

국가 뇌연구 발전전략 및 대형 프로젝트 추진을 위한 기획연구

연구기관 : 전략컨설팅집현(주)

2016. 11.

미 래 창 조 과 학 부

안 내 문

본 연구보고서에 기재된 내용들은 연구책임자의
개인적 견해이며 미래창조과학부의 공식견해가
아님을 알려드립니다.

미래창조과학부 장관 최 양 희

제 출 문

미 래 창 조 과 학 부 장 관 귀하

본 보고서를

“ 국가 뇌연구 발전전략 및 대형 프로젝트 추진을 위한 기획 연구 ”의 최종보고서로
제출합니다.

2016 .11 .

- 목 차 -

제 1 장. 과제 개요	1
제 1 절. 배경 및 필요성	1
제 2 절. 사업 추진경과 및 기획방법	7
제 2 장. 국내외 뇌연구 관련 환경 분석	11
제 1 절. 뇌연구 유관산업 환경 분석	11
제 2 절. 국내외 뇌연구 동향분석	14
제 3 절. 국내 여건 및 역량 분석	52
제 4 절. 종합 분석	66
제 3 장. 사업 내용	75
제 1 절. 사업 범위	75
제 2 절. 사업의 비전 및 목표	84
제 3 절. 세부사업별 주요 내용	96
제 4 절. 기존 사업과의 중복성 검토 및 차별화 방안	193
제 4 장. 사업 운영계획	206
제 1 절. 사업추진체계	206
제 2 절. 사업 관리방안	211
제 3 절. 사업 성과 관리 및 활용방안	219
제 4 절. 사업 추진상의 위험요인 및 대응방안	225
제 5 절. 기대효과	227
<참고문헌>	230

- 표 목 차 -

<표 1-1> 뇌 연구 세부 기술분야	2
<표 1-2> 주요 국가별 뇌연구 프로그램	5
<표 2-1> 치매로 인한 사회적 비용 추이	12
<표 2-2> 뇌융합기술을 촉진시키는 요소기술의 예	13
<표 2-3> EU의 뇌 공동연구프로그램	19
<표 2-4> 뇌연구에서의 부처별 역할	24
<표 2-5> 뇌 관련 산업의 시장 전망	29
<표 2-6> 7개 주요 세계시장에서의 뇌·신경계 질환 환자수 예측	30
<표 2-7> 세계 복제 의약품 시장규모 현황	31
<표 2-8> 미국의 뇌·신경계 질환 약효군 매출현황	32
<표 2-9> 영상진단기기 분야 시장현황 및 전망	36
<표 2-10> 뉴로 인터페이스의 세계 시장 전망 (2010-2014)	38
<표 2-11> 선진국 대비 국내 인공지능 기술 수준	45
<표 2-12> 정부 뇌연구 분야 R&D 투자 동향	52
<표 2-13> '11년~'15년 뇌연구 분야별 R&D 투자 비교	53
<표 2-14> '11년~'15년 부처별 뇌연구 분야 R&D 투자비	54
<표 2-15> 국내 대표적 뇌연구 기관 인력 및 예산 현황 (2016년)	58
<표 2-16> 한국뇌연구원 보유장비, 핵심기술 및 주요 성과 현황	59
<표 2-17> KIST 보유장비, 핵심기술 및 주요 성과 현황	60
<표 2-18> 인지 및 사회성 연구단 개요	61
<표 2-19> 시냅스 뇌질환 연구단 개요	62
<표 2-20> 뇌과학 이미징 연구단	62
<표 2-21> 뇌연구 전문 연구기관과 대학간의 공동 학위 프로그램 현황('15년)	63
<표 2-22> 선진국 대비 국내 기술수준	65
<표 2-23> 국내 뇌 연구분야 SWOT 분석	73
<표 2-24> SWOT 분석에 따른 전략적 대응방안 및 기본 추진방향	74
<표 3-1> 해외 및 국내 뇌지도 작성 전략 비교	80
<표 3-2> 단계별 세부사업별 정성적·정량적 목표	87
<표 3-3> Hub와 Spoke의 역할	92
<표 3-4> 단계별 연구목표 및 주요 성과물	106
<표 3-5> 단계별 연구목표 및 주요 성과물	120
<표 3-6> 단계별 연구목표 및 주요 성과물	141
<표 3-7> 단계별 연구목표 및 주요 성과물	170
<표 3-8> 중점과제 구성 및 중점과제별 핵심기술	171

<표 3-9> 단계별 연구목표 및 주요 성과물	187
<표 3-10> 뇌과학원천기술개발사업 중 관련분야 세부과제별 연구목표	195
<표 3-11> 미래부 기존사업과의 차별화 방안	204
<표 3-12> 타부처 소관 R&D 사업과의 차별성	205
<표 4-1> 상시 모니터링 및 평가 항목	212
<표 4-2> 연구단 선정평가의 평가지표	214
<표 4-3> 개별과제 선정평가의 평가지표	215
<표 4-4> 연차·단계평가의 평가지표	217
<표 4-5> 최종평가의 전문가평가 평가지표	218
<표 4-6> 성과지표별 성과측정 및 관리계획	219

- 그 림 목 차 -

[그림 1-1] 뇌연구의 범위	2
[그림 1-2] 뇌연구기본계획 및 발전방향	5
[그림 1-3] 사업기획 추진체계	10
[그림 2-1] 우리나라 인구 고령화 추이	11
[그림 2-2] '09년~'13년 우울증 진료인원 및 총 진료비 추이	12
[그림 2-3] 제2차 뇌연구촉진 2단계 기본계획의 비전체계도	25
[그림 2-4] 뇌연구 촉진 정책 변화	26
[그림 2-5] '16년도 뇌연구 3대 추진전략 및 실천과제	27
[그림 2-6] 뇌과학 발전전략 (2016.5.30.) 비전 및 추진전략	28
[그림 2-7] 주요 질환 치료분야의 투자규모와 성장률	30
[그림 2-8] 2006~2010년까지 뇌·신경계질환 신약 개발 현황	31
[그림 2-9] 미국의 약효군별 매출 증가율 현황	32
[그림 2-10] 미국 20대 제약회사의 상위 투자 의약품	33
[그림 2-11] 뇌-컴퓨터 인터페이스 시스템 구조	34
[그림 2-12] 한국의 고령인구 증가추세	35
[그림 2-13] 영상처리용장치 및 의료영상 소프트웨어 생산추이 ('08-'14)	35
[그림 2-14] 뇌파계 시장 현황	37
[그림 2-15] BCI 기술 응용분야	40
[그림 2-16] 뇌 연구 4대분야 전세계 논문·특허 발표수	46
[그림 2-17] 뇌 연구 4대분야의 논문 평균 IF	47
[그림 2-18] 뇌연구 4대분야의 논문 특허 점유율	47
[그림 2-19] 뇌인지 분야 논문·특허 주요 검색어	48
[그림 2-20] 뇌인지 분야 논문수와 인용수 (2010~2014)	48
[그림 2-21] 뇌신경계 질환 분야 논문·특허 주요 검색어	49
[그림 2-22] 뇌신경계질환 분야 논문수와 인용수	49
[그림 2-23] 뇌신경생물분야 논문·특허 주요 검색어	49
[그림 2-24] 뇌신경생물 분야 논문수와 인용수(2010~2014)	50
[그림 2-25] 뇌공학 분야 논문·특허 주요 검색어	50
[그림 2-26] 뇌공학분야 논문수와 인용수 (2010~2014)	50
[그림 2-27] '11~'15 정부 뇌연구 분야 R&D 투자비	52
[그림 2-28] '11~'15 뇌연구 분야별 R&D 투자비	53
[그림 2-29] '11~'15 부처별 뇌연구 분야 R&D 투자비	54
[그림 2-30] '11~'15 부처별 분야별 R&D 투자비	55
[그림 2-31] BT 분야 전체 대비 뇌연구 분야 투자액 및 연구개발 성과	55

[그림 2-32] 국내 연구자 출원 미국 특허 건수 및 점유율	56
[그림 2-33] 국내 및 해외 특허 출원·등록 현황	56
[그림 2-34] 주요 뇌연구 장비의 분포 현황	63
[그림 3-1] 다양한 스케일의 뇌지도	76
[그림 3-2] 구글맵 비유를 통한 공간적 멀티스케일 뇌지도의 개념과 예시	76
[그림 3-3] 뇌지도와 뇌연구 4대 분야와의 관계	77
[그림 3-4] 뇌지도 작성의 파급효과	78
[그림 3-5] 주요 선진국의 뇌지도 관련 기술 수준	79
[그림 3-6] 본 사업의 영역	81
[그림 3-7] 세부사업 구조	82
[그림 3-8] 세부사업간 구성 및 성과 활용 분야	83
[그림 3-9] 사업의 비전체계도	84
[그림 3-10] 사업 총괄 로드맵	95
[그림 3-11] 고위뇌기능 특화뇌지도 개요	96
[그림 3-12] 고위뇌기능 특화 뇌지도 구축 사업과 타 세부사업간의 연계성	98
[그림 3-13] 알파고에 사용된 정책망과 가치망 및 인공지능 네트워크의 행동방식에 대한 도식적 표현	100
[그림 3-14] Neuroeconomics 분야의 학술저널 출판 논문의 수	101
[그림 3-15] 과제 추진 로드맵	109
[그림 3-16] 고위뇌기능 특화뇌지도 구축사업단 추진체계	111
[그림 3-17] 전체 과제 개요도	112
[그림 3-18] 세부과제 간 관계도	114
[그림 3-19] 2015년생 기대수명 (출처: WHO 2016 세계건강통계)	115
[그림 3-20] 연령계층별 인구 구성비 (출처: 통계청 2011)	116
[그림 3-21] 대규모 뇌연구사업 주제에 대한 설문조사 결과 (복수선택, 1614명 응 답)	117
[그림 3-22] 과제추진 로드맵	124
[그림 3-23] 세부과제 추진체계	125
[그림 3-24] 멀티스케일 (다층적) 뇌지도 개념도	129
[그림 3-25] 뇌지도 활용의 범위	130
[그림 3-26] 뇌지도 작성 기술의 고도화 (분자생물학 기술 고도화와 비교)	134
[그림 3-27] 초고해상도 뇌지도의 분자/신경활성 정보	140
[그림 3-28] 세부 단계별 고도화 기술 내용	145
[그림 3-29] 과제 추진 로드맵	151
[그림 3-30] 뇌모사 지능모델의 개념	155
[그림 3-31] 참여연구자별 검증방법의 예시 및 융합가능성	160

[그림 3-32] 타 세부과제 및 내부 중점과제와의 연계성	161
[그림 3-33] 토그너티브 컴퓨팅	164
[그림 3-34] 차세대 AI 연계 연구 필요성	165
[그림 3-35] 뇌모사 시스템 개발 모식도	166
[그림 3-36] 과제추진 로드맵	174
[그림 3-37] 과제 추진체계	176
[그림 3-38] 뇌질환에 적용되는 정밀의학의 개념	179
[그림 3-39] 환자의 구분을 통한 맞춤형료	181
[그림 3-40] 뇌연구 분야별 우선순위 및 핵심 기술 도출 관련 설문조사	183
[그림 3-41] 개인맞춤형 뇌질환 극복 기술 개발 세부 사업 전체 모식도	186
[그림 3-42] 과제 추진 로드맵	190
[그림 4-1] 사업추진 체계도	207
[그림 4-2] Hub-Spoke 운영체계	207
[그림 4-3] 사업추진절차	213

제 1 장. 과제 개요

제 1 절 배경 및 필요성

1. 추진 배경

가. 뇌연구의 정의와 범위

- ‘뇌연구촉진법’에 따르면 뇌 연구는 뇌 신경계의 신경생물학 및 인지과학적 이해를 바탕으로 뇌의 구조 및 기능의 근본원리를 파악하고자 하는 연구 분야로 정의됨¹⁾
 - 뇌과학이란 뇌의 신경생물학적 구조와 기능을 규명하여 뇌의 작용원리와 의식 현상에 대한 연구를 통해 인지, 사고, 언어 및 행동 등의 고등신경 정신활동에 대한 포괄적 이해를 추구하는 학문
 - 인간의 물리적, 정신적 기능을 심층적으로 탐구하는 응용학문이며 과학·의학·교육·산업·문화 전반에 근본적이고 실제적인 변혁을 가져오는 것을 목표로 뇌과학, 뇌의약학, 뇌공학 및 이와 관련된 모든 분야에 대한 연구를 포함
- 뇌 연구의 범위는 뇌신경생물, 뇌신경계 질환, 뇌인지, 뇌신경정보 및 뇌공학, 뇌융합 등 5개 분야로 분류됨²⁾

1) 뇌연구촉진법 제2조

2) 제2차 뇌연구 촉진 기본계획

<표 1-1> 뇌 연구 세부 기술분야

세부 기술분야	정의
뇌신경생물	- 뇌신경계의 형성 및 기능에 대한 생물학적 운영 원리를 규명하고, 이를 바탕으로 응용 기술을 개발하는 분야
뇌인지	- 신경시스템, 행동 및 인지기능의 작용기전을 규명하고 그 응용기술을 개발하는 분야
뇌신경계질환	- 뇌의 구조 및 기능상의 결함 등에 기인한 신체적 정신적 질환 및 장애에 대한 원인 규명과 이의 진단, 치료, 예방에 관한 분야
뇌신경정보 및 뇌공학	- 뇌의 구조와 기능 모델링, 뇌신경계와 외부기기를 융합하여 외부기기를 조작 및 마비된 뇌기능 회복기술 개발 - 뇌기능 이해 진단 및 치료를 위해 뇌구조/기능을 영상화하는 기술
뇌융합	- 뇌분야간 융합, BT·IT·NT 산업과의 융합, 현재 및 미래의 교육, 문화 등을 포함한 제산업 분야와 연관성을 갖는 분야

출처: 미래창조과학부(舊 과학기술부), “제 2차 뇌연구촉진 기본계획(안)”(2007. 12)



출처: 미래창조과학부, “제 2차 뇌연구촉진 기본계획(안)”(2007. 12)

[그림 1-1] 뇌연구의 범위

나. 추진배경 및 필요성

□ 뇌연구는 인류가 해결해야할 미래에 가장 기대되는 분야의 하나

- 현대 과학이 뇌와 정신에 관한 이해를 상당히 진전 시켰음에도 뇌에 대한 많은 질문들이 아직 풀리지 않고 남아 있는 상태

※ “뇌 작동원리에 대한 이해 및 활용은 인류 최고의 도전 분야”

※ 美 오바마 대통령의 의회에서 BRAIN Initiative 프로젝트('13) 발표 연설문 中

□ 초고령화 사회를 대비한 건강하고 행복한 삶의 기반 마련에 뇌연구는 필수적인 요소

○ 뇌연구는 초고령화 사회 진입에 따라 증가하고 있는 각종 뇌질환의 예방, 진단 및 치료를 위한 핵심 분야의 하나

○ 우리나라는 노령화가 세계에서 가장 빠르게 진행되고 있는 국가로서 뇌질환 문제*해결을 위해 국가차원의 뇌연구 투자 확대가 절실

- 치매관련 사회경제적 비용은 11.7조원*('12 기준)으로 암(14.8조원)에 이어 2위 차지, 뇌질환 관련 사회경제적 비용 23조원**('15 기준)

※ 한국보건산업진흥원('15),

※ The Neurotechnology Industry '15~'16 Report)

- 치매노인 유병율은 ('15) 9.8% → ('20) 10.4% → ('50) 15.1% 증가 예상*

※ 전국치매역학조사('12)

- 대표적인 퇴행성 질환인 파킨슨병의 경우, 최근 5년간 국내 진료인원이 연평균 8% 증가하였음*

※ 국민건강보험공단이 2015년 11월에 발표한 자료에 따르면 ‘파킨슨병’ 건강보험 진료환자 진료비 지급인원은 2010년 62,361명에서 2014년 84,771명으로 증가

인구 고령화 추이

○ 우리나라는 '00년 고령화사회로 진입, '18년에는 고령사회, '26년에는 초고령사회로 진입 예상

* 총 인구 중 65세 이상 인구 비중이 7%, 14%, 20% 이상이면 각각 고령화사회, 고령사회, 초고령사회로 분류(UN 기준)



(노화관련 질환연구의 현황과 시사점, KISTEP, '12)



(단위: 억원)

(출처 : 건강보험심사평가원 '15 자료 참고)

- 현대사회는 생명유지에서 웰빙(Well-being)으로 관심이 전환되고 있으며 육체적 건강뿐만 아니라 정신적 건강의 중요성이 부각

※ 정신질환 환자는 미국의 경우 성인(평생발병 기준)의 25%, 유럽의 경우는 27% (National Alliance on Mental Illness, '13, WHO Europe Homepage, '14)

□ 뇌 연구는 미래사회를 선도하고 삶의 질을 혁신할 유망 분야

- 뇌연구는 지능정보를 근간으로 한 4차 산업혁명의 시대에서 인공지능기술과 더불어 미래기술의 진보에 기여할 것으로 예측

- 현재 인공지능은 단순 정보처리를 위한 알고리즘이나 미래 인공지능은 인간 뇌의 고차원적 기능을 모사할 것으로 기대

※ (美) 뇌연구의 결과를 활용하여 보다 효과적인 인공지능 알고리즘 개발과 활용을 목표로 하는 MICrONS 프로젝트 발표('15~'20, 6년간 1억불 투입)

* Machine Intelligence from Cortical Networks program

- 뇌연구를 통한 인간 이해의 증대는 일상생활 전반에 큰 영향을 가져와 미래의 삶의 방식을 혁신적으로 변화시킬 가능성 확대

- 감성 디자인 건축, 뇌자극 기반의 VR(Virtual Reality)을 이용한 새로운 형태의 영화 및 뉴로 마케팅 등 신산업 분야 창출

※ 스낵회사에서 뇌파(EEG) 측정 결과를 바탕으로 제품 포장재 출시('08)

※ 국내 자동차 회사에서 소비자를 대상으로 fMRI를 활용하여 신차명 결정('12)

□ 사회적 수요의 증가에 따라 뇌 관련 산업시장도 빠르게 증가하고 있는 추세로, 미래 유망산업으로 주목받고 있음

- 뇌의약품이 시장 대부분(83%)을 점유, 연구장비 시장은 꾸준히 성장(연5%), 뇌질환 치료 임상장비와 일반인 대상 제품은 높은 성장률을 보임 (연 10%이상)

- 뇌기능 이해를 기반으로 한 뉴로모픽 칩 등 혁신적 제품 및 교육·문화·건축·디자인 등 신시장 창출

□ 이에 선진국은 뇌연구를 국가적 중점육성분야로 인식하고 집중 투자하는 등 기술 주도권 선점 경쟁이 치열

- 미국, EU, 일본, 중국 등은 최근 국가 대규모 장기 연구프로젝트 착수

※ (美) Brain Initiative (5.5조원/12년), (EU) Human Brain Project (1.4조원/10년), (日) Brain/MINDS (300억/'14년), (中) China Brain Project ('15년)

<표 1-2> 주요 국가별 뇌연구 프로그램

구 분	미 국	영 국	일 본	중 국
계 획	BRAIN Initiative('13)	Human Brain Project('12)	Brain/MINDS('14)	China Brain('15)
기 간	'14년~'23년	'13년~'22년	'14년~'23년	'15년~
투 자 규 모	50억달러('14) (NIH예산 16%)	1억4,150만파운드('10) (보건예산 20%)	약 3백억엔('10) (BT 예산 7%)	1030억원('14)
중점 분야	- 구조·기능연구 - 뇌지도 작성 - 차세대 뇌질환 치료제 개발	- 뇌기능 규명 - 뇌지도 작성 - 뇌 응용 개발	- 뇌의 이해 - 뇌 지도 기반 기술 개발 - 뇌질환 치료	- 스마트 AI 기반 의료인프라확충 - 첨단기술 서비스 혁신
연 구 체 계	NIH 주도	MRC 주도	뇌과학위원회	뇌과학원

□ 우리나라도 “뇌연구촉진법” 및 “뇌연구촉진법시행령” 등 법적기반을 바탕으로 범 부처차원의 다양한 정책을 추진해옴

- 1997년 세계 최초로 뇌연구촉진법을 입법화시켜 뇌과학연구에 대한 지원 및 일반인들의 관심 확대
- 또한 제1차 뇌연구촉진기본계획('98~'07) 및 제2차 뇌연구촉진기본계획('08~'17) 발표에 따라 다양한 연구사업들이 진행됨



[그림 1-2] 뇌연구기본계획 및 발전방향

- 그 외, “뇌연구촉진법” 제14조에 근거한 부처별 역할에 따라 다양한 뇌연구 관련 R&D 사업을 수행하였으며 그에 따른 예산도 연평균 약 14% 증가하여 '15년에는 약 1,266억원 투자

□ 다양한 정책추진을 통해 뇌과학 분야의 눈부신 성과를 창출

- (R&D) 정부의 지속적 R&D 투자를 통해 4대 뇌과학분야의 기초·기반기술 확보 및 선진국과의 기술격차 감소
 - (SCI 논문) 1,259편으로 세계 13위, 특허등록은 301건(세계 6위)
- (인력양성) 대학내 학과 신·증설, 뇌관련 대학부설 연구소 증가 및 학-연 연계 R&DT 프로그램을 통한 뇌연구 전문가 양성
- (연구인프라 구축) 대학 중심의 산발적인 연구시스템에서 벗어나 국가차원의 뇌연구 수행을 위한 대형 연구 인프라 구축
 - 한국뇌연구원('11), IBS 연구단 설립('12), KIST 뇌과학연구소 출범 등
- (협력네트워크 구축) 다부처유전체사업을 통해 유전체 기반 희귀난치성 발달장애 맞춤의료 등 다양한 연구 진행 및 시너지효과 창출 가능

□ 우리나라가 가진 강점기술(ICT, 줄기세포 등)을 접목한 뇌 분야의 핵심원천기술 개발 및 활용 촉진을 목적으로 한 국가 차원의 메가 프로젝트 추진 필요

제 2 절 사업 추진경과 및 기획방법

1. 사업개요 및 추진근거

사업의 주요 내용 요약		
추진 근거	■ (관계법령) 『뇌연구촉진법』 제10조 ■ (상위계획) 제2차 뇌연구촉진 기본계획(2008~2017)	
사업 기간	2018~2027년(10년)	
소요 예산	■ 총 3,975억 원 (국비 3,878억원, 민자 97억원) - 연구개발비 85.6%, 시설/장비구축비 14.4%	
사업 비전	뇌연구 신흥강국으로 글로벌 뇌산업 선도	
사업 목표	■ 혁신적 뇌융합 기술개발 ■ 뇌지도 정보의 활용 기반 구축 - 특화 뇌지도 2종 구축(2022년까지) - 뇌지도 작성 원천기술 5건 확보(2027년까지) - 뇌지도 활용기술 10건 개발(2027년까지)	
추진전략	■ 특화 뇌기능지도의 작성 - 선택과 집중을 통한 특화 뇌지도 DB 구축 - Hub-Spoke 모델 운영 ■ 뇌융합 혁신기술개발 - 뇌지도 작성 미래기술 개발 - 차세대 AI로의 연계 - 뇌지도 기반 뇌질환 정밀의학 기술 개발 ■ 국내외 네트워크 구축 - 다학제적 융합연구 추진 - 글로벌 뇌연구 협력체 구축	
사업 구성	■ 특화 뇌지도 구축 ■ 뇌지도 챌린지 기술개발 ■ 차세대 AI 연계 연구 ■ 개인 맞춤형 뇌질환 극복기술 개발	
사업 거버넌스 체계	주무부처	■ 미래창조과학부
	전담기관	■ 한국연구재단
	사업단 및 과제 선정평가	■ 사업 운영위원회
	사업관리	■ 사업단 ■ 사무국, 자문위원회
	사업수행 조직	■ Hub-Spoke 운영모델 하에 세부사업(1~4) 추진

나. 추진근거

(1). 사업추진법적근거

□ 뇌연구촉진법

제4조(정부 등의 책무)

- ① 정부는 뇌연구 촉진을 지원하기 위한 시책을 마련하고, 이를 적극적으로 추진하여야 한다.
- ② 대학, 연구기관, 기업 및 개인 등 뇌연구를 하는 자는 제1항에 따른 시책에 적극 협력하여야 한다.

제9조(뇌연구 투자의 확대)

- ① 정부는 제5조제3항제2호의 투자재원의 확대 방안 및 추진계획에 따라 예산의 범위에서 뇌연구 투자를 확대하기 위하여 최대한 노력하여야 한다.
- ② 미래창조과학부장관은 매년 뇌연구 투자 확대계획을 작성하여 심의회의 심의를 거친 후 「국가과학기술자문회의법」에 따른 국가과학기술자문회의에 보고하여야 한다.

제10조(연구 및 기술 협력) 정부는 뇌연구와 그 기술 개발에 관한 국제 협력 증진을 위하여 노력하고 선진기술을 도입하기 위한 전문인력 파견, 해외 전문인력 유치 등의 방안을 마련하여야 한다.

제11조(공동연구 및 학술활동 촉진) 정부는 뇌연구와 그 기술개발을 효율적으로 육성하기 위하여 학계, 연구기관 및 산업계 간의 공동 연구를 촉진하고 관련 학회 및 학회의 학술활동을 적극 지원하여야 한다.

제14조(뇌연구 추진시책의 마련) 관계 중앙행정기관의 장은 뇌연구를 효율적으로 촉진하기 위하여 다음 각 호의 구분에 따른 시책을 마련한다. <개정 2013.3.23., 2014.11.19.>

1. 교육부장관: 뇌연구를 촉진하기 위한 전문인력의 양성과 뇌과학 기초분야의 연구지원을 위한 시책으로서, 미래창조과학부장관과 협의한 시책
- 1의2. 미래창조과학부장관: 기본계획의 수립과 시행계획 수립의 지원 및 조정, 뇌 관련 기초기술 및 첨단기술의 개발, 유용한 연구 결과의 이용 및 보전을 위한 연구의 지원, 공공적 성격의 뇌연구 지원체제의 육성, 뇌연구 결과를 정보·통신 등의 분야에 응용하기 위한 기술의 개발 및 개발기술의 산업화 촉진을 위한 시책
2. 산업통상자원부장관: 뇌연구 결과를 생산 및 산업 공정에 효율적으로 응용하기 위한 응용기술의 개발과 개발기술의 산업화 촉진을 위한 시책
3. 보건복지부장관: 보건·의료 등에 관련되는 뇌의약(腦醫藥) 연구와 그 결과의 응용기술 개발 및 개발기술의 산업화 촉진을 위한 시책

(2). 상위계획과의 부합성

- 동 사업은 「제2차 뇌연구촉진 기본계획」, 「박근혜정부 국정과제」 등 국가 상위계획과 부합

구분		사업관련 주요전략	부합성
상 위 계 획	제2차 뇌연구촉진 기본계획	-제2차 뇌연구촉진 2단계('13~'17) 기본계획에서 제시된 주요 과제들의 충실한 실행을 위해 부처별 중점 추진방향 및 사업수립	◎
	박근혜정부 국정과제	-국정과제 1-1-1. 과학기술을 통한 창조산업 육성 ① 뇌지도 활용 미래기술개발 -국정과제 1-2-15. 보건산업을 미래성장산업으로 육성하는 육성 ① 맞춤형 뇌질환 진단키트 개발 ② 노인성 질환 뇌지도 구축으로 인한 중계연구 강화 -국정과제 1-2-16. 고령친화산업 육성 ① 초고령화 사회에 따른 뇌질환 극복 방안 도출 -국정과제 1-4-24. 국가 과학기술 혁신역량 강화 ① 뇌융합 혁신기술 개발 ② 차세대 AI 기술로의 연계 ③ 뇌지도 기반 뇌질환 정밀의학 기술 개발	◎

※주: ◎ = 부합성 매우 높음, ○ = 부합성 높음, △ = 부합성 보통, × = 부합성 낮음

2. 사업기획 추진체계

- 본 사업 기획은 미래부 및 한국연구재단 관리 하에 외부 컨설팅기관인 전략컨설팅 집현(주)의 연구용역 형태로 추진
- 미래부 생명기술과는 과업에 대한 니즈 제시, 기획 내용 검토 및 승인
 - 한국연구재단은 과업수행 관련 자료 지원, 기획위원회 및 총괄위원회 구성 승인, 상세기획 내용 검토 및 승인
 - 전략컨설팅 집현(주)은 사업추진 전략 수립 및 기획, 총괄위원회 및 기획위원회 운영, 사전 타당성 분석 수행



[그림 1-3] 사업기획 추진체계

- 뇌 연구 각 분야의 전문가들과 미래부, 연구재단 등이 참여하는 기획전략 TFT 및 자문위원회를 구성하여 여러 차례의 토론과 검토를 거쳐 체계적인 사업 기획 진행
- 기획전략 TFT는 사업 전체에 대한 기획을 담당하는 총괄위원회와 세부사업별 기획을 담당하는 분과위원회로 구성
 - 총괄위원회는 관련 기술 분야별 전문성 및 공정성을 보유한 인사로 구성하여 사업추진방향 총괄 자문
 - 총괄위원회에는 미래부 생명기술과, 한국연구재단 및 각 분야 전문가들과 분과위원장이 포함됨
 - 분과위원회는 세부사업별 전문성을 고려하여 5개 세부 분과로 구성
 - 각 분과별로 산·학·연 각계 기술 전문가 4~5인으로 구성하여 기술분야별 필요기술 도출 및 목표 검토
- 기획위원회는 학계, 연구소, 병원 등 국내 뇌 연구분야 전문가를 중심으로 과제 기획 및 추진전략의 타당성 등을 검토
 - 기획위원회는 사업의 객관성 확보, 사업 추진시 문제점 및 이슈사항을 논의할 목적으로 운영되었으며, 과제 기획 및 추진전략의 타당성 등에 대한 검토와 자문을 수행

제2장. 국내외 뇌연구 관련 환경 분석

제1절 뇌연구 유관산업 환경 분석

- 전반적인 소득수준이 증가함에 따라 생명연장 뿐만 아니라 삶의 질 향상에 대한 기대와 요구가 증가
 - 인간다운 삶을 영위하기 위한 새로운 복지 관련기술로서 뇌를 이해하고 뇌활동 장애를 극복하는 기술에 대한 기대가 증가
 - 고령화 사회 진입에 따라 뇌질환 치료, 장애 극복, 인지능력 활용을 통한 상품·서비스의 기능 향상 등이 요구됨
- 뇌질환 및 신경성 장애로 인한 사회적 비용 증가와 신약개발 수요 증가
 - 전세계 인구구조가 빠르게 고령사회로 진입하고 있는 상황
 - 전세계적으로 베이비붐 세대가 60~70세에 접근하고 있으며, 특히 우리나라 고령화 속도는 세계최고 수준
 - 우리나라는 2000년에 65세 이상 인구 비중이 7%를 넘는 고령화사회에 진입하였으며 2026년엔 65세 이상 인구 비중 20% 이상의 ‘초고령사회’로 진입예상



※출처: 2015 고령자 통계(통계청)

[그림 2-1] 우리나라 인구 고령화 추이

○ 고령사회 진입에 따라 전세계적으로 뇌질환이 심각한 사회문제로 부상하게 될 전망

- 수명연장에 따라 노화 관련 뇌질환 및 신경질환 등에 대한 예방 및 치료법의 수요가 강력히 요구되는 상황
- 알츠하이머병, 파킨슨병, 뇌졸중 등 뇌질환은 고령일수록 유병률이 증가하므로 뇌질환 환자 수가 증가할 것으로 예상
- 치매 환자수는 2010년 47만명으로 65세 이상 인구의 8.8%이며, 2020년 75만명 (9.7%)이 될 것으로 추정³⁾

<표 2-1> 치매로 인한 사회적 비용 추이

(단위: 조원)

		2013	2020	2030	2040	2050
실질 GDP(A)		1,134.9	1,471.3	1,938.6	2,384.7	2,787.8
치매의 사회적 비용	실질 비용(B)	11.7	15.2	23.1	34.2	43.2
	GDP 대비 비율 (B/A)	1.0%	1.0%	1.2%	1.4%	1.5%

출처: 국회예산정책처 장기 재정전망 및 분석(2014)

- 사회가 급속도로 변화하면서 스트레스와 우울증으로 고통받는 인구 증가
- 우울증 총 진료비는 2009년 약 2,135억원에서 2013년 약 2,714억원으로 5년간 약 579억원이 증가하였으며, 연평균 증가율은 6.2%로 나타남.



출처: 건강보험심사평가원(2009~2013)

[그림 2-2] '09년~'13년 우울증 진료인원 및 총 진료비 추이

3) 보건복지부, 2010

□ BT, IT, NT 등 신기술이 급속히 발전하면서 융합, 기술분화 등 새로운 패러다임의 연구가 확산되면서 뇌연구도 본격적으로 활성화

- 뇌연구는 BT, IT, NT 등 신기술 융합연구로 질병극복, 수명연장 등 삶의 질 향상으로 위해 주목받는 유망 분야
- 생체기능을 통합적으로 조절하는 기전에 대한 연구 등 다양한 학문의 융화와 이종기술의 융합이 더욱 가속화될 전망

<표 2-2> 뇌융합기술을 촉진시키는 요소기술의 예

BT	IT	NT
·신경전달물질 수용체 특성규명 기술 ·정신질환 모델을 위한 유전적 변이동물 제작기술 ·기능적 뇌영상 기술	·뇌영상분석 소프트웨어 기술 ·신경생리적 현상의 실시간 분석 기술 ·신경보조장치 개발 관련 기술 및 알고리즘	·신경보조장치를 위한 미세전극 제작 기술 ·신경 자극 및 기능측정을 위한 NEMS 기술 ·비침습적 이미징 장치기술

출처: Neuroinsights, The Neurotechnology Industry 2012 report (2012)

□ 세계주요국은 뇌 연구의 중요성을 인지하고 국가적으로 연구 프로젝트를 추진 중

- 미국은 2013년 Brain Initiative 프로젝트를 통해 10년간 30억 달러를 투입 예정
- 유럽은 미래기술 주력사업의 일환으로 인간 뇌 프로젝트 (Human Brain Project) 추진
- 우리나라는 1998년 제정된 뇌연구촉진법에 근거하여 법정부적으로 뇌연구를 지원하고 있으며, 최근 미래부는 ‘뇌과학 발전전략’에서 향후 10년간 뇌연구에 대한 국가적 투자 계획을 발표⁴⁾

4) 미래창조과학부, ‘뇌과학 발전전략’ (2016.5.30.)

