	실적을 포함하여 검토자가 사용할 수 있는 정보가 축소
전문가 평가/투표	전문가 평가 집단은 투표를 통해 제안서를 평가	장점	주류에서 벗어나거나 매우 다양한 평가를 받을 수 있는 제안을 장려
		단점	검토자의 의견일치를 저해

평가형태	설명/근거		장점/단점
단계평가	전문가 검토, 서면 검토, 프로그램 관리자 검토 및 인터뷰를 조합하여 사용	장점	고위험-고보상 연구 제안의 성격에 초점을 맞출수 있음 초기 단계는 가망 없는 아이디어를 선별 가능
		단점	노동력과 시간 집약적
경력단계별 세분화	초기경력, 중간경력 및 기성 연구원을 위한 별도의 프로그램을 구성함으로써 초기경력 연구자 장려	장점	초기경력 연구원은 위험을 감수하는 경향이 있지만 경력에 미치는 영향을 두려워할 수 있음
		단점	고위험-고성과 연구와 직접적인 관련이 없음
PM 및 PD	PM/PD가 내부적으로 제안을 검토하고 선택	장점	부담을 줄이고 전문가 평가의 보수적인 경향을 제거
		단점	전문 지식을 한 명의 관리자로 제한

□ 개선방안

- 독립·자율적인 지원조직, 포트폴리오 리스크 관리, 목표달성을 위한 지속적인 관리 등을 위해서는 **PD·PM중심의 과제 관리체계 마련**
 - 자유도가 높고 독립적인 R&D 기획, 평가 및 관리를 위해서는 고위험-고성과 연구만을 목적으로 하는 전담기관을 구성하여 지원 필요
 - DARPA, ARPA-E, IMPACT 등에서는 PD(혹은 PM)가 새로운 프로그램 개발, 연구자 선정, 과제 진행 관리 등에 권한을 가짐
 - ARPA-E는 프로그램 디자인 단계에서 다양한 기술적 방법들에 대해 검토하고 목표를 설정하며 리스크를 관리(프로젝트 단위에서는 복수 팀 운영을 통한 경쟁체계 갖춤)
 - PD·PM가 사업 기획·선정·평가에 주도적 역할을 하며, 환경변화에 따른 연구방향(마일스톤) 수정 등 허용
 - ARPA-E의 경우는 약 28%의 프로젝트가 드문 정도로 마일스톤을 변경하였고, 17%의 프로젝트가 빈번하게 마일스톤이 변경

<표 40> 목표·관리체계 분야 정책 액션 플랜

추진과제 4

과학기술 분야 고위험-고성과 연구프로그램 목표설정

1 과학기술기본계획 기반 고위험-고성과 연구프로그램 목표설정

○ 제5차 과학기술기본계획을 기반으로 한 고위험-고성과 연구의 포괄적인 목표설정

- 과학기술기본계획은 향후 5년간 국가과학기술 정책방향을 제시하는 과학기술분야의 최상위 계획으로, 각 중앙행정기관과 지자체는 과학기술 기본계획 추진과제에 대한 연도별 시행계획을 수립·이행

* 법적 근거 : 과학기술기본법 제7조(과학기술기본계획)

< 제5차 과학기술기본계획 구성 (예시) >

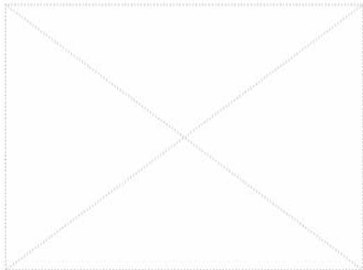
비전	세계질서 대전환 이후의 희망적 미래를 실현하기 위한 과학기술 기반의 국가사회 혁신			
국가 사회 현안 해결	전략1(회복) 위기 후 빠른 회복을 위한 회복탄력성 강화	전략2(포용) 우리 사회의 포용력을 높이는 사회안전망 구축	전략3(생존) 인류와 국가의 생존보장을 위한 국제현안 해결	
	추진과제(예시) 미래 성장동력 및 공급망 육성 디지털경제에 따른 규제재편	추진과제(예시) 고령화 사회의 의료·복지 혁신 지역자생을 위한 혁신성과 창출	추진과제(예시) 과학기술기반 탄소중립 실현 위기에측·대응· 회복력 강화	
	