제2절 국내외 뇌연구 동향분석

1. 정책 동향 분석

가. 해외 정책동향

(1) 미국

- 미국은 1990년 「Decade of Brain」 법안을 제정하고 뇌 연구에 대한 정책적 지원을 개시하였음
- 2009년 NIH Blueprint for Neuroscience Research를 통하여 뇌신경과학의 지원 방향을 설정하고 대규모 예산을 편성
 - 2004년 NIH 내부에서 시작된 BNR은 NIH 내에서 뇌연구와 관련이 있는 16개 IC들이 모여 신경과학(neuroscience) 관련 연구를 지원하기 위하여 수립하였으며, 신경과학 분야 첨단 연구 주제의 발굴 및 융합연구 활성화를 목적으로 IC간 조정 및 협력을 도모하는 프레임워크임
 - BNR은 8개 세부분야(Animal Models, Clinical Tools, Imaging, Neuroinformatics, Core Facilities, Cell/Tissue/DNA, Gene & Protein Expression, Training)로 나뉘어 각 분야별로 활발한 연구 지원을 실행
 - 매 회계연도마다 BNR 참가기관들은 기관 전체 예산 중 일정 비율의 예산을 따로 떼어 BNR 관련 예산으로 사용하여야 할 의무를 지며, 이렇게 전체 참여 기관들이 조성한 기금은 공동기금(common pool)으로 뇌연구 과제 지원에 활용됨
 - 2004년 수립 이후 BNR은 매년 다양한 신경과학 관련 연구를 지원해오고 있으며 일례로 2005 회계연도의 경우 BNR은 신경과학분야 과학자들을 위한 웹 기반 리소스라 할 수 있는 “Neuroscience Information Framework”의 창설을 지원하였고, 2006 회계연도에는 신경영상화(neuroimaging) 관련 신기술 및 신경과학 관련 핵심장비 기술 개발, 신경과학 임상분야 연구 관련 측정지표 개발 등을 지원하였음
 - 2007~2009 회계연도의 경우 NIH는 BNR을 통하여 neurodegeneration, neurodevelopment, neuroplasticity 등 3가지 연구 주제를 중점 지원할 계획이

며, 2007 회계연도에 이미 neurodegeneration 관련 4가지 추가 연구과제 지원 공모 계획을 발표한 바 있음

□ NIH는 신경계 질환 치료를 목적으로 대규모 프로그램인 「Blueprint Grand Challenges」를 추진

- 본 프로그램을 통해 ① 시스템 바이올로지 성격의 Human Connectome Project, ② 새로운 약과 치료법을 찾는 Grand Challenges on Pain, ③ 신경과학 계열의 Blueprint Neurotherapeutics Network의 연구개발 추진⁵⁾
- 인간커넥톰 프로젝트는 인간 뇌기능의 기반인 뇌 연결 지도를 작성하여, 인간 뇌의 구조 및 기능에 대한 정보를 집약하고자 하는 프로젝트
 - 본 프로젝트는 인간 뇌에 대한 근본적 지식 획득과 뇌신경영상 해독기술 증대를 통한 뇌영상진단 및 뇌질환 치료를 위한 기반 확립을 목적으로 함
 - 워싱턴대, 미네소타대, 하버드대, UCLA등의 연구진이 참여하는 대형 컨소시엄으로 진행
- ‘Grand Challenge on Pain’ 프로젝트는 일회적 통증이 만성통증으로 전이되는 과정을 연구
- Blueprint Neurotherapeutics Network는 개별적으로 연구하는 기초 연구자들이 효과적으로 신경질환 신약개발의 파이프라인에 진입할 수 있도록 ‘가상 약물개발’시스템을 지원, 중요한 약물 표적이 도출될 수 있도록 지원하는 중개연구 프로그램

□ 2013년에는 뇌지도를 작성하고 뇌 기능을 밝히는 것을 목적으로 하는 Brain Initiative 프로젝트를 시작

- 2013년 2월 오바마 대통령은 의회 연설에서 뇌활동 지도의 중요성을 강조하였으며, 4월 「Brain(Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies) Initiative」 발표
- (기획 및 시범사업 기간) '13년~'15년
- (연구기간) '16년~'25년, 10년간 진행
 - 1단계('16년~'20년), 첫 5년간 핵심 요소 기술 개발
 - 2단계('21년~'25년), 후 5년은 개발된 핵심 요소 기술을 기반으로 통합적

5) 글로벌 Brain Project 추진 동향분석 (ETRI-조영환) 참조

활용

- (예산) 10년간 총 45억 달러(약5.5조원) 투입⁶⁾
- (연구목표) 인간 행동 연관 신경회로 지도 작성 및 신경 활동 패턴을 이해
 - 인간 뇌 이해: 인간의 뇌를 이해하고 뇌 질환을 치료하기 위한 혁신적 기술 개발을 통한 통합적 뇌 연구 네트워크 생성 및 지원
 - 통합적 뇌 연구: 건강한 뇌와 질환 뇌의 활동이 어떻게 인지, 감정, 지각, 행동으로 변환하는지에 대한 방법 규명하고 다른 연구목표에서 생산된 새로운 기술적, 개념적 접근 방식 통합
 - 뇌지도 작성: 시냅스에서부터 전체 뇌에 이르는 다양한 해상도의 신경 회로도 작성
- (주요내용) 동 프로젝트는 인간의 두뇌 활동방식을 규명하고 두뇌질환의 신 치료법을 개발하며 뇌 관련과학을 융합하여 차세대 기술 개발을 목적으로 함
 - 뇌세포와 복잡한 신경회로의 순간적인 상호작용으로 뇌가 활발하게 기능하는 모습과, 뇌에서의 대량정보의 기록·처리·저장·이용·인출 및 뇌기능과 행동의 복잡한 관계를 규명
 - 알츠하이머병, 간질, 심적 외상 등 뇌신경질환을 치료하고 치유 예방하기 위한 새로운 치료법 개발
 - 신경과학, 나노 사이언스, 영상처리, 공학, 정보학 등의 뇌 관련 과학기술 분야를 융합하여 차세대 기술 개발
- (진행방법) 동 프로젝트의 목표를 달성하기 위한 7가지 원칙⁷⁾
 - 인간과 동물대상 병렬적 연구
 - 다학제 간 협력 추구
 - 공간과 시간 스케일 통합
 - 데이터 및 도구 공유 플랫폼 구축
 - 기술 평가 및 기술 보급
 - 신경과학연구의 윤리적 의미 고려
 - 과학 커뮤니티에 대한 책임감

6) 처음 10년 계획이었으나 12년 연장으로 예산 증가 (처음 30억 달러 편성)

7) The NIH BRAIN Initiative 참조하여 작성

○ (7대 중점 연구 분야)

- (Discovering diversity) 건강한 상태와 질환상태의 다양한 뇌신경 세포의 역할 규명
- (Maps at multiple scales) 다양한 스케일의 뇌지도 작성
- (The brain in action) 뉴런활동의 모니터링을 통해 뇌의 기능을 설명하는 다양한 이미지를 제공
- (Demonstrating causality) 뉴런활동과 행동의 인과성 입증
- (Identifying fundamental principle) 데이터 분석 기술을 개발하여 정신과정을 이해할 수 있는 원천기술 확보
- (Advancing human neuroscience) 인간의 뇌와 뇌질환의 이해를 통해 관련 질환을 치료하는 혁신적인 기술을 개발하여 신경과학 발전을 도모
- (From BRAIN Initiative to the brain) 1번부터 6번까지의 과제를 통해 발견된 이론 및 기술을 기반으로 건강한 뇌와 질환 뇌에서 어떻게 뉴런활동이 인지, 감정, 지각, 행동으로 전환되는지 규명

○ 동 프로젝트를 통해 얻은 신기술을 통합적으로 적용 및 활용하여 최종 산물 도출⁸⁾

- 뇌질환 치료법 개발 및 인간 세포 유형 타겟팅
- 건강한 뇌와 질환 뇌의 차이 규명
- 개인 맞춤형 뇌질환 치료법 개발
- 신경 회로의 원리를 발견하고, 역학적인 이해와 통찰력을 획득

(2) 유럽

□ EU는 2000년대 중반이후 컴퓨터로 뇌를 재현하는 브레인 프로젝트가 추진되어 왔음

- 2005년 스위스 연방 로잔공과대학(EPFL)은 IBM의 Blue gene^{*}을 활용해 컴퓨터로 언어, 학습, 기억 등 복잡한 사고를 다루는 두뇌의 신경피질을 3차원으로 재현하는 Blue Brain Project^{*} 시작
- Blue gene: 블루진(Blue gene)은 낮은 소비 전력과 더불어 PFLOPS(페타플롭스) 대역의 처리 속도에 도달할 수 있는 슈퍼 컴퓨터 설계에 초점을 둔 IBM 프로젝트

8) 미래부 뇌과학 발전전략 참고하여 작성

- Blue Brain project: IBM이 지원하는 프로젝트로 수천 개의 컴퓨터 칩을 연결하면서 인간의 뇌의 구조를 역공학하여 그 구조를 그대로 만들어가는 방식의 인공뇌 프로젝트

□ 또한 EU내 European Brain Council은 유럽의 신경과학 부문에서 중추적인 역할을 수행

- 유럽 뇌위원회는 2012년에 뇌연구 기금으로 10억 유로를 보유
- ‘2014 유럽 뇌의 해 (Year of the Brain in Europe 2014)’ 프로젝트를 수행

□ 2013년 EU는 사람의 뇌를 슈퍼컴퓨터에서 시뮬레이션하는 것을 목표로 「Human Brain Project」 추진

- 유럽위원회는 미래기술 주력사업(Future and Emerging Technologies, FET)프로그램의 일환으로 인간 뇌 프로젝트(Human Brain Project) 선정
- (연구기간) '13년~'23년, 10년간 진행
 - 1단계('13년~'16년), 첫 3년간 통합적 연구시스템 구축
 - 2단계('16년~'23년), 후 7.5년은 핵심 요소 기술 개발
- (예산) 10년간 총 10억 유로(약1.4조원) 투입
- (연구목표) 인간 뇌 구현 및 뇌질환 약물의 효과 예측 플랫폼 개발
 - 슈퍼컴퓨터를 통한 뇌의 구현: 인간의 뇌를 슈퍼컴퓨터에서 그대로 구현해 시뮬레이션하는 것을 목표
 - 통합 시스템 구축: 기초 연구, 임상 연구 및 신약 개발을 위해 접근 가능한 6개 연구플랫폼의 통합시스템 구축
 - 뇌연구의 패러다임 전환: 전략적 데이터 수집에서부터 이론 및 기술솔루션 개발에 이르기까지 13개 과학 하위 프로젝트 구성
- (주요내용) 슈퍼컴퓨터를 이용하여 사람의 뇌를 시뮬레이션 하는 동시에 ICT 융합 플랫폼 기술 개발에 집중
 - 동 프로젝트는 뇌의 다계층을 연결하여 뇌지도 작성 등을 통해 뇌 전체의 기능을 규명하고 이를 통해 두뇌질환 예방, 진단, 치료 및 신경과학의 발전, 신약 개발, 차세대 ICT 개발 등을 목적으로 추진
 - 이를 추진하기 위해 뇌관련 데이터 수집, 뇌 정보처리 이론, ICT 융합 플랫폼, 응용 등의 4개 분야를 집중 연구

- 동 프로젝트를 통해 얻은 신기술을 통합적으로 적용 및 활용하여 최종 산물 도출
 - 뇌 모델 구축에 필요한 인간 뇌 구조 및 기능 데이터 생성
 - 뇌 조직화에 대한 기본 원리 규명
 - 뇌 시뮬레이션을 위한 ICT 플랫폼
 - 고성능 컴퓨팅 플랫폼, 의료 정보화 플랫폼 등

□ EU의 뇌 공공연구 프로그램은 다음과 같으며, '07년부터 '12년까지 매년 3억 유로 (약5400억 원)를 뇌과학에 투자

<표 2-3> EU의 뇌 공동연구프로그램

유럽 뇌 공동 프로그램	설립 목적 및 주요 기능
Blue Brain Project ⁹⁾	포유류 두뇌를 분자 수준으로 역설계(reverse-engineering)로잔 공과대학교(EPFL) 주도로 2005년에 시작 2014년 1억개의 뉴런간의 상호작용 모델 발표 예정으로, 최종적으로 2023년에 인간 뇌 모델 완성 목표
FENS (Federation of European Neuroscience Societies)	유럽 각국의 신경과학 학회들의 연합 신경과학 분야 연구 및 교육의 발전이 목표
NEWS (Network of European Neuroscience Schools)	유럽의 뇌 연구 대학원생들에게 체계적이고 선진적인 신경과학 교육을 제공하기 위한 기구
NEWMOOD Project (for NEW molecules in MOOD disorders)	영국 맨체스터 대학 주도로 우울증을 연구하는 유럽의 13개 실험실로 구성 우울증의 병인기전 연구 및 새로운 치료제 개발
Neurex (Neuroscience upper Rhine network)	1999년 라인강 상부에 위치한 영국, 프랑스, 독일의 약 100개 실험실들이 구성한 Netwo가 인력 및 정보를 교환하고 우수 인력을 뇌연구 관련 생명공학 회사에 제공

출처: 과학기술자문회의, 뇌 중심 융합과학의 세계적 허브 실현방안 (2015)

(3). 일본

- 일본은 1997년 ‘뇌연구의 세기(Century of brain)’를 선언하고 뇌과학에 대한 관심과 사회적 공론화를 제기
 - 1997년 일본은 21세기를 「뇌과학의 세기(Century of Brain)」로 선언하고 뇌에 관한 연구개발 방향에 대한 장기적 추진방안 수립
 - 1998년‘뇌과학 종합연구소’를 이화학연구소(RIKEN)* 내에 설치하여 뇌의 이해, 뇌의 보호, 뇌의 창조, 뇌의 육성 분야를 연구

9) http://en.wikipedia.org/wiki/Blue_Brain_project

※ RIKEN: 1997년에 설립된 일본의 핵심 뇌과학 연구소로 뇌의 이해, 뇌의 보호, 뇌의 창조, 뇌의 육성 등 4개 핵심연구분야를 수행하고 있으며 신경회로망(neural circuit)분야가 강점 분야로 알려짐

- 2007년 문부과학성은 뇌과학위원회를 설치하여 뇌과학 연구의 기본적 구상 및 추진방안을 수립

□ 2008년 사회에 기여하기 위한 뇌연구 추진을 목표로 문부성 주도아래 「뇌과학연구 추진전략 프로그램」을 추진

- 동 프로그램의 중점 연구방향은 기반기술 개발, 뇌기능 규명, 융·복합을 통한 새로운 분야의 개척으로 구성
- 뇌의 기억, 학습, 인지, 사고, 운동제어의 통합적 규명을 통한 진단, 치료, 예방법 개발
- 사회성 장애(노화, 자폐증 등)에서 뇌기능의 물질적·기능적 변화 규명 연구
- 타 기술분야와의 융합에 의한 새로운 영역 창출
 - BMI (Brain Machine interface), 외골격 로봇 등
- 동 프로그램의 연간 예산은 300억 엔 내외였으며, 2010년 일본 생명공학 R&D 예산의 7%정도를 차지하였으나, 2012년 1,147억 엔으로 예산이 크게 증대 되었음

□ 2009년에는 ‘뇌과학연구의 기본적 구상 및 추진 전략’을 통해 ‘종합적 인간 과학의 구축’과 ‘사회에 대한 공헌’을 뇌연구의 구체적 주요 목표로 제시

□ 2014년부터는 소형 영장류(Marmoset)를 활용하여 정신질환의 근원을 밝히고자 「Brain/MINDS(Brain Mapping by Integrated Neurotechnologies for Disease)」 프로젝트 추진

- (연구기간) '14년~'23년, 10년간 진행하면서 영장류 뇌지도 작성을 위한 기반 기술 개발
- (소요예산) '14년 30억엔(약 300억원), '15년 40억엔(약 400억원)
- (연구목표) 뇌과학 기반 지능기술 개발과 뇌질환 극복¹⁰⁾
 - 마모셋 원숭이 뇌지도 작성: 해부학 기반의 매크로, 메조 및 마이크로 수준의 뇌지도 작성

10) Brain/MINDS: brain-mapping project in Japan (Hideyuki Okano)

- 뇌 지도 작성을 위한 최첨단 기술개발: 새로운 신경활동 제어 기술, 이중 및 멀티스케일 데이터 통합을 위한 신경정보학 솔루션 등
- 퇴행성 신경질환, 혈관성 뇌질환 및 신경재활 환자 임상 연구: 다기관 환자 유래 자기공명 영상 및 기타 바이오 마커 데이터베이스를 생성하고, 마모셋 연구에 피드백 제공
- (기술개발 개별 과제)
 - 매크로와 마이크로를 연결하는 멀티 모달 기능 매핑 기술 개발
 - 마모셋 중추 신경계의 세포 종 특이적, 회로 특이적 유전자 발현 바이러스 벡터의 개발
 - 다각적인 신경 회로·구조 해석법에 의한 마모셋의 뇌기능 분석
 - 마모셋 뇌 기능 연구에 최적화 된 경로 선택적인 조작과 그 기반이되는 회로 구조 해석 기술 개발
 - 영장류 뇌 단일 뉴런 수준의 기능지도를 가능하게 하는 혁신적인 이미징 기술 개발
- 동 프로젝트를 통해 얻은 신기술을 통합적으로 적용 및 활용하여 최종 산물 도출
 - 영장류 뇌지도 작성
 - 지도작성 기반 기술개발
 - 뇌기능 정보 제공
 - 뇌질환 극복을 위한 임상연구

(4). 중국

- (중앙정부) '90년대 후반부터 중국은 뇌연구의 경쟁력 확보를 위해 적극적 지원을 하기 시작
- 「국가 중장기 과기발전계획 요강('06~'20)」 중 '뇌과학 및 인지'분야를 기초 과학 선행발전 분야로 확정 하였고, 「12차 5개년 기간 국가기초연구발전 전문프로그램계획」 과 「12차 5개년 기간 의학과과학기술발전계획」 중 '뇌과학 및 인지과학'분야를 중점 발전방향으로 확정
- 중국정부의 뇌과학 연구는 주로 뇌기능의 세포 및 분자메커니즘, 뇌 중대질환의 발병 및 진행 메커니즘, 인간 지력 및 뇌의 고급 인지능력, 뇌와 정보시스

템의 인터랙션 등 4개 분야에 집중

- 중국 과학원은 선행 과학의 발전을 위해 우수한 연구자원을 집결한 「뇌과학 및 지능기술 탁월혁신센터」 사업 본격 추진

- 목표: 뇌과학 및 뇌 유사지능 분야 중대과학문제 집중 해결, 국제 경쟁력이 있는 우수인재와 연구그룹 육성, 국제 영향력 있는 혁신성과 배출
- 주도기관: 중국과학원의 상하이생명과학연구원 신경과학연구소와 자동화연구소
- 5대 연구방향: 뇌인지 기능의 기초연구, 뇌질환 메커니즘 연구 및 조기진단 수단 개발, 뇌연구 신기술 연구개발, 뇌유사 모델과 지능정보 처리, 뇌유사 부품과 시스템 개발

- (지방정부) '15년 상하이, 「상하이 뇌과학 및 뇌유사지능 발전」 프로그램 추진 및 '15년 베이징, 「뇌과학연구」 프로그램 추진

- 상하이과학기술위원회의 주도하에 푸단대학 등 10여개 기관이 공동으로 「상하이 뇌과학 및 뇌유사지능 발전」 프로그램 가동

- 중점연구: 복잡한 데이터 분석 및 뇌 시뮬레이션, 기억과 학습과 결핵 등의 원리탐구, 지능인터랙션 시뮬레이션, 빅데이터 발굴, 지능의료진단 등 분야 연구 추진

- 주요자원: 푸단대학이 저장대학, 화중과기대학, 통지대학, 상하이교통대학 등 10여개 대학과 중국과학원 연구소와 공동으로 「뇌과학 협동혁신센터」 설립

- 베이징과학기술위원회 주도로 대학, 연구소, 병원 등 밀집된 뇌과학 연구자원을 적극 활용할 수 있는 「뇌과학 연구」 전문프로젝트 가동

- 중점연구: '뇌인지 및 뇌의학'과 '뇌인지 및 뇌유사 컴퓨팅'

- 주요자원: 베이징에는 현재 중국과학원의 생물물리연구소, 자동화연구소, 전산기술연구소 외 칭화대학, 베이징대학, 의과학원, 세허병원 등이 있음

- 중국도 2016년부터 '차이나 브레인 프로젝트('16~'30)'를 추진하여 중국의 뇌연구와 지능기술 발전을 위한 장기적, 지속적 투자를 실시할 예정

- (소요예산 및 연구기간) 예산은 미정이나 '16년부터 15년간 추진 될 예정

- (연구목표) 뇌과학 기반 지능기술 개발과 뇌질환 극복

- 영장류 뇌지도 작성: 메조스케일 뇌지도 작성을 통한 인지 기능 연구

※ 영장류(붉은털 원숭이 등) 이용 메조스케일 뇌지도 작성, 뇌 모든 영역의 세포유형 선

별, 구조 및 기능/행동 관련 뇌지도 작성

- 인공지능 기술 개발: Brain Inspired Intelligence 지능기술 연구개발

※ 이미징 기술, 생체내 생리학기법 연구, 뉴로모듈레이션, 신경정보학, 영장류 형질전환 모델개발 등

- 뇌질환 극복: 생애주기별 뇌질환에 대한 기전, 조기진단, 조기조절기술 연구

※ 영장류 동물모델 이용 발달장애(소아청소년), 정신질환(중년), 퇴행성뇌질환(노인) 연구

○ (핵심기술)

- 신경마커 및 신경회로 추적자 기술

- 유전, 후성유전 및 병리성 기능실조 등 대뇌질환의 발병 메커니즘 규명

- 뇌유사 신경네트워크 모델과 전산방법의 구축

- 차세대 인공지능로봇과 뇌유사로봇 개발

○ (중점 R&D 분야)

- 뇌지도 작성을 통한 인지 기능 연구

- Brain Inspired Intelligence 지능 기술연구개발

- 생애주기별 뇌질환에 대한 기전, 조기진단, 조기조절기술 연구

○ (최종산물)

- 뇌과학 기초연구 플랫폼 구축

- 대뇌질환 치료(자폐증, 심리장애, 우울증, 중독, 알츠하이머, 파킨슨 질환 등 우선목표)

- 인공지능 기술 개발

나. 국내 정책동향

- 정부에서는 국내 뇌연구 활성화를 위해 1998년 ‘뇌연구 촉진법’을 제정하고 10년 단위로 「뇌연구촉진 기본계획」을 수립하여 현재 제2차 뇌연구촉진 기본계획('08~'17) 2단계를 추진 중

○ 뇌연구촉진법은 뇌연구 활성화를 위해 1998년 제정한 국내 뇌연구 최상위 법안

※ (제1조, 목적) 뇌연구 촉진의 기반을 조성하여 뇌연구를 보다 효율적으로 육성, 발전시키고 그 개발기술의 산업화를 촉진하여 국민복지의 향상 및 국민경제의 건전한 발전에 이바지함을 목적으로 함

○ 뇌연구촉진법에 따라 뇌연구촉진 기본계획을 수립하고 있으며, 각 부처별 역할은 다음과 같음

<표 2-4> 뇌연구에서의 부처별 역할

부 처	역 할
미래창조과학부	○ 기본계획의 수립과 시행계획 수립의 지원 및 조정 ○ 뇌 관련 기초기술 및 첨단기술의 개발 ○ 유용한 연구결과의 이용 및 보전을 위한 연구의 지원 ○ 공공적 성격의 뇌연구 지원체제 육성 ○ 뇌연구 결과를 정보·통신 등의 분야에 효율적으로 응용하기 위한 응용기술의 개발과 개발기술의 산업화 촉진 ○ 뇌연구 분야 투자방향 설정, 주요 R&D의 중기 재정소요 검토, 예산 배분·조정 및 성과평가
교육부	○ 뇌 분야 연구를 촉진하기 위한 전문 인력의 양성과 뇌과학 기초분야의 연구 지원 ○ 기본계획 수립을 위하여 소관별로 뇌연구 실적과 뇌연구 촉진을 위한 연차별 계획을 미래창조과학부에 제출 ○ 기본계획에 따라 매년 뇌연구촉진시행계획 수립·시행
산업통상자원부	○ 뇌연구 결과를 생산 및 산업 공정 등의 분야에 효율적으로 응용하기 위한 응용기술의 개발과 개발기술의 산업화 촉진 ○ 기본계획 수립을 위하여 소관별로 뇌연구 실적과 뇌연구 촉진을 위한 연차별 계획을 미래창조과학부에 제출 ○ 기본계획에 따라 매년 뇌연구촉진시행계획 수립·시행
보건복지부	○ 보건·의료 등에 관련되는 뇌의약 연구와 그 결과의 응용기술개발 및 개발기술의 산업화 촉진 ○ 기본계획 수립을 위하여 소관별로 뇌연구 실적과 뇌연구 촉진을 위한 연차별 계획을 미래창조과학부에 제출 ○ 기본계획에 따라 매년 뇌연구촉진시행계획 수립·시행

출처 : 2016 뇌연구촉진시행계획

○ 제2차 뇌연구촉진 2단계 기본계획에서는 4대 기술분야간 상호연계를 통한 체계적 융합연구를 지향



출처: 미래부 등, 제2차 뇌연구촉진 2단계('13~'17) 기본계획 (2013.6.)

[그림 2-3] 제2차 뇌연구촉진 2단계 기본계획의 비전체계도



출처 : 2013년도 제2차 뇌연구촉진 2단계 기본계획
[그림 2-4] 뇌연구 촉진 정책 변화

- 2016년 뇌연구촉진시행계획에서는 ① R&D 핵심역량 강화의 가속화, ② 연구개발 시스템 제도화, ③ 실용화 촉진 및 연구개발 성과 확산의 3대 추진전략을 제시
- 2016년의 경우, 전년도 예산(1,243억원) 대비 7.1% 증가한 총 1,331억원을 투자할 계획으로 특히 뇌신경계질환에 대한 투자 우선순위가 높음



출처: 2016 뇌연구촉진시행계획 (2016)

[그림 2-5] '16년도 뇌연구 3대 추진전략 및 실천과제

- 2016년 5월 미래부는 국가 뇌연구의 질적 성장을 위한 「뇌과학 발전전략」을 발표
 - 동 발전전략에서는 ‘특화 뇌지도 등 핵심 뇌기술 조기확보’와 ‘뇌연구 생태계 확충’을 목표로 향후 10년간 3,400억원을 투자할 계획
 - 동 전략은 「R&D 고도화 전략」과 「뇌연구 생태계 내실화 전략」을 2대 전략으로 추진
 - 「R&D 고도화 전략」은 ‘특화 뇌기능 지도 작성’, ‘미래 선점 뇌융합 챌린지 기술개발’, ‘차세대 NI-AI 연계를 위한 뇌연구 강화’, ‘생애 주기별 맞춤형 뇌질환 극복연구 심화’ 4개 과제를 추진
 - 「생태계 내실화 전략」은 ‘뇌연구 인력의 융합화 촉진’, ‘뇌연구 자원의 안정적인 확보’, ‘글로벌 뇌연구 역량활용 및 협력 강화’, ‘미래 뇌산업 준비’의 4개 과제를 추진



출처: 미래부, 뇌과학 발전전략 (2016.5.30.)

[그림 2-6] 뇌과학 발전전략 (2016.5.30.) 비전 및 추진전략

2. 산업 및 시장 동향분석

- 현재 뇌과학 연구 및 활용기술 관련 시장은 뇌질환 치료제 및 의약품 시장, 그리고 뇌의 구조나 질환의 진단을 위한 영상장비 시장 등 다양한 분야의 시장이 존재함
- 뇌 관련 시장은 뇌질환 치료제, 뇌 연구장비, 치료장비, 일반인 대상 두뇌 건강관리제품 등으로 구분할 수 있음
- 이 중 뇌질환 치료제 시장이 가장 큰 규모를 차지하고 있으며, 뇌 치료장비 및 일반인 대상 제품 시장이 급속하게 성장하고 있음

<표 2-5> 뇌 관련 산업의 시장 전망

구분	뇌의약품	연구장비	치료장비	일반인 대상 제품
주요제품	질환치료제 (통증, 우울증, 치매 치료제 등) 시장	이미징, 뇌투명화, 전기생리학을 위한 장비 등	척수자극기, 뇌심부자극기, 미주 신경 자극기 시장 등	집중력 향상 뇌자극기, 웨어러블 EEG 등
세계시장 규모	약 170조원	약 29조원	약 4조원	약 1조원
성장률 (~'20)	연 5%	연 5%	연 11.2%	연 11.5%

출처: The Neurotechnology Industry '15~'16 Report

- 뇌 질환의 진단 및 뇌 연구를 위한 뇌 영상장치 및 뇌기능 모니터링 관련 세계 시장이 성장할 것으로 예측됨
- 뇌 진단 및 연구장비 시장은 뇌 이미징 장비 및 전기생리학을 위한 장비가 주를 이루고 있으며, '14년 기준 24억달러 규모에서 '20년까지 31억 달러로 시장이 확대될 것으로 예상¹¹⁾

(1) 뇌질환 치료제

- 뇌·신경계 질환 환자는 지속적으로 증가 추세이며, 관련 제약 시장도 상승 추세가 지속됨
- 뇌·신경질환 환자들은 꾸준히 증가하고 있으며 특히 알츠하이머의 경우 2020년까지 연평균 3.4%씩 증가할 것으로 전망

11) The Neurotechnology Industry Report 2015-2016

<표 2-6> 7개 주요 세계시장에서의 뇌·신경계 질환 환자수 예측
(단위: 천명)

	2012년	2014년	2016년	2018년	2020년
조현증	2,968	3,011	3,042	3,038	3,047
알츠하이머	5,296	5,667	6,018	6,368	6,750
주요우울장애	17,705	17,873	18,028	18,172	18,311

※출처: Datamonitor, "Market and Product Forecasts: Alzheimer's Disease" (2011.11), "Market and Product Forecasts: Schizophrenia"(2012.7), "Market and Product Forecasts: Depression"(2012.1)

- 2012년 6월 IMS Health에서 발표한 자료에 따르면 뇌·신경계질환 제약시장의 전망은 꾸준한 상승세를 유지하며 ADHD 관련 제약의 경우 2016년까지 연평균 8% 이상 성장할 전망



※출처: IMS, "Institute for Healthcare Informatics" (2012. 7)

[그림 2-7] 주요 질환 치료분야의 투자규모와 성장률

- 고령화 사회로의 진입과 함께 알츠하이머나 다발성 경화증과 같은 신경계 질환의 새로운 치료제 출시 여부가 관련 의약시장을 주도하며 이에 따라 신경계 질환 관련 의약품 세계 시장은 지속적으로 규모가 커질 것으로 예견됨
- 실제로 중추신경치료제의 신약 개발은 전체 신약개발의 평균 12%를 차지하고 있음



※출처: IMS, “Institute for Healthcare Informatics” (2012. 5)

[그림 2-8] 2006~2010년까지 뇌·신경계질환 신약 개발 현황

- 제네릭 의약품 시장에서 뇌·신경계 질환 의약품은 큰 규모를 차지하고 있으며 향후 비교적 빠른 성장세를 나타낼 것으로 예측됨
- 2009년 제네릭 의약품 시장에서 뇌·신경계 질환 의약품은 23.1%의 가장 큰 규모를 차지
- 블록버스터 신약 Abilify의 경우 2011년 - 2012년에 신약의 특허가 만료될 것으로 예상되어 정신병 치료제 등에 대한 제네릭 의약품 개발에 집중해야 할 것으로 보임

<표 2-7> 세계 복제 의약품 시장규모 현황

(단위: 백만 달러, %)

약효군	2005	2006	2007	2008	2009	2005~2009	
						증감	CAGR*
Central nervous system(중추신경계)	14,483	15,959	17,437	19,259	21,136	6,653	9.9
Cardiovascular(심혈관질환)	11,356	13,173	14,168	14,265	14,908	3,552	7
Infectious diseases(전염병)	9,004	10,202	10,743	11,162	12,033	3,029	7.5
Oncology(항암제)	2,468	2,837	3,817	4,366	5,646	3,177	23
Gastroenterology(소화기질환)	3,805	4,118	4,700	6,609	7,240	3,435	17.5
Hematology(혈액종양)	2,177	3,132	2,542	2,522	2,919	742	7.6
Genitourinary(비뇨생식기질환)	2,784	3,250	3,646	3,828	4,147	1,363	10.5
Respiratory(호흡기질환)	2,042	3,135	3,321	3,128	3,383	1,341	13.5
Immunology & inflammation(면역, 염증)	1,542	1,573	1,671	1,890	2,123	581	8.3
Endocrine, metabolic & genetic disorders(내분비, 대사, 유전질환)	1,527	1,728	1,703	1,836	2,017	490	7.2
Other	667	664	711	784	1,162	495	14.9
Total	51,854	59,772	64,460	69,648	76,713	24,859	10.3

※출처: Datamonitor, “Generics Market Outlook: 2015” (2010)

* CAGR: 연평균 성장률

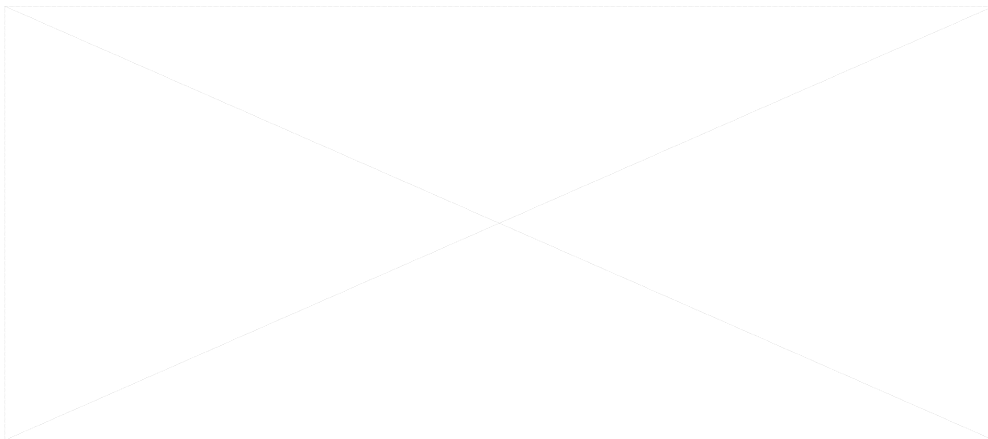
- 세계 제약시장의 35%를 차지하고 있는 미국의 경우, 2009년 가장 많이 판매된 약효군은 항정신병약인 Antipsychotics로 146억 달러 기록하고 있음
- 조현증 및 양극성장애 치료약물인 Abilify는 2009년도에 40억 달러, 2010년도엔 46억 달러의 판매량을 기록, 15%의 증가율을 보임

<표 2-8> 미국의 뇌·신경계 질환 약효군 매출현황
(단위: 십억 달러)

약효군	2005	2006	2007	2008	2009
Antipsychotics, Other(정신병치료제)	10.2	11.4	12.8	14.2	14.6
Antidepressants(항우울제)	10	10.4	9.2	9.5	9.9
Seizure Disorders(항경련제:간질약)	7.7	8	9	9.6	5.3

※처: IMS Health, "IMS National Sales Perspectives" (2010)

- 중추신경계(Central nervous system) 약효군의 매출규모는 2009년 미국 제약시장의 23.1%를 차지하고 있으나 복제 의약품 침투 증가에 따라 전체 매출은 감소할 것으로 예상됨



출처: IMS Health, "IMS National Sales Perspectives"(2010)

[그림 2-9] 미국의 약효군별 매출 증가율 현황

- 미국의 상위 20대 제약회사들의 의약품 개발을 위한 약효군별 투자 현황을 살펴보면 뇌·신경계 질환 관련 의약품의 투자가 여전히 상위에 있음을 알 수 있음
- 항정신제 관련 투자율은 2010년도에 2009년 대비 9.52%로 증가하였으며, 투자금액이 상대적으로 적은 다발성 경화증, ADHD 및 알츠하이머 치료제의 경우에도 16.33% 14.28%, 12.5%로 큰 폭의 증가율을 보임



※출처: IMS Health, “IMS Health Data”(2011. 5)

[그림 2-10] 미국 20대 제약회사의 상위 투자 의약품

(2) 뉴로 인터페이스 시장

- 뇌-컴퓨터 인터페이스 (brain-computer-interface, BCI)란 인간의 뇌와 컴퓨터를 직접 연결하여 이들 사이에 정보 교환이 일어나게 하는 융합 기술을 총칭하며, brain-machine interface (BMI), direct neural interface, 또는 mind-machine interface (MMI)로 불리기도 함
- (Signal Acquisition) 인간의 뇌로부터 다양한 종류의 뇌신경 신호들이 다양한 방법들에 의해 측정됨
- (Signal Processing) 측정된 뇌신호들에서 잡음 등을 제거하기 위한 신호처리 단계를 거친후 다양한 종류의 뇌신호 특성들을 추출하고, 뇌신호분류기술 (classification)에 dmlg 사용자의 의도가 분류됨
- (Feedback) 사용자의 의도에 따라 다양한 외부기기들을 제어하거나 다른 사람들과의 의사소통을 할 수 있게 됨



출처 : Nam, C S., Wadson, A., Choi, I., and Whang, M. (2016, in press). Brain-Computer Interface. Handbook of Human-Computer Interaction. Wiley Press.
재미한인과학기술자협회, 뇌-컴퓨터 인터페이스에 대한 국내외 연구개발동향 조사 (2015)에서 재인용
[그림 2-11] 뇌-컴퓨터 인터페이스 시스템 구조

□ BCI 기술의 주요 응용분야는 다음의 여섯 가지 분야임

- 질병이나 사고로 소실된 중추신경계(central nervous system) 기능 대체 (replace): 예, 생각만으로 typing을 하거나 다양한 외부 시스템들 (예, 휠체어, 드론 등) 제어
- 소실된 중추신경계 기능 복구 (restore): 예, 마비된 환자의 근육을 기능적 전기자극기(unctional electrical stimulation)로 자극하여 복구하거나 말초신경을 자극하여 방광기능 복구
- 중추신경계 기능 증진 (enhance): 예, 자동차를 오래 운전할 때 처럼, 주의력이 쉽게 떨어질 수 있는 환경에서 뇌활동을 모니터링하여 사용자에게 주의를 환기시킴
- 중추신경계 기능 보충 (supplement): 예, 사람에게 제 3의 로봇팔을 제공하여 추가 기능 제공
- 중추신경계 기능 향상 (improve): 예, 중풍환자의 손상된 뇌로부터 측정되고 처리된 뇌신호를 이용하여 환자 팔의 근육을 자극하거나 보조기를 제어하도록 함
- 임상학 및 비임상학 분야에서 중추신경계 기능들을 연구하는데 쓰이는 연구 방법(research tool)의 하나로서 뇌-컴퓨터 인터페이스 시스템

□ 우리나라는 고령화와 뇌질환으로 인한 장애 발생 가능성이 높아, 뇌-컴퓨터 인터페이스에 기반을 둔 의료기기 수요가 급증할 것으로 전망

- 우리나라는 2010년에 이미 65세 이상의 노령인구가 전인구의 10%를 차지함

으로써 고령화 사회에 본격 진입



출처: 통계청, 2000

[그림 2-12] 한국의 고령인구 증가추세

- 국내에서도 뇌기능 관련 모니터링 기기와 뇌·신경질환 진단과 관련된 영상처리용 장치 및 소프트웨어 시장이 성장하고 있음
- 국내 영상처리용 장치 및 의료영상 소프트웨어 생산액은 의료기기 상위 20대 품목에 있으며, 시장 증가율이 큰 품목 중 하나임



출처: 한국보건산업진흥원, 2015

[그림 2-13] 영상처리용장치 및 의료영상 소프트웨어 생산추이 ('08-'14)

- 국내 생체전위 측정기기 시장은 2013년 167억원에서 2017년 2백억원까지 지속적으로 성장할 것으로 전망됨
- 또한, 세계 영상진단기기 시장에 비해 국내 시장의 성장률이 2배가량 높음

<표 2-9> 영상진단기기 분야 시장현황 및 전망

(단위: 백만 달러)

구분	주요품목	2013	2014	2015	2016	2017	성장률(%) (2013~2017)
세계 시장	x-선 촬영장치	4,196	4,362	4,543	4,732	4,935	4.1
	MRI	4,653	4,966	5,300	5,530	5,912	6.2
	CT	4,068	4,285	4,575	4,867	5,206	6.4
	핵의학진단영상장치	2,088	2,205	2,330	2,456	2,596	5.6
	초음파영상진단기	4,993	5,314	5,666	6,051	6,472	6.7
	소계(상위 5개 품목)	19,998	21,132	22,414	23,636	25,121	5.9
국내 시장	x-선 촬영장치	185.2	208.9	222.6	238.8	259.9	8.8
	MRI	101.6	112.4	126.9	138.5	153.6	10.9
	CT	117.9	137.2	163.8	188.6	220.6	17.0
	핵의학진단영상장치	45.7	47.6	49.5	51.5	53.6	4.1
	초음파영상진단기	224.9	256.3	284.9	314.2	351.2	11.8
	소계(상위 5개 품목)	675.3	757.4	847.7	931.6	1,038.9	11.3

출처 : 1) Market Worldwide Medical Market FOrcasts to 2017, Espicom

2) MEDical cTrack, GlobalData 2012

3) 의료기기 생산·수출·수입 실적 보고, 식품의약품안전처, 2012

4) 의료기기 품목시장 리포트, 한국보건산업진흥원, 2013

□ 뇌파 측정기 (뇌파계)의 경우 2008 년도 수출 금액대비 점진적으로 증가추세를 보이며, 시장규모도 소폭 상승

○ 뇌파계시장의 성장은 보급형 뇌파 측정기 개발 기술의 발전과 함께 고령화에 따른 뇌 병변 진단 및 뉴로피드백 재활 프로그램의 활성화와 학습 개선을 위한 뇌파 진단 프로그램의 영향 때문으로 해석됨



출처 : 보건복지부 의료기기산업 종합정보시스템

[그림 2-14] 뇌파계 시장 현황

- 뇌-기계 인터페이스가 포함된 침습형 뉴로 인터페이스 기술의 시장이 형성되고 있으며, 향후 급속하게 성장할 것으로 예상
- 뇌-기계 인터페이스가 포함된 침습형 뉴로 인터페이스 기술의 세계 시장규모는 2010년도에 43억달러에서 2014년에는 102억달러로 연평균 24%의 성장세를 보이고 있음

<표 2-10> 뉴로 인터페이스의 세계 시장 전망 (2010-2014)



- 뇌-기계 인터페이스 시장은 신경자극과 신경측정에 기반한 의료기기 시장과 뇌-컴퓨터 인터페이스를 응용한 비약물성 치료 기술 시장으로 발전할 것으로 예상됨
 - 신경자극 시장 및 제품군은 뇌신경을 전기적으로 자극하는 기술에 기반한 의료기기로서, (1) 손상된 뇌기능을 회복시켜주는 기능성 전기자극 장치, (2) 신경을 회복시키거나 강화시키는 치료용 신경 재활장치, 그리고 (3) 특정 신경경로에 자극을 주어 신경회로를 조절, 정상적인 기능을 회복시켜주는 신경 조절장치가 있음
 - 신경 신호 측정시장은 (1)뇌신경신호를 기록하는 장치를 생산하는 전기생리학적 뇌신경 센터와 (2) 뇌신경신호의 정보를 분석하는 뇌분석 시스템이 있음
 - 고령화 사회 가속화에 따라 개인용, 가정용 정신건강을 위한 제품들의 급격하게 증대할 것으로 예상되며, 이에 따라 웨어러블 디바이스 형태의 정신건강 보조 혹은 훈련 콘텐츠의 시장 확대가 가속화될 전망

3. 기술 동향분석

가. 뇌과학 연구 발전 추세

- 뇌과학연구는 고령화 사회(Aging Society)의 인류복지를 위한 핵심기반 기술로 급속한 발전이 가시화될 전망
 - 노인 인구 증가에 따라 노인성 질환의 수요가 점점 증대되고 있고 복잡한 현대사회의 개인화에 따른 약물 중독, 정신 질환 등이 증가
 - 뇌졸중, 알츠하이머성 치매, 파킨슨병 등 퇴행성 뇌질환 및 노인성 질환의 치료제 개발을 통해 고령화에 대응하는 기술개발의 가속화
 - 미래의 기술주도권 확보 및 경제적 잠재가치의 인식으로 뇌질환 극복 및 뇌기능 향상 연구가 경쟁적으로 진행
 - 뇌질환 예방·치료, 뇌기능 향진 및 생명·정보공학 관련 시장 규모의 확대에 따른 고부가가치 창출 기회 증대
 - 원천기술 확보를 통한 전략적 기술선점으로 국가 경제 성장을 견인하고 새로운 시장을 창출하며 관련기술의 급속한 발전에 따라 향후 다양한 뇌 중심 융합기술들이 개발될 것으로 전망
 - 뇌과학연구는 BT, IT, NT, CT 등 다학제적 융합과학화를 촉진하여 혁신적 기술을 통해 삶의 질 향상에 큰 변화를 가져올 것으로 기대
 - 새로운 영상기법을 이용한 고등 뇌기능 분석으로 연구의 급속한 진전이 가능해질 것으로 전망
 - 뇌의 특정부분이 담당하는 역할을 알아내고 그 영역들 간의 기능적 연관성 연구를 위해 뇌영상이 차지하는 비중이 점차 증가
 - 기능적 뇌영상기술(fMRI) 분석을 통해 인간의 고등인지능력(학습, 판단 등)을 담당하는 뇌의 활동과 고등인지기능과의 상호연관성 규명 가능
 - 뇌의 활동에 따른 혈액의 산소 포화도(BOLD signal) 변화를 영상화하는 기법인 fMRI를 이용하여 뇌의 활동부위 파악
- ※ BOLD signal : Blood Oxygen Level Dependent signal
- 뇌중심의 융합 기술이 생체기능을 통합적으로 조절하는 기전에 대한 연구의 활력

원으로 발전될 추세임

- 인간의 두뇌와 컴퓨터를 직접 연결하여 뇌파를 통해 컴퓨터를 제어하는 인터페이스 기술인 BCI(Brain-Computer Interface) 연구의 성장
- IT 기술과의 접목 등 다양한 분야로의 기술적 파급효과를 기대함



출처: 한국콘텐츠진흥원, “BCI 기술동향” (2011. 3) (원출처: Neurosky)

[그림 2-15] BCI 기술 응용분야

나. 해외 기술개발 동향

- 글로벌 뇌연구는 원리에서 실증 중심으로, 가설에서 정보 중심으로 변화하고 있음
 - 첨단 장비를 활용한 혁신적 융합기술 구현으로 종래 원리 중심의 연구에서 벗어나 본격적인 실증연구로 도약
 - 정밀 뇌연구의 본격화로 가설 중심의 연구에서 벗어나 본격적인 빅데이터 기반의 정보 주도형 뇌연구가 본격화
- 뇌신경생물학
 - 광유전학(Optogenetics) 기반 신경세포 제어 연구에 학계 주목
 - 광유전학은 빛으로 세포막에 위치한 특정 수용체를 원격 조정하는 기술로, 미생물이나 식물에서 발견되는 빛에 반응하는 단백질을 인간이나 동물세포에 적용해 세포의 여러 기능들을 조절하는 학문임¹²⁾

12) 디지털타임스, “빛으로 뇌 기능 조절해 치매 치료한다”, 2014. 6.

- '05년에 개발된 광유전학 기술은 선택적 신경회로의 활성 조절을 가능케 하였으며 새로운 연구장비 시장을 개척함
 - ※ 광유전학 연구장비 시장은 '15년 170억원 규모로 성장¹³⁾
- 최근, 美버팔로대와 웨이크포레스트대가 각기 다른 방식으로 뇌의 깊은 곳에 빛을 쬐는 시뮬레이션 실험을 한 결과, 뇌 속의 뉴런에 빛으로 자극을 주어 치료하는 결과를 확인했다고 밝힘¹⁴⁾
- 또한, 분자생물학과 광학, 전자공학을 융합시킨 광유전학은 이미 성인 후에 실명한 환자들의 최신식 인공망막 개발에 도입되고 있음¹⁵⁾
- 뇌 부위별 상호작용 등 뇌기능 연결망(Connectomics) 분석에 크게 기여
 - ※ 쥐의 해마에 광유전학 채널을 삽입, 인위적 조작 기억 실험에 성공(2013)
- 뇌 투명화를 통해 뇌 이미지화 기술이 혁신적으로 발전할 것으로 전망
 - 뇌에 하이드로겔을 투입, 신경세포 구조를 유지시키면서 뇌를 투명하게 만드는 뇌 투명화 기술
 - 과당용액으로 뇌를 투명하게 만드는 SeeDB 뇌 관측법
- 뇌질환의 병리기전 및 약물치료 반응 연구에 줄기세포 기술 도입이 활발¹⁶⁾
 - 신경줄기세포는 생성과 분열의 정도가 유동적으로, 환경적 자극이 주어질 때 그에 대응해서 신경세포의 분열 촉진
 - 동물실험에서는 신경줄기세포의 주입을 통해 파킨슨병 등 뇌질환 치료에 어느 정도 효과
 - 그러나 현재 배아나 성체에만 존재하고 신경줄기세포를 배양하고 수확할 수 있는 기술이 완전히 개발되지 못함
 - 신경줄기세포 확립을 위해 역분화, 중배엽줄기세포 등에 대한 연구 진행
 - 한미 공동연구진, 알츠하이머 치매 환자의 뇌 조직 특징을 구현하는 세포를 실험실에서 배양하는 데에 최초 성공(2014)하였으며, 피부 IPS로 통증감지 신경세포 배양(2015)

13) 미래부, 뇌과학 발전전략 (2016.5.)에서 재인용

14) 브레인미디어, “광유전자학을 활용한 뇌신경 자극으로 알코올중독 치료: 감광성 바이러스로 뇌 속의 도파민 뉴런을 자극”, 2014.01

15) The Wall Street Journal, “The Future of Brain Implants”, 2014. 3.

16) 한국보건산업진흥원, 정신질환 R&D 동향 및 시사점, 2013.12

□ 뇌공학

○ 뇌-기계 인터페이스(Brain-Machine Interface)

- 뇌에 삽입한 마이크로칩을 활용, 생각만으로 마비된 손을 움직이는 실험을 최초 성공(2014)
- 튜링테스트 최초 통과(2014)

○ 계산뇌과학(Computational Neuroscience)

- 천억 개에 이르는 뇌세포의 작동을 이론적으로 이해하는 새로운 방법론으로 발달시기의 뇌 변화, 감각자극 전달, 기억과 신경가소성 등을 모델링

○ 뇌파 구동기술

- 동물간 정보교환을 뇌파 장치로 매개, 협력을 이끌어낼 정도로 정교한 수준에 도달했으며, 차세대 뇌공학 장치 구동에 활용 가능한 실용적 기술

○ 초소형 광자극 시스템을 이용하여 뇌세포의 부위별 자극에 성공 (Neuron誌, '15)

<비침습적 방식 사례>

생각만으로 차선변경, 추월하는 자동차



생각하는 대로 자동차를 좌우로 회전하고, 차선을 바꾸고, 추월하거나 멈출 수 있는 시대가 좀더 가까워지고 있다. 이는 구글이 라스베이거스에서 시험 운행하기 시작한 완전 자율주행자동차, 즉 로봇자동차가 본격 등장하기 이전에 상용화될 수 있을 전망이다.

씨넷은 29일(현지시간) 닛산자동차와 스위스 연방기술대(EPFL)가 운전자의 생각패턴을 읽어 좌우로 원하는 방향으로 회전시켜 주는 등 생각만으로 제어할 수 있는 자동차를 개발 중이라고 보도했다. 또 이 기술이 로봇차 상용화 전 단계가 될 것으로 예상했다.(2011.9.30. ZDNet Korea)

□ 뇌인지 분야

- 언어처리, 감정, 지각, 사고 등의 과정을 뇌영상, 신경회로의 활성화와 패턴을 통해 이해하려는 연구가 활발하게 진행 중
- 뇌영상
 - 뇌가 자극을 전달하는 경로를 파악할 수 있게 되면서 인간에게 특징적인 고위 인지기능 및 정서의 신경적 기초 연구 가능해짐
 - 광유전학과 달리 별도의 수술이나 유전자 조작 없이 사람과 같은 고등동물에게 사용 가능한 것이 강점
 - 마약중독, 물질사용장애 환자들에서 뇌의 구조적 변화 규명(2012)
- 고등인지기능
 - 마음, 행동의 생물학적 기초 규명이 목표

□ 뇌신경계질환 분야

- 새로운 뇌질환 모델과 미니뇌 기술 등 다양한 대체 모델이 개발되어 신개념 뇌질환 치료기법 연구의 활성화
- 조현증을 유발할 수 있는 인간 DNA 유전 표지 83개를 최초 파악(2014)
- GnRH 분비 주기성 원인 규명, 성조숙증 등 신경내분비 질환연구 활성화 (2014)
- 퇴행성 뇌질환의 경우, 알츠하이머병과 파킨슨병에 대한 연구가 활발하며, 간질과 같은 중추신경계 질환 연구가 진행 중
 - 노인성 알츠하이머의 원인은 아직 명확하지 않으며, 현재의 치료약물은 알츠하이머의 진행을 막는 게 아니라 알츠하이머로 인한 증상을 일부 경감시키는 수준
 - 베타 아밀로이드를 면역반응을 통해 제거하는 시도, 뇌세포의 사멸을 막는 신물질 개발 등에 노력
 - 만성 뇌질환 및 중추신경계 질환 (특히 간질)을 치료할 수 있는 유전자 치료법 개발이 진행 중이며 파킨슨에서 헌팅틴 병으로 범위 확대

다. 국내 기술개발동향

□ 뇌질환 진단 및 치료 연구

- 영상기반 (MRI, PET, 3차원 뇌 영상, 다중영상)의 조기진단 기술로 치매 및 뇌질환 위주의 연구가 실행중이며, 우울증 진단을 위한 뇌 영상-유전자 융합 연구도 수행중
- 뇌 발달장애 진단기술로 후각상피신경세포 기반, 뇌 발달 지도 기반, 유비키틴화 단백질 기반 중심의 연구 수행 중
- 치료 연구의 경우 알츠하이머 치매를 대상으로 한 약물전달체, 신약후보물질 발굴 연구 진행중

□ 뇌 연결망 연구

- 네트워크 기반 뇌 자극기술로 사람의 기억을 향상시키는 연구와 의료영상 Advanced Fast Level Set 및 신경계 영상을 이용한 뇌 구조 분석, 뇌-네트워크 평가기술 중심 연구 진행중
- 뇌졸중 커넥톰 자동분석 소프트웨어 연구 및 뇌질환 치료를 위한 대규모 뇌 연결망 모델링 연구 진행중
- 미래부 연결망 연구는 연구자 개인의 역량을 기반으로 질환 및 진단/치료 관련 소규모 연구에 집중하고 있으며, 복지부는 질환치료를 위한 알고리즘 및 네트워크 분석에 초점

□ 뇌기전 규명 연구

- 생애단계별 뇌질환(기억, 비만, 신경질환, 우울증, 자폐증, 정신분열, 알츠하이머 등) 원인 규명을 위한 연구 위주 수행 중

□ 인공지능 연구

- 뇌 연구와 연계한 인공지능연구는 전무하다시피 하며, 다만 HCI (Human-Computer Interaction)와 뇌를 모사하는 뉴로모픽 컴퓨터 (Neuromorphic) 관련 연구가 극히 일부 진행 중
- 산업기술평가관리원의 2013년 산업기술수준조사에서 미국의 기술 수준을 100으로 했을 때, 국내의 인공지능 분야 기술 수준은 73.1로 유럽의 85.7 및 일본의 83.7보다 상당히 뒤쳐지는 것으로 나타남

<표 2-11> 선진국 대비 국내 인공지능 기술 수준

국가	미국	유럽	일본	대한민국
기술수준	100	85.7	83.7	73.1
기술격차(년)	0	1.3	1.5	2.3

4. 뇌 연구 분야 논문·특허 동향분석

가. 개괄적 분석

- ISI Web of Science SCI-Expanded와 Thomson innovation 검색 시스템 이용
 - 논문 서식지분석에서는 ISI Web of Science SCI-Expanded를 이용했고, 특허 정보 분석에는 Thomson innovation 검색 시스템을 이용
 - '10년~'14년까지 5년 동안의 게재논문, 출원 특허 데이터를 활용하였고, 검색 결과 총 6,194건의 논문을 추출
 - 노이즈를 최소화하기 위해 검색 필드를 제목(title), 논문(article), 한국(South Korea)로 한정 검색
 - 분석결과 뇌인지 분야에 SCI(E) 논문과 특허가 많았으며, 뇌신경질환과 뇌신경생물의 경우 논문이 특허에 비해 많음
 - 뇌공학 분야는 논문수는 적고 특허수가 많음



[그림 2-16] 뇌 연구 4대분야 전세계 논문·특허 발표수

- 국내 연구는 세계 연구에 비해 낮은 인용 수를 보이나 뇌신경 분야 연구는 세계 평균과 비슷한 수준



[그림 2-17] 뇌 연구 4대분야의 논문 평균 IF

- 4대 뇌 분야(뇌공학, 뇌인지, 뇌질환, 뇌신경성생물) 전세계 유관 논문의 IF(Imfact factor, 논문인용지수) 국내관련 논문의 IF를 비교
- 4대 뇌분야의 경우 전분야에 걸쳐 세계 IF평균이 국내 IF 평균보다 높으며 뇌신경 분야는 차이 격차가 크지 않음

- 국내 연구의 규모 분석

- 4대 뇌 분야에 대해 세계 논문 점유율과 세계 논문 특허율을 조사한 결과 뇌공학분야의 점유율이 상대적으로 높음



[그림 2-18] 뇌연구 4대분야의 논문 특허 점유율

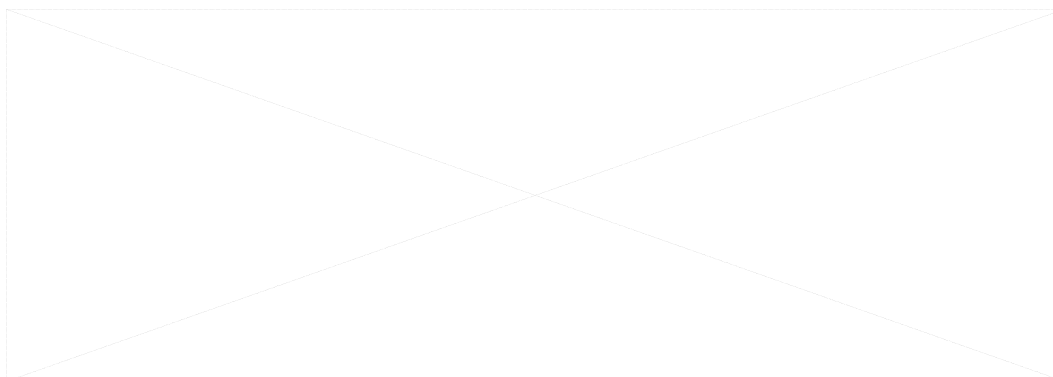
나. 뇌연구 4대 분야별 논문·특허분석

DB 명	주요 검색어
SCI-Expanded	brain or nerv* or cerebr* or neuron* or forebrain or midbrain
Thomson Innovation	or hypothala* or thalam* or epilepsy or cerebel* or hippocam* or synap* or gila*) and (learning or memory or emotion or language or circuit or cognit* or social or percept* or auditory or visual or psych* or optic or consciousness or neurocognitive or eye movement* or MRI or attention or ERP or decision making or reasoning or thinking

[그림 2-19] 뇌인지 분야 논문·특허 주요 검색어

□ 뇌인지분야 논문·특허 분석

- 검색결과 총 6,194편의 논문(한국 125편)과 9,666건의 특허(한국 304건) 추출



[그림 2-20] 뇌인지 분야 논문수와 인용수 (2010~2014)

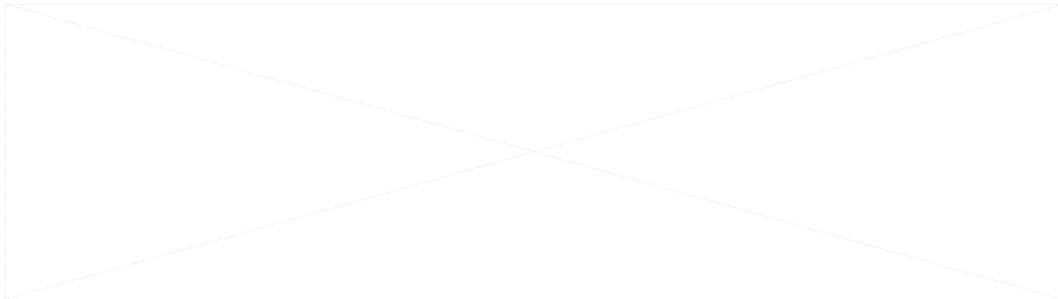
- 뇌인지 기술관련 논문은 2010년부터 2014년까지 지속적으로 논문수와 인용수는 상승세
- 관련 연구 성과를 다수 발표하고 있는 연구기관으로는 미국 하버드 대학으로 152건의 논문을 발표(전체 6194 중 2.45%차지)
- 국내 연구기관은 서울대가 35건으로 최대 발표
- 뇌인지 특허의 출원인 분석결과, VERTEX PHARMA가 전체의 17%(167건) 점유, NOVARTIS AG 1.5%(148건), NEUROSEARCH AS 1.3%(129건), SANOFI SA 1.2%(117건) 점유

□ 뇌신경계질환 논문·특허 분석

DB 명	주요 검색어
SCI-Expanded	brain or nerv* or cerebr* or neuron* or forebrain or midbrain or hypothala* or thalam* or epilepsy or cerebel* or hippocam* or synap* or gila*) and (learning or memory or emotion or language or circuit or cognit* or social or percept* or auditory or visual or psych* or optic or consciousness or neurocognitive or eye movement* or MRI or attention or ERP or decision making or reasoning or thinking
Thomson Innovation	

[그림 2-21] 뇌신경계 질환 분야 논문·특허 주요 검색어

- 검색결과 총 8,979편의 논문(한국 339편)과 1,201건의 특허(한국 20건)추출



[그림 2-22] 뇌신경계질환 분야 논문수와 인용수

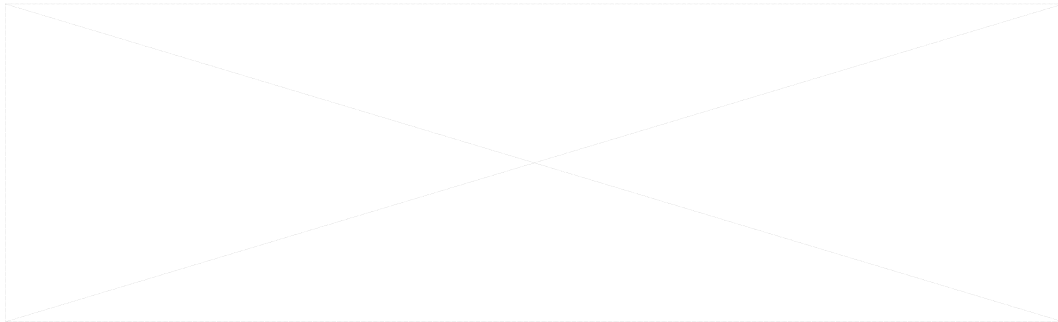
- 뇌신경질환 기술관련 논문은 2011년부터 2014년까지 지속적으로 상승세
- 관련 연구 성과를 다수 발표하고 있는 기관은 하버드 대학이 179건 논문 발표(전체 8,979건중 1.99% 점유)
- 국내 연구기관 중에서는 서울대가 67편을 발표
- 뇌신경질환 특허의 출원인 분석결과, AMGEN INC가 전체의 3.8%, GENENTECH INC가 2.9%, ABBOTT LAB 2.8%, FIBROGEN INC 1.8% 점유

□ 뇌신경생물분야 논문·특허 분석

DB 명	주요 검색어
SCI-Expanded	fear conditioning* or behavior test* or optogenetics* or neurotransmitter* or synapse* AND dendrite* or neuron*
Thomson Innovation	brain or nerv* or cerebr* or neuron* or forebrain or midbrain or hypothala* or thalam* or epilepsy or cerebel* or hippocam* or synap* or gila* and neurogenesis or neuropeptide

[그림 2-23] 뇌신경생물분야 논문·특허 주요 검색어

- 검색 결과 총 8,174편의 논문(한국 164건) 1,010건의 특허(한국34건) 추출



[그림 2-24] 뇌신경생물 분야 논문수와 인용수(2010~2014)

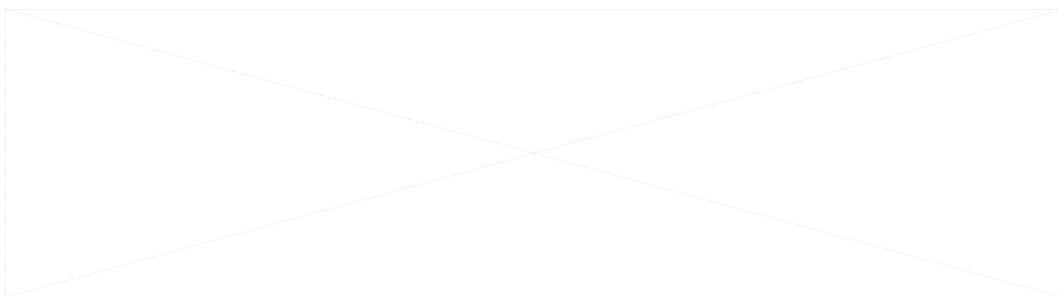
- 뇌신경생물 기술관련 논문은 2010년부터 2014년까지 논문발표양 유사
- 관련 연구 성과를 다수 발표하고 있는 연구기관은 미국 하버드 대학교가 214건 논문발표(전체 8,714건 중 2.5% 차지)
- 국내 연구기관 중 서울대가 51편 발표

□ 뇌공학분야 논문·특허 분석

DB 명	주요 검색어
SCI-Expanded Thomson Innovation	Neural engineering* or Neuromechanics* or Brain computer interface* or Neurorobotics* or Neural tissue regeneration* or Neuromorphic engineering*

[그림 2-25] 뇌공학 분야 논문·특허 주요 검색어

- 검색 결과 총 579편의 논문(한국 38편)과 20,584건(한국1,107건)의 특허 추출



[그림 2-26] 뇌공학분야 논문수와 인용수 (2010~2014)

- 뇌공학 기술관련 논문은 2010년부터 2014년까지 상승세
- 관련 연구 성과를 다수 발표하고 있는 연구기관은 UNIV WURZBURG로 29건 논문 발표(전체 579건 중 5%차지)
- 국내 연구 기관중에서 서울대가 6건을 발표

- 특허의 출원인 분석결과 ABBOTT DIABETES CAR가 전체의 167건, TOSHIBA 388건, KONINKL PHILPS LEL 359건, DEXCOM INC 315건의 특허 출원

제3절 국내 여건 및 역량 분석

1. 국내 뇌연구 투자 실적 및 성과 현황

- 정부 뇌연구분야 R&D 투자는 매년 큰 폭으로 상승하여 왔으나, 선진국 대비 투자 비중은 아직 미흡
- '11~'15년 정부 뇌연구 분야 R&D 투자는 연평균 12.5% 증가하였으며, '13~'15년에는 22.1% 증가
- 정부의 뇌연구 분야 R&D 투자는 '11년 684.6억 원, '15년 1243.5억 원으로 연평균 13% 성장세를 보임

<표 2-12> 정부 뇌연구 분야 R&D 투자 동향
(단위: 억 원)

연도	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년
총 투자비	684.6	668.4	873.9	1052.5	1243.5

※출처: '10~'16 뇌연구 촉진시행계획



[그림 2-27] '11~'15 정부 뇌연구 분야 R&D 투자비

- '15년 정부 뇌연구 투자액은 총 1,244억원으로, 전체 생명공학분야 예산 총 2조 3,800억 원의 5.2%를 차지
- 선진국의 생명공학 관련 예산 중 뇌과학 예산 비중은 미국(18.9%), 일본(7%), 영국(16.0%)로 우리나라는 선진국 대비 낮은 투자를 보임¹⁷⁾

17) 2016년도 뇌연구촉진 시행계획

□ 4대 분야별 투자현황을 보면, 뇌신경계질환 분야 투자가 가장 높으며, 지능정보기술 분야 예산이 최근 급증하는 추세

○ 4대 분야별로 뇌질환> 뇌인지> 뇌신경생물> 뇌공학 순으로 투자

○ 지능정보기술(뇌인지+뇌공학) 관련 예산은 최근 급증하여 '15년 전체 예산의 45.23% 비중 차지

<표 2-13> '11년~'15년 뇌연구 분야별 R&D 투자 비교

(단위: 억 원)

	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년
뇌신경계 질환	336.69	330.66	426.06	403.83	457.22
뇌신경 생물	120.93	107.73	162.23	171	223.74
뇌인지	75.05	74.03	201.93	319.5	333.41
뇌신경정보 및 뇌공학	92.75	70.39	83.68	159.21	229.15
뇌융합	51.9	75.5	—	—	—

※ '13년부터 뇌융합 분야 예산은 다른 4개 분야 예산에 포함

출처: '10~'16 뇌연구 촉진시행계획 재구성



출처: '10~'16 뇌연구촉진시행계획

[그림 2-28] '11~'15 뇌연구 분야별 R&D 투자비

□ 국가 뇌연구 예산은 미래부와 정부출연연구원을 중심으로 투자되고 있으며, 산업통상자원부의 투자 예산도 빠르게 증가

○ 국가 뇌연구 예산은 미래부를(39%)를 중심으로 주로 투자되었음

※ 미래부 산하 출연연을 통하여 37%의 예산 투입

○ 부처별 투자 비중은 미래창조과학부(54.3%)> 정부출연연구기관(27.9%)> 보

건복지부(12.0%)> 교육부(3.2%)> 산업통상자원부(2.6%) 순으로 나타남

- 산업통상 자원부는 뇌연구 관련 분야(인공지능, 뇌질환 등) 산업화의 공감대가 형성되어 관련 예산이 빠르게 증가

<표 2-14> '11년~'15년 부처별 뇌연구 분야 R&D 투자비
(단위: 억 원)

	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년
미래창조과학부 (구 교과부)	421.33	410.37	653.87	792.37	981.45
보건복지부	144.40	150.54	141.14	146.43	139.23
교육부	—	—	63.46	63.01	67.16
산업통상자원부 (구 지식경제부)	15.27	15.17	15.17	51.73	55.67
출연연구기관	103.62	92.33	411.22	499.82	566.28

출처: '10~'16 뇌연구촉진시행계획



출처: '10~'16 뇌연구촉진시행계획

[그림 2-29] '11~'15 부처별 뇌연구 분야 R&D 투자비

- 부처별 분야별 투자현황을 보면, 미래부는 뇌과학 전분야에 대하여 고르게 투자한 반면, 복지부는 뇌질환 연구에, 산업부는 뇌공학 연구에 주로 투자하였음



출처: '10~'16 뇌연구촉진시행계획

[그림 2-30] '11~'15 부처별 분야별 R&D 투자비

- BT분야 전체 대비 뇌연구 분야 논문 성과는 BT내 뇌연구분야 투자비중보다 높게 나타나, 투자대비 성과가 우수
- BT분야 총 투자액의 4.1%가 뇌연구분야에 투자되었으며, 논문 게재는 뇌연구 분야의 대표적인 연구개발 성과임
- BT전체 우수논문 (IF>10)의 13.3%가 뇌연구 분야에서 도출되는 등, 투자대비 성과 우수



※ 뇌연구촉진시행계획('12~'15)을 집계한 4년의 평균값임

출처: 미래부, 뇌과학 발전전략(2016.5.)