과기 혁신 역량 강화	전략4(혁신/도약)			
	기술패권 시대, R&D 투자·수행· 관리의 전주기 혁신	디지털전환 이후 신시장을 개척하는 R&D 성과활용	인구절벽에 대응한 인재확보 및 권역별 연구기반 고도화	대한민국의 국격제고를 위한 국제협력 및 과학문화제도 ...

○ 포괄적인 목표지향을 위하여 타 국가연구개발사업과 고위험-고성과의 연구개발사업 간 연계체제 마련 등

1 PD중심의 연구지원체제 구성

○ 다양한 분야의 연구가 필요한 고위험-고성과 연구의 관리를 위해서 PM과 PI를 바탕으로 한 연구지원체제구성

- PD는 프로그램을 총괄하며, PI가 제시한 마일스톤 및 포트폴리오를 승인하고, PI 중심의 연구단 선정·탈락 등 역할 수행
 - 세계적 수준의 PM을 보유한 ARPA-E, DARPA의 조직모델을 수용한 최고 수준의 연구자를 PD 선정
 - 3년 임기로 상근으로 근무
 - 연구자금에 대한 보다 유연한 재량권 부여
 - PD는 자신들의 프로그램을 개발, 관리하면서 연구 수행자들과 적극적으로 교류
- PI는 세부과제 구성 등 연구단을 운영하며, PD와 협력하여 목표 달성을 위한 마일스톤 제시, 포트폴리오 구성 등을 주관
 - 사업기획 및 책임있는 연구개발이 가능한 연구자 선발
 - PI는 비상근으로 근무

	<ul style="list-style-type: none"> ① PD : 프로그램 목표 제시, PI 선정 및 탈락, 마일스톤 및 포트폴리오 구성, 프로그램 관리 등 ② 총괄 PI : 목표 달성을 위한 세부과제 포트폴리오 구성(PD 협의), 연구 총괄 주관 등 ③ 주관기관 : 포트폴리오에 따른 연구 수행
---	---

○ 분야별 전문성을 가진 PD가 기획 및 포트폴리오 구성, 연구기관 선정 및 탈락 등 전 범위를 주관

- PD는 기술 개발을 위한 과제뿐만 아니라, 필요시 성능 검증기술 개발 등 목표를 달성할 수 있도록 포트폴리오 방식의 과제 구성3

② 고위험-고성과 전용 평가제도 혁신

- 일반적인 평가 제도는 공정성이 우선되어 다양한 전문가가 참여한 평가위원을 구성·운영하고 있으나, 본 연구에서는 PD를 중심으로 한 전문성이 인정된 전문가를 바탕으로 한 전문평가단 운영
 - 컨셉페이퍼를 PD와 외부전문가가 평가 및 피드백
 - 평가는 PD와 외부전문가가 진행하나, 평가점수와 무관하게 PD가 선정 및 거부할 권한이 있음
- PD가 임명한 분야별 전문평가위원이 세부 분야의 책임을 지고 책임지며, 핵심연구자 풀 확충 및 연구자 제시
 - 고위험-고성과의 우수 연구과제를 선정하고 연구자가 만족할 수 있도록 과제 특성별 다양한 선정 평가방식 도입
 - 경쟁자 간 상호질의가 가능한 토론형 평가, 고위험-고성과 등의 사업특성을 고려한 절대평가제도 활성화
 - 평가의 질적 제고를 위하여 충분한 평가기간 확보 및 연구 정보 제공
 - 평가위원 모니터링 강화 등으로 선정 평가에서 평가자의 책임성과 신뢰성을 확보
- 연차평가의 원칙적 폐지와 컨설팅 중심의 점검 수행
 - 연구몰입 환경 구축 및 단기성과 중심의 과제 수행 방지를 위해 최종 평가 제외대상을 확대하고 하위 과제 강제 탈락 제도를 폐지
 - 최종 평가 시 성공/실패 판정을 폐지하고, 성실수행 여부를 점검 후 연구 결과의 질적 성과 수준 평가
 - 대형·장기 추진 과제의 경우 단계 평가 시 최종 목표를 달성할 수 있도록 컨설팅 중심 평가 실시
- 우수한 연구자가 적극적으로 평가에 참여하여 질적으로 우수한 과제를 선정할 수 있도록 문화 확산 및 제도 정비
 - 우수평가자 확보를 위하여 수월성 중심의 고위험연구 수행자의 평가 참여 의무 부여 검토