[그림 2-31] BT 분야 전체 대비 뇌연구 분야 투자액 및 연구개발 성과

- 국내 연구자의 미국 특허청 뇌연구 관련 특허 등록건수는 세계6위를 차지하고 있으나, 점유율은 아직까지 낮으며, 해외출원은 증가가 둔화되는 추세
- 미국에 출원된 국내 연구자 특허는 '07년부터 현재까지 총 949건으로 세계 6위를 차지
- 점유율은 전체특허의 2.5%에 불과



[그림 2-32] 국내 연구자 출원 미국 특허 건수 및 점유율

- 뇌연구 관련 국내외 특허 출원 건수 비교 결과, 2013년을 변곡점으로 국내 특허출원 건수는 증가하였으나, 해외 출원은 증가 둔화 추세임



출처:2016년 한국연구재단 정책분석

[그림 2-33] 국내 및 해외 특허 출원·등록 현황

- 국내 연구자의 미국 특허청 뇌연구 관련 특허 등록건수는 세계6위를 차지하고 있으나, 점유율은 아직까지 낮으며, 해외출원은 증가가 둔화되는 추세
- 미국에 출원된 국내 연구자 특허는 '07년부터 현재까지 총 949건으로 세계 6위를 차지
- 뇌연구에 투자된 과제 기술이전 실적은 BT 타 분야에 비하여 미흡

- '11~'15년 5년간 기술이전 실적은 20건이며, 기술이전료는 약 20억원
- 뇌연구 분야에서 개발된 기술 중 기술이전 모범사례로 도출된 사례는 다음과 같음

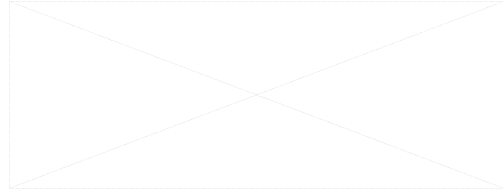
(연구장비) 뇌투명화기술 장비상용화

- 기초연구 성과가 장비개발 및 산업화로 이어진 성공사례(X-CLARITY 시스템)



(의료장비) 휴대용 뇌영상장비 상용화

- MRI를 대체할 새로운 휴대용 고해상도 영상장비



2. 국내 뇌연구 역량 분석

가. 국내 주요 뇌연구기관 현황

- 국내의 대표적인 뇌연구 출연연은 국뇌연구원, KIST 뇌과학연구소, 기초과학연구원으로, 출연연의 뇌연구 활동이 활발함

※ '11년~'15년 부처별 투자비율에서 출연연의 투자비중은 37%에 달하여, 미래부(39%)에 이어 두 번째로 높음

- 한국뇌연구원은 '뇌 분야에 관한 연구 및 그 이용과 지원에 관한 기능을 수행하고 뇌 분야에서 학계, 연구기관 및 산업계간의 유기적 협조체제를 유지·발전'시키는 것을 목적으로 2011년 11월에 설립되었음

- 한국뇌연구원은 연간 83.7억원 (출연금 68억원)으로 운영되며, 현재 72명의 인력이 연구 수행 중

- KIST 뇌과학연구소는 '뇌 중심 융합과학의 세계적 허브 실현'이라는 비전 하에 총 5개의 연구단으로 구성되어 있음

- 2016년 현재 114억원의 출연금으로 운영되며, 총 70명의 인력이 연구 수행 중

- 기초과학연구원 중 뇌 연구를 수행하고 있는 연구단은 총 3개 연구단으로, 「인지 및 사회성 연구단」, 「시냅스 뇌질환 연구단」, 「뇌과학 이미징 연구단」에서 '12년부터 연구를 수행 중

<표 2-15> 국내 대표적 뇌연구 기관 인력 및 예산 현황 (2016년)

	한국뇌연구원	KIST 뇌과학연구소	IBS (인지및사회성 연구단)	IBS (시냅스뇌질환 연구단)	IBS (뇌과학이미징 연구단)
예산(억원)	83.7	108.05	77.35	69.28	80.00
인력(명)*	전체(72), 박사(40), 석사(26), 기타(6)	전체(70), 박사(57), 석사(9), 기타(4)	3개 연구단 합계: 전체 259 (박사 91명, 석사 36명, 기타 132명)		

* 뇌연구 인력은 정규직과 비정규직 인력을 포함한 인원임

출처 : 각 기관 내부 자료

<표 2-16> 한국뇌연구원 보유장비, 핵심기술 및 주요 성과 현황

보유장비	- 실험동물 시설(3,760㎡ 규모) - 3D-Scanning Electron Microscope(3D-SEM) - Super Resolution Microscope I (STORM) - Light Sheet Microscope - Structured Illumination Microscope(N-SIM) - Real Time Confocal Microscope - Dual Scanning Multiphoton Microscope - High Speed Spectral Confocal Microscope - TIRF Microscope - 고사양 자동 세포 분리기(FACS) - 액체크로마토그래프(LC-Mass) - 고속 카이네틱 칼슘측정장치 - 막단백질 결정화 스크리닝 장비 - 액체미량분주기 - 액체크로마토그래피(HPLC) - 고속 단백질 분리정제 시스템 - 고성능 단백질 대량정제 시스템(FPLC)
보유 핵심기술	- 3D 뉴로 트레이싱 기술 - 뇌 투명화를 통한 원거리 연결망(projectome) 분석 - 전뇌분자매핑 - 활성 기반 영역별 연결망 분석 - 신경성장인자, 신경조절물질 분비 농도 분석 - 광유전학을 이용한 회로-행동변화 분석 기법 - 광유전학-이광자현미경-전기생리학을 이용한 시냅스 유래 분석 기술 - 생체 칼슘농도 변화 모니터링 기술 - Large-Scale Array Tomography (LSAT) - 형광-전자현미경 이미지 연계분석기술 - 3차원 전자현미경 기반 뇌신경망 3차원 재구성 - 자동 연속 절편 수집장치 기반 대면적 재구성 - 단일시냅스 활성 분석/이광자 현미경-전기생리학 - 이온채널 구조 및 기능 분석/X선회절법-전기생리학 - ICT-AI, 수학 기반 신경회로 분석 기술 - 슈퍼컴퓨터/병렬처리를 이용한 빅데이터 분석
대표성과	- SNX14의 세로토닌수용체 세포내 기작과 세포막함입 조절 규명(2015, J Cell Sci.) - 알츠하이머 치매 동물에서 신경줄기세포 이식을 통한 기억 향상 효과 규명(2015, Cell Death & Disease) - 혈소판을 통한 표피세포 유래 소닉 헤지호그의 발생중 치상핵 전달(2015, eLife) - 알츠하이머 치매에서 14-3-3 단백질의 역할 규명(2015, Faseb journal) - 파킨슨병 마우스 모델에서 인간유래 지방줄기세포의 잠재적인 치료효과 검증(2015, Neurobiology of Aging) - 접착성 GPCR인 GPR56가 회돌기교세포 발생 조절자로서의 역할에 관한 연구(2015, Nature Communications) - 접착성 GPCR인 GPR126의 라미닌211과의 상호작용을 통한 슈만세포의 기능 조절에 관한 연구(2015, Neuron) - 중추신경계에서 리포칼린2의 다양한 역할 규명 (2015, Neuroscience & Biobehavioral Reviews) - 산발성 및 의원성 크로이츠펔트-야콥병 환자에게 변형프리온 단백질 allotype 분포 상이성 연구(2016, PLOS pathogens) - 초고속 뇌투명화 및 3차원 조직 면역염색기술 개발(2016, Scientific Reports) - 음성 틱(TIC)장애 발병 메커니즘 규명(2016, Neuron) - 우울증 행동 메커니즘 규명(2016, Biological Psychiatry) - 만성 코카인 투여에서 Rap1 신호전달을 통한 양방향 시냅스 구조 가소성연구(2016, Neuron)

출처: 한국뇌연구원 제공자료 (2016)

<표 2-17> KIST 보유장비, 핵심기술 및 주요 성과 현황

보유장비	- 무균 청정 실험동물실(210평 규모, 4,200cage) - Virus Facility - Micro/Nano Fabrication Center 특성분석센터(SEM, TEM, FIB 등 고성능 전자현미경) - High Sensitivity Confocal Laser Scanning Microscope - High Speed & Spectral Cofocal Microscopy - Spinning Disk Confocal Microscopy System - Multi Photon Laser Confocal Microscope - HIGH PERFORMANCE TRIPLE QUADRUPOLE MASS SPECTROMETER - Spectral confocal laser scanning microscope for multi-photon imaging - HCS Imaging Device(Operetta) - Automatic Label-Free Biosensor - FLIPR Tetra High-Throughput Cellular Screening System - 통합 행동분석 장비
보유 핵심기술	- 뇌 신경망 맵핑 기술(mGRASP) - 뇌영상 분석기술 - 광유전학적 Tool - Tissue Clearing 기술 - 형광 분자센서 개발 및 이미징 기술 - 공간인지 훈련 및 측정 기술 - 분자적 맵핑 기술 - 특정 뇌질환 맵핑용 형광 및 PET probe 개발, 응용 기술 - 전기생리학적 측정 기술 - Neural Probe 뇌질환 관련 세포의 소포체 분리, 농축 및 검출 기술 - 생체의 뇌신경 조직세포 3차원 공배양 기술 - 실시간 이미징 및 분석 기술
대표성과 (주저자, 공저자)	- 비신경 세포를 통한 흥분조절 기전 규명(2012, Cell) - 뇌 전기자극으로 공포기억 제거(2012, Nature Neuroscience) - 포유동물 뇌 신경망 맵핑 기술 개발(2012, Nature Method) - 공간학습 원리 규명(2012, Nature Neuroscience) - 신경재생 원리 규명(2013, Nature Communications) - 후각 정보처리 기전 규명(2013, Journal of Neuroscience) - 광유전학 센서를 이용한 시냅스 역제의 영상화(2013, Journal of Neuroscience) - 알츠하이머병의 기억장애 원인규명(2014, Nature Medicine) - 신경망 매핑 기술 개발(2014, Nature Protocols) - 비신경세포의 이온 버퍼링 기전 규명(2014, Nature Communications) - 해마 내 시냅스 연결망 매핑으로 연결 패턴 규명(2014, Neuron) - 타우 단백질의 응집 역제의 새로운 기전 규명(2014, Nature Communications) - 소뇌의 억제성 신경회로망의 광유전자이용 맵핑기술(2014, Cell Reports) - 알츠하이머 치매 치료 후보물질 개발(2015, Nature Communications) - 니코틴 중독 과정에서의 mRNA 역할 규명(2015, Scientific Reports) - 헌팅턴병에서의 TRPC5 인산화 관련 기전 규명(2015, Brain) - 행동하는 쥐에서의 스트레스에 의한 공간세포의 변화연구(2015, Scientific Reports) - amyloid oligomer의 분비 억제 기전 규명(2015, Cell Reports) - 치매 생쥐 모델에서 혈중 싸이토카인의 변화연구(2015, Scientific Reports) - 형광단백질 기반 신경활성 측정 기술 개발(2015, Journal of Neuroscience) - 타우 단백질 연장 기전 규명(2015, Scientific Reports) - 새로운 LTP 조절 단백질 CCNY 기전 규명(2015, Scientific Reports) - 소뇌 LTD에서의 PKCα의 조절 기전연구(2015, Journal of Neuroscience) - 새로운 전압 형광센서 파도 발굴(2016, Scientific Reports) - MicroRNA의 Multiplex Real-time PCR 방법(2016, Scientific Reports) - 뇌암에서의 CamkII 결합단백질의 조절 기전 규명(2016, Scientific Reports) - 치매 조기진단 기술 이전(2016)

출처: KIST 제공자료 (2016)

□ 기초과학연구원 중 뇌 연구를 수행하고 있는 연구단은 총 3개 연구단으로, 「인지 및 사회성 연구단」, 「시냅스 뇌질환 연구단」, 「뇌과학 이미징 연구단」에서 '12년부터 연구를 수행 중

○ 3개 연구단의 대표적 성과는 다음과 같음

- 생체 내 일산화질소, 일산화탄소 각각 분리해 동시에 측정할 수 있는 초소형 NO/CO 측정 센서 개발로 간질 등 치료법에 기여(Analytical Chemistry, '16.3.)
- 빛으로 살아있는 생체 내 칼슘 이온 농도 조절하는데 성공, 칼슘채널 개방을 유도해 쥐의 기억력을 2배 높이는데 성공 (Nature Biotechnology, '15.6.)
- 자폐증 등의 정신질환에서 보이는 사회성 결여의 발병 원인을 규명(Nature Neuroscience, '15.1.)
- 또한, 초고자장 15.2 테슬라 동물용 자기공명영상장치, 초고속 다광자 공초점 현미경, 고감도 레이저 주사 공초점 현미경, 등 총 145종의 뇌연구 관련 장비를 보유

<표 2-18> 인지 및 사회성 연구단 개요

목표	뇌 연구를 통한 마음과 행동의 이해
주요 연구내용	- 의식을 조절하는 핵심 회로인 시상-피질 회로와 다른 뇌지역들과의 상호작용 규명 - 사회적 상호 작용을 연구하기 위한 행동 실험 시스템 개발 - 협력 및 경쟁, 사회적 딜레마 상황에서의 의사결정 등의 행동연구 동물 실험 - 사회적 행동의 신경학적 기전 규명 연구
주요 연구성과	- 빛으로 수면 방추 조절하여 수면 구조 변화 유도(PNAS,2012) - 시상망상 신경회로의 수면 방추 생성 역할 규명(PNAS,2012) - 빛으로 세포 기능을 원격 조종하는 분자올가미(LARIAT) 기술 개발(Nat Methods,2014) - 광조사를 이용한 세포 내 칼슘 이온 농도에 대한 미세 및 가역적 조절 기술 개발(nature Biotechnology,2015)

출처: 연구단 홈페이지

<표 2-19> 시냅스 뇌질환 연구단 개요

목표	시냅스 단백질 연구로 정신질환 치료 가능성 제시
주요 연구내용	- 시냅스의 형성, 구성, 신경전달 매개, 변화의 기전을 연구 - 최근 임상연구로 시냅스 단백질 이상이 자폐, ADHD, 조현병, 정신박약, 정서장애 등과 연결됨을 보고
주요 연구성과	- 시냅스 접착 단백질 IgSF11이 흥분성 시냅스의 기능을 조절함을 밝힘(Nat Neurosci.2016) - NMDA 수용체의 Zn를 통한 활성화가 자폐증상을 경감시킴을 발견(Nat Neurosci.2016) - 자폐관련 시냅스 단백질 IRSp53의 결손 및 NMDA 수용체의 이상적 기능증가가 자폐증상을 초래함을 밝힘(Nat Neurosci.2015) - NMDA 수용체의 기능과 자폐와의 상관관계 제시(Curr opin Pharmacol.2014) - 의사결정에 있어도 도파민 D1 및 D2 수용체의 역할 규명(Front Behav Neurosci.2014) - 시간의 추이를 인지하는 뇌 전전두피질의 기작 규명(J Neurosci.2013)

출처: 연구단 홈페이지

<표 2-20> 뇌과학 이미징 연구단

목표	뉴로이미징 기술로 뇌과학 선도
주요 연구내용	- 최첨단 뉴로이미징 기술에 기반한 뇌의 구조와 기능의 상관관계 및 행동과 신경회로망 상관관계 규명 연구 - 물리, 화학, 신경생물학, 시스템 신경과학, 계산신경과학, 심리학 등 다학제간 융합연구 추진 - 인간과 동물용 초고자장 MRI, 다광자 공초점현미경, 전기생리학 레코딩시스템 등의 실험장비로 연구기반 확충
주요 연구성과	- 초고해상도 fMRI를 이용하여 증별 활성화 연구 (J.Neuroscience.2015) - 광유전학 자극의 신경 혈관 관계 연구(journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism,2014) - 거미 감각기관의 미세균열을 응용한 초고감도 감지센서 개발(Nature,2014)

출처: 연구단 홈페이지

나. 국내 연구인력 및 인프라 현황

- '98년 기본계획 수립이후 뇌연구 분야 핵심연구인력의 지속적 증가로 뇌연구·산업 분야에 투입될 인적자원이 확보되었음
- '98년 기본계획 수립이후 산학연의 국가뇌연구사업 참여인력이 4.2배 증가하여 4대 분야의 연구책임자 (PI) 급 460명 확보
 - ※ 정부 뇌연구사업 참여인력 98년 650명 ⇨ 08년 2,130명 ⇨ '15년 2,749명
- 뇌연구 전문 학위과정을 통해 뇌연구 전문인력이 배출되고 있으며, 출연연을 기반으로 한 전문인력양성 역시 개시되었음

※ 서울대, 고대, DGIST 등 14개 대학 26개학과, 27개 대학 부설 연구소 및 3개 학-연 공동학위 프로그램

<표 2-21> 뇌연구 전문 연구기관과 대학간의 공동 학위 프로그램 현황('15년)

대학기관	출연(연)	참여학과
고려대학교	KIST	의대, 자연대, 공대 연합프로그램
성균관대	IBS	글로벌바이오메디컬엔지니어링 학과
DGIST	한국뇌연구원	뇌인지과학 전공

□ 뇌은행 설립, 코호트 구축 등 인프라가 확충되어 뇌연구 생태계가 조성되고 있음

○ 한국뇌연구원 내 인체유래물은행(뇌은행) 설립 및 네트워크 병원 사업을 통한 재료 인프라 구축

※ '15년 서울대병원, 고려대안암병원 등 2개소 지정 및 '16년 4개소로 확대 계획

○ 치매연구단 및 인터넷·게임 디톡스사업 등을 통하여 대규모 연구코호트 구축

※ 미래부 치매코호트 3천명, 인터넷 디톡스사업 2,250명, 복지부 K-ADNI 500명 등

○ 뇌영상 장비 등 뇌연구를 위한 핵심장비가 전국적으로 분포하고 있으며, 뇌연구 효율화를 위한 소규모 고가의 특수장비* 구축

* 초고속 마이크로 스케일 이미징 장비 등



출처: 미래부, 뇌과학 발전전략(2016.5.)

[그림 2-34] 주요 뇌연구 장비의 분포 현황

□ 또한, 해외 주요 연구거점기관과 국제협력 네트워크를 구축한 상황

○ 한·영 국제협력 인력정보 교류사업을 통한 우수 연구인력 양성 및 공동연구실 단위의 협력사업 지원

※ 한·영 국제협력 공동연구실 개소, 해외연수지원 등 국제협력을 통한 기술·정보교류 확대 (박사후 연수과정 해외 파견 등)

○ 중·장기적 글로벌 R&D 협력관계 구축을 통한 뇌질환 중심의 문제해결형 중개 연구 역량 강화 및 협력 네트워크 확대 기반 마련

※ 한국뇌연구원과 브라질 상파울루의과대학 뇌은행('13), 네덜란드 신경과학연구소 뇌은행('14), 체코 세인트 앤 대학병원('15) MOU 체결

□ 다양한 정책 추진을 통해 뇌과학 분야의 기초·기반기술 확보 및 선진국과의 기술 격차도 감소

○ '08~'14년 분야별 평균 투자 [뇌신경생물(18.54%), 뇌인지(17.13%), 뇌신경계질환(42.75%), 뇌공학(13.17%), 뇌융합 등 기타(8.31%)]

○ 기술수준 66.5('08)→72('14), 기술격차 8.9년('08)→5.7년('14), (일본과는 2.9년, EU와는 2년 기술격차¹⁸⁾)

18)KISTEP, 2014

다. 세부기술별 국내 기술수준 및 역량

□ 뇌연구 분야별 국내 기술수준은 선진국 최고기술 대비 67~82%로 조사됨

<표 2-22> 선진국 대비 국내 기술수준

분 야	선진국 최고기술	국내 기술수준	평가*
뇌신경 생물학	뇌투명화 기술 개발로 3차원의 조직분석 기술 혁신 ('13, 美) 1mm 크기의 미니뇌를 제작하여 6개월 이상 배양성공 ('16, 美) 3차원 뉴런 배양에서 액손 및 시냅스 유도 성공 ('10, 美) 초미세 소자를 이용하여 액손 및 시냅스의 선택적 광자극과 뇌신호 측정 성공 ('13, 美)	뇌투명화기술 개선으로 기존기술 대비 30배 고속 투명화 ('16) 미니뇌 제작기술을 확보하여 임상연계 진행 중 ('16) 3차원 뉴런칩 액손 및 시냅스 유도 기술 개발 중 ('14) 뉴런 다발 광자극 및 미세전극을 활용한 뇌신호 측정기술 확보 ('12)	81%
뇌인지	가상현실 기술을 이용하여 동물행동분석 기술 개발 ('10, 美) 전기자극을 이용한 기억증강기술 생쥐모델에서 성공 ('11, 美) 생쥐모델에서 가상기억생성 성공 ('13, 美)	가상현실 기술을 이용하여 위치인식 신경망 분석 ('14) 억제성 신경회로에 의한 공포기억이 조절되는 기전 발견 ('15) 공포기억을 기록하는 신경세포 양상블 발견 ('14)	67%
뇌질환	지금보다 감도가 1만배 높은 신개념 MR이미징 기술개발('16, 美) 뇌심부자극기의 상용화 성공 및 임상 적용 확대 ('97, 美) 피부패치를 통한 알츠하이머병 면역치료 기술 개발 ('06, 스웨덴)	고성능(7T) 뇌이미징 MRI장비 및 분석기술 확보 ('11) 파킨슨병을 중심으로 국내임상 성공사례 누적 ('13~) 다수의 알츠하이머병 조기진단 및 치료 후보약물 도출 ('15)	82%
뇌공학	BMI기술로 전신마비 환자의 팔 제어 성공 ('16, 美) 뇌신호 무선통신을 통한 휠체어 이동 실험 성공 ('16, 美) 맹인에게 시각칩으로 시력을 일부 되찾아줌('10, 獨/ '12, 英)	뇌파 디코딩을 통한 BMI 제품 출시 ('14) 인체 부착형 신경신호 검출 및 실시간 분석기술 확보 ('13) 생체 친화적 물질을 이용한 인공 망막 개발 ('15)	67%

* 기술수준 평가는 국내 연구자들 대상을 델파이 조사를 실시하여 측정
출처 : 미래부, 뇌과학 발전전략 (2016.5.30.)

제4절 종합 분석

1. 사업추진의 시급성

□ 사업 추진의 시의 적절성

- 지능정보를 근간으로 한 4차 산업혁명의 시대에서 뇌에 대한 이해는 미래기술 진보에 결정적인 역할을 할 것으로 기대
 - 현재의 인공지능은 단순 정보처리를 위한 알고리즘이나, 미래 인공지능은 인간뇌의 고차원적 기능을 모사할 것으로 기대
 - 뇌를 모사한 인공지능이 본격적으로 활용될 경우, 사회 전반에 급격한 변화가 일어날 것으로 예상
- 초고령화 사회 진입에 따라 노인성 질병에 의한 의료비 증가와 노동인력 및 노동생산성 저하가 큰 사회문제로 대두
 - 우리나라는 노령화가 전세계에서 가장 빠르게 진행되고 있는 국가로서 뇌질환 문제가 큰 사회적 부담으로 작용
 - 현재 뇌·신경질환 치료제 수요는 계속 증대하고 있으나, 뇌에 대한 근본적인 이해가 부족한 상태에서 뇌질환의 극복은 여전히 미충족 수요로 남아 있음
- 이에 선진국은 뇌연구를 국가적 중점육성분야로 인식하고 집중 투자하는 등 기술주도권 선점 경쟁이 치열
 - 미국, EU, 일본, 중국 등은 최근 국가 대규모 장기 연구프로젝트 착수
 - ※ 美 오바마대통령은 ‘뇌 작용원리에 대한 이해 및 활용은 인류 최고의 도전 분야’라고 천명하고 ‘Brain Initiative 프로젝트’추진을 발표 (’13년)
 - ※ (미) Brain Initiative (5.5조원/12년), (EU) Human Brain Project (1.4조원/10년), (日) Brain/MINDS (300억/’14년), (中) China Brain Project (’15년)
- 뇌연구에 대한 국가 차원의 집중 투자가 적기에 추진되지 못할 경우, 뇌의 구조와 기능에 대한 이해에서 선진국과의 격차가 심화
- 이는 곧 미래 지능정보사회에서 선진국의 기술에 종속되고 국민 건강을 외국 기술에 의존해야 하는 상황을 초래
- 따라서 미래 뇌연구 분야의 경쟁력 확보를 위해 국가적 대규모 프로젝트 착수가 시급히 필요

- 또한, 우리나라가 새로운 성장동력 부재로 정체 위기에 직면해 있는 상황에서, 뇌연구에 대한 투자는 글로벌 메가트렌드에 부합하는 유망 신산업 창출에 기여할 수 있을 것임

□ 국내 사업여건 성숙도

- 뇌연구촉진법('98년 제정)을 기반으로 지속적인 뇌연구 육성정책을 추진해온 결과, 우수 연구인력과 핵심 인프라를 성공적으로 구축
 - 뇌연구 분야 핵심연구인력의 지속적 증가로 뇌연구·산업 분야에 투입될 인적 자원 확보
 - ※ 뇌연구 '98년 650명 ⇨ '08년 2,130명 ⇨ '15년 2,749명
 - 뇌연구 전문 학위과정을 통해 뇌연구 전문인력이 배출되고 있으며, 출연연을 기반으로 한 전문인력 양성도 개시
 - ※ 서울대, 고대, DGIST 등 14개 대학 26개학과, 27개 대학 부설연구소 및 3개 학-연 공동학위프로그램
 - 한국뇌연구원, IBS 연구단 등 주요 거점 뇌연구기관이 설립되고 뇌연구 핵심장비도 구축
 - ※ 전국 각 대학 및 연구소에 fMRI, 전자형미경, CT 등 분포
 - ※ 초고속 마이크로 스케일 이미징 장비 등 고가의 특수장비 구축
 - 뇌은행 설립, 코호트 구축 등 인프라 확충을 통해 연구활성화를 위한 생태계 조성
 - ※ 한국뇌연구원 내 뇌은행 설립
 - ※ 미래부 치매코호트 3천명, 인터넷 디톡스사업 2,250명 등
- 뇌연구 관련 제품화 성공으로 관련 시장 태동
 - 최근 5년간 기술이전 20건, 기술이전료 약 20억원 창출
 - BT 타분야에 비해 가시적 성과는 미흡한 실정이나, 기초연구성과의 제품화 사례창출로 산업화에 대한 기대감 상승
- 뇌연구 관련 국가 대형 프로젝트 추진시 참여의사에 대한 전문가 설문조사 결과, 응답자 769명 중 89.7%에 해당하는 690명이 참여의사 있음으로 응답
 - ※ 뇌 연구분야 국가 연구개발사업에 대한 설문조사 실시 (한국연구재단, 2016. 7.1.~ 7.11.)

□ 사회경제적 필요성

○ 급속한 고령화 추세에 따라 뇌질환 관련 사회경제적 비용이 빠르게 상승

※ 뇌질환 관련 사회경제적 비용은 23조원에 이르는 것으로 추정 ('15. The Neurotechnology Industry '15~'16)

○ 현대사회는 생명유지에서 웰빙으로 관심이 전환되고 있으며, 육체적 건강뿐만 아니라 정신적 건강의 중요성이 부각

※ 정신질환 환자는 미국의 경우 성인의 25%, 유럽의 경우 27% 발병 (National Alliance on Mental Illness, '13, WHO Europe Homepage, '14)

※ 우리나라 우울증 환자는 '09년 55만 명에서 '13년 66만 명으로 증가(건강보험심사평가원, '09~'14)

○ 사회적 수요의 증가에 따라 뇌 관련 산업시장도 빠르게 증가하고 있는 추세로, 미래 유망산업으로 주목받고 있음

- 뇌의약품이 시장 대부분(83%)을 점유, 연구장비 시장은 꾸준히 성장(연 5%), 뇌질환 치료 임상장비와 일반인 대상 제품은 높은 성장률을 보임 (연 10%이상)

- 뇌기능 이해를 기반으로 한 뉴로모픽 칩 등 혁신적 제품 및 교육·문화·건축·디자인 등 신시장 창출

2. 국고지원의 필요성

□ 국고지원이 가능한 법적 근거·요인

○ 『뇌연구촉진법』 제 9조 (뇌연구 투자의 확대)

- 제 9조에 의해 동 사업의 법적 근거가 마련됨

□ 국고 지원의 당위성

○ 본 사업은 뇌연구분야의 국가 경쟁력 제고와 신산업 창출을 목적으로 하고 있어 정부의 투자 영역임

○ 본 사업에서 개발하고자 하는 뇌질환극복기술과 뇌모사 지능모델은 최종적으로 국민 건강과 삶의 질 개선에 기여하므로, 이에 대한 지원은 당위적인 정부 투자영역임

- 또한, 국내 뇌 관련 산업은 이제 막 태동하기 시작한 단계로, 시장이 불확실하여 민간기업의 투자가 어려움
- 뇌의약품 산업의 경우에도 민간기업이 전반적으로 영세하여 독자적인 역량만으로 사업을 추진하기 어려우므로, 정부의 재정 지원이 필요

3. 중장기 계획과의 연계성

□ 법령 및 규정

- 뇌과학 촉진법 제 10조

□ 국정목표와의 정합

- 국정과제 1-1-1. 과학기술을 통한 창조산업 육성
- 국정과제 1-2-15. 보건산업을 미래성장산업으로 육성으로 육성
- 국정과제 1-2-16. 고령친화산업 육성
- 국정과제 1-4-24 . 국가 과학기술 혁신역량 강화
- 창조경제 실현계획: 3-1 과학기술과 ICT 융합으로 기존산업 신성장활력 창출

□ 국가 정책과 정합

- 2017년도 정부연구개발투자방향 중 다음 내용과 일치
 - 경제혁신 선도를 위한 ‘융합신산업 경쟁력 강화’
 - 미래먹거리 창출을 위한 신산업 육성의 ‘미래성장동력 성과창출’
- 제2차 뇌연구촉진 기본계획(2008~2017)의 목표 달성에 기여
 - ※ 제2차 뇌연구촉진 기본계획의 비전은 ‘창조적인 뇌연구로 삶의 질 향상 및 미래신산업 창출’이며 뇌연구분야 세계7위 기술강국 진입을 목표로 함
- 미래부의 ‘뇌과학 발전전략 (2016.5.30.)’의 추진방향과 일치하며 정책 목표 달성에 기여
 - ※ 동 전략의 목표는 특화뇌지도 등 핵심뇌기술 조기확보와 뇌연구 생태계 확충이며, 향후 10년간 뇌연구에 대한 집중 투자계획을 발표

4. SWOT 분석 및 사업 추진방향

가. SWOT 분석

□ 강점 요인

- 뇌과학 발전과 뇌 관련 산업 육성에 대한 정부의 의지
 - 우리나라는 '98년 뇌연구촉진법 제정 이후 지속적으로 R&D 투자를 확대해 왔으며, 최근 '뇌과학 발전전략(2016.5.30.)'을 통해 향후 10년간 집중 육성 계획을 발표
- 국가 중심 뇌연구기관과 대형 연구그룹 형성
 - 뇌 연구 전문 출연(연)으로 한국뇌연구원이 설립 (2012.)되었고 현재 72명의 인력이 연구 수행 중¹⁹⁾
 - KIST의 뇌과학연구소 또한 5개 연구단에서 70명의 인력이 연구²⁰⁾
 - 기초과학연구원의 '인지 및 사회성 연구단', '시냅스 뇌질환 연구단', '뇌과학 이미징 연구단' 등 3개 연구단이 기초연구 수행 중
- 기초연구 기반형성 및 우수 연구인력 확보
 - 국가뇌조직은행 구축, 뇌영상 장비 구축 등 주요 인프라를 구축
 - 뇌연구 투자 확대에 따라 뇌 관련 국가연구개발사업 참여인력도 '98년 대비 4.2배 증가하여 연구책임자급 460명 확보
- 첨단 융합기술 육성에 대한 정부의 의지
 - 박근혜 정부는 2014년에 '창조경제 실현을 위한 융합기술 발전전략'을 수립하여 시행
 - 융합연구에 대한 투자는 2009년 1.54조에서 2013년 2.04조로 5년간 7.1%씩 매년 투자 확대
 - 또한 KIST융합기술정책센터, 한국생산기술연구원 국가산업융합지원센터 등 주요 기관에 융합 연구 인프라 설치

19) 한국뇌연구원 제공자료 (2016.6.)

20) KIST 제공자료 (2016.6.)

□ 약점 요인

○ 선진국 대비 뇌연구 투자 수준 미흡

- 뇌연구 분야 정부 투자는 지속적으로 확대되어 왔으나 생명공학 예산 중 뇌연구분야 예산 비중(5.2%)는 선진국 대비 미흡

○ 뇌연구 융합기술 분야 인력 부족

- 뇌 연구분야 전문인력은 확대되었으나, 최근 융합추세 대응을 위한 뇌기반 미래 융합기술분야 인재양성에는 한계
- 기존에 4대 연구분야별 개별 연구에 치중

○ 국내 뇌연구 인프라의 통합적 연계·활용 미흡

- 뇌영상 장비를 비롯한 고가 연구장비가 전국 대학·연구소에 분포되어 있으나, 효율적인 연계·활용은 미흡

○ 뇌연구 산업화의 주체인 국내 업체의 영세성

- 뇌 관련 산업에서 가장 큰 시장인 뇌질환 치료제 시장에서 국내 업체 대부분이 영세하여 사업화 역량이 취약

○ 뇌분야 기초·임상 연계 연구 미흡

- 뇌 연구성과를 활용하여 뇌질환 진단·치료에 적용하기 위해서는 병원(임상)과의 협력 연구가 필수적이나, 아직까지 국내에서는 기초연구에 머물러 있는 상황

□ 기회 요인

○ 고령화에 따른 뇌질환 극복 수요 증대

- 고령화 사회 진입에 따라 각종 뇌질환에 의한 사회경제적 부담이 증가
- 이에 따라 노화 관련 뇌질환 및 신경질환 등에 대한 예방·진단·치료 수요가 증대

○ 인공지능기술 발전으로 뇌 기능 규명에 대한 관심 증대

- 뇌-기계 인터페이스 기술의 발전 및 인공지능 관련 제품의 등장으로 전세계가 미래 인공지능에 대한 관심이 증가한 상황
- 미래 인공지능은 인간 뇌의 기능과 작동 원리에 기반하여 발전할 전망으로 뇌 이해에 대한 수요가 증대

○ ICT, 빅데이터 분석 등 관련 기술의 비약적 발전

- 뇌 연구활동이 활발해질수록 방대한 양의 정보 데이터가 축적되며, 이러한 빅데이터의 처리, 저장, 분석 이슈가 대두
- 뇌연구는 어느 한 분야내의 연구가 아닌 다학제적 융합연구 성격을 가지고 있어 ICT 기술과 같은 유관기술의 발전에 영향을 받음
- 빅데이터를 비롯한 ICT융합기술의 발전은 향후 뇌연구의 효율성을 더욱 제고할 전망

○ 뇌기능 규명을 위한 국제 연구협력 노력 가시화

- 2016년 4월 개최된 국제 뇌과학 워크샵에서는 전세계적으로 유익한 뇌과학 프로젝트 발굴과 국제 뇌 플랫폼(The International Brain Station, TIBS) 구축에 대한 논의가 진행
- 또한 2016년 9월에는 ‘글로벌 뇌과학 프로젝트’선언을 위한 UN회의 예정
- 이와 같이 최근 뇌기능 규명을 위한 국제적 연구협력체 구성 노력이 활발

□ 위협 요인

○ 선진국의 대규모 뇌연구 프로젝트 기착수

- 미국, EU, 일본, 중국은 2012년부터 2015년 사이에 대규모 장기 뇌연구 프로젝트에 既착수

○ 뇌연구 분야 국가 차원의 메가 프로젝트 부재

- 그간 우리나라의 뇌연구는 단기적인 소규모 개별 연구 중심으로 진행
- 국가 차원의 대형 프로젝트가 부재함으로써 연구자원의 효율적 활용이 미흡

○ 뇌질환 분야 대형 글로벌 제약사들의 원천기술 선점

- 뇌·신경계 질환 치료제는 향후 제약 시장에서 성장성이 높은 시장으로 전망
- 그러나, 타 질환과 마찬가지로 대형 글로벌 제약사의 원천기술 선점으로 국내 기업이 경쟁력을 확보하기 어려운 상황

○ 뇌 작동원리에 대한 이해에 막대한 예산과 기간 소요

- 복잡한 인간 뇌의 작동원리를 다양한 측면과 스케일에서 통합적으로 이해하기 위해서는 막대한 예산과 기간이 소요될 것으로 예측
- 선진국 대비 투자규모와 인력 면에서 열세인 우리나라의 한계 존재

<표 2-23> 국내 뇌 연구분야 SWOT 분석

강점 (Strength)	약점 (Weakness)
S1. 뇌과학 발전과 뇌 관련 산업 육성에 대한 정부의 의지 S2. 한국뇌연구원, IBS 연구단 등 국가 중심 뇌연구기관과 대규모 연구그룹 형성 S3. 뇌연구촉진법 시행 이후 지속적인 투자로 기초연구 기반 형성 및 우수 연구능력 확보 S4. 첨단 융합기술 육성에 대한 정부의 의지	W1. 선진국 대비 뇌연구 투자 수준 미흡 W2. 뇌연구 산업화의 주체인 국내 제약 및 의료기기 업체의 영세성 W3. 뇌연구 융합기술 분야 인력 부족 W4. 전국 각지에 흩어져 있는 뇌연구 인프라의 통합적 연계·활용 미흡 W5. 뇌 분야 기초·임상 연계연구 미흡
기회 (Opportunity)	위협 (Threat)
O1. 고령화에 따른 뇌질환 극복 수요 증대 O2. 인공지능기술 발전으로 뇌 기능 규명에 대한 관심 증대 O3. ICT, 빅데이터 분석 등 관련 기술의 비약적 발전 O4. 뇌기능 규명을 위한 국제 연구협력 노력 가시화	T1. 선진국의 대규모 뇌연구 프로젝트 기착수 T2. 뇌연구 분야 국가 차원의 메가 프로젝트 부재 T3. 뇌질환 분야 대형 글로벌 제약사들의 원천기술 선점 T4. 뇌 작동원리에 대한 이해에는 막대한 예산과 기간 소요

나. SWOT 분석을 통한 사업의 전략방향 도출

- 위와 같은 SWOT 분석 결과를 토대로 SO 전략, WO 전략, ST 전략, WT전략을 마련하고 이에 따라 다음과 같은 3가지 기본 추진방향을 도출
- 3가지 추진방향은 뇌 연구 국가 대형 프로젝트 추진, 특화 연구영역 집중, 뇌 기능·구조 정보의 활용 연계임

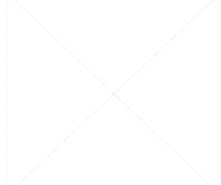
<표 2-24> SWOT 분석에 따른 전략적 대응방안 및 기본 추진방향

SWOT 대응전략		기본 추진방향
SO 전략	■ 국내의 축적된 뇌 연구 역량을 결집하는 뇌 연구 대형 사업 추진 ■ 뇌 연구성과를 산업적 활용으로 연계하는 기술 개발 추진 ■ 국가 대표 뇌연구 사업을 기반으로 국제협력연구에 동참	국내 뇌연구역량을 결집한 대형 프로젝트 추진
ST 전략	■ 선진국과 차별화되는 특화 중점 추진분야 도출 ■ 주요 뇌연구기관의 인프라를 활용한 뇌 연구 빅 프로젝트 추진	선진국과 차별화되는 특화 연구영역 집중
WO 전략	■ 국가 뇌연구자원의 통합 연계·활용 시스템 구축 ■ 대내외 협력을 통한 우수 뇌 융합 연구인력 양성 ■ 기초 연구성과의 산업적·의료적 활용 기반 구축	뇌 기능 구조 정보의 활용 연계
WT 전략	■ 우리나라가 강점을 가질 수 있는 특화 분야에 선택과 집중 ■ 국내 연구역량을 결집한 국가 대표 뇌연구 프로젝트 추진	

제 3 장 사업 내용

제 1 절 사업 범위

- 본 사업은 뇌지도 작성 기술을 기반으로 2종의 특화 뇌지도를 구축하고, 확보된 뇌지도 정보를 활용으로 연계하는 연구를 추진함
- 뇌지도의 개념
 - 뇌지도는 뇌의 구조적·기능적 연결성을 수치화, 시각화한 DB로, 다양한 뇌지도 작성기술을 이용하여 유전자/단백질, 뇌 구조, 뇌 기능 등의 정보를 macro, meso, micro 수준의 해상도로 작성
 - 뇌지도는 신경회로(망), 연결망, 경로, 신경 네트워크 등의 용어와 유사한 의미로 사용되기도 하고, 종종 구조에 국한된 미세 연결망으로 오해되기도 함.
 - 본 사업에서의 뇌지도는 하나의 뇌기능이 온전히 수행되기 위하여 동원되는 신경구조들, 각 신경구조 내의 신경회로, 신경구조들 간의 신경회로에 대한 구조적, 기능적 맵핑을 모두 포함하는 포괄적인 개념임
 - 공간적으로 뇌지도는 마이크로스케일(시냅스, 세포), 메조스케일(신경회로, 경로, 뇌구조), 매크로스케일(기능)의 멀티스케일에서 작성될 수 있으며, 본 사업에서는 이에 나노스케일(단백질, 유전자) 뇌지도 추가
 - 시간적으로 뇌지도는 발달과 성장, 그리고 퇴화를 포함하는 진행행의 종단적인 개념으로 구축 가능

	스케일		
	마크로 (cm~mm)	메조 (mm~ μ m)	마이크로 (μ m~nm)
수준별 뇌지도			
스케일	전뇌, 영역 수준	영역내 회로 수준	회로내 시냅스 수준
연구 내용	뇌활성·영상을 통한 뇌질환 예측·진단	거시적 신경세포 네트워크 분석	미시적 신경세포 네트워크 분석
뇌지도 작성기술	뇌 활성 측정 (fMRI, MEG, DTI, tactography)	뇌구조·활성분석(뇌투명 화기술, 광유전학, 세포특 이적 단백질매핑기술)	뇌구조 분석(Array Tomo graphy, 전자현 미경, 통합 DB 및 AI분 석기술)

[그림 3-1] 다양한 스케일의 뇌지도

- 뇌지도는 일반고속도로 지도에 비유하면 지형·지물에 대한 개념은 구조 뇌지도, 도로의 실시간 차량 통행량은 기능 뇌지도에 비유할 수 있음



[그림 3-2] 구글맵 비유를 통한 공간적 멀티스케일 뇌지도의 개념과 예시

□ 뇌지도 구축의 필요성

- 인간의 심오한 마음·행동의 이해와 뇌질환 진단·극복을 위해서는 뇌의 구조·기능적 연결성, 작동원리에 대한 정밀하고 종합적인 이해 필요

- 뇌 연결성을 해석한 뇌지도는 뇌질환 정밀의학, 인공지능 융합연구 등 차세대 뇌연구를 위한 필수 정보임
- 멀티스케일의 기능-구조-분자 통합뇌지도 구축은 차세대 뇌연구를 위한 필수 정보를 제공하며, 특히 4대 뇌연구 분야의 융합접점을 제공할 것으로 기대
- 뇌지도의 작성 및 통합분석 기술은 주로 뇌공학적 접근방법을 통해, 기능-구조-분자 수준의 통합뇌지도 콘텐츠는 뇌신경생물학, 뇌인지 및 뇌질환 연구에 의해 확보됨



[그림 3-3] 뇌지도와 뇌연구 4대 분야와의 관계

- 뇌지도를 작성하게 되면, 시냅스의 구조와 기능을 이해함으로써 뇌인지와 같은 인간의 고차원적 기능을 이해하고 뇌질환 극복을 가능케 함
- 작성된 뇌지도 작성으로 인간의 뇌를 이해하게 되면 우수한 인공지능 알고리즘 개발하여 보다 더 뇌와 유사한 컴퓨터 시스템 개발에 기여함
- 뇌지도 정보로부터 정밀한 뇌회로망을 이해할 수 있기 때문에 정확한 좌표를 찾아 뇌심부 자극으로 뇌전증, 파킨슨병 등 회로망 관련 질환 치료가 가능하게 됨



[그림 3-4] 뇌지도 작성의 파급효과

□ 특화 뇌지도 구축의 타당성

- 미래사회를 대비하기 위한 선진 각 국들의 노력의 일환으로 ‘뇌연구’가 주목을 받고 있으며, 이미 수년전부터 국가 차원에서 뇌연구에 많은 투자를 해 오고 있음
- 우리나라의 경우 상대적으로 적은 연구 인력과 인프라를 가지고 뇌연구에 뛰어들어야 하는 후발 주자로서의 약점을 극복하고 미래 산업으로서의 뇌연구 성과들을 활용하기 위해서는 새로운 접근 방법이 필요함
 - 미국, 유럽, 중국은 대규모 예산을 투입하여 뇌지도를 구축, 세계적인 메가트렌드 주도, 일본 등 소규모 예산 투입국은 특화 뇌지도(특정동물, 부위 등) 및 뇌지도 활용기술에 집중



[그림 3-5] 주요 선진국의 뇌지도 관련 기술 수준

- 이에 차별적 우위성과 성공가능성을 고려한 특화뇌지도 사업을 추진함
 - 뇌 노화과정, 대뇌의 고위뇌기능 등, 근본적인 미제로 남아있는 과학적 질문에 접근하되, 국내 기반이 확립된 분야에 집중하여 특화 뇌지도 구축
 - 단일 기술보다는 다양한 수준의 복합적인 정보 통합으로, 특정 목표 중심의 뇌지도를 작성, 국내 역량의 활용성 및 실용화 연계성 강화

<표 3-1> 해외 및 국내 뇌지도 작성 전략 비교

		해외	한국
뇌지도 작성 목표		(미, EU 등) 뇌 전 영역 지도 작성	뇌 부분 지도 작성
작성전략			
(확보시기)		단일 기술 → 전체 뇌영역 지도 작성('23년)	복합 기술 → 특정 뇌영역 지도 작성('22년)
장단점	장점	전체 뇌연결망 해석 가능 범용성 뇌지도로, 활용도가 매우 높음	뇌 지역 연결망에 대한 복합적 이해 단시간에 뇌지도 확보 가능
	단점	뇌지도 작성에 많은 예산과 노력 소요 선정된 단일 기술에 따라 사업성패 결정	뇌지도 활용범위 제한적 다양한 정보 통합을 위한 ICT 기술 필요

○ 특화 뇌지도 구축 과정에서 관련 기술력의 선도와 고효율 뇌지도 작성기술 개발이 가능

- 해외뇌지도는 데이터중심(data-driven), 한국형 뇌지도는 과학적 질문 중심(question-driven) (예. 판단과정 중 신경회로 내 정보처리 과정 매핑 등)
- 현 기술력으로 정복 가능한 응용성 높은 특정 과학적 질문을 중심으로 복합적 수준의 선택적 정보 수집을 통한 기술력 선도 (예. 후두정피질 디코딩에 의한 운동의도 예측을 통한 BMI기술 선점)
- 학습, 질병, 노화 등 시간 및 과정에 따른 뇌지도 변화 및 전뇌의 뇌지도 작성을 위해서는 고효율 뇌지도 작성기술 개발이 요구됨

□ 사업 영역 및 사업 구조

○ 본 사업은 크게 특화 뇌지도 구축과 뇌지도 챌린지 기술 개발, 뇌지도의 활용 기술 개발의 3개 영역으로 구분됨



[그림 3-6] 본 사업의 영역

- 1세부사업인 특화 뇌지도 구축은 첫번째로 뇌의 고등 인지 기능 (기억, 지각, 사고, 주의 계획, 판단, 의사결정, 언어 등)을 중심으로, 두번째로는 노화 관련 뇌질환을 중심으로, 뇌기능이 집행되는 경로를 구조·기능적으로 표현하는 뇌지도 구축사업으로 구분됨
 - 고위 뇌기능은 여러 모달리티에서의 지각 통합, 지각과 운동 통합, 그리고 기억, 계획, 상상수행, 주의집중, 의사결정 등의 뇌기능이 통합되어 나타나는 고등 인지 기능으로, 전전두엽과 후두정엽을 포함한 대뇌피질과 해마 같은 전뇌 피질구조를 대상으로 하며, 마이크로 수준의 연구를 시작으로 메조 수준의 연구를 진행하는 Forward approach 방식의 접근을 취함
 - 노화 뇌질환 특화 뇌지도는, 크게 신체 (감각퇴행, 파킨슨병, 헌팅톤병 등), 정서(우울증, 전두엽성 성격변화 등), 인지(기억저하, 조현병 등)의 세 가지로 뇌기능을 나누었을 때 관찰되는 노화 관련 기능퇴행 및 신경장애를 중심으로 작성함.
 - 노화 뇌질환 특화 뇌지도의 경우, 고위 뇌기능 특화지도와 달리 관련 신경장애 환자를 중심으로 한 매크로 수준의 연구로부터 메조, 마이크로 수준의 연구로 진행하는 Reverse approach 방식의 접근을 취함
 - 두 특화 뇌지도는 목적, 구축하려고 하는 주된 대상, 그리고 기존에 알려진 정보 등에서 매우 다르기 때문에 뇌지도의 구축전략은 서로 상이할 수 있음

- 두 특화 뇌지도는 효율적인 활용을 위하여 상호 연계가 되어 공통 접점을 통하여 하나의 유기적인 형태로 결합될 수 있어야 하며, 이를 위하여 연구 후반부에는 두 뇌지도 간의 공통된 수준의 뇌지도를 구축, 다른 영역에 대한 뇌지도 정보의 공유하고 해석하는 분석 기술을 확보함 - 특화 뇌지도 작성: 현재 확보된 수준별 뇌지도(마크로, 메조, 마이크로) 작성기술의 최적화를 통해 특정 행동/부위의 뇌 작동원리 이해 및 뇌질환 손상신경망 규명을 위한 통합적 기능-구조 뇌지도 작성
 - ※ 빅데이터 플랫폼 구축 및 분석기술 개발: 스케일별 뇌지도 데이터의 확보와 확대 가능한 뇌지도 배열의 순차적 향상도모 및 멀티스케일 뇌지도 데이터의 빅데이터화/통합화 하여 연구자들에게 분석 도구와 함께 제공
- 2세부사업인 뇌지도 챌린지 기술개발은 현재의 수준별 뇌지도 작성 기술을 혁신적으로 개선하여 시간적/질환별 뇌지도 작성 등 대규모 뇌지도 작성 사업에 활용 가능하도록 최적화하며 뇌산업화 연계를 위한 뇌융합 챌린지 기술을 개발하는 사업임
- 뇌지도 정보의 활용 영역에서는 3세부사업 ‘차세대 AI 연계 연구’와 4세부사업 ‘개인맞춤형 뇌질환 극복기술 개발’을 세부 사업으로 도출
 - 차세대 AI 연계 연구는 인간뇌 회로망 정보를 기반으로 한 지능정보 알고리즘 개발 및 모델링 구축 사업임
 - 개인맞춤형 뇌질환 극복기술 개발은 뇌지도 정보를 바탕으로 질환 특이적, 신경망 수준의 개인별 정밀진단 및 치료 기술 플랫폼과 장비를 개발하는 사업임



[그림 3-7] 세부사업 구조

□ 세부사업간 연계성



[그림 3-8] 세부사업간 구성 및 성과 활용 분야

제2절 사업의 비전 및 목표

1. 비전 및 목표



[그림 3-9] 사업의 비전체계도

2. 전략목표 및 성과목표

가. 사업 총괄 목표

☐ 사업 목적

- 특화 뇌지도 작성과 활용을 통해 뇌 연구 분야 경쟁력을 확보하고 뇌산업 창출에 기여

☐ 사업목표

- 뇌기능 규명과 활용을 위한 혁신적 뇌융합 기술 개발
 - 본 사업의 기반은 뇌기능과 구조의 통합적 이해를 위하여 특화 뇌지도를 구

축하는 것임

- 특화 뇌지도를 효과적·효율적으로 작성하기 위해서는 현재 확보한 작성 기술을 개선하거나 신개념 기술을 개발하는 등 지도 작성에 활용 가능한 톨 개발이 필수적
- 이러한 뇌지도 작성 신기술은 기존의 4대 연구분야가 융합되는 분야로서 각 분야에 대한 파급효과가 큼

○ 뇌지도 정보의 산업적·의료적 활용 기반 구축

- 국내외적으로 뇌 연구는 아직까지 기초연구 단계에 집중되어 있는 상황
- 뇌질환 치료, 뇌-기계 인터페이스, 나아가 AI까지 뇌 관련 시장이 성장함에 따라 뇌 기초연구 성과를 산업화와 임상현장에 적용할 수 있도록 연계하는 기술의 수요가 증대
- 본 사업을 통하여 구축된 뇌지도 정보를 AI 산업계와 뇌질환 진단·치료에 활용하는 Linker 기술 개발을 사업의 목표로 함

□ 단계별 목표 및 추진 내용

단계	목표	주요 추진내용
1단계	- 뇌지도 작성 플랫폼 구축 - 뇌지도 구축기술 개발 - 뇌지도 활용 원천기술 개발	- 뇌지도 작성 표준 프로세스 확립 - 뇌지도 작성기술 툴킷 개발 - 기존 뇌지도 정보 이용 감각기능 및 인지 관련 지능모델 수립 - 뇌질환 정밀의료 관련 원천기술 개발
2단계	- 특화 뇌지도 2종 확보 - 뇌지도 작성 초고도화 기술 개발 - 뇌모사 지능모델 프로토타입 개발 - 뇌질환 정밀의료 환자 DB 구축	- 고위 뇌기능 통합 뇌지도 구축 - 노화 뇌질환 통합 뇌지도 구축 - 뇌지도 작성기술 - 감성, 기억, 언어 관련 뇌모사 지능모델 개발 - 뇌질환 분자마커 발굴 - 뇌영상지도 기반 스크리닝 기술 개발 - 뇌활성 조절기술 개발
3단계	- 특화 뇌지도 정보 공개 및 확산 - 뇌모사 인공지능모델 검증 - 뇌질환 정밀의료 진단, 치료기술 실용화 기반 구축	- 뇌지도 DB 공개 및 활용 촉진 - 뇌지도 작성기술 실용화 및 국산화 추진 - 뇌모사 복합기능 인공지능모델 개발 및 테스트베드 검증 - 뇌지도 정보의 뇌질환 진단, 치료 활용 기반 구축

나. 성과 목표

□ 총괄 성과목표

성과지표	단위	목표	정의	측정산식
뇌지도 작성 플랫폼	건	2	기능, 구조, 분자 지도 작성의 표준화를 위한 각 지도작성 과정의 모듈화 및 모듈간 파이프라인 구축	뇌구조 및 기능지도 작성 SOP 수립 여부
특화 뇌지도	종	2	고위뇌기능 연관 신경회로망의 기능-구조-분자적 특성을 포함하는 데이터 플랫폼	멀티스케일 통합 특화 뇌지도 작성 여부
뇌지도 작성 원천기술	건	5	신경회로의 기능 구조를 측정하거나 제어하는데 관련된 제반 기술로 관련 장비에 직접 이용되는 기술	장비개발 건수 또는 장비개발 관련 핵심 특허 기술이전 건수
뇌모사 지능 알고리즘	건	5	뇌지도 혹은 뇌작동원리에 기반한 새로운 지능 알고리즘의 개발. 주요 결과물 : 개념모델 (심리학자, 인지과학자), 수학적모델 (계산신경과학자), 인공지능알고리즘(뇌공학자, 컴퓨터공학자)	심리학 실험들을 통해 검증된 다양한 정서적/사회적 판단 혹은 의사결정의 상황에서 보이는 뇌모사 지능 알고리즘의 수행이 인간의 행동과 유사한 정도를 측정하여 비교검증
정밀의학 융합 데이터	종	3	환경, 질환 등에 따른 뇌유전자의 후성유전체적 변화와 전사체적 변화를 biofluid에서 규명하고, 이것이 특정 뇌영역 및 기능으로 투사되는 원칙 정보를 포함한 후성유전체/전사체/뇌활성/이미징 융합데이터	환자 biofluid의 후성유전체적 변화 및 전사체적 변화가 특정 뇌영역 뇌활성으로 연계되는 데이터 구축. 객관적인 정밀도, 재현도, 예측도 등이 수치적으로 제시되는 데이터여야 함
뇌질환 진단키트	종	3	뇌질환자의 후성유전학적 및 전사체적 변화를 biofluid에서 검출함으로써 개인별 뇌기능 차이 및 활성도를 예측, 추적하는 진단방법 키트화	특정 뇌질환자의 후성유전학적/전사체 변화 측정이 개인별 뇌기능 차이를 예측할 수 있는 민감도와 특이도를 확보한 진단 키트
			미니뇌를 체외에 구현함으로써 유전적 소인을 가진 환자의 뇌기능 이상 표현화 및 개인별 약물 반응에 대한 예측 기술 키트화	현 기술보다 미니뇌 제작의 고속화, 표준화, 분석기술 자동화를 기반으로 한 환자 맞춤형 미니브레인 진단 방법을 키트화, 간편 배양, 간단 표지자 등의 기술이 포함되어야 함

□ 단계별 세부사업별 목표

<표 3-2> 단계별 세부사업별 정성적·정량적 목표

세부사업명		단계	정성적 목표	정량적 목표
특화 뇌지도 구축	고위 뇌기능 특화 뇌지도	1단계	뇌지도 작성 과정 표준화 -뇌지도 작성 표준화 프로세스 확립 -고도화된 제작 기법 및 신기술 런칭	○ 실험동물의 고위 뇌기능 행동측정 표준 패러다임 ○ 신경회로망 활성 측정 표준 기술 ○ 메조-마이크로 스케일 신경회로망 구조 측정 표준 기술 ○ 유전체 및 단백질 획득/분석 표준 기술 ○ 세부 및 단위과제 지원 네트워크
		2단계	DB 집적, 기본 뇌지도 지도 완성 -판단관여 대뇌피질의 멀티스케일 기능-구조-분자 통합 뇌지도 확보	○ 고위 뇌기능 조절 신경회로 기능 뇌지도 ○ 고위 뇌기능 조절 신경회로 구조 뇌지도 ○ 고위 뇌기능 조절 신경회로 분자 뇌지도 ○ 기능-구조-분자 통합 뇌지도 DB
		3단계	연구/산업계로의 뇌지도 정보 제공 및 활용을 위한 확장형 뇌지도 구축 -판단관여 대뇌피질 통합 뇌지도 개방화 및 응용 기술 개발	○ 신경-혈관 단위체 정보 추가 ○ 고위 뇌기능 개방형 뇌지도 DB 시스템 ○ 인간 고위뇌기능 초고해상 구조 뇌지도
	노화 뇌질환 특화 뇌지도	1단계	뇌지도 작성 과정 표준화 -인간대상 연령별 표준 매크로 뇌지도 데이터 확보 및 기존 뇌심부 자극 치료 효과에 따른 임상 데이터 확보 -인간-동물 중개연구를 위한 운동 신경장애 신규 동물모델 확립 및 영상 기반 매크로 뇌지도 데이터 확보 -운동 신경장애와 관련된 세포 유형별 표지기술 및 활성 조절기술, 영상 추적기술의 표준화 프로세스 확립	-인간대상 연령별 표준 매크로 뇌지도 2종 (청장년기, 노인기) ·치매 뇌지도 사업과 연계하여 확장 -인간-동물 중개 연구를 위한 운동 신경 장애 신규 동물모델 1종 이상 -운동 신경장애 관련 영역 세포선택적 표지 기술 적용 바이러스 2종 이상
		2단계	DB 집적 -환자 임상 데이터 기반 운동장애 특화 매크로 뇌지도 -확보노인성 운동장애 동물모델을 이용한 기능 매크로 뇌지도 확보 -노인성 운동장애 동물모델을 이용한 멀티스케일 구조/기능 뇌지도 확보	-노인성 운동 신경장애 특화 뇌지도 1종 ·진단을 위한 자료로 활용 가능 -노인성 운동 신경장애 치료법 적용 전후 변화 뇌지도 2종 (인간/동물) ·새로운 치료법 개발을 위한 자료로 활용 가능 -노인성 운동 신경장애 동물 모델이용 진행형 멀티스케일 뇌지도

세부사업명		단계	정성적 목표	정량적 목표
				1종 - 질병의 진행에 따른 다양한 변화를 포함하므로 질병의 원인 규명에 활용 가능
		3단계	DB 활용 및 산업계 확산 -환자와 동물모델 데이터의 질환별/치료효과별 분석을 통한 통합 뇌지도 확보 -1,2 단계에서 확립된 뇌지도 작성 기술 고도화를 이용한 정서 장애 특화 뇌지도 구축 (기간 단축)	-운동 신경장애 환자와 동물모델 데이터의 질환별/치료효과별 분석을 통한 통합 뇌지도 1종 -인간-동물 중개 연구를 위한 정서 신경장애 신규 동물모델 1종 이상 -노인성 정서 신경장애 특화 뇌지도 1종 ·진단을 위한 자료로 활용 가능 -노인성 정서 신경장애 치료법 적용 전후 변화 뇌지도 2종 (인간/동물) ·새로운 치료법 개발을 위한 자료로 활용 가능 -노인성 정서 신경장애 동물 모델이용 진행형 멀티스케일 뇌지도 1종 ·질병의 진행에 따른 변화를 포함하므로 질병의 원인 규명에 활용 가능
뇌지도 챌린지 기술 개발		1단계	뇌지도 제작 기술 고도화 및 신기술 개발 -선진 전자현미경 나노 뇌지도 저장, 관리 분석툴 국산화 3건 -광학 뇌지도 이미징 3차원 투명화, 고속 이미징 국산화 기술 3건 -마우스 대뇌피질 각 층별 단위 신경세포 단백질 분석 테이블 완료 -대뇌피질 단일 신경세포 단일 유전자 발현 모니터링 프로브 5건 완료 -단일 세포수준 해상도 국산 SPIM 장비 1대 개발	-뇌지도 작성기술 도입 및 원천기술 확보 7건 -뇌기술전문인력 양성 14명
		2단계	지도 제작 기술 초고도화 및 활용 기술 개발 -나노-마이크로 이미징 고속화 (전자현미경 1mm3 이미지 1년	-뇌지도 작성 기술 고도화 원천기술 확보 7건 -뇌기술전문인력 양성 14명

세부사업명	단계	정성적 목표	정량적 목표
		-내 분석툴 개발, 마우스뇌 3차원 200 nm 해상도 이미징 -1주일 내 가능 분석툴 개발) -단위 신경세포 단백질, 유전자 타겟을 이용한 커넥톰 시퀀싱 원천기술 2건 -단일 신경세포 수준 신경활성 자극, 측정 장비 2건 -250 nm 수준 해상도 시냅스 활성 표지자 3건 -나노-마이크로 뇌지도 이미지 융합 국산 기술 5건 -뇌지도 빅데이터 관리 프로토콜 3개, 통합 뇌지도 (구조-기능-가치) DB 관리 프로토콜 3개 -<2um 해상도 SPIM 이미징 국산 SW 개발 및 국산 SPIM 연동 분석 국산 SW 1종	
	3단계	뇌지도 활용 기술 및 챌린지 기술 개발 -전자현미경 1mm3 이미지 3달 내 분석툴 및 마우스 뇌 3차원 150 nm 해상도 이미징 1주일 내 가능 분석툴) -허브단백질 (단위 신경세포 커넥톰 조절 단백질) 20 종 개발 및 커넥톰 에디팅 원천 기술 3건 -단일 신경회로 활성 측정, 제어 국산 프로브 5종 -침습형 단일 신경회로 제어 SW, 디바이스 2건 -단일 신경세포 해상도 침습형 자극 및 측정 프로브 2건 -국산 빅데이터 기반 뇌지도 플랫폼 (분자-신경활성-구조 멀티스케일) 공개, 멀티스케일 뇌지도 분석 SW 파이프라인 1개 공개 -1cm 뇌시료 150 nm 초고해상도 12시간 이미징 장비 및 SW 국산화	-고도화 융합 기술 개발 5건 -초고해상도 미래 기술 개발 2건
차세대 AI 연계 연구	1단계	-뇌지도 작동원리를 기반하여 인간 뇌 인지 수준에 근접하는 감각지능 통합 인지회로 연구 및 관련 지능모델 연구	-감각지능 통합 기반 사람수준의 고성능 인지 지능모델 개발 1종 -뇌지도 기반 차세대 뇌모사 지각판단 지능모델 개발 1종 -뇌기반 감성/공감 정량적 측정 기술 개발 1종 -뇌기반 감성/공감모사 지능모델 개발 1종

세부사업명	단계	정성적 목표	정량적 목표
			-사회적/산업적 활용을 위한 뇌기반 집단선호 예측 기술 개발 1종
	2단계	-인간 감성정보처리 뇌신경회로 규명기반 인간 감성모사 알고리즘 개발 -인간과 유사한 수준의 감성정보처리기능을 탑재한 차세대 인공지능 구현 -뇌지도 및 뇌신경신호 기반 기억 메카니즘 모방 뇌모사지능모델 연구 -인간의 언어이해/요약 메카니즘을 모방한 뇌모사지능모델 연구	-뇌모사 행동 생성 모델 개발 2건 -기억의 저장/복원 효율성 및 복잡도 측면에서 최적화된 뇌모사지능모델 개발 1종 -언어 이해/요약 정확도가 최적화된 뇌모사지능모델 1종
	3단계	-시간/문맥 정보 기반 고차원 인지 정보로부터 최적의 차기 행동(Action) 결정하는 지능모델 연구	-지각-인지-행동(Perception-Cognition-Action) 선순환구조 구성을 위한 인공 신경회로망 통합 알고리즘 개발 1종 -인간소통(interaction) 및 동기화(motivation) 모델링알고리즘 개발 1종 -시간/문맥정보를 반영하는 인공뇌 신경망 모델 구축 알고리즘 개발 1종
개인맞춤형 뇌질환 극복 기술개발	1단계	-뇌영역별 분자 맵핑기술 적용한 개별 환자 유래 환경병인 반영 후성유전체 프로파일링 -개별 환자 유래 줄기세포 역분화 및 조작기술 확보	-개별환자 유래 후성유전체-전사체-단백체 빅데이터 DB 4종 구축 -정밀의료용 뇌영상/바이오마커 통합 분석 시스템 2건 구축
	2단계	-개인차 반영 뇌질환 분자 마커 발굴 및 뇌영상지도 기반 스크리닝 플랫폼 구축 -뇌영상지도 기반 뇌활성 조절 기술 확립	-질환증상/약물반응에 대한 개별 환자 뇌영상 DB 1종 -질환 증상별 바이오마커의 뇌영상지도 기반 유효성 검증 플랫폼 3건 구축 -나노 기술 활용 조영/치료제 뇌심부 국소 전달 시스템 3건 구축
	3단계	-환자맞춤형 예측, 진단 마커의 국소적 적용 기법 실용화 -미니뇌 및 뇌영상지도 기반 진단, 치료, 예측 기술의 실용화	-질환 증상별 예측, 진단 키트 3건 개발 -뇌영상지도 기반 실시간 뇌질환 진단, 치료, 활성 측정 시스템 3건 구축

3. 사업 추진전략

□ 추진전략 1. 특화 뇌기능지도의 작성

○ 선택과 집중을 통한 특화뇌지도 DB 구축

- 우리의 강점을 활용하여 특정영역에 집중하는 특화뇌지도 구축
- 뇌지도 작성 후발 주자로서 한정된 인력과 예산으로 단기간내에 활용도 높은 뇌지도를 구축하기 위해서는 뇌 전체가 아니라 일부 영역에 집중하는 전략이 필요
- 단일 기술보다는 다양한 수준이 복합적인 정보 통합으로, 특정 목표 중심의 뇌지도를 작성함으로써 국내 역량을 최대한 활용하고 실용화로 연계될 가능성을 제고
- 특화 뇌지도 작성 대상 영역 및 대상 분야는 뇌지도 작성의 실현 가능성과 파급효과를 고려하여 전문가 조사를 통하여 선정

○ Hub-Spoke 모델 운영

- Hub-spoke모델을 통한 체계적이며 개방적인 연구개발 사업 운영
 - (Hub) 사업기획, Database, 분석, 관리 등 콘트롤타워 역할 수행
 - (Spoke) 뇌지도 정보생산 및 실용화를 위한 협동연구 단위
- Hub (중심연구단)에서는 뇌지도 구축을 위한 주요 장비의 구축과 DB 구축 및 운영을 담당
 - ※ 국가 거대장비 도입사업 (총75억), 국가 뇌정보 DB station 구축사업 (총 200억)
- 또한 장기적 연구성과 및 데이터 집적을 위해 출연연이 허브 역할을 수행하도록 함
- 사업평가는 객관성 확보를 위해 전문 연구관리 평가기관이 실시
- (추진방법) 뇌연구기관 협의체를 통한 기관간 역할 분담, 참여기관간 (Hub-Spoke)간 MOU체결 등을 통하여 효율적 협업체계 구축

<표 3-3> Hub와 Spoke의 역할

Hub (중심연구단)	Spoke (개별연구실)
· 뇌지도 핵심 인프라 확보 · 뇌지도 작성 기술 표준화 · 데이터 집적·공유 플랫폼 운영	· 고속 자동이미징 기술개발, 오믹스 뇌지도 정보획득 · AI기반 이미지 자동 분석기술 개발 · 구조 뇌지도 정보 획득, 신경 임플란트 기술 개발 · 기능/행동 뇌지도 정보 획득 등

□ 추진전략 2. 뇌융합 혁신기술 개발

○ 뇌지도 작성 미래기술 개발

- 뇌지도 작성은 뇌시료 제작, 전자현미경과 광학현미경을 이용한 이미지 획득, 3차원 재구성으로 이루어짐
- 현재의 뇌지도는 구조-기능의 매칭이 아주 제한된 영역에 한해 이루어짐
- 뇌지도 작성의 속도를 제고하기 위하여, 뇌지도 이미지 획득, 멀티모달 이미지 융합기술을 고도화

○ 차세대 AI로의 연계

- 뇌의 구조 및 기능에 대한 포괄적 이해를 바탕으로 뇌신경계의 정보처리 메커니즘을 모사한 뇌모사 지능모델을 개발
- 기존의 뇌연구와 공학의 만남은 뇌질환 조기진단 기술과 같은 형태이거나 뇌-기계 인터페이스 연구가 주를 이루었음
- 기존의 인공지능 연구와 달리 뇌지도 및 뇌 작동 원리를 활용하여 새로운 인공지능을 제시하는 혁신적인 연계기술 개발

○ 뇌지도 기반 뇌질환 정밀의학 기술 개발

- 실험동물 중심으로 작성된 뇌지도 정보를 응용하여 환자에 적용 가능한 뇌질환 극복기술을 개발
- 뇌질환에서의 정밀의료는 임상적, 행동학적, 유전적, 전기생리학적, 신경영상적 바이오마커들이 통합되어야만 가능
- 뇌지도의 해부학적, 생리학적, 화학적, 대사적, 신경 영상적 지표를 개발, 통합, 분석함으로써 뇌질환 분야의 새로운 정밀의학 기술을 개발

□ 추진전략 3. 국내외 네트워크 구축

○ 다학제적 융합연구 추진

- 뇌지도 작성은 기존 4대 뇌 연구분야의 융합을 통해서만 달성 가능
- 뇌지도 작성 기술은 주로 뇌공학에서 유래하며, 뇌지도의 콘텐츠는 뇌인지, 뇌신경생물학 및 뇌질환 연구에 의하여 확보
- 과제 선정시 다학제 협력 연구팀에 가산점을 부여
- 일부 과제에는 타 분야 전공인력이 필수적으로 참여하도록 지원자격 요건이 명시된 RFP 수립

○ 글로벌 뇌연구 협력체 구축

- 글로벌 뇌정보 집적을 위해 International Hub Station 구축사업 개시로 향후 세계적 뇌연구 컨소시엄 참여 예정
- 2016년 4월 개최된 국제 뇌과학 워크샵에서는 전세계적으로 유익한 뇌과학 프로젝트 발굴과 국제 뇌 플랫폼(The International Brain Station, TIBS) 구축에 대한 논의가 진행됨
- 오는 2016년 9월에는 ‘글로벌 뇌과학 프로젝트’선언을 위한 UN회의가 예정되어 선진 7개국의 총리급 인사가 참석할 예정
- 한국도 ‘글로벌 뇌과학 프로젝트’후원조직으로부터 UN참가 요청을 받은 상태로 2016년은 글로벌 뇌연구 협력체 구축이 시작되는 중요한 시기임
- 이러한 국제 뇌연구 컨소시엄 참여 및 학술대회 구성·운영을 주도함으로써 국제협력 리더로서의 활동 강화 필요

[참고] 「글로벌 뇌과학 프로젝트」 선언을 위한 UN 회의 개요

□ (기간/장소) 2016.09.19.(월)~20(화), 미국 뉴욕 UN 본부

- 1차 실무회의(록펠러 대학, 9.19)
- 2차 UN 본부 총회에서 「글로벌 뇌과학 프로젝트」 선언

□ (참가범위)

- 선진 7개국(G7) 대표 등 고위급 및 전세계 주요 뇌연구 그룹 리더

※ 조바이든 미국 부통령, 일본 아베총리, 독일(총리급)인사, 신경과학자 60여명

※ 한국대표단은 「글로벌 뇌과학 프로젝트」 후원 조직인 카블리 재단 전미영 과학프로그램 부대표로부터 UN 회의 참가 요청 받음

□ (논의내용) 「글로벌 뇌과학 프로젝트」 추진을 위한 추가논의

- 3대 도전과제

① 무엇이 우리의 뇌를 고유하게 만드는가?

② 어떻게 뇌는 복잡한 계산 문제를 해결하는가?

③ 어떻게 임상적 의사결정을 지원할 수 있을까?