4.4 정책적 지원체계 구축

4.4.1 장기적인 정책적 지원 마련

□ 현황진단

- 고위험-고성과의 연구의 가장 중요한 요소는 국가가 위험을 감수하고 장기적인 정책적 지원이 필수적
 - 장기적인 연구개발 지원에는 정책적 인내가 필요하지만, 특히 연구개발에 대한 공공투자의 정당화를 위해서는 가시적인 성과를 요구하기 때문에 정책 입안자는 상대적으로 정책적인 인내심이 부족
 - 정책을 입안하는 공무원, 국가 등에서는 성과가 보이지 않는 공공투자의 지원에 대한 불이익을 잘 알고 있기 때문에 이는 문제로 발생
 - 더불어 고위험-고성과의 연구에서 중요한 문제는 고위험에 대한 문제로서 실패에 대한 관용이 요구
- 더불어 고위험 연구의 특성상 높은 과학기술적 성과를 도출될 가능성은 높으나 사회적 영향력과 경제적 영향력 측면에서는 실패가 가정되어 있는 상황
 - 고위험-고성과 연구 결과물은 새로운 개념의 제안으로 인하여, 높은 지식의 파급효과로 연구개발을 수행한 주체가 성과를 갖는 것은 제한적임
 - 연구개발 주체가 지식을 만들어 얻는 성과가 제한적으로 연구개발에 따른 성과를 확인하는 것은 어려움
 - 즉, 연구개발을 수행한 연구자 및 기관의 성과를 확인하기 어려우며, 사회적 영향력과 경제적 영향력은 파급효과로써 측정이 어려워 정책적 관점에서는 정량화 되지 못하고, 이는 실패가 가정된 것과 마찬가지로임
 - * 국내 국가연구개발사업은 산출(Output)과 결과(Outcome)의 관점에서 지표 중심의 성과를 측정하고 있으며, 이러한 성과지표는 측정가능해야 하며 간접적이거나 추상적이지 않아야 함. 또한 측정산식이나 대상이 명확히 제시되어야 함

□ 개선방안

○ 도전적이고 장기적인 지원이 가능하도록 **정부주도의 제도적 정책을 통해 제시**

- 연구부처, 연구기금 관리기관, 연구위원회 등이 고위험-고성과 연구를 제안할 수 있도록 정부 중심의 정책마련을 통해 도전적·장기적인 프로그램 기획·마련할 수 있도록 지원
- 일반적으로 부처, 관리기관, 연구위원회 등은 정부자금 지출에 대한 강한 책임감을 가지고 있기 때문에 높은 위험을 가지면서도 불확실성이 높은 연구개발투자 방향을 회피하는 경향이 높음
- 이에 정부주도의 고위험-고성과 연구 추진 정책은 정책입안자들이 적극적으로 정책을 기획할 수 있는 명분을 제공하며 실제 국가전략과 동일한 정책마련 가능
- 이러한 정책 추진이 즉각적으로 고위험-고성과 연구를 촉진하기에는 불충분하지만 그럼에도 불구하고, 하나의 큰 지침 방향을 제시할 수 있음
- 미국의 알버트 아인슈타인이 예측한 중력과 존재를 탐구하기 위하여 NSF는 수십년동안 연구 인프라 시설운동을 지원하기 위하여 1980년 후반부터 LIGO프로젝트가 추진되어 2015년이 되어서야 이를 종료할 수 있었는데, 수 십년 동안 미국의 정책입안자들은 LIGO프로젝트의 취소나 축소를 추진하려고도 검토하였지만 위험을 감수한 정치적 지원은 프로젝트가 완료될 만큼 충분히 강력하였음
- 이러한 정책적 방향성은 관련 연구가 지속될 수 있는 하나의 근거로써 작용되면, 연구자와 정책입안자가 끈기 있게 지속할 수 있는 하나의 체계로 작용