- 국제 뇌 플랫폼(The International Brain Station, TIBS)구축

- 신경과학 통합 데이터·정보 관리 및 실시간 공유를 위한 클라우드 기반 오픈 플랫폼 구축

4. 총괄 로드맵



[그림 3-10] 사업 총괄 로드맵

제3절 세부사업별 주요 내용

1-1. 고위 뇌기능 이해를 위한 특화뇌지도 구축

가. 추진 배경 및 필요성

(1) 기본 개념 및 범위

□ 정의

○ 고위뇌기능 이해를 위한 특화뇌지도 구축

- 고등 인지기능(기억, 지각, 사고, 주의, 계획, 판단, 언어 등)이 뇌에서 작동되는 원리를 기능-구조-분자 수준의 통합적 연결체 단위로 이해하여 차세대 뇌연구를 위한 필수 정보 및 신기술을 개발하고, 관련 미래 산업의 성장 동력을 제공하기 위한 특화뇌지도 구축 사업
- 현재 국제경쟁력을 보유하고 있는 메조기술(광유전학, 뇌투명화 등)과 마이크로기술(초고해상광학현미경, 전자현미경 등)을 연계하여, 우리나라가 선제적으로 정복 가능한 고위 인지기능 관여 **대뇌피질의 초고해상도 설계도 확보**



출처:Cell (Markram외, “Resconstruction and simulation of neocortical microcircuitry”, 2015, volume 163, 456-492)의 일부 그림 재구성

[그림 3-11] 고위뇌기능 특화뇌지도 개요

□ 주요 개념

- **고위 뇌기능** : 기억, 지각, 사고, 주의, 계획, 가치판단, 의사결정, 언어 등 대뇌피질을 포함하는 다양한 뇌영역의 기능적 통합을 요구하는 고차원적 뇌작용
- **통합뇌지도 데이터 플랫폼**: 고위뇌기능 연관 신경회로망의 기능-구조-분자적 특성을 포함하는 데이터 플랫폼 형태의 뇌지도. 구축된 뇌지도와 관련된 모든 원본 데이터와 분석 가공된 데이터를 후속 연구에 활용할 수 있도록 리소스 형태로 제공하며, 연구자들이 접속하여 직접 시뮬레이션 등의 이론 연구가 가능하도록 만든 컴퓨터 시스템

□ 범위

- 고위 뇌기능을 담당하는 뇌영역은 계획, 행동 및 감정을 조절하는 전전두엽과 의사결정, 감각통합, 운동실행을 담당하는 두정엽, 인지, 청각, 균형감각 등을 관장하는 측두엽 등을 포함함
- 본 과제는 전체 뇌연구 사업 중 **미래사회 대비 선도형 과제**로서, 특히 판단에 연관된 신경회로망의 기능-구조 지도를 우선적으로 작성하는 기능별 특화뇌지도 구축을 목표로 함
- 이때 판단이라 함은 **외부자극의 융합**이 다양한 종류의 **기억 시스템**과 **가치판단 시스템** 등 매개 인지변인 (mediating cognitive variable)에 의해 해석된 결과, 여러 가지 행동반응 중 선택이 이루어지는 고등한 인지기능으로서의 판단을 말하며 단순한 감각-반사운동과 같은 범주를 초월한 개념임
- 최근 뇌연구분야 국가 연구개발사업에 대한 설문조사에서 연구의 필요성이 높게 나타난 감각의 융합, 기억과 같은 고위뇌기능을 기능을 포함하며, 감각피질, 후두정피질, 전전두엽피질, 내후각피질, 해마 등의 다수 뇌영역의 연구를 포함
- 고위뇌기능 특화뇌지도 구축은 뇌연구 4대 분야의 요소기술 및 이종기술간 연계를 통한 창의적이고 혁신적인 접근방법을 통해 수행되며, 확보된 뇌지도는 미래 뇌연구에 핵심 정보를 제공하고, 관련 산업의 성장에 기여
- 고위뇌기능 특화뇌지도의 **작성 및 통합분석 기술**은 주로 주로 계산신경과학과 뇌공학적 접근방법을 통해, 기능-구조-분자 수준의 통합뇌지도 **콘텐츠**는 뇌신

경생물학, 뇌인지 및 뇌질환 연구에 의해 확보됨

○ 타 세부사업과의 관계

- 본 과제 의 연구대상인 대뇌피질과 노화뇌질환 특화뇌지도의 주요 연구대상인 기저핵은 상호적으로 밀접하게 연결되어 기능하는 영역으로서, 두 과제의 정보가 통합되어 뇌 기능에 대한 보다 더 광범하고 통합적인 이해가 가능함.
- 본 과제에서는 뇌지도챌린지 과제에서 개발되는 다양한 뇌지도 구축 기술의 프로토타입 테스트를 통해 새로운 지도작성 기술개발에 이바지하고 점진적으로 새로운 지도작성기술을 적용하여 대뇌피질 및 기저핵의 융합신경망회로지도 작성을 완성하게 될 것임
- 뇌 신경 조절회로 규명은 4세부과제인 인공지능에 그 정보를 제공하여 새로운 패러다임을 확립할 수 있는 기초가 되고, 5세부과제인 정밀의학을 위한 진단 및 치료에 활용 가능



[그림 3-12] 고위뇌기능 특화 뇌지도 구축 사업과 타 세부사업간의 연계성

(2) 의의 및 필요성

□ 본 사업의 의의

- 멀티스케일의 기능-구조-분자 통합뇌지도 구축은 차세대 뇌연구를 위한 필수 정보를 제공하며, 특히 4대 뇌연구 분야의 융합접점을 제공할 것으로 기대
- 고위뇌기능 특화뇌지도의 선제적 구축과 지도작성 과정에서 파생될 혁신기술, 장비개발 등을 통해 선진국 수준 연구역량 확보 및 관련 신산업 창출 기대

□ 추진 필요성

- 인류 최대의 미스터리인 뇌의 이해를 위해서는 뇌의 구조·기능적 연결성, 작동 원리에 대한 정밀하고 종합적인 이해 필요
- 고위뇌기능, 뇌 노화과정 등 중요 이슈에 대응하여 우리나라가 선제적으로 정복 가능한 특화 뇌지도 구축을 통해 국가뇌연구 역량 제고 및 지적 재산 확보
- 우수 기술을 바탕으로 글로벌 협력을 통한 뇌지도 작성 등에 기여할 수 있으며, 뇌질환 극복, 뇌모사 인공지능 개발 등 인류의 뇌과학 발전에 공헌
- 아직까지 뚜렷한 치료법이 밝혀지지 않은 노인성 뇌질환에 대한 근원적인 이해를 도모
- 기존의 뇌지도 사업과 과제간 중복성이 없으므로 경쟁력을 가지고 사업을 진행할 수 있으며, 그 결과도 원천성을 확보하기 쉬울 것으로 예상

□ 고위 뇌기능으로서의 판단(decision)의 통합적 뇌지도 작성의 필요성

- 뇌의 판단기능에 대한 이해는 감각기관을 통한 정보의 입력/해석과 경험적 기억, 그리고 선택행동에 이르는 다양한 분야의 뇌기능 연구 결과를 포괄적으로 고려해야 한다는 측면에서 고위 뇌기능 연구에 속하며 미래 융합적 뇌과학 연구의 핵심 분야로 급부상하고 있음
- 최근 구글의 딥마인드가 바둑을 스스로 학습하여 둘 수 있는 알파고라는 인공지능 네트워크의 판단기능 구현에 뇌과학에서 밝혀진 신경망 작동원리를 응용함으로써 뇌기능을 모사한 인공지능 구현기술이 미래사회의 핵심기술 분야로 자리잡을 수 있는 가능성을 보여줌



출처: Nature (Silver 외, “Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search“, 2016, 529, 484-489)

[그림 3-13] 알파고에 사용된 정책망과 가치망(좌) 및 인공지능 네트워크의 행동방식에 대한 도식적 표현

- 일차감각피질에서 얻어진 신경회로의 정보처리의 원리 및 학습원리가 현재의 딥러닝을 이용한 기계학습/인식의 토대가 되었듯이 감각정보의 통합 및 판단의 신경회로가 인지-판단을 근거로 하는 BMI기술의 결정적 토대를 마련
- 20세기 말에 카네만 등의 인지심리학자들에 의해 이론적 틀이 마련되고 감각, 지각, 학습, 기억, 감정 등의 뇌인지를 연구하는 과학자들에 의해 21세기 들어 결정적 실험 증거들이 도출되면서 전문 학회와 학술지가 생겨나는 등 학계의 관심이 집중되고 있음
- 판단 분야의 논문 수가 2000년대 초반부터 급증 추세 (그림 4 참조)



출처: (<http://www.neuroeconomics.org/about-sne/>)

[그림 3-14] Neuroeconomics 분야의 학술저널 출판 논문의 수

- 미래사회에는 사회, 복지, 의료, 공공서비스, 산업 등 많은 부분에서 뇌와 비슷한 판단기능을 갖춘 인공지능 알고리즘이 사용될 것이며 이를 구현할 수 있는지 없는지가 국가간 경쟁력의 핵심이 될 것으로 예상되므로 판단의 뇌과학적 기전을 연구, 응용하여 국가 경쟁력을 확보하는 것이 매우 시급함
- 이를 위해 판단에 동원되는 감각, 지각, 가치, 기억, 감정, 동기, 주의 등 세부적인 인지요소의 구현에 필수적인 기능을 하는 주요 신경망을 일종의 기능 뇌지도 혹은 데이터베이스의 형태로 구현하고 해부학적 정보와 분자수준의 뇌과학 정보가 기능을 토대로 해석 및 응용될 수 있는 프레임을 만들어야 할 필요성이 생김

(3) 국내 기술수준 및 역량

- 뇌지도 구축의 세부기술별 국내 기술수준을 보면 매크로와 메조 뇌지도 기술의 경우, 선진국에 근접한 수준이며, 나노 뇌지도 및 행동측정기술은 다소 미흡한 수준임

< 뇌지도 구축 세부기술의 국내 기술수준 >

구분	핵심기술(장비)	국내주요 연구기관	국내기술경쟁력	기술수 준
매크로	자기공명영상 확산텐서영상 양전자단층촬영	IBS (성균관대) 서울대 (조선대) 가천대 아산병원 삼성병원	- 다수의 MRI가 전국적으로 분포 - 해상력 증가를 위한 기술 개발 중 - 국내 전문연구인력 pool은 적은 편	85%
메조	단백체매핑 뇌투명화기술 광유전학 기술 광학현미경	KIST 고려대 한국뇌연구원 서울대	- 뇌투명화 기술 등 국내 연구역 량이 선진국 수준 - 장비개발 초기로 시장진입 용이	90%
나노	3차원 전자현미경 배열단층촬영 AI 기반 영상분획화	한국뇌연구원 경북대	- 전세계적으로 기술 초기단계 - 나노 뇌지도 작성 요소기술 확보 - 신규개발장비 도입시 속도 및 관찰영역 크기의 혁신적 향상 가능 (세계 2번째)	75%
행동측정	광유도 CRISPR	KAIST 한국뇌연구원 KIST 성균관대	- 광유도, 형광전압센서 등 기술 개발	75%
매핑분석	3차원 인공지능 클라우드 소싱 재구성	KIST 한국뇌연구원	- 3차원 시냅스 탐지 소프트웨어 개발	80%

- 또한, 뇌지도 작성 프로세스별로 국내 기술 보유 현황을 살펴보면 전과정에서 대부분의 기반기술을 기보유하고 있으며, 통합뇌지도 구축단계의 뇌융합연구인력 양성이 필요

< 뇌지도 작성 프로세스 >



< 뇌지도 작성 단계별 국내 기술역량 >



나. 목표 및 과제 구성

(1) 목표 및 최종 결과물

□ 목적

- 차세대 뇌연구 기반 확립 및 미래산업의 신성장 동력 제공을 위해, 고차원적 뇌인지기능의 작동원리를 기능-구조-분자 수준의 통합 뇌지도 구축을 통해 이해하고자 함

□ 최종 목표

- 고위뇌기능 특화뇌지도 구축
 - (세부목표 1) 동물모델을 이용한 고위인지행동 담당 대뇌피질 신경회로망의 활성화/기능 뇌지도 구축
 - (세부목표 2) 고위뇌기능 관련 대뇌피질의 멀티스케일 구조 뇌지도 구축
 - (세부목표 3) 고위뇌기능 관련 대뇌피질의 기능조절 분자네트워크 발굴
 - (세부목표 4) 고위뇌기능 담당 대뇌피질의 고해상 기능-구조-분자 통합 뇌지도 구축 및 통합뇌지도 데이터플랫폼 서비스

□ 성과목표

- 판단 작용 중 대뇌피질 신경회로망 활성화패턴 뇌지도 구축
- 신경회로망 패턴을 이용한 동물 판단 예측 알고리즘 확보
- 전전두엽피질, 후두정피질을 중심으로한 신경추적자-메소스케일 뇌지도 확보
- 전전두엽피질, 후두정피질 전층 마이크로 스케일 뇌지도 확보
- 판단 관련 대뇌피질의 기능-구조-분자 통합뇌지도 구축
- 인간대뇌피질 마이크로 스케일 뇌지도 확보
- 통합뇌지도와 파생 데이터 및 분석 도구를 데이터플랫폼을 통해 서비스

□ 기 구축 해외뇌지도와의 차별성

- 대표적인 기구축 뇌지도로서 알렌연구소의 메소스케일 연결체지도, 분자뇌지도, 시각피질의 활성화-구조-분자의 정보를 담고 있는 뇌관측소(Brain

Observatory)와 개별연구실의 협동 연구로써 구축된 뇌지도들이 있음

- 대표적 기구축 뇌지도인 알렌연구소의 메소스케일 연결체지도의 경우, 영역 대 영역의 순방향신경추적 정보를 집대성하였으나 신경세포타입별 정보, 신경활성 정보, 마이크로 스케일의 연결체 정보, 전사체 등 분자정보 등의 **융합 없는 단편적 뇌지도**
- 특히 메소스케일 뇌지도가 영역간의 연결 정보를 예측할 수 있으나 시냅스 정보를 예측할 수 없다는 것은 나노뇌지도의 연구를 통해 보여진 바 있음
- 알렌연구소의 분자뇌지도의 경우 200개가 넘는 분자의 발현을 메조스케일, 세포체 수준 해상도의 현미경 이미지와 융합하여 데이터베이스한 뇌지도이므로 **저해상도 분자뇌지도임**
- 미국 Lichtman교수, Reid, Seung교수, 독일의 Denk박사 등의 연구실에서 만들어진 뇌지도의 경우 망막, 시각시상, 시각피질 등 시각 정보처리 신경회로를 중심으로 시각자극 특이적 신경활성을 마이크로 스케일 연결체로 이해하려는 특정 목적을 가진 특성화 뇌지도이므로 **시각기능 특화 기능-구조 뇌지도임**
- 요컨대, 기존의 뇌지도는 **고위뇌기능을 목적으로 작성된 뇌지도가 아닐 뿐만 아니라 기능-구조-분자적 이종 정보를 통합적으로 가지고 있지 못함**

□ 해외뇌지도 구축 프로그램과의 네트워크 형성

- 인간 뇌 전체의 지도 구축은 긴밀한 글로벌 협력을 통해서만 완수할 수 있을 정도로 범인류적인 대규모 과제임. 따라서 향후 뇌과학 선진국을 중심으로 시작된 뇌지도 구축 프로그램과의 협력 및 연계 필요성이 있을 것으로 예상됨
- 실제로 2016년 9월 19일에는 미국 록펠러대학에서 뇌지도 작성을 주요 내용으로 하는 뇌과학 conference가 개최될 예정
- 9월 20일에는 UN총회의 연계행사로 미국 부통령, 독일 총리급(미정), 일본 아베 총리 등이 공동으로 뇌연구 국제협력 시대를 선포하고, 뇌연구 데이터 집적, 관리 그리고 open access 등을 위한 Hub station 설립을 공표할 예정
- 상기 국가간 협력행사에는 미국 Brain Initiative 개시에 중요 역할을 담당하는 kavli 재단의 초청을 받아 한국뇌연구원장과 정부관료가 대표로 참석하여 한국의 뇌과학 발전전략을 소개하고 향후 협력방안을 논의할 예정임

□ 고위뇌기능 특화뇌지도의 특징점

- 본 연구를 통해 확보될 예정인 **고위뇌기능 특화뇌지도**는 뉴런들의 고위뇌기능

발현에 의해 정의되는 활동성 및 시냅스 가소성, 생화학적 단백질 발현패턴 등이 영역간 및 영역내 뉴런 간의 정밀한 연결체적 특성과 연계된 **기능-구조-분자 통합적 뇌지도**임

- 고위뇌기능 특화뇌지도를 통해 각 기능 및 구조별 상호 연관성에 대한 분석이 가능하고, 신경회로내 신경세포간 연결원리에 관한 원론적 분석이 가능하므로, 차세대 뇌연구 및 뇌 관련 사업에 미치는 파급효과가 높을 것으로 예상
- 차별적 우위성과 성공가능성을 고려한 특화뇌지도 구축
 - 고차원 인지기능 중 ‘판단’행동에 관한 뇌 작동원리를 규명하는 도전적 과제임과 동시에, 국제 경쟁력을 보유한 기술간 융합을 통해 선택과 집중에 초점을 맞춘 특화 뇌지도
 - 단일 기술보다는 다양한 수준의 복합적인 정보 통합으로, 특정 목표 중심의 뇌지도를 작성, 국내 역량의 활용성 및 실용화 연계성 강화

□ 단계별(연차별) 목표 및 최종 성과물

<표 3-4> 단계별 연구목표 및 주요 성과물

단계	목표	주요 성과물
1단계 (2017년 ~ 2020년)	○ 뇌지도 작성기술 모듈화 및 파이프라인 구축	○ 실험동물 '판단'행동측정 표준 패러다임 ○ 신경회로망 활성 측정 표준 기술 ○ 메조-마이크로 스케일 신경회로망 구조 측정 표준 기술 ○ 유전체 및 단백질 획득/분석 표준 기술 ○ 세부 및 단위과제 지원 네트워크
	○ 특화 뇌기능 지도 구축을 위한 데이터 확보 및 집적	○ 판단회로 내 세포유형 구분 및 범주화 ○ 대뇌피질 신경회로망의 세포유형 기반 구성도 ○ 세포수준의 대뇌피질 네트워크 기능적 연결망 ○ 판단 관여 대뇌피질 영역간/영역내 구조 연결망 ○ 판단 관여 대뇌피질 기능조절 분자수준 네트워크
2단계 (2021년 ~ 2023년)	○ 판단 관여 대뇌피질의 멀티스케일 기능-구조-분자 통합 뇌지도 확보	○ 판단 조절 신경회로 기능 뇌지도 ○ 판단 조절 신경회로 구조 뇌지도 ○ 판단 조절 신경회로 분자 뇌지도 ○ 기능-구조-분자 통합 뇌지도 DB
3단계 (2024년 ~ 2027년)	○ 고위뇌기능 특화지도 개방화 ○ 신경회로망 모델링 기반 판단 예측 알고리즘 확보	○ 신경-혈관 단위체 정보 포함한 확장형 통합 뇌지도 ○ 판단 관련 개방형 뇌지도 DB 시스템 ○ 인간 대뇌피질 초고해상 기능성 뇌지도

(2) 중점과제 구성

중점과제	핵심기술
1. 동물모델을 이용한 고위 뇌기능 관여 대뇌피질 활성/기능 뇌지도 구축	■ 실험동물 ‘판단’행동 측정 및 영역별 기여도 분석
	■ 고위뇌기능 관련 마이크로-스케일 신경세포 활성패턴 매핑
	■ 고위뇌기능 관련 메조-스케일 신경세포망 활성패턴 측정
	■ 광유전학 등을 이용한 회로수준 신경세포 활성조절
	■ 세포특이적 활성조절 기법을 통한 ‘판단’행동 조절
2. 고위뇌기능 관여 대뇌피질의 멀티스케일 구조 뇌지도 구축	■ 뇌투명화/형광표지물질 등을 이용한 대뇌피질 메조-스케일 신경망 매핑
	■ 신경활성 특성 기반 대뇌피질 마이크로-스케일 신경망 매핑
	■ 대뇌피질 세포유형별, 유래별 시냅스의 분자적/구조적 특성 분석
	■ 대뇌피질투사 감각정보 관련 신경회로망의 연결양식 규명
	■ ‘판단’ 행동 조절 관련 신경회로망단위체 구조 및 특성 기반 지도 구축
3. 고위뇌기능 관여 대뇌피질의 기능조절 분자네트워크 발굴	■ 유전체 기반 ‘판단’행동 조절 신경회로망 세포의 분류 및 범주화
	■ ‘판단’행동 조절 유전체 발현패턴의 시/공간적 분석
	■ ‘판단’행동 조절 주요 단백질의 분포도 분석
4. 고위뇌기능 담당 대뇌피질의 고해상도 기능-구조-분자 통합 뇌지도 구축	■ 초고해상도 구조-기능-분자 통합 뇌지도 데이터 플랫폼 구축
	■ 구조-분자 정보에 의거한 신경세포 활성 예측
	■ 뇌신경망 작동 원리 모형화 및 시뮬레이션

(3) 단계별 개발 내용

□ 1단계(2017-2020년)

○ 뇌지도 작성기술 표준화 및 확산

- 실험동물의 고위 뇌기능 행동측정 표준 패러다임 확립
- 신경회로망 활성 측정 표준 기술 확립
- 메조-마이크로 스케일 신경회로망 구조 측정 표준 기술 확립
- 세포별 유전체 및 단백질체의 획득 및 대량 고속 분석 기술의 표준화
- 세부 및 단위과제 지원을 위한 네트워크

○ 특화 뇌기능 지도 구축을 위한 데이터 확보 및 집적

- 대뇌피질 신경회로망 구성 세포타입별 특성 및 가소성 규명
- 세포수준의 대뇌피질 네트워크 기능적 연결망 규명
- 대뇌피질 영역간/영역내 구조적 연결망 규명

- 대뇌피질 기능조절 분자네트워크 발굴

□ 2단계(2021-2023년)

○ 멀티스케일 기능-구조-분자 통합 뇌지도 1종 확보

- 고위 뇌기능 조절 신경회로 기능 뇌지도
- 고위 뇌기능 조절 신경회로 구조 뇌지도
- 고위 뇌기능 조절 신경회로 분자 뇌지도
- 기능-구조-분자 통합 뇌지도 DB 완성

□ 3단계(2024-2027년)

○ 뇌지도 응용 기술 개발 및 상용화

- 고위 뇌기능 통합 뇌지도 DB 개방
- 인간 대뇌피질 초고해상도 기능성 지도 작성

(4) 과제 추진 로드맵

- 기술 표준화를 통해 생쥐에서 인간까지 대뇌피질의 정상 및 질환에 대한 유전체·구조·기능·행동의 통합 뇌지도 조기 확보
- 통합 DB 분석을 위한 인공지능 기반의 알고리즘 개발 및 플랫폼 구축으로 뇌지도 작성 기술 확산과 연구장비 상용화
- 통합 뇌지도 활용을 통한 뇌질환 · 인공지능 적용 기술 및 통합 뇌지도 정보 서비스 시스템 개발로 포스트 매핑 사업에 활용



[그림 3-15] 과제 추진 로드맵

다. 추진전략

(1) 추진전략

- 특화뇌지도 작성을 위하여 hub-spoke 운영모델을 도입하여 산학연의 역할 분담 및 협력연구를 촉진하도록 함
 - Hub 연구단: 기술 표준화, DB 집적 및 운영, 인력 및 장비 인프라 구축
 - Spoke 연구단: 신경활성/구조/분자 수준의 판단 조절 대뇌피질 신경망 연구
 - 뇌지도 작성 중 파생될 산학연 협동 인력양성
 - － 뇌지도 작성에 참여하는 대학 및 출연연 또는 학-연 상생 프로그램을 기반으로 장기 활용 가능한 전문기술 보유 인력을 통한 산학연 협력연구 증가
- 뇌지도 구축을 위하여 국제연구협력체에 참여
 - 전체 뇌지도 작성은 긴밀한 글로벌 협력을 통해서 완수 가능한 범인류적 대규모 프로젝트임. 따라서 뇌과학 선진국을 중심으로 시작된 뇌지도 구축 프로그램들과의 장기적인 협력 및 연계 방안이 중요

- 2016년 9월 19일 미국 록펠러대학에서 뇌지도 중심의 conference 개최 예정
- 2016년 9월 20일 UN총회 연계행사로 미국, 독일, 일본 대표자들이 뇌연구 국제협력 필요성을 선포하고 데이터 Hub station 설립을 공표할 예정
- 상기 국제협력행사에 한국뇌연구원장과 정부관료가 초청받아 한국의 뇌과학 발전전략을 소개하고 협력방안 논의 (글로벌 뇌연구 콘소시움 참여 예정)
- 미국, 일본, 유럽연합, 중국에서 수행되고 있는 대규모 뇌연구 사업과의 연계를 통하여 환자 및 다양한 동물 모델을 통한 연구간 간격을 좁히고 시너지 창출

□ 뇌지도 작성을 위한 융합연구인력의 양성을 유도

- 뇌지도 작성 과정에서 파생될 학제 및 이종기술간 융합 연구인력을 다수 양성하여 국가 뇌과학 경쟁력 제고에 기여
- 전국적으로 다수의 연구기관이 참여하는 병렬이미징 전략 등을 통해 뇌지도 작성 전문기술을 확보한 인력이 수도권에만 편중되는 현상 방지

□ (장비) 통합뇌지도 작성을 위해 Hub 연구단에서 뇌지도 구축 효율성 증대를 위한 혁신적 개발장비와 DB 구축 및 운영 담당

- 초고속 멀티빔 전자현미경 등 (1대로 61대의 전자현미경 속도를 능가)
- NTIS 국가연구시설장비 관리시스템을 이용하여 전국에 분포되어 있는 뇌지도 작성에 활용 가능한 장비 정보의 공유 및 활성화 방안 구축 (전자현미경, (micro)MRI, (micro)PET, (micro)CT, two-photon microscope을 포함한 뇌영상 핵심장비 포함)
- 방대한 뇌지도 구축 사업의 가속화를 위하여 기존 장비로 대체가 불가능한 신규 장비의 구축 계획을 포함

(2) 과제 추진체계

□ 세부과제 구성 및 추진체계

- Hub-Spoke 모델 운영을 통한 국가 연구역량 응집: Hub-Spoke 모델을 통한 협력체계를 구축하여 계층적 역할 분담 및 융합화 촉진
- Hub 연구단은 기술 표준화, 장기적인 연구성과 및 데이터 집적을 위한 인프라 구축, 판단관련 뇌영역 조직내 동일 신경세포군의 기능-구조-분자간의 상관관계를 정립하여 spoke 연구단 연구결과를 통합

- Spoke 연구단은 기능, 구조, 분자 수준의 고위뇌기능 조절 대뇌피질 신경망에 대한 자유 연구주제 연구



[그림 3-16] 고위뇌기능 특화뇌지도 구축사업단 추진체계

(3) 대내외 협력방안

□ 미래부 또는 타 부처 유관 사업과의 연계 방안

- 미래부 표현형 사업단 - 판단 등 고위뇌기능 장애 동물모델을 제공받아
- 발달뇌지도 - 발달과정 중 메소스케일 뇌지도 지도작성기술 전수

□ 세부사업간 연계·협력 방안

- 뇌지도 작성 연구의 가장 어려운 부분 중 하나는 현존 지도작성 이미징 기술의 한계로 인해 지도작성에 소요되는 시간 및 노동력이 필요하다는 점임. 따라서 뇌영역을 자세하고 보다 신속하게 이미징 할 수 있는 기술적 개발이 필요함. 1세부는 3세부와 긴밀히 연계하여 이러한 문제점의 세부사항들을 정확하게 전달하고, 3세부에서 개발된 뇌지도 작성 기술을 고위뇌기능 지도 작성에 신속히 도입·적용하여 뇌지도 작성의 효율성을 높이고 지도 구축의 완성시기를 앞당길 수 있음.
- 1세부에서 작성되는 고위뇌기능 관련 기능-구조-분자 통합뇌지도는 3세부로 전달하여 결국 인공지능 기반 신경회로의 모델링 개선에 일조할 것임.
- 1세부에서 작성되는 기능-구조-분자 통합 뇌지도는 5세부 정밀뇌의학에 필수 기반 정보를 제공할 것임. 정상 표준 뇌지도를 기반으로 고위뇌기능 이상 관련 뇌질환의 원인규명 및 치료전략 수립에 도움.

1-2. 노화 뇌질환 특화 뇌지도 사업

가. 배경 및 필요성

(1) 기본 개념 및 범위

☐ 정의

- 노인성 뇌질환 환자와 동물 모델을 대상으로, 관련 뇌 영역을 중심으로, 구조와 기능상의 변화를 공간적으로는 마이크로/메조/매크로 수준으로, 시간적으로는 시작과 발달을 포함한 진행형의 과정으로 이해하는 시공간적 개념의 멀티스케일 뇌지도 구축 사업



[그림 3-17] 전체 과제 개요도

☐ 주요 개념

- 뇌지도란 뇌기능이 집행되는 구조적, 기능적 경로. 따라서 노화 뇌질환 특화 뇌지도란 노인성 뇌질환에서 손상되는 뇌기능이 집행되는 경로를 의미
- 노인성 뇌질환 환자들을 대상으로 증상별, 치료 단계별 매크로 스케일의 구조/기능 뇌지도 작성 및 데이터베이스화
- 노인성 뇌질환에 대한 동물모델을 대상으로 관련된 뇌영역에 대한 구조/기능의 뇌지도를 마이크로(시냅스, 세포), 메조(신경회로, 경로), 매크로(시스템, 전 뇌)의 멀티스케일로, 그리고 질환의 시작과 발달을 포함한 시간적 진행형으로 구축하고 데이터베이스화

- 노인성 뇌질환 환자와 동물모델을 대상으로 하여 얻어진 두 뇌지도 데이터의 통합 및 유기적 상호관련성 분석을 포함한 기초, 임상 간의 중개적 연구
- 최종적으로 노인성 뇌질환에 대한 조기진단 및 효과적 치료를 위한 멀티스케일 바이오마커를 발굴하고, 국소적 치료 표적을 제시하는 것을 목표로 함

□ 범위

- 한국사회에서 빠르게 진행되고 있는 인구고령화에 대한 선제적 대응의 하나로 신체, 정서, 인지의 3대 뇌기능에 대한 뇌지도를 구축하고 이를 노인성 뇌질환에 활용
- **뇌 신체기능**은 감각과 지각에서 출발하여 운동으로 표출되며 뇌 신체기능의 노화로 인한 퇴행에는 황반변성, 청력상실과 같은 감각 장애와 파킨슨병, 루게릭병, 헌팅톤병 등의 운동 장애가 있음
- **뇌 정서기능**은 직접적인 회노애락과 이로 인한 다양한 뇌기능을 포함하며, 뇌 정서기능의 퇴행은 우울증, 수면장애, 전두엽성 성격변화 등으로 나타남. 우울증과 수면장애는 노년기의 트레이드 마크일 뿐 아니라 대부분의 퇴행성 질환에 심각하게 수반되거나 수년 일찍 선행됨
- **뇌 인지기능**은 주의를 기울이고 사고하며 판단하고 결정하는 일체의 사유과정을 가리키며, 노화에 수반되는 대표적인 인지 장애로 알츠하이머성 치매, 조현병 등을 들 수 있음
- **선택과 집중, 그리고 확산의 전략**을 통한 시공간적 멀티스케일 노화 특화 뇌지도 구축을 통하여 신체, 정서, 인지의 3대 뇌기능의 노화에 따른 뇌질환에 대하여 최대한 효율적으로 대응
- 예를 들면 여러 노인성 뇌질환 중에서 유병률, 뇌지도화 가능성 및 뇌지도 구축에 의한 질환 치료 가능성, 기존 사업과의 중복성 및 연계 가능성, 사업성, 국내 연구진의 수월성, 과학적 기여도 등 여러 측면을 고려하여 노화 뇌질환 특화 뇌지도의 대상을 선정하여 노력을 집중하고(예. 노인성 운동 신경장애), 뇌지도가 구축되는 시점에서 해당 뇌질환에의 활용(예. 파킨슨병, 헌팅톤병 등) 및 타 뇌질환으로의 확장(예. 틱장애, 강박장애, 정서장애 등) 도모
- **(다른 세부사업과의 관계)** 3세부과제에서 개발되는 다양한 뇌지도 구축 기술을 점진적으로 적용한다면, 노화 뇌질환에 관련된 기능적인 신경망 조절회로를 규명하는데 가속도가 붙을 것으로 예상되며, 이러한 조절회로 규명은 4세부과제인 인공지능에 그 정보를 제공하여 새로운 패러다임을 확립할 수 있는

기초가 되고, 5세부과제인 정밀의학을 위한 진단 및 치료에 활용될 수 있을 것으로 기대됨.



[그림 3-18] 세부과제 간 관계도

(2) 의의 및 필요성

□ 노화 뇌질환 특화 뇌지도 사업의 필요성

○ 평균 수명 증가

- 2016년 5월 세계보건기구에서 발표한 세계건강통계에 의하면 2015년 태어난 아기의 남녀 평균 기대수명은 71.4세이며, 남성 69.1세, 여성 73.8세로 이는 2000년보다 5년 더 늘어난 수치임.
- 우리 나라는 전세계에서 가장 빠르게 노령화가 진행되는 국가 중 하나로, 2015년 태어난 아기의 남녀 평균 기대 수명이 82.3세이며 남성 78.8세, 여성 85.5세임



[그림 3-19] 2015년생 기대수명 (출처: WHO 2016 세계건강통계)

○ 노인인구의 증가

- 평균 수명의 증가 및 출산율 감소로 인하여 전세계적으로 노인 인구가 증가하는 추세임
- 유엔은 세계 인구 전망 보고서를 통해 전 세계의 60세 이상 인구가 2015년 12.3%에서 향후 2050년까지 두 배 이상 증가하며, 특히 80세 이상 고령 인구는 세 배 이상 증가할 것으로 예상함
- 아시아의 60세 이상 인구는 2015년부터 2050년까지 증가하는 전 세계 60세 이상 인구의 66%를 차지할 것으로 예측되고 있고, 유럽 역시 60세 이상 인구 비율이 2015년 유럽 전체의 24%에서 2050년 34%까지 증가할 것으로 전망하고 있음
- 우리나라의 경우는 총인구 대비 65세 이상의 노인인구 비율이 2015년 13.1%에서 2010년 15.7%, 2030년 24.3%, 2050년 37.4%로 급격히 증가하고, 그 중 85세 이상의 후기 노인인구 비율은 2015년 8.3%에서 2010년 10.0%, 2040년 12.6%, 2050년 20.6%로 급격히 높아질 것으로 예상됨



[그림 3-20] 연령계층별 인구 구성비 (출처: 통계청 2011)

○ 노화 관련 질환의 증가에 따른 의료, 간호 수요 증대

- 이와 같이 평균 수명의 증가 및 노인 인구가 증가함에 따라 노인성 뇌질환 및 신경퇴행성 질환의 유병률도 빠르게 증가하고 있음. 뇌질환은 만성적이고 긴 진행과정의 특징을 가지고 있어 환자 수의 증가는 간병인구의 필요를 동반하므로 노동력의 감소가 가속화 됨.
- 노인성 질병에 따른 의료비는 2012년 약 16조 5천억원으로 2005년 대비 2.7배 증가하였으며, 기대수명은 남자 77.9세, 여자 84.6세인 반면 건강수명은 남자 65.2세, 여자 66.7세에 불과하여 인생의 말년에 평균 7~8년 병원 신세를 지는 것으로 나타남
- 그 중에서도 3대 노인성 뇌질환인 알츠하이머병, 뇌졸중, 파킨슨병에 대한 기전 규명 및 치료 전략 수립, 그리고 정상인의 노화 과정에서 일어나는 뇌의 구조적, 기능적 변화에 대한 이해가 시급한 실정임

○ 노화 뇌질환 특화 뇌지도 구축에 대한 국민적 요구

- 2016년 한국과학기술원 주관으로 과학기술인을 포함한 일반인 (종사분야: 과학기술 29%, 인문사회 20%, 경제사회 28.5%, 문화예술체육 9.1%, 기타 12.6%) 1614명을 대상으로 한 온라인 대국민 설문조사에서 50%에 달하는 응답자가 뇌질환 특화 뇌지도 구축의 필요성 및 시급성을 제기하였음



[그림 3-21] 대규모 뇌연구사업 주제에 대한 설문조사 결과 (복수선택, 1614명 응답)

□ 노화 뇌질환 특화 뇌지도 사업의 의의

○ 노화 뇌질환에 대한 연구 접근의 독창성

- 전체 뇌연구 사업 중 사회 현안인 **고령화를 대비하기 위한 과제**로서, 신체의 다른 장기와 비교하여 대체 **불가능한 장기인 뇌를 구조/기능적으로 광범위하게 이해함**으로서, 노화와 더불어 증가하는 다양한 뇌질환에 대하여 단순한 증상 중심의 치료가 아닌 원인을 밝히고 해결하는 치료 방법을 개발할 수 있도록 동물부터 환자에 이르는 **다양한 수준의 종합적인 뇌정보를 제공함**
- 본 노화 뇌질환 특화 뇌지도 구축 사업에서는 환자와 동물 모델을 대상으로 하는 연구를 포괄적으로 융합시킴으로써 동물 모델을 사용한 기초 연구와 환자를 대상으로 한 임상연구의 간극을 최소화하는 전략을 채택함
- 구체적으로 환자를 중심으로 한 매크로 수준의 연구로부터 동물 모델을 활용하는 메조, 마이크로 수준의 연구로 진행되는 **Reverse approach** 방식의 접근을 취하여 질환 영역 표적화에 적합한 방식을 선택함
- 더불어, 기존의 연구들이 동물 연구와 인간 대상 연구 사이에 큰 간극이 존재하는 근원적인 문제점을 가지고 있기 때문에, 동물과 인간에 대한 기능적인 매핑을 통하여 공통점을 찾고 분석하는 중개 연구(Translational Research)도 포함
- 기존의 뇌지도 사업에 포함되지 않는 발달과 변화 등 시간의 개념을 포함한 진행형 뇌질환 뇌지도의 개념을 제안하고 있음
- 퇴행성 뇌질환은 질병의 진행 후반기에 이르면 무작위적인 신경세포의 사멸을 동반하기 때문에 질환에 대한 이해 및 조기 진단, 치료법 개발을 위해서는 **질환의 초기 발병단계부터의 질병의 진행 과정에 따른 뇌 신경망 변화를**

연구하는 것이 매우 중요함

- 기존의 국내 뇌지도 사업과 과제간의 중복성이 없으며, 국제적으로 진행되는 뇌지도 사업과도 중복성이 없음 ('2-다 중복성 검토' 참조)

○ 노화 뇌질환에 대한 선제적 대비로 사회적 부담 감소 및 국민적 행복 증진

- 치매, 파킨슨, 조현병, 우울증 등 뇌인성 뇌질환은 미국 등 선진국들이 장기간 막대한 예산을 투자하였음에도 불구하고 뚜렷한 해결 방안을 얻지 못함
- 기존의 연구방식은 노인성 뇌질환이 장기간에 걸쳐 진행되는 퇴행성 질환임에도 증상 중심의 단편적 이해를 통한 접근을 취했기 때문이며, 시공간적 뇌지도 구축과 같은 접근은 기존 접근에 대한 유력한 대안이 될 것임
- 한국인 표준 노화 뇌지도가 구축된다면 뇌영상 (MRI, PET, MEG, EEG 등)을 활용한 치매, 뇌졸중, 파킨슨병 등 노인성 뇌질환의 예측 및 조기진단이 가능해져 의료비 절감을 유도할 수 있고, 새로운 치료기술의 개발에도 역시 도움이 될 것임
- 노화 뇌질환 관련 여러 뇌영역에 대한 멀티스케일 시공간적 뇌지도의 구축을 통하여 노화 뇌질환의 조기 진단을 위한 구조/기능/분자의 바이오마커를 발굴하고 부작용이 최소화된 극히 국소화된 치료 타겟을 규명함으로써 건강한 노인인구를 증가시키고 의료와 간호에 따른 사회경제적 부담을 줄여, 국민적 행복을 증진함

○ 미래 신산업 창출 및 파급성

- 노인성 뇌질환에 대한 근원적인 이해는 질환의 조기 진단 및 가역적인 뇌질환의 억제 및 신규 치료 방법을 도출하게 함으로써 노인 인구의 사회적 참여 기회를 늘리고, 경제적 성장에도 일조하게 함
- 또한, 노화 뇌질환 특화 뇌지도 작성을 통해 얻은 뇌질환 연구 분야의 새로운 원천기술들은 전 세계적인 실버산업의 선두적인 위치를 선점할 수 있도록 하는 밑받침이 될 것이므로 국가 경쟁력 상승에도 기여하게 됨
- 인간의 인지, 신체, 정서의 3대 뇌기능에 대한 뇌지도 구축은 ICT, 인문과학 등 다양한 학문 분야와 융합되어 지능정보기술 개발을 가속화시킴

나. 목표 및 과제구성

(1) 목표 및 최종 결과물

☐ 사업 목적

- ‘고령화’라는 심각한 사회 이슈에 대응하기 위하여, 고령화와 더불어 증가하는 뇌질환을 극복하기 위한 선제적 방법으로 ‘노화 뇌질환 특화 뇌지도’를 구축하고, 그 정보를 제공하고자 함

☐ 최종 목표

- (최종 목표) 운동기능 관련 노화 뇌질환 특화 뇌지도 구축
 - － 세부목표 1. 노인성 운동신경장애 환자 대상 매크로 뇌지도 구축
 - － 세부목표 2. 환자/동물 모델 데이터 중계연구를 위한 동물 매크로 뇌지도 구축
 - － 세부목표 3. 질환의 진행과정에 따른 시냅스 수준까지의 변화 추적 멀티스케일 기능 뇌지도 구축

☐ 성과목표

- 인간 대상 연령별 표준 매크로 뇌지도 2종 확보 (청장년기, 노인기)
- 운동 및 정서 신경장애 환자 대상 매크로 뇌지도 2종 확보 (운동/정서)
- 뇌심부 자극술 혹은 방사선 수술 치료법등을 이용한 치료 전후 비교 특화 뇌지도 2종 확보 (운동/인지)
- 노인성 운동 및 정서 신경장애 신규 동물모델 2종 이상 확보
- 동물모델을 이용한 뇌질환 매크로 뇌지도 2종 확보 (운동/정서)
- 다양한 치료법 적용에 의한 신규 치료 영역 및 치료 프로토콜 1종 이상 발굴
- 광/약물 유전학을 이용한 세포 유형 특이적 질환관련 신경망 기능지도 1종 구축
- 세포 유형 특이적 형광 기반 역향/순향 시냅스 전달 바이러스 2종 이상 확보