○ 장기적이고 도전적인 연구를 위해서는 지속적이고 중단없는 예산지원이 요구되며, 이에 따른 **법적근거 마련** 추진

- 장기적인 예산확보를 위해서는 국가재정법이나 과학기술법 상 수준의 고위험-고성과에 관한 연구자금의 근거마련이 필요
- 기존의 예산구조는 중앙행정기관의 법적근거에 따라 추진되고 있고 부

처의 역할과 목표에 따라 예산구조가 지속적으로 변화하는 형태를 가지고 있어 장기적인 특성을 갖는 고위험-고성과 연구의 정책적 이슈에 따라 예산구조가 변화할 가능성이 높음

- 특히, 고위험-고성과 프로그램의 특성상 규모가 매우 크고 장기적인 추진이 이루어지는 만큼 하나의 부처에서 달성하는데 제한적으로 정부 차원에서의 근거마련이 필요
- 특정 고위험-고성과 프로그램을 수행하는 형태의 법적근거 마련이 아닌 연구개발예산에서 일부 비중을 차지하는 형태의 법적근거 마련이 필요
- 고위험-고성과 프로그램의 특성상 앞서 설명한 것과 같이 정책적으로 입안을 회피하거나 정책적으로 추진하지 않을 가능성이 높은 사업이며, 장기적인 효과로 인하여 정책적 고려가 후순위인 사업
- 반면 그 파급효과는 아주 크기 때문에 지원의 필요성이 매우 높고, 장기적으로 많은 예산이 요구되는 만큼 법적근거 마련을 통해 정부조직이나 정치에 관계 없이 사업의 추진근거를 마련하여 지속적인 사업추진 가능
- * 미국에서는 2007년 미국 경쟁법에 고위험-고성과 연구를 정의하였으며, 회계감사원에서는 고위험-고성과 프로그램의 연구활동을 목표를 설정하고 있으며, 자금지원기관은 연구예산의 최소 8%를 고위험연구에 설정 하는 것은 요구

<표 41> 정책적 지원체계 분야 정책 액션 플랜

추진과제 6

고위험-고성과 연구 법적근거마련

① 국가재정법 개정

- (제23조) 고위험-고성과 연구의 경우 장기적이고 안정적으로 추진이 요구에 다른 제23조 계속비 조항내 고위험-고성과 연구성과에 대한 포함
 - 국가재정법 내 국가연구개발 사업의 경우 예비타당성 부문과 계속비 조항이 관련 규정으로, 특히, 지속적인 사업 지원을 위해서는 계속비 제도가 요구되나, 국가연구개발 사업의 경우 이 항목을 활용하지 않음
- (신규) 고위험-고성과 사업의 경우 세입세출예산 외로 사용할 수 있도록 규정
 - 2014.1.1. 개정으로 삭제되었으나 국가연구개발사업과 관련하여 중요한 의의를 지닌 「국가재정법」의 조문으로 제53조 제5항에서는 세입세출예산 확정이 가능

② 과학기술기본법 및 시행령 개정

- 포상형(챌린지프로그램) 연구방식에 대한 규정개정*
 - * 우수한 연구성과에 대하여 소요연구개발비를 상당히 초과하는 추가적인 자금을 지급하는 문제는 현실적 한계
 - 포상형연구방식의 연구개발 방식이 원활하게 적용되기 위해서는 연구개발비의 연구개발 완료 후 사후적 지급이 가능이 가능하도록 명시
 - 연구개발성과가 우수한 경우 소요연구개발비를 상당히 초과하는 추가적인 자금의 지급이 가능하도록 개정
 - 연구개발성과가 우수하지 않은 경우 연구개발을 완료하였음에도 연구개발비를 지급하지 않거나 또는 일부만 지급하는 것이 허용
- 「과학기술기본법」제15조의2와 동 법 시행령 제24조의2 내지 제

24조의4의 혁신도전형연구개발사업 내 고위험-고성과 연구를 口 명시

- 혁신도전형연구개발사업은 「국가연구개발혁신법」 관련 조문의 단서나 예외 조문 등을 활용하여 추진하는 것이 가능하기 때문에, 이를 규정함으로써 본격적인 혁신적이고 도전적인 국가연구개발사업을 추진

③ 국가연구개발사업 등의 성과평가 및 성과관리에 관한 법률

- 고위험-고성과 연구에 대한 점검·분석·평정을 위한 기준을 제안하고 이에 따른 특화된 성과관리 추진
- 기존의 성과평가는 일반적인 R&D프로세스에 의존함으로, 이를 극복한 고위험-고성과 프로그램에 적합한 사업 추진

국가 고위험·고성과 중장기 연구개발사업 추진 전략방향 수립 연구

제 5 장 결론

5. 결론

- 본 연구는 고위험-고성과 연구개발사업의 정의와 특성, 국가지원의 근거 등을 발굴하고, 국내·외 운영현황과 한계점을 진단하여, 우리나라의 고위험-고성과 연구 추진전략을 발굴하는데 목적으로 함
 - 세계적으로 경쟁력있는 연구 매커니즘은 국가 정책 특성 기반 프로그램 구성 및 개발로 진보되어가고 있는 추세임
 - 세계적으로 고위험-고성과 연구가 국가 R&D 포트폴리오에 필수로 구성되어 진행되고있지만 이러한 연구 프로그램 방법에 대한 ‘최적 운영 방법’에 관한 연구가 부재
 - 이에 본연구에서는 우리나라의 고위험-고성과 연구 추진을 위한 지원정책과 프로그램 운영 등을 위한 세부 추진방안



[그림 32] 연구프로세스

- 고위험-고성과 연구의 정의와 유사개념, 연구특성 등을 분석
 - (정의) 고위험-고성과(HRHR) 연구에 대한 표준적인 정의는 없으나, 일반적으로 불확실성과 영향력이 높은 연구를 의미
 - (유사개념) 국가별 활용목적에 따라 고위험-고성과(HRHR)연구는 변혁적 연구, 고위험-불확실연구, 기초원천연구, 미래연구 등 다양한 개념을 사용하고 있으나, 개념적으로는 급진적 혁신(Redical Innovation)을 기반의 연구형태

- (연구성과물 특성) 고위험-고성과 연구에서 특히 강조되는 고난이도의 특성을 지닌 연구는 기본성, 일반성, 참신성을 가짐
- **국내·외 고위험-고성과 연구의 개요, 사업운영방식, 혁신요소, 주요성과 및 사례 등을 분석함**
 - 미국의 DARPA, ARPA-E, 일본의 ImPACT, MoonShot, 미래사회 창조사업, EU ERC Advanced Grants, EIC Pathfinder pilot, 영국 ARIA 등을 조사 분석
 - 국내의 고위험-고성과 성격의 연구인 미래융합기술 바이오니어, 과학난제도전 융합연구개발사업, 혁신도전 프로젝트, 산업기술 알키미스트 프로젝트, 글로벌프론티어 등을 분석하고 한계점을 조사
- **고위험-고성과 연구의 활성화를 위하여 현황진단과 이를 개선하고자 하는 개선방안을 제안**
 - 고위험-고성과 전용 연구프로그램 마련
 - 고위험-고성과 연구과제 전용 예산을 마련하고, 연구주제는 고위험-고성과 연구주제에 한정하여 추진
 - 고위험-고성과에 초점된 연구가 성과물이 기존의 전문성으로 확장되는 수준에 머무를 가능성이 높기 때문에 프로그램 내 고위험-고성과를 명시적으로 제안
 - 고위험-고성과 초점의 연구가 아닌 고위험에 초점이 된 연구 프로그램 추진
 - 고위험-고성과 프로그램 지원형태 및 기간의 다양화
 - 고위험-고성과 연구의 목적에 따라 지원시기, 비용규모가 다양한 형태 프로그램 제안
 - 지원기간, 지원규모, 관리방안은 일반적으로 연동되어 있으나, 사업의 목적에 따라 선택적으로 활용
 - 연구자 중심의 고위험-고성과 프로그램 신설