- 뇌질환의 진행정도에 따른 신경전달물질 분비 및 활성 변화 프로파일링 2종 이상 확보 (운동/정서)
- 형광 기반의 시냅스 특이적 표지 기술, 조직 투명화 기술, 영상 분석 기술을 통합적으로 활용한, 멀티스케일 구조 뇌지도 2종 확보 (운동/정서)

□ 단계별(연차별) 목표 및 최종 성과물

<표 3-5> 단계별 연구목표 및 주요 성과물

단계	목표	주요 성과물
1단계	노인성 운동신경장애 특화 뇌지도 구축을 위한 파이프라인 확립	통합적 뇌지도 구축을 위한 시공간적 기준 및 프로토콜 표준화 다색상 형광을 이용한 시냅스 특이적 형광 표지 기술 시냅스/세포/회로 특이적 형광 신호의 자동 추적/분석 프로그램 세포 유형 특이적 프로모터 기반 표지 기술 세포 유형 특이적 시냅스 전달 바이러스 단백질 (도파민, 알파-시뉴클린) 활성 변화 탐지 분자 형광 센서 뇌심부 영상의 세포 탐지 및 기능 분석 프로그램 전기적, 광유전학적, 약물유전학적 세포 특이적 활성 조절 프로토콜 운동 관련 뇌질환의 임상 데이터 뇌심부 자극 치료 효과에 따른 임상 데이터 운동 장애 질환 신규 동물 모델
2단계	노인성 운동신경장애 특화 뇌지도 구축	환자 임상 데이터 기반 운동 장애 특화 뇌지도 (매크로 수준) 운동 장애 질환 동물 모델을 통한 기능 뇌지도 (매크로 수준) 운동 장애 특화 기능 뇌지도 (세포/회로 수준, 발달적, 세포 유형 특이적, 단백질 활성) 운동 장애 특화 구조 뇌지도 (시냅스/세포/회로 수준, 발달적)
3단계	노인성 운동신경장애 특화 뇌지도의 활용	환자와 동물 통합 매크로 기능 뇌지도 신규 치료 타겟 뇌영역에 선택적으로 사용될 수 있는 광유전학적, 약물 또는 위치특이적 뇌심부 자극 치료 기법 운동 장애 진행에 따른 신경회로의 변화양상 또는 관련 물질(도파민, 알파-시뉴클린)의 활성 변화 데이터를 통한 조기진단 방법
	노인성 정서 장애 특화 뇌지도로의 확장	운동 장애 특화 뇌지도와 우울증 관련 구조 간의 마이크로/메조 구조/기능 연결망

(2) 중점과제 구성

중점과제		연구내용
노인성 운동신경장애 환자 대상 매크로 뇌지도 구축		비침습적 뇌기능 측정 기법 (MRI, PET, MEG, EEG 등)을 이용한 전뇌 뇌지도 구축
		뇌심부 자극 치료 효과에 따른 임상 데이터 확보 및 분석
		노화 및 장애 진행에 따른 구조/기능 변화 추적
환자/동물 모델 데이터 중계연구를 위한 동물 매크로 뇌지도 구축		운동신경장애 신규 동물 모델 제작 및 검증 행동 패러다임 개발
		비침습적 측정 기법을 이용한 매크로 구조 및 기능 지도 구축
		비침습적 뇌 활성 측정 기법을 이용한 전뇌 기능 연결망 구축
		노화 및 장애 진행에 따른 구조 및 기능 변화 추적
노인성 운동/정서 신경장애 멀티스케일 뇌지도 구축	진행형 기능뇌지도	광·약물유전학적을 이용한 세포 유형 특이적 활성 조절을 통한 운동 신경장애 연결망 분석
		장기간 뇌심부 영상 획득을 이용한 세포 수준 네트워크 연결망 구축
		일체형 뇌심부 자극/뇌심부 영상을 통한 질환 타겟 뇌회로 규명
		신경 전달 물질 (도파민 등)의 활성 변화 프로파일링
	진행형 구조뇌지도	형광 단백질 기반 마이크로 스케일 연결망 매핑
		조직투명화/형광 표지 물질을 이용한 메조 스케일 매핑
		시냅스/세포/회로 수준 구조 뇌지도 영상 분석

(3) 단계별 개발 내용

□ 1단계

○ 노인성 운동 신경 장애 뇌질환 임상 데이터 확보 및 분석 (중점과제 1)

- 비침습적 뇌기능 측정 기법을 이용한 운동기능 이상 임상 데이터 확보 및
정상군과의 비교 분석
- 뇌심부 자극 치료 환자 대상 임상 데이터 확보하여 뇌심부 자극 부위에 따
른 효과정도를 연령별, 치료제 투여량, 투여기간 및 운동기능 회복 정도에
따라 분석

○ 동물 모델에서 노화에 따른 뇌의 구조/기능적 변화 분석 (중점과제 2)

- 노화 진행에 따른 뇌구조와 기능 활성 및 뇌회로 변화 분석
- 운동신경장애 환자 병리와 유사한 신규 동물모델 제작 및 검증용 행동 패러다임 개발
- 노인성 운동 신경 장애(파킨슨병 등) 동물 모델의 뇌기능 활성과 대조군 비교를 통한 질환 관련 활성 변화 추적

운동 신경 장애 멀티스케일 뇌지도 구축을 위한 파이프라인 확립 (중점과제 3)

- 통합적 멀티스케일 구조/기능 뇌지도 구축을 위한 매핑 프로토콜(광/약물 유전학, 3차원 이미징, 조직투명화 등) 개발 및 검증
- 광·약물유전학 활성조절에 따른 기능 연결망의 전기생리학적 속성 분석을 위한 in vitro (조직 슬라이스) 및 in vivo (살아있는 동물) 측정
- 뇌심부 자극/영상을 획득하여 기저핵 중심 뇌심부 운동기능 관련 활성 측정
- 신경전달물질 (도파민 등)의 활성 변화를 영상적 기법으로 프로파일링
- 다색상 형광 표지 기술을 이용하여 세포 특이적 마커 및 시냅스 수준의 신경망 매핑

□ 2단계

○ 환자 임상 데이터를 통한 노인성 운동 신경 장애 뇌질환 특화 뇌지도 구축 (중점과제 1)

- 비침습적 뇌기능 측정 기법을 이용한 운동기능 이상 임상 데이터 추가 수집
- 뇌심부 자극 치료 환자 대상 임상 데이터 추가 확보 및 자극 부위별 상세분석을 기반으로 뇌질환 관련 신경회로의 기능적 구조적 네트워크 모델링

○ 노인성 뇌질환 관련 뇌활성 및 회로 조절을 통한 기능 회복 연구 (중점과제 2)

- 운동 신경 장애 질환(파킨슨병 등) 동물 모델에서 질환 관련 특정 뇌회로의 구조/기능적 정보 확보 및 통합분석
- 환자로부터 얻은 임상적 데이터 (중점과제 1의 1단계 성과물)와 동물 모델에서 얻은 데이터(중점과제 3의 1단계 성과물)의 비교 분석을 통한 중개 연구
- 중개 연구 결과를 활용하여 질환 동물 모델에서 부위별, 시간별 뇌심부 자극술 및 감마나이프 방사선수술을 통한 치료 효과 모니터링

○ 운동 신경 장애 멀티스케일 뇌지도 구축 (중점과제 3)

- 세포 특이적 광·약물유전학 활성조절 및 동물에 직접 삽입한 neural probe를 활용하여 전기생리학적 속성 변화의 시간적 추적을 통한 운동 신경 장애 기능 뇌지도 작성
- 장기적 뇌심부 자극/영상 측정 기술을 활용하여 수백 세포의 동시적인 세포 수준의 장애 진행에 따른 네트워크 활성 변화 모니터링

○ 노화, 운동 신경 장애의 진행에 수반되는 신경전달물질(도파민 등) 활성 변화 프로파일링

- 세포유형 특이적 뇌지도 데이터와 신경전달물질 활성 변화 데이터의 종합적 신경회로 구조 기능 모식화

□ 3단계

○ 노인성 운동 장애 특화 뇌지도의 활용 (중점과제1~3)

- 노인성 운동 관련 질환에서 문제가 생긴 신경 회로를 보완/극복하기 위한 광유전학적 조절 기법, 약물적 또는 위치 특이적 뇌심부 자극 기법 모색 (중점과제 3)
- 2단계의 주요성과물인 환자와 동물의 노인성 운동 장애 특화 뇌지도를 통하여 부작용을 최소화하고 치료 효과를 극대화할 수 있는 자극 타겟을 제시 (중점과제 1~3)
- 노인성 운동 장애 발달에 따른 신경회로의 변화 양상 또는 관련 물질 (도파민, 알파-시뉴클린)의 활성 변화 데이터를 통한 조기진단 방법 모색 (중점과제 3)
- 1, 2 단계에서 얻어진 뇌질환 신경망 변화 프로파일링 데이터와 3세부 과제로부터 확보된 세포 선택적 표지기술을 활용한 시기별 회로 세포 맞춤형 치료기술 모색

○ 노인성 정서 장애 특화 뇌지도로의 확장 (중점과제1~3)

- 운동 장애를 갖고 있는 환자의 경우 매우 높은 우울증 유병률을 보이므로 (특히, 기저핵 관련 운동 장애환자 중 50%가 질환의 진행과정에서 임상적 우울증을 경험), 운동 장애 관련 신경회로망이 정서기능에도 밀접한 관련성이있는 것으로 추정됨

- 따라서 구축된 신경 장애 특화 뇌지도를 기반으로 1, 2단계를 거쳐 표준화한 프로토콜을 활용하여 정서 장애 관련 경로(중뇌 변연피질계 도파민 경로, 편도체, 고삐핵, 뇌간 등)의 멀티스케일 종단적 뇌지도 작성으로 확장 (중점 과제 1-3)

(4) 과제 추진 로드맵



[그림 3-22] 과제추진 로드맵

다. 추진전략

(1) 과제 추진체계

□ 세부과제 구성 및 추진체계

- 본 노화 뇌질환 특화 뇌지도 구축 사업은 세 개의 중점과제와 이하 2~7개의 핵심기술(단위과제)로 이루어져 있음
- 각 중점과제는 책임기관에서 해당 단위과제를 담당할 기관을 학계, 연구소, 병원 중의 대상 기관에서 자율적으로 선정하여 하나의 사업팀으로 지원함을 원칙으로 함
- 노인성 운동신경장애 환자 대상 매크로 뇌지도 구축과 환자/동물 모델 데이터 중계연구를 위한 동물 매크로 뇌지도 구축은 중점과제 1과 2를 통하여 수행 (학,연,병)
- 동물모델을 대상으로 한 노인성 운동신경장애 멀티스케일 뇌지도 구축을 담당할 중점과제 3의 수행주체가 총괄을 담당함 (학,연)
- 각 중점과제는 경쟁을 통하여 수행주체를 결정하게 되며, 일관된 뇌지도 구축을 위하여 총괄과제와의 정기회의 참석을 의무화 하며, 표준화된 프로토콜을 준수해야 함



[그림 3-23] 세부과제 추진체계

(3) 대내외 협력방안

□ 미래부 또는 타부처 유관 사업과의 연계 방안

사업명	과제명	연계방안
뇌과학원천 기술개발사업	MRI 기반 알츠하이머성 치매 특이 뇌 손상 규명 및 뇌지도 구축	본 세부사업은 치매를 타겟으로 하고 있지는 않지만, 이 과제의 결과인 고령 한국인 연령대별 남녀 표준 뇌지도의 연계 활용이 가능
중견연구자 지원사업	기억기능 향상을 위한 뇌 네트워크 기반 뇌자극 기술개발	침습적(직접적) 뇌자극을 통한 기억기능 향상 연구로, 뇌심부자극과 관련된 기능 뇌지도 연구에 연계 활용
질환극복기술 개발사업	뇌질환 치료를 위한 대규모 뇌 연결망 모델링	영상데이터 기반 뇌질환 관련 뇌연결망 모델링 연구로, 멀티스케일 뇌연결망 분석기술 개발 연구로 연계 가능
질환극복기술 개발사업	자폐스펙트럼장애에서 초고해상도 뇌영상 기법을 이용한 사회적 뇌 연결망 및 사회적 보상-학습기전 이상 규명 연구	자폐아 대상 영상기반 뇌 연결망 연구로, 신경회로 기반 진단기술 개발로 연계 가능
질환극복기술 개발사업	알츠하이머치매 치료 효과 평가를 위한 뇌 분자영상 및 뇌 연결성 분석 기술 개발	뇌 분자영상 및 뇌 연결성 분석 기술 참조 및 활용
뇌과학원천기 술개발사업	신경병리 PET 영상기반 알츠하이머성 치매 조기진단 및 예측 기술 개발	신경병리 PET 뇌영상 기반 치매 노인 뇌지도 구축 기술 참조 및 활용
뇌과학원천기 술개발사업	뇌발달 지도 구축을 통한 뇌발달장애 진단기술개발	뇌영상 기반 매크로스케일 뇌지도 작성기술 참조 및 활용
중견연구자 지원사업	분자 뇌지도 작성을 통한 마우스 시상핵 뇌기능 및 커넥톰 분석	마우스 시상 분자 뇌지도 작성 기술 참조 및 활용
중견연구자 지원사업	꼬마선충 모델에서 광유전학 기법을 활용한 행동 조절 신경회로 규명 및 손상신경회로 기능 회복 연구	광유전학과 네트워크 분석 기술의 융합을 통한 기능적 신경 회로의 규명 기술 참조 및 활용
보건의료기술 연구개발사업	영상 바이오마커 기반 뇌졸중 예후 예측 및 치료방침 결정 시스템 개발	뇌졸중 영상 바이오마커 자동 측정/분석 프로그램 및 통계 분석 기법 참조 및 활용

□ 총괄과 세부사업간 연계, 협력 방안

- 3세부과제에서 개발되는 다양한 뇌지도 구축 기술을 점진적으로 적용한다면, 운동 신경 장애의 기능적인 신경망 조절회로를 규명하는데 가속도가 붙을 것으로 예상됨
- 이러한 조절회로 규명은 4세부과제인 인공지능에 그 정보를 제공하여 새로운 패러다임을 확립할 수 있는 기초가 됨
- 또한, 5세부과제인 정밀의학을 위한 진단 및 치료에 활용될 수 있으며, 뇌지도정보를 활용한 세포 유형별 선택적 치료가 가능한 원천기술 확보에 기여함

2. 뇌지도 챌린지 기술 개발

가. 배경 및 필요성

(1) 기본 개념 및 범위

□ 정의

- 마이크로-메조-매크로 수준의 멀티 스케일 뇌지도 작성은 신경 회로 연결망을 3차원으로 재구성하는 것
- 뇌시료 제작, 전자현미경과 광학현미경을 이용한 이미지 획득, 3차원 재구성으로 이뤄짐
- 각 뇌지도 작성 단계별로 확보된 기술을 개선 또는 신개념 기술 개발을 통해 1) 뇌지도 작성에 필수적인 툴킷 개발과 2) 뇌지도 기반 뇌기능 도출 뉴로툴을 포함하는 뇌지도 작성 기술 고도화

□ 주요 개념

- **뇌지도 작성 툴킷**: 뇌지도 작성을 고속화하는 과정을 통해 기술적 진보를 견인하여 반복적이고 장시간을 필요로 하는 뇌지도 작성을 단순화, 표준화, 자동화 하는 기술
- **단위 신경회로망 가치 뇌지도**: 단백질, 전사체, 대사체, 인터엑톰, 신경활성 등의 정보를 단위 신경세포 간 연결망 수준에서 작성한 분포도. 구조 뇌지도에 대비되는 기능 뇌지도
- **멀티스케일 뇌지도 (다층적 뇌지도)**: 나노-밀리미터의 여러 스케일의 구조 뇌지도와 가치 뇌지도가 통합된 형태 (그림 1). 구글 지도가 구조 지도를 의미한다면 페이스북의 사람 연결망은 기능/가치 뇌지도를 의미함
- **단위 신경회로 활성화**: 구조 뇌지도를 블루프린트로 신경회로망 수준에서 표현된 신경 활성화 정보
- **세포 수준 신경신호**: 단일 신경세포에서 발생하는 신경신호. 전기신호로서 금속 전극을 이용하여 측정
- **단위 신경회로 신경신호 측정**: 단위 신경세포 간 전기신호의 변화를 시냅스 수준에서 측정, 신경회로 제어 타겟을 정밀하게 도출하기 위한 전단계

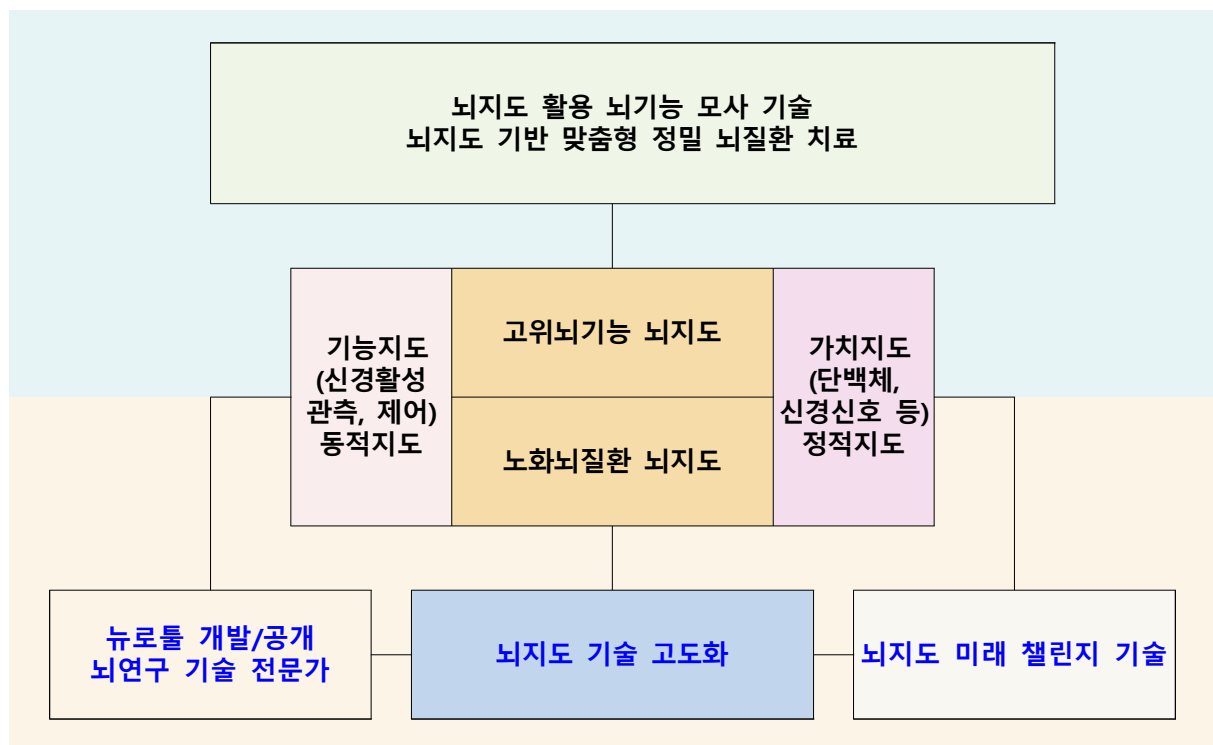


[그림 3-24] 멀티스케일 (다층적) 뇌지도 개념도

- 세포 수준 신경회로 정밀 제어: 뇌질환 및 뇌기능과 관련된 단위 신경세포에 자극을 가하여 신경회로의 동작을 변화시킬 수 있는 기술
- 회로 수준 신경신호 정밀 제어: 단위 신경회로를 구성하고 있는 뇌 부위를 자극하여 시냅스 수준에서 신경회로의 동작 원리를 밝히는 기술
- 신경회로 기능 연결망: 신경세포의 기능을 담당하는 단백질, 전사체, 단백질 변형, 대사체 등의 분포, 이동, 활성, 결합 및 네트워크를 신경회로망 수준에서 이해, 분석하는 기술
- 멀티모달 뇌지도 분석 기술: 여러 집단에서 생산되는 뇌지도를 표준화하고 고속으로 빅데이터를 처리하여 DB화, 분석하는 기술
- 단위세포 유전자 발현 매핑: 멀티플렉스 FISH 기술 등을 단일 세포 단일 분자 단위로 확장하여 뇌 전체 유전자 발현을 분석하는 기술
- 단위 뇌세포 분자수준 3차원 융합 이미징: 신경회로의 분자수준 해석을 위해 단위 신경회로망을 3차원, 고해상도로 이미징하는 기술
- 커넥톰 모티프: 펩타이드 모티프, 유전자/단백질 도메인과 같은 개념의 신경회로망에 진화적으로 보존된 기능 모티프

- 커넥톰 재조합: 박테리아에서 플라스미드를 재조합하여 분자생물학의 급속한 발전을 이끌었던 기술을 커넥톰에 적용한 미래기술로 커넥톰을 임의대로 구성할 수 있는 기술
- 커넥톰 테스트 튜브: 커넥톰이 이미 잘 알려져 있는 예쁜 꼬마선충, 일부가 밝혀지고 있는 초파리 등의 소동물. 테스트 튜브에서 커넥톰의 구조-기능의 심층 연구를 수행할 수 있음
- 커넥톰 발생: 커넥톰은 완결된 형태로 태어나는 것이 아니라 신경세포의 생성-사멸의 시간 변수에 따라 발생과 퇴행을 거치게 됨. 멀티스케일 뇌지도는 공간적, 시간적 스케일을 동시에 포함함

□ 범위



[그림 3-25] 뇌지도 활용의 범위

- 뇌지도란 신경회로망의 기본원리를 규명하기 위해 필수 길잡이로 뇌기능이 실현되는 구조적 원리와 동물행동, 사고, 인지, 감정 등의 기능을 이해하는데 필수적인 기술을 표준화, 고도화, 고속화하는 기술의 고도화
- 분자생물학에서 유전자를 시퀀싱하고 유사 도메인을 찾아 단백질 수준에서 기능을 이해하는 기술의 진보가 있었음

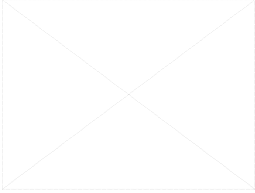
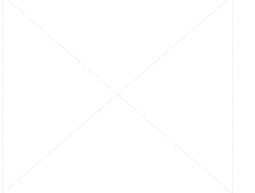
- 신경회로의 경우 커넥텀 시퀀싱, 네트워크 모티프 추출, 신경회로 구조에 의한 기능의 매칭, 사고 인지 네트워크 경로 추출 및 제어, 그리고 신경회로망의 기능 에디팅과 더 나아가 신경회로 미세 구조의 에디팅이 가능할 것임
- 커넥텀 재조합이 가능한 미래를 목표로 2018~2027년 10년 동안 뇌지도를 작성하고 이용하는데 관련된 기존의 기술을 고도화하, 미래 기술을 예측해 제시
- 현재 뇌지도는 구조-기능의 매칭이 아주 제한된 영역에 한해 기술, 제작됨
 - 본 과제 종료시 초고해상도 (150 nm) 수준의 단위 신경세포의 단백질, 유전자 등의 분자정보, 나노-메조 신경 연결망 (전기, 화학) 신호정보 등 멀티스케일 다층적 뇌지도가 고속으로 작성되는 기술적 진보를 견인
 - 2027년 150nm 수준의 해상도로 1cm 뇌조직을 한 달 내에 멀티스케일 뇌지도를 작성, 활용할 수 있는 기술을 태동시키는 것이 과제의 목표임
- 뇌질환 치료를 위한 뇌지도 활용에 필수적인 초고속 가치 뇌지도 작성 기술의 고도화를 위하여
 - **1) 뇌지도 이미지 획득 2) 멀티모달 뇌지도 이미지 융합 기술을 고도화하여** 뇌지도 작성에 필수적인 뇌지도 이미지 빅데이터 획득 및 처리에 대한 기술을 확보
 - 빅데이터 뇌이미지 처리 기술에 대한 원천성을 확보하여 추후에 쏟아져 나올 뇌이미지 처리에 관련된 국내 독자적인 뉴로 인포매틱 플랫폼을 구축
 - 뇌질환 치료에 필수적인 단위 신경세포의 기능과 역할에 대한 정보를 담은 가치 뇌지도에는 3) 신경세포의 정보 (단백체, 유전체 등)와 4) 단위 신경세포의 기능 활성/억제 패턴에 대한 신경생물학적인 정보를 등록함
 - 가치 뇌지도에 필수적인 단위 신경세포의 정보를 추출하기 위한 기술을 고도화함으로써 앞서 확보된 뇌지도 이미지 (구조 뇌지도)와 더불어 다층적 뇌지도로 뇌질환 진단 및 치료의 필수 가이드 뇌지도를 작성하는 기술을 고도화
 - 뇌지도를 획득하는 데 필수적인 기술인 5) 광학 이미징 기술을 고도화함으로써 장비 국산화, 뇌지도 이미지 표준 포맷, 초고해상도 이미지 처리 고속화 기술 등에 대한 원천기술을 확보
 - 이와 같은 5가지 요소 고도화 기술은 국내 뇌연구자 전문가 그룹에서 뇌지도 고도화 관련해 제시된 기술로 뇌지도 작성에 필수적이며 원천기술 확보를 통해 국내 뇌관련 산업 창출에 가교 역할의 요소 기술임 (첨부, 설문조사)

(2) 의의 및 필요성

- 보다 빠르고 정확한 뇌지도 작성하기 위해 현재의 뇌지도 작성 기술을 최적화, 표준화, 고도화하여 저비용, 고속 뇌지도 작성 자동화 기술 조기 확보, 기술 고도화 견인
- 현재 뇌지도 작성은 고비용으로 특정 연구 집단에서 독점적으로, 장기간 수행됨
 - 그룹별 작성된 뇌지도의 연결성이 부족하여 표준화, 고속화가 가능한 저비용의 뇌지도 작성 툴킷 개발이 뇌지도 작성과 더불어 개선 발전되어야 함
 - 뇌지도는 구조와 기능이 동시에 포함된 다층적 형태로 작성되는데 단위 신경세포간 연결망 수준에서 단백질, 신경활성, 신경전달물질 등의 가치정보를 구조 뇌지도에 동기화 필요
- 뇌지도 고도화 기술은 뇌지도 활용 기술을 고속, 표준화 및 고도화 하는 범용 기술로 신경회로 수준의 뇌기능 측정 및 간섭에 관련된 표적 (시냅스, 단위신경세포) 및 조절물질 (단백질, 유전자)을 제시
 - 초고해상도 수준의 단위 신경세포 간의 신경회로망을 이미징, 분석, 통합 하는 기술개발과 관련 장비의 구축, 분석 툴개발, 국산화는 뇌지도 작성, 활용에 필수
 - 여러 종류의 뇌 세포들 간의 연결 패턴을 정확하게 관찰하고 뇌의 활동을 조절하기 위해서는 특정 세포의 분자 정보와 신경활성 정보 연결에 대한 지식이 필요
 - 단위 세포들과 복잡한 신경망들이 시공간에서 상호작용하여 유전자 발현 변화를 유도하는 모습을 보여주는 새로운 동적 영상기술 필요
 - 뇌지도 이미지 추출, 분석 관련 빅데이터 연구 필요

□ 신경회로 수준 분자 이미징, 이미지 분석 기술은 뇌지도 작성과 활용의 요소 기술

- 1) 국한된 관찰 영역 2) 비등방 해상도 3) 생체조직의 불균등성에 의하여 발생하는 광수차문제를 극복하는 기술
- 등방향 삼차원 고해상도로 영상화할 수 있는 신개념의 3차원 고해상도 멀티스케일 융합 이미징 기술
- 해외기술 기업에 전적으로 의존하고 있는 이미징 시장의 선도적 기술개발 및 국제 경쟁력을 통한 신 성장동력에 기여
- 삼차원 selective plane illumination microscopy(SPIM)은 위치에 따라 축방향 해상도가 달라지는 한계로 수 밀리미터 이상 두께의 조직에서는 적용 불가
 - 현재 독일의 Lavision과 Zeiss에 의해 상용화된 SPIM은 넓은 범위를 이미징할 수 있으나, 저해상도 렌즈를 사용할 수밖에 없어, 이미지의 해상도가 방향에 따라 달라져, 실제 실험에 이용하기에는 많은 제약이 있기 때문에 등방향 고해상도 삼차원 이미징 기술이 필요함
 - 국내 광학, 물리학, 레이저, 현미경, 소프트웨어 등 각 분야의 세계 최고수준의 개별 연구진들을 보유하고 있으나 그동안 이들 연구자들 사이에 융합하여 연구를 할 수 있는 환경이 조성 필요
 - 국내 생물학+광학+물리학+IT등 연구진이 융합 연구 및 기술 개발을 통해 생체조직을 등방향 삼차원 고해상도로 영상화할 수 있는 멀티스케일 영상장치 개발 필요
- 기존 광학 영상장비들의 한계점을 극복하고, 등방향 고해상도 (isotropic high-resolution)의 삼차원 조직 이미지를 얻기 위해서는 새로운 방식의 차세대형 멀티스케일 생체조직 융합 이미징 시스템이 절실히 필요
- 항체 염색 후 광학이미징과 전자현미경 (예, airSEM)을 이용한 초고해상도 이미징을 동시에 처리할 수 있는 장비의 국산화와 융합 이미징 뉴로톨 개발을 통해 광학 이미징과 구조 멀티 모달 이미징 실현 필요
- 또한 대뇌조직이외의 다양한 생체조직의 적용을 위해서는 각 조직의 크기와 조직성분의 특성에 따라 발생하는 광학적 오류를 보정할 수 있는 광범위 등방 고해상도 이미징 시스템이 요구됨

고도 화 키워 드	시퀀싱	기능 모티프	에디팅/재조합	초고해상도
분자 생물 학				
뇌지 도				
고도 화 기술	- 신경신호 관측/제어 - 단일신경 오믹스	- 뇌지도 이미지 DB 플랫폼 - 멀티스케일 뇌지도 융합 뉴로툴	- 뇌지도 이미지 분석툴 - 단일회로 신경신호 관측	- 초고해상도 뇌지도 고속 이미징 - 단일 시냅스

[그림 3-26] 뇌지도 작성 기술의 고도화 (분자생물학 기술 고도화와 비교)

□ 21세기 분자생물학 기술 진보 벤치마킹

- AGTC의 연속적인 게놈 서열이 생산하는 22개 아미노산으로 구성된 단백질은 특정한 구조를 가진 펩타이드의 연속 서열로 단백질 구조에 대한 정보가 축적되면서 특정 서열의 펩타이드로 구성된 단백질의 기능 매핑이 가능
- 단백질의 세포내 위치, 상호작용 인터랙툼, 관련 유전자 발현, 발생학적 유전자 변화, 질환관련성, 단백질 전사 후 변이 등에 대한 정보는 추가적으로 단백질의 기능을 더 자세하게 서술함
- 게놈 프로젝트는 이러한 단백질의 변이를 고속으로 측정할 수 있는 기술 개발을 견인 현재 의학, 생물학의 가장 기본적인 분석 방법이 됨
- 뇌지도 고도화 기술개발의 근본 목적에는 신경회로망의 단위 (유전자의 AGTC와 같은) 조차 알지 못하는 한계를 극복하기 위해 집중적인 신경회로망 분석을 특정 뇌영역을 대상으로 뇌지도 작성을 고도화 하는 것
- 뇌지도로 얻게 된 수십만 개의 뇌지도 단위는 염기서열이나 아미노산과 같은 단위 신경회로망에 대한 지식을 제공할 것임
- 기능 신경회로 단위와 여러 가지 기능을 동시에 수행하는 복합 신경회로망에 대한 정보를 제공해 줄 것임

□ 신경회로망의 기본 단위의 정의가 필수

- 유전신경회로의 단위 (길이의 mm, cm와 같은)를 알지 못하기 때문에 고속으로 다량의 신경회로망에 대한 초해상도 이미지를 획득하여 빅데이터 분석, 인공지능 알고리즘 분석과 같이 가용한 최선의 분석 방법을 동원하여 분석
- 신경회로망의 기본 단위로 구성된 복합 신경회로망의 구조와 기능을 추출해 내기 위해 특정 기능을 담당하는 신경회로망에 집중하여 초고해상도의 뇌기능 측정, 제어, 분석할 수 있는 기술 제공

□ 신경회로 구조를 이용해 뇌기능을 예측할 수 있는 기술 수준에 이르면 유전자 재조합, 단백질 정제와 같은 분자생물학 기법이 커넥툼에 적용될 것으로 예측

- 커넥툼 재조합과 같은 뇌지도 분자생물학이 등장할 것임
- 기술의 고도화는 커넥툼을 시퀀싱, 에디팅하는 기술을 태동시켜 뇌질환의 근원적인 치료 방법 개발에 근접할 수 있을 것임

- 신경회로를 재조합하기 위해 커넥톰이 상당부분 밝혀져 있는 초파리, 예쁜 꼬마 선충 (EM 수준의 커넥톰이 분석되어 있음) 등의 모델 동물을 테스트튜브로 사용
 - 유전적인 도구의 발달로 커넥톰의 형성에 관여하는 중요 허브 단백질들을 시간과 공간 특이적으로 조절하는 것이 가능. 커넥톰을 임의적으로 재구성하는 커넥톰 재조합 기술 개발이 가능할 것으로 기대됨
- 단일 신경세포 이미징 고해상도 동시 다수 측정 기술 필요
 - 뇌의 특정 부위에서 단일 신경세포로부터의 뇌신경 신호 측정은 해당 뇌부위의 역할을 규명하고 뇌회로의 동작 원리를 규명하는 데 필수적인 기술임
 - 뇌질환 또는 뇌의 기능과 관련된 기능 뇌회로를 연구하기 위해서는 여러 신경세포로부터의 단위 신경회로 수준의 신호를 동시에 측정. 이를 위해서는 여러 개의 전극을 동시에 삽입하여야 함
 - 단일 신경세포로부터의 신호를 측정하기 위해서는 신경세포의 크기와 비슷한 크기의 마이크로 전극을 사용하여야 하며, 동시에 여러 신경세포로부터 신호를 측정하는 기능이 집적되어 있어야 함
- 신경세포 및 뇌회로 자극을 통한 뇌회로 정밀 제어 기술 필요
 - 뇌질환과 관련된 신경회로 또는 뇌의 기능과 관련된 신경회로를 제어하기 위해서는 뇌의 특정 부위에 신경세포를 정밀하게 자극하는 기술이 필요함
 - 전기신호를 이용한 뇌자극은 국소부위 자극이 어렵다는 단점이 있어서, 뇌회로를 정밀하게 자극하기에는 한계가 있음
 - 신경회로를 이해하기 위해서는 뇌를 다양한 방법으로 정밀하게 자극하는 기술이 필요
- 마이크로-메조-매크로 수준의 멀티 스케일 신경 회로의 정밀제어 및 측정, 분석 툴 개발 필요
 - 신경회로간의 연결구조 및 기능의 통합적 해석을 제시하는 툴이 필요
 - 기존 신경신호간 연결구조의 파악이 가능한 툴로는 전기생리학적 전극 및 fMRI가 있음. fMRI의 경우는 비침습적인 방법으로 인체에 적용 가능하지만 하지만, 신뢰도가 낮고 정보 획득 시간이 길어 신경신호의 연결구조 파악이 힘들

- MRS (magnetic resonance spectroscopy)는 신경전달물질 측정이 가능하다고 알려져 있지만 역시 뇌의 연결고리파악은 불가능함
- 전기생리학적인 신호를 측정하는 방법이 지금까지 알려진 가장 정확하고 안정적인 방법이지만, 실리콘기반 반도체재료를 이용한 소재를 통하여 최소침습형 단일 세포의 다수 동시측정이 가능한 상용화된 전극이 대부분 사용됨
- 실리콘 등 비유연 전극 소재와 소프트한 인내장기인 뇌와의 기계적인 물성치 차이에 의해 뇌의 추가적 손상을 야기함
- 현재까지 공정의 문제 및 융합연구의 부재등으로 신경세포의 측정에만 연구가 진행되어 다양한 소재/소자의 연계연구를 통해 신경신호 자극/측정이 동시에 가능한 툴 개발이 필요
- 미국 BRAIN (Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies)은 컨소시엄을 통해 뉴로툴 개발 시작. 멀티스케일 측정/자극이 가능한 뉴로툴은 초기연구 수준으로 기술 개발 경쟁력 있음

(3) 국내 기술수준 및 역량

□ 뇌지도 이미징 고속화 기술

- 관련 분야의 2대 선도 그룹의 핵심 연구 인력이 한국뇌연구원, 유니스트 등에서 개인 실험실을 통해 융합 연구를 수행 중에 있어 세계 최고 수준의 기술과 상호 보완적인 기술 개발을 수행할 것으로 보임
- 관련 기술은 한국뇌연구원, 유니스트, 서울대학교, KAIST 등에서 제고되어 세계 최고 수준으로 점핑할 수 있는 인적 여건은 마련되었으나 뇌지도 이미징 빅데이터 생산 (관련 이미징 기술 고도화에 필수 데이터 생산), 분석 슈퍼컴퓨팅 시스템 마련, 빅데이터 이미지 저장 방법 등을 해결함으로써 세계 수준의 기술로 진입할 것으로 예상