- 연구자 인적자원을 기반으로 한 연구자 지원 고위험-고성과 프로그램 마련
 - 사회·과학적 문제 해결을 위한 상금 및 챌린지 형태의 고위험-고성과 프로그램 운영
- 고위험-고성과 프로그램 예산구조 구축
- 고위험-고성과 프로그램의 관리는 개별 프로젝트가 아니라 프로그램 단위에서의 예산 포트폴리오 구조 마련
 - 고위험-고성과 프로그램 포트폴리오 방식의 적용범위를 국가 전체시스템으로 활용 확대
 - 고위험-고성과 연구를 장려하기 위하여 출연금의 일부를 경쟁형으로 고위험-고성과 사전연구의 자금으로 활용하며, 국가는 후속연구를 추진하는 형태로 사업을 추진
- 체계화된 고위험-고성과 연구프로그램 목표설정
- 우리나라의 전체 고위험-고성과 연구프로그램의 포괄적 목표 지향적인 전략적 거버넌스 구축
 - 부처/부문/분야 고려하여 통합적인 고위험-고성과 프로그램의 주제별 목표를 설정
- 새로운 방식의 관리 체계 도입
- 독립·자율적인 지원조직, 포트폴리오 리스크 관리, 목표달성을 위한 지속적인 관리 등을 위해서는 PD·PM중심의 과제 관리체계 마련
- 장기적인 정책적 지원 마련
- 도전적이고 장기적인 지원이 가능하도록 정부주도의 제도적 정책을 통해 제시
 - 장기적이고 도전적인 연구를 위해서는 지속적이고 중단없는 예산지원이 요구되며, 이에 따른 법적근거 마련 추진

참고문헌

글로벌프런티어사업 본부장 협의회(2019), 글로벌프런티어사업 미래를 향한 9년의 도전

산업기술 알키미스트 프로젝트 공고문

산업통상자원부(2021), 보도자료-산업기술 알키미스트 프로젝트, 예비타당성조사 통과

전국경제인연합회(2020), 한국 ICT 산업 현황과 시사점. OECD(2020a), Digital Government Index: 2019 Results, OECD Public Governance Policy Papers No. 3.

<https://www.oecd.org/gov/digital-government-index-4de9f5bb-en.htm>

OECD(2020b), OECD Digital Economy Outlook 2020.

<https://www.oecd.org/digital/oecd-digital-economy-outlook-2020-bb167041-en.htm>

조용래, 박현준, 이선아, 최종화, 이정노(2020). 산업기술안보 관점의 국가 전략목적기술 (CPT) 도입과 정책방향. STEPI Insight, 1-58.

https://www.stepi.re.kr/common/report/Download.do?reIdx=258&cateCont=A0501&streFileNm=A0501_258&downCont=0

한국과학기술기획평가원(2020), 2020년 국가과학기술혁신역량평가.

https://www.kistep.re.kr/reportDownload.es?rpt_no=RES0220210093&seq=res_0026P@4

한국과학기술기획평가원(2021), 2020년도 기술수준평가 결과.

https://www.kistep.re.kr/reportDownload.es?rpt_no=RES0220210120&seq=res_0026P@2

한국과학기술기획평가원(2021), 2020년 우리나라와 주요국의 연구개발투자 현황.

https://www.kistep.re.kr/boardDownload.es?bid=0031&list_no=42452&seq=1

한국산업기술진흥원(2019). DARPA와 알키미스트 프로젝트 혁신모델 비교·분석. KIAT 이슈페이퍼 2019-14

- STEPI(2021), 2020년도 예비타당성조사 보고서-산업기술 알키미스트 프로젝트
- ARPA-E. (2017), An Assessment of ARPA-E 2017
- ARPA-E. (2019), Advanced Research Projects Agency-Energy(ARPA-E) Overview
- ARPA-E. (2019), ARPA-E Fusion-Energy Programs and Plans
- Arrow, K. (1962). Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention. In *The rate and direction of inventive activity: Economic and social factors* (pp. 609 – 626). Princeton University Press.
- Arthur, W. (2009). *The nature of technology: what it is and how it evolves*. Free Press.
- Arts, S., Appio, F., & Van Looy, B. (2013). Inventions shaping technological trajectories: do existing patent indicators provide a comprehensive picture? *Scientometrics*, 97(2), 397-419.
doi:10.1007/s11192-013-1045-1
- Bol, T., de Vaan, M., & van de Rijt, A. (2018). The Matthew effect in science funding. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(19), 4887-4890.
- Chang, K. (2017). Nobel Prize in Chemistry Awarded for 3D Views of Life's Biological Machinery - *The New York Times*. *The New York Times*.
<https://www.nytimes.com/2017/10/04/science/nobel-prize-chemistry.html>
- ERC. (2021), ERC Work Programme 2021
- European Research Council. (2018). Qualitative Evaluation of completed Projects funded by the European Research Council.
<https://erc.europa.eu/sites/default/files/document/file/2018-qualitative-evaluation-projects.pdf>
- Global Innovation Index (2020), "The Global Innovation Index (GII) 2020: Who Will Finance Innovation?,"
<https://www.globalinnovationindex.org/Home>.

<https://www.darpa.mil>

<https://www.jst.go.jp/impact/intro.html> (검색일: 2020.07.02.)

Kakalios, J. (2010). The amazing story of quantum mechanics : a math-free exploration of the science that made our world. Gotham Books.

Mccarthy, D., & Seidelmann, P. (2009). TIME - From Earth Rotation to Atomic Physics. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Retrieved 10 27, 2017

National Science Foundation (2007), Enhancing Support of Transformative Research at the National Science Foundation, National Science Foundation, https://www.nsf.gov/nsb/documents/2007/tr_report.pdf

National Science Foundation (2007), Enhancing Support of Transformative Research at the National Science Foundation, National Science Foundation. https://www.nsf.gov/nsb/documents/2007/tr_report.pdf.

Nelson, R. (1959). The Simple Economics of Basic Scientific Research. Journal of Political Economy, 67(3), 297-306. doi:10.1086/258177

Lowther, D., & Freeman, E. (2008). The application of the research work of James Clerk Maxwell in electromagnetics to industrial frequency problems. Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences, 366(1871), 1807-20. doi:10.1098/rsta.2007.2188

NIH(2017), Common Fund Patent Report,

Norton Quinn. (2007). How Super-Precise Atomic Clocks Will Change the World in a Decade WIRED. . <https://www.wired.com/2007/12/time-nist/?currentPage=2>

OECD. (2015). Frascati Manual 2015: Guidelines for Collecting and Reporting Data on Research and Experimental Development, The Measurement of Scientific, Technological and Innov

Overbie Dennis. (2017). 2017 Nobel Prize in Physics Awarded to LIGO Black Hole Researchers - The New York Times. New York Times. <https://www.nytimes.com/2017/10/03/science/nobel-prize-physics.html>

- Packalen, M. and J. Bhattacharya (2018), Does the NIH Fund Edge Science?, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA. <https://www.nber.org/papers/w24860>.
- Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., & Williams, R. J. (1985). Learning internal representations by error propagation. California Univ San Diego La Jolla Inst for Cognitive Science.
- Stephan, P. (1996). The Economics of Science. *Journal of Economic Literature*, 34(3), 1199–1235. doi:10.2307/2729500
- US Congress (2007), AMERICA COMPETES ACT, Public Law 110-69. <https://www.congress.gov/110/plaws/publ69/PLAW-110publ69.pdf>