□ 신경정보 매핑 기술

- 단백질, 유전체 수준의 연구 기술과 더불어 후생유전체학 기술은 현재 국내 다수 연구 그룹에서 최고 수준의 기술과 인력을 보유하고 있음
- 최근 뇌연구 관련 예산의 지속적인 증가로 인해 암, 줄기세포 등의 연구분야에서 관련 기술을 보유한 연구 그룹이 융합 연구 형태로 뇌연구에 참여하고

있으며 뇌연구 예산의 증대와 더불어 최고 수준의 신경정보 매핑 기술을 보유한 연구 그룹이 뇌연구에 참여 가능

□ 뇌기능 측정 조절 기술

- 현재 뇌기능 측정 기술의 최고 선도 그룹 중 하나인 스탠포드 대학의 칼 다이췌로쓰 교수 연구실 수준의 기술을 가진 연구 그룹이 국내 서울대학교, 카이스트 등에 다수 있으며 관련 연구 주제가 독립적이어서 경쟁력이 있음
- 한국뇌연구원에 뇌기능 측정과 관련된 in vivo recording, in vivo imaging 및 실험동물행동 분석 인프라가 구축되어 있어 뇌지도 이미징 기술과 함께 표적하는 신경회로 정보를 획득하고 뇌기능 측정 및 조절 기술을 융합하면 독자적인 최고의 기술 수준에 오를 수 있는 인적, 장비 인프라가 마련되어 있음

□ 3차원 분자 이미징 기술

- 전자현미경을 이용한 구조 지도에 신경정보를 매핑하는 분자 뇌지도를 작성하기 위해서 광학 이미징의 한계 (아베의 법칙)을 뛰어 넘는 초고해상도 이미징 기술 도입이 필수적
- 이러한 초고해상도 이미징 방법은 SIM, PALM, STORM 등이 있으며 현재 각 대학 및 연구소에서 장비와 기술적인 지원이 이뤄지고 있음
- 더 나아가 MIT 대학의 Ed Boyden 교수 등이 개발한 Expansion microscopy 기술은 뇌투명화 (스탠포드 칼 다이췌로쓰 교수 등) 기술과 더불어 초고해상도 뇌지도 작성에 필수 기술임
- 이러한 기술은 현재 공개되어 있으며 변형된 기술이 국내 연구자 그룹에서 보고되고 있음 (예, 고려대 선웅 교수 ACT-PRESTO)
- 이러한 초고해상도 이미징을 위한 뇌시료 제작 기술 뿐만 아니라 이미징 장비 기술도 최근 국내에서 빠르게 개선되고 있는데 로고스 바이오시스템즈는 자체 기술로 디지털 현광현미경으로 시장에 진출해 있고 가변평면이미징 장비를 개발 중에 있음
- 서울의대, 유니스트 등에서 관련 이미징 소프트웨어 개발이 이루어지고 있어 초고해상도 3차원 분자 이미징 기술 개발에 대한 충분한 인력과 기술이 준비되어 있음

□ 빅데이터 융합 기술

- 뇌지도 데이터는 초고해상도 이미지를 수만장 처리해야 하므로 그 양이 수 페타바이트를 넘을 것으로 예상됨
- 그러나 현재 빅데이터 이미지 처리 기술은 수 테라바이트 분석에 머물고 있어 뇌지도 빅데이터 융합 및 분석 기술은 현재 선점되지 않은 미개척분야로 볼 수 있음
- 본 뇌지도 작성을 위해서는 뇌지도 이미지 빅데이터 처리가 필수적이며, 빅데이터 관련 이종분야 연구자들이 참여하여 관련 기술 개발이 이뤄질 수 있을 것으로 보임
- 참고로 본 사업의 기획에 서울대학교, 유니스트 등의 이종분야 연구자들이 다수 참여하였으며 뇌연구자와 융합 연구에 대한 기대가 높은 편임
- 전세계적으로 관련 기술의 수준의 높지 않은편이며 국내 연구자들의 융합 연구를 통해 선점할 수 있는 기술 분야로 판단됨

나. 목표 및 과제 구성

(1) 목표 및 최종 결과물

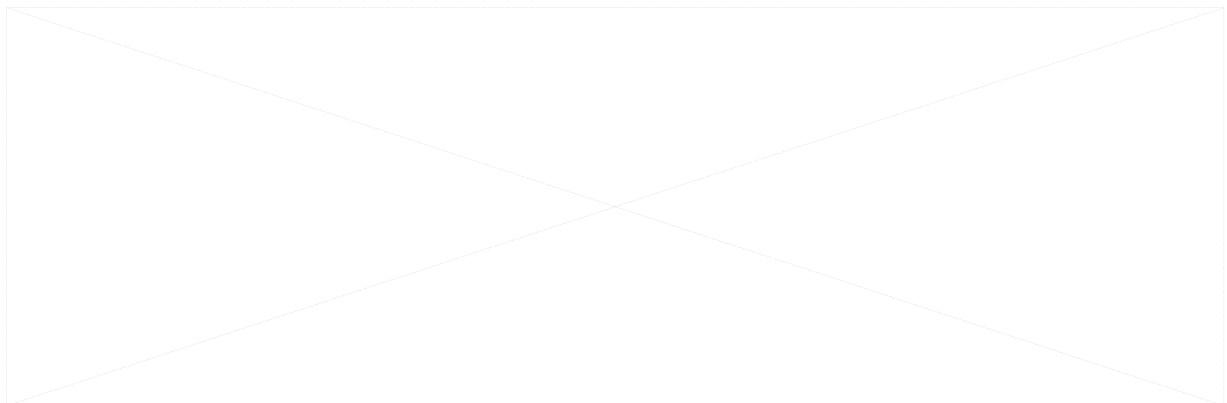
□ 목적

- 우리나라가 선제적으로 정복 가능한 특화 뇌지도 구축을 고속화, 표준화 하는 기술 확보
- 뇌지도 작성의 가장 큰 걸림돌인 뇌지도 이미징, 이미지 분석을 고속/자동화 플랫폼으로 구축, 광역/협역 신경회로의 기능적 연결단위인 신경활성, 가치 뇌지도, 분자 이미징 원천기술/장비 확보

□ 최종 목표

- 특화 뇌지도 작성을 위한 기술 고도화 및 미래 챌린지 기술, 툴킷 개발
 - (세부 목표 1) 멀티스케일 뇌지도 융합 기술 확보 및 뇌지도 이미지 스케일 프리 분석 자동화 알고리즘 확보
 - (세부 목표 2) 뇌지도 기반의 단위 신경세포, 단위 신경회로의 단백질체, 전사체 등 기능 네트워크 매핑

- (세부 목표 3) 신경회로망 입출력 신호 측정 기술 고도화를 통한 멀티, 와이드 신경회로 활성 매핑 기술 개발과 신경회로 정밀 제어 기술 개발
- (세부 목표 4) 뇌지도 작성의 자동화 이미징, 이미지 분석 요소 기술 개발을 통해 작성 시간의 단축 및 DB 병렬 처리 기법, 빅데이터 뇌지도 확보 기술
- (세부 목표 5) 신경회로 및 단위 신경세포, 분자수준 해석을 위한 생물학/광학/물리학/IT 기술이 융합된 3차원 융합 뇌광학 이미징 원천 기술 확보
- 뇌지도 작성 기술 고도화 및 미래 챌린지 기술 개발은 2027년 최고해상도 (시냅스 수준) 뇌지도 이미지를 정적, 동적인 상태에서 고속/자동 이미징, 멀티스케일 이미지 획득, 융합, 관리하는 것을 최종 목표로 함
- 예를 들어, 아래 왼쪽 그림과 같이 시냅스 분자 수준의 동적인 변화와 오른쪽 그림의 연결된 단위 신경세포간의 전기/화학 신호에 대한 정보를 추출하여 광역 신경회로망에 대한 정보를 고속으로 획득하는 뇌지도 작성 기술을 획득하는 것임
- 이러한 뇌지도 작성 기술의 고도화는 미래 챌린지 기술과 융합되어 신경회로망의 시퀀싱, 재조합, 편집 등이 가능한 뇌지도 미래 융합 기술이 도출될 것임



[그림 3-27] 초고해상도 뇌지도의 분자/신경활성 정보: 시냅스 분자의 활성을 디자이너 약물로 조절하거나 (DREADD 2.0) (왼쪽) 행동하고 있는 마우스의 단위 신경세포 활성을 측정, 조절하는 기술 (오른쪽) (미국 신경과학회, 2016, 수정)

□ 단계별(연차별) 목표 및 최종 성과물

<표 3-6> 단계별 연구목표 및 주요 성과물

단계	목표	주요 성과물
1단계 (2018년 ~ 2020년)	주사전자현미경, 광학 이미징 고속화 기술 개발 - 다수 기관의 동시다발적 뇌영상 획득, 분석, 관리 프로토콜 확립 - airSEM 등 전자/광학 융합 이미징 운영, 분석 원천기술 도입	- 뇌지도 이미지 획득 자동화 플랫폼 - 멀티스케일 뇌지도 이미지 관리 플랫폼 - 데이터 처리 관리 소프트웨어 - 뇌지도 작성용 airSEM 융합 기기
	단위 신경회로 가치 뇌지도 기술 - 신경회로 제어 허브 단백질 도출 - 뇌세포 특이적 단백질 인터랙툼 분석 기술 개발 - 단일 신경세포 배양 플랫폼 구축	- 유전체 기반 커넥툼 모티프 추출 기술 - 뇌세포 특이적 단백질 DB - 뇌세포 특이적 핵심 기능 (허브) 단백질 DB 단세포 배양 및 광학 이미징 융합 미세유체 디바이스 - 단일 세포 단위 유전자 발현 매핑 원천기술 모델시스템을 활용한 커넥툼 모티프 원천기술
	세포, 회로 수준 신경 활성화 측정, 제어 기법 개선 및 기술 확산 - In vivo 신경회로망 수준 활성 측정, 제어 기술 확산 - 다중 부위 신경신호 측정을 통한 신경회로 모니터링, 제어 기술 개발	- 초소형 다중 자극 및 다중부위 신경신호 측정 시스템 - 신경회로 모니터링을 위한 다중 부위 신경신호 측정 시스템 - Closed loop 시스템 기반의 정밀 뇌심부 자극기 및 신경회로 정밀 제어 시스템 - 특정세포만 반응하도록 세포 변형 기술 및 자극 프로토콜, 프로브 개발 - In vivo 뇌에서 신경회로 간 연결 강도 추출 연결 특이적 뇌세포 양상물 표지 및 양상물 신경회로 활성 제어 원천기술네트워크 신호 해석 장비무선 신경회로 통신 장비
	멀티스케일 융합 뇌지도 작성 기술 개발 - 뇌지도 이미지 네트워크 및 빅데이터 DB 분석 - MICrONS 등 선진 기술 도입	- 스케일 프리 이미지 분석 알고리즘 개발 - 뇌지도 처리 고속화/빅데이터 처리 툴킷 - 디지털 뇌지도 빅데이터 처리 툴킷
	초고해상도 이미징 원천기술 도입 - 구조적 조사기술을 접목한 광역 및 협역 가변 배율의 다차원 및 광범위 SPIM기반 융합이미징 시스템 기술 도입 - 뇌의 표면과 단면을 동시에 영상화 하는 OCM기반 무표지 방식 3차원 광학영상장치 기술 도입	- 단일/저배율 위주의 기존 광학 현미경에서 광역 및 협역 가변 배율이 가능한 다차원 SPIM기반 융합이미징 시스템 개발 - 구조적 조사기술 (Structured illumination)을 접목한 고해상도 SPIM기반 융합이미징을 구현 알고리즘 - 3D image의 Z 축 해상도 향상 기술 개발 및 OCM기반 3차원 뇌구조 영상을 위한 무표지 광영상기기 개발 - 대면적 산란보정 다개구 파면 제어 기술 개발 구조적 조사(Structured illumination) 현미경 및 STORM 등의 초고해상도 영상 기반 현미경 영상 3차원 복원 기술 개발 - 3차원 단분자 초고해상도 이미징 기술

2단계 (2021년 ~ 2023년)	전자현미경, 광학 이미징 기술 개발 - 멀티스케일 뇌지도 이미징 고속화 기술 - 멀티스케일 이미징 및 분리, 관리, 처리, 분석 플랫폼	-전자현미경 이미징 원천기술 -뇌지도 이미지 저장, 변환, 동기화 등 처리 툴킷 국산화 -구조-기능 신경회로 매칭 툴킷 국산화
	개별 단위세포 신경회로망 특이적 가치 뇌지도 네트워크 분석 - 단위 신경세포 단백질 네트워크 분석 기술 - 단위 신경세포내 전사체, 대사체 초고해상도 분석 기술 - 시냅스 수준의 가치 뇌지도 기술	-뇌세포 특이적 핵심 기능 단백질 연결망 추출 원천 기술 -허브 단백질 활용 커넥톰 재조합 원천 기술 -3차원 뇌투명화 신경회로 수준의 고속 유전체, 단백질, 전사체 정보 획득 원천 기술 -단백질 연결망 지도 기반 뇌세포 기능 조절 원천 기술 -커넥톰 모티프 재조합 원천 기술 -커넥톰 재조합 기술을 이용한 미니브레인 제작 원천기술
	신경회로망 수준 활성 측정, 조절 기술개발 - 국소 신경세포군의 활성에 대한 시공간적 조절 기법 개발 - 광역 양상불 신경회로 관리, 제어 기술	-In vivo뇌에서 신경회로 간 연결 강도 측정 원천 기술 -chronic용 신경신호 측정 시스템 -유연한 구조의 다중자극 및 신경신호 측정 시스템 -신경회로 해석 플렉서블 임플란트 장비
	뇌지도 이미지 융합 - 이종 뇌지도 통합 데이터 형식 표준 정립 - 이종 뇌지도 통합 데이터 플랫폼 구축 - 뇌지도 융합 고속화 플랫폼	-멀티스케일 뇌지도 이미지 분석 기반 알고리즘 개발 -멀티 모달 신경회로 획득, 처리 장비
	초고해상도 멀티스케일 3차원 이미징 - 패턴화 된 조사기술을 접목한 광역 및 협역 가변 배율의 다차원 및 광범위 SPIM기반 융합이미징 시스템 개발 - 뇌의 표면과 단면을 동시에 영상화 하는 OCM기반 무표지 방식 3차원 광학영상장치 구축 - 광과면 제어를 통한 in-vivo functional brain 이미징 기술 개발software 개발	-3차원 세포영상 분절 소프트웨어 개발 -가변 배율기반 광범위 고해상도SPIM기반 융합이미징시스템 완성 -패턴화된 조사기술 (pattern illumination)을 접목한 고해상도 SPIM기반 융합이미징 플랫폼 -3D image의 Z 축 해상도 향상 기술 개발 -신경망 알고리즘을 기반한 고속 3차원 세포영상 분절 소프트웨어 개발 -OCM 영상과 기존의 Macro 뇌영상(MRI, CT)과 Micro 뇌영상(형광현미경)을 중개하는 Meso-scale 광학영상장치
3단계 (2024년 ~ 2027년)	초고해상도 멀티스케일 이미지 획득 관리 기술 - 초고해상도 고속 멀티스케일 이미지, 텍스트 추출, 관리 - 기능 신경회로 추출 관리	-전체 뇌/조직 분석을 위해 대용량 이미지 빅데이터 3차원 재구성, 가시화 및 매핑용 고속 소프트웨어 개발 -조정밀 광역 이미징 기술 -뇌지도 처리 자동화 솔루션 -기능별 신경 네트워크 추출 솔루션

커넥톰 에디팅 미래 챌린지 기술 - 단일 신경세포 유전체, 단백질 분석 - 시냅스 수준의 신경회로 구조 제어 - 단일 신경회로를 삭제, 추가, 연결 가능 기술	- 커넥톰 에디팅 원천 기술 - 커넥톰 편집 원천 기술 - 단일 신경세포 기능 인자 정밀 추출 원천 기술 - 단일 신경회로 기능 인자 매핑 플랫폼 - 단일 신경세포 단백질 네트워크 이미징 장비
비침습형 다중 자극을 통한 신경회로 정밀 제어 기술 개발 - 단일 신경회로, 단위 신경세포 수준의 정밀한 신경활성 측정, 제어가 가능한 미래 챌린지 기술	- 단일 신경세포 수준의 신경활성 측정, 제어 원천 기술 - 단일 신경세포 막단백질 제어 프로브 - 단일 신경회로 제어 반도체 소자 - 무선 모듈이 집적된 고해상도 다중 자극 및 신경신호 측정 시스템 - 신호처리용 회로가 집적된 초소형 신경신호 전극 어레이 - 세포-신경회로 수준 뇌활성 측정 전기/자기 미세 원천 기술 - Close loop 기반의 비침습형 다중부위 신경회로 정밀 제어 시스템
신경망 네트워크 분석 미래 챌린지 기술 - 고위뇌기능 뇌질환의 원인 신경회로망 구현 원리 - 구조-기능 신경회로망 매칭 DB	- 초고해상도 빅데이터 뇌지도 이미지 분석 자동화 플랫폼 - 구조-기능 매칭 빅데이터 기반 솔루션 - 신경회로 기반의 뇌모사 알고리즘 적용 빅데이터 DB 관리, 분석 솔루션 - 신경망 네트워크의 형태적/기능적 매핑 소프트웨어 개발 - 대용량 뇌/신경망 데이터의 고속 3차원 기술 개발
초고해상도 고속 3차원 뇌지도 작성 미래 챌린지 원천 기술 - 고속 광파면 조절기술을 접목한 등방향 고해상도 기술 개발 - 적응광학 기술을 적용한 영상왜곡 보정 기술 개발 - 초고해상도 평면조사 이미징 기술 - 인공지능 기반 자동 영상 분석 기술 개발	- 뇌구조 및 생체조직의 3차원 재구성/구획화/정량화에 특화된 분석 소프트웨어 - 적응광학을 접목한 deep brain 초고해상도 functional 이미징 원천 기술 - OCM 기반 whole brain 수차 측정 및 보정 원천 기술

(2) 중점과제 구성

중점과제	핵심기술
1. 고속 자동 이미징, 뇌지도 분석 툴킷 개발	대용량 뇌지도 데이터 저장, 관리 및 처리 기술
	초고해상도 뇌지도 데이터 분석 및 뇌신경회로망 복원 기술
	스케일에 제한이 없는 뇌지도 작성 및 분석툴
2. 초고해상도 신경정보 (단백질, 유전자) 매핑 기술	신경회로 특이적 허브 단백질/유전자 DB 구축 기술
	단위 뇌세포 특이적 인터랙툼 분석 기술
	유전체 기반 커넥툼 모티프 추출 및 시퀀싱 허브 단백질/유전자를 이용한 커넥툼 재조합
3. 세포, 회로 수준 뇌기능 측정 조절 기술 개발	In vivo 신경회로 간 연결 구조-기능 해석 툴 개발
	단일 신경세포 고해상도 동시 다수 측정 및 정밀 제어 기술
	In vivo 세포 수준 형광 이미지 측정 디바이스/소프트웨어 고도화
	신경회로망 분석 기술 (뉴로트레이서, 고감도 바이러스, 고해상도 모델마우스)
	연결 특이적 뇌세포 양상불 활성 제어 및 기능 커넥툼 재조합 기술 초고해상도 뇌영상 기반 비침습적 신경회로 측정 기술 고도화
4. 멀티스케일 데이터 융합 기술 개발	뇌지도 이미지 기반 스케일프리 (scale free) 빅데이터 처리 기술
	멀티 모달리티 (마이크로-메조-매크로) 기반 다층 뇌지도 융합기술
	멀티스케일 뇌지도 이미지 자동화 처리 및 빅데이터 DB 기술
5. 단위세포 3차원 분자 수준 이미징기술 개발	광관 기반 3차원 등방 고해상도 광이미징 기술 개발
	적응광학 및 광파면 조절기반의 영상왜곡 극복기술 개발
	광범위 3차원 무표지 마이크로 광단층촬영 기술 개발
	뇌 및 생체조직 시편 제작 및 빅데이터 이미지 기반 신경네트워크 분석 소프트웨어 개발

세부 단계별 고도화 기술 내용

뇌지도 작성단계			
	뇌지도 시료	뇌지도 작성	뇌지도 융합
중점 기술	- 초고해상도 고속 자동 이미징 - 신경회로 활성 측정 및 기능 신경회로 추출 - 단위세포 3차원 분자 이미징	- 고속 뇌활성 지도 분석 - 세포 수준 신경 회로 기능 제어	- 멀티스케일 뇌지도 융합 - 뇌지도 이미지 분석 고도화 - 단일 신경회로 단백질, 전사체 연결 지도
핵심 기술	- 마이크로-메조 이미지 고속 획득 기술 - 이미지 획득 표준 프로토콜 - 단일 신경세포 배양 및 초고속 단분자 이미징 - 초고해상도 단일 분자 표지 및 HTS 이미징 - 광역 단분자 3차원 이미징 기술 - 신경 전달/조절 물질의 영역별 활성 프로파일링을 위한 형광 분자 센서 개발 - 허브 단백질 활용 커넥트맵 재조합	- 멀티-와이드 신경회로 기능 매핑 기술 - In vivo 단위 세포 형광 이미징 - 네트워크 신호 분석 기술 - 연결 특이적 뇌세포 양상을 활성 제어 기술 개발 - HT 이미지 실시간 자동 분석	- 고속 뇌지도 이미지 분석 - 멀티스케일 빅데이터 처리 기술 - 마이크로-메조-매크로 뇌지도 융합 기술 - 멀티스케일 뇌지도 이미지 일괄 처리 기술 - 뇌세포 특이적 단백질 인터랙트 분석 기술 - 뇌세포 특이적 단백질 연결망 지도 분석 기술 - 단분자 세포 이미징 기술 - 커넥트맵 시퀀싱 기술
장비 국산화	- 멀티스케일 뇌절편 고속 획득 장비 - HTS 뇌투명화 이미징 시스템 - 허브 단백질 추출 분자생물학 장비/시료 - 초고해상도 단분자 이미징 광학장비 - 광역 3차원 고속 이미징 광학 장비 - 커넥트맵 재조합 장비	- 미세 뇌신호 측정 스캐너 - 광역 뇌신호 동기화 장비 - 신경활성 실시간 초고속 측정 장비 - 미세 신경회로 자극기	- 초고해상도 이미지 획득 분석 플랫폼을 적용한 컴퓨터 비전을 고도화한 이미지 센서 (카메라, 현미경 등 광학 장비에 활용) - 고도의 뇌지도 빅데이터 처리 기술을 활용한 솔루션 장비 - 기능성 신경회로망 유닛을 탑재한 신경회로망 모사 IoT

[그림 3-28] 세부 단계별 고도화 기술 내용

(3) 단계별 개발 내용

□ 1단계

- 주사전자현미경, 고해상도 광학 이미지 고속 획득 기술
 - 뇌지도이미지 자동 획득 장비
 - 뇌지도이미지 고속 처리 관리 기술
 - 다중 획득 뇌지도이미지 표준화 프로토콜
- 단위 신경회로, 신경세포 특이적 기능 단백질, 전사체, 인터랙트 분석
 - 신경회로 특이적 허브 단백질, 신경세포 단분자 전사체 분포 도출

- 단위 뇌세포 단백질체 DB, 단일 신경세포 수준 전사체 매핑
- 다중 획득 뇌지도이미지 표준화 프로토콜
- 초파리, 예쁜꼬마선충 등 모델을 활용한 커넥톰 모티프 구현

○ 세포, 회로 수준 신경활성도 측정 및 제어

- Optogenetics용 광자극 및 약물전달 기능 집적
- 다중 부위 자극 및 다중 부위 신경 신호 측정 기능 집적
- 뇌조직 손상을 줄이기 위한 초소형 구조의 전극 어레이
- 마우스에 사용 가능한 초소형 유체/광/전기 인터페이스 시스템 구현
- 전기자극 및 신경신호 측정을 통한 close loop 시스템 개발
- 기능단위별 신경세포군의 세포유형 선택적 침습적 자극 기술 개발
- 확산텐서영상의 7T MRI 최적화를 통한 초고해상도 신경망 측정기법 융합 기술
- 다양한 타입의 랜덤 샘플링을 가능하게 하는 압축센싱기법의 펄스시퀀스 개발
- 3차원 spherical navigator trajectory 수식 구현을 통한 움직임 보정기술 개발

○ 멀티스케일 융합 뇌지도 작성

- 뇌지도 처리 고속화/빅데이터 처리 툴킷
- 디지털 뇌지도 빅데이터 생산 및 처리 기술
- 다중 획득 뇌지도이미지 표준화 프로토콜
- 뇌지도 이미지 네트워크 및 빅데이터 DB 분석 기술
- 스케일 프리 이미지 데이터 분석 알고리즘

○ 단위 뇌세포 분자수준 3차원 융합 이미징 원천기술

- 단일/저배율 위주의 기존 광학 현미경에서 광역 및 협역 가변 배율이 가능한 다차원 SPIM기반 융합이미징 시스템 개발
- 구조적 조사기술 (Structured illumination)을 접목한 고해상도 SPIM기반 융

합이미징을 구현

- 3D image의 Z 축 해상도 향상 기술 개발 및 OCM기반 3차원 뇌구조 영상을 위한 무표지 광영상기기 개발
- FPGA와 GPU를 이용한 초고속 광학 영상 시스템개발
- 파장가변형 레이저를 이용한 뇌심부 영상 기술 개발
- STORM 등의 초고해상도 현미경 영상 복원 알고리즘
- 영상 stitching기술을 통한 대면적 초고해상도 영상 복원

□ 2단계

○ 멀티스케일 뇌지도 이미지 고속 분석

- 전자현미경 나노 뇌지도 이미지 분석 구도화 기술
- 3차원 뇌투명화 기능 뇌지도 이미지 고속 획득 처리 기술
- 뇌지도 이미지 저장, 변환, 동기화 등 처리 툴킷

○ 단위세포 신경회로망 특이적 단백질 네트워크

- 뇌세포 특이적 핵심 기능 단백질, 전사체 연결망 지도
- 단백질, 전사체 연결망 지도 기반 뇌세포 기능 조절 기술
- 허브 단백질, 단일 신경세포 전사체를 이용한 커넥톰 재조합 기술

○ 세포, 회로 수준 신경활성도 측정 및 제어

- 세포유형별 활성 뇌신경세포군에 대한 동시-선택적 표지 기법 구축
- Chronic 신경신호 측정을 위한 뇌조직 손상 최소화 구조 적용
- 유연한 구조의 다중 자극 및 신경신호 측정 시스템 개발
- 신경신호 처리용 증폭회로 집적을 통한 초소형 시스템 구현
- 행동하는 동물에 적용하여 인지기능 및 행동 기능에 관련된 신경회로망 측정
- 특정 뇌세포 및 단백질의 발현에 대한 비침습적 조절 기술 개발
- 광역 신경 회로망 동시 자극 및 억제 기술 개발

- PET-MRI 시스템을 통해 뇌의 당대사량 및 탈산소혈색소 변화를 동시에 측정하고, 기능 회로망을 복원할 수 있는 융합 기술
- 외부자극에 따라 변하는 신경 다발의 밀도 및 방향성 측정이 가능한 functional DTI 융합 고도화 기술
- 슈퍼컴퓨팅 병렬처리 기반의 초고속 영상 복원 융합 기술 개발

○ 멀티스케일 데이터 융합 기술

- 구조-기능 신경회로 매칭 및 스케일 프리 이미지 데이터 분석 고도화
- 멀티스케일 뇌지도 이미지 분석 자동화 알고리즘
- 이종 뇌지도 통합 데이터 표준 및 플랫폼 구축

○ 단위 뇌세포 분자수준 3차원 융합 이미징 원천기술

- 1단계에서 개발한 가변 배율기반 광범위 고해상도SPIM기반 융합이미징시스템 완성 및 최적화
- 패턴화된 조사기술 (pattern illumination)을 접목한 고해상도 SPIM기반 융합이미징을 구현
- 3D image의 Z 축 해상도 향상 기술 개발 및 OCM 영상과 기존의 Macro 뇌 영상(MRI, CT)과 Micro 뇌영상(형광현미경)을 중개하는 Meso-scale 광학 영상장치의 개발
- 다양한 조직검사 영상과 OCM기반 광학영상간의 비교분석
- 뇌조직과 세포를 동시에 영상화하는 단일 융합 시스템 개발
- 뇌구조의 3차원 재구성 소프트웨어 개발
- 뇌 영상의 구획화 및 정량화를 위한 소프트웨어 개발
- 3차원 세포영상 분절 software 개발
- 신경망 알고리즘을 기반한 삼차원 세포영상 분절 알고리즘 개발
- 다중크기 (Multiscale) 영상분절 및 분석 알고리즘 개발

□ 3단계

○ 뇌지도 이미지 획득 및 멀티스케일 이미지 융합 고도화 기술

- 등방향 고해상도 분석
- 초정밀 광역 이미징 장비
- 초고해상도 평면조사 이미징 기술
- 인공지능 기반 자동 영상 분석 기술 적용 및 자동화 플랫폼
- 세포 수준 신경회로망 활성 측정 제어 장비
- 뇌질환 타겟 기능별 신경회로 네트워크 추출 인공지능 알고리즘
- 단일 신경세포 단백질 네트워크 이미징

○ 세포, 회로 수준 신경활성도 측정

- 고해상도 신경신호 측정을 위한 고집적 전극 어레이 개발
- 무선 자극 및 신경신호 측정을 위한 무선 모듈 집적
- 신경신호 처리 및 무선 자극 신호 처리를 위한 회로 집적
- 고해상도 전극이 집적된 무선 자극 및 무선 신경신호 측정 기술 개발
- 행동하는 동물에서의 신경회로망 측정을 위한 초소형 무선 자극 및 신경 회로망 측정 시스템 개발
- 초음파 트랜스듀서 어레이를 이용한 국소부위 자극 시스템 개발
- TMS와 초음파 및 tDCS를 이용한 신경 세포 자극 기술 개발
- Closed loop 자극을 위한 신경신호 측정 전극 집적
- 다중부위 비침습 자극을 통한 다중 신경회로 동시 제어 기술 개발
- 비침습적으로 매크로스케일의 뇌 구조/기능 영상을 초고해상도 및 초고속으로 측정하는 기술 개발 및 안정화 및 기술 확산
- 압축센싱기법과 슈퍼컴퓨팅 병렬처리 기술의 적용을 통한 실시간 뇌지도 구현 기술 개발 및 안정화 및 기술 확산

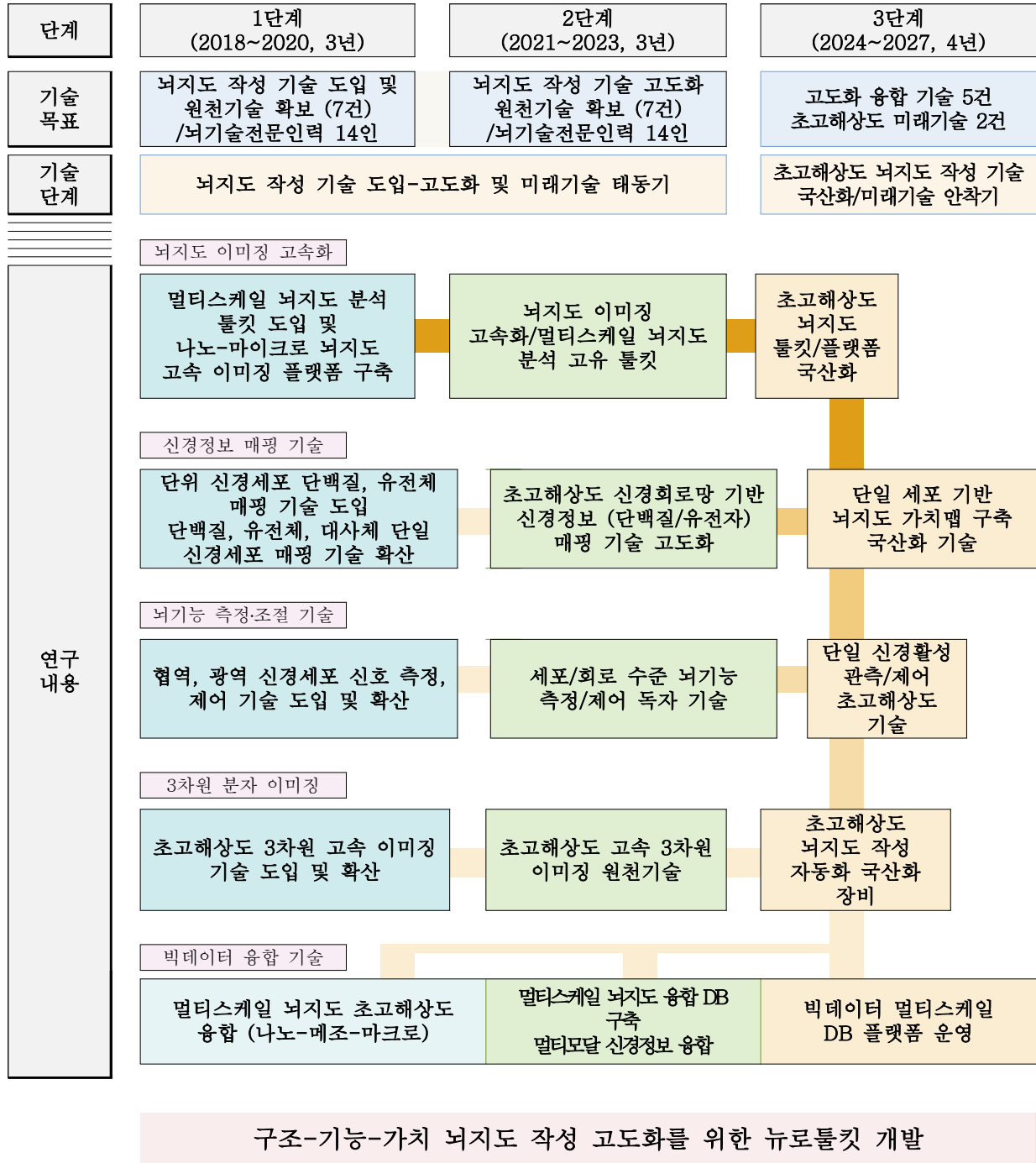
○ 단위 뇌세포 분자수준 3차원 융합 이미징 원천기술

- 조직 불균등성에 의한 이미지 왜곡을 보정할 수 있는 광파면 조절 기반으로

등방향 고해상도 기술 개발

- 광학 이미징시에 샘플을 이미징 하는 방향에 따라 해상도가 다르게 나오는 문제점을 해결하기 위해 적응광학 (adaptive optics)기술을 적용한 영상왜곡 보정 기술 개발
- 뇌조직과 세포를 동시에 영상화하는 단일 융합 시스템 개발
- CLARITY, DNA-PAINT, SPIM, adaptive optics를 결합한 whole-tissue super-resolution SPIM scope 개발
- 전체 뇌/조직 분석을 위해 대용량 이미지 빅데이터 3차원 재구성, 가시화 및 매핑용 고속 소프트웨어 개발
- 신경망 네트워크 분석 소프트웨어 개발
- 대용량 뇌/신경망 데이터의 고속 3차원 가시화 기술 개발
- 신경망 네트워크의 형태적/기능적 매핑 소프트웨어 개발
- 전체 뇌/조직 분석을 위해 대용량 이미지 빅데이터 3차원 재구성, 가시화 및 매핑용 고속 소프트웨어 개발
- 단위 신경세포 별 신경정보, 구조정보, 기능정보 등이 통합된 가치 뇌지도는 빅 데이터 형태로 일반에 공개되는 플랫폼 형태를 가지게 됨

(4) 과제 추진 로드맵



[그림 3-29] 과제 추진 로드맵

다. 추진전략

(1) 추진전략

□ 뇌전문 기술자 양성

○ 뇌연구 전문 기술 도입

- 최신 뇌지도 작성과 관련된 기술을 최대한 허브 기관에서 도입후 기술 세미나, 연수연구원 기술 워크샵을 통해 기술 확산

○ 이종분야 연구 인센티브 및 뇌전문 기술 인력 양성

- 공학, 물리학, 화학 등 이종분야에서 뇌연구자와 협력하여 주도적으로 참가하는 연구팀에 인센티브 제공, 우리의 뇌지도 작성 관련 기술 개발 주도
- 이종분야 출신 연구자 중에서 뇌연구 지식을 고도화하여 새로운 기술을 개발할 능력을 갖게된 뇌전문 기술자를 양성, 기술 개발의 인프라 확보

□ 국내산 뇌기술 기반 기기 개발

○ 이미징 장비

- Expansion microscopy, 고해상도 SPIM 등 최신 영상 기술은 어디에도 선점되거나 상품화 되어 있지 않음. 뇌지도 챌린지 기술을 고도화 추진을 통해 국내 이미징 장비 개발 견인
- 국내산 이미징 장비로 뇌지도 이미지 데이터를 제작하여 기존 외국 장비 위주의 연구 탈피
- 뇌지도 자체가 빅데이터 이므로 뇌지도용 이미징 장비의 시장은 크게 확대될 것임

○ 신경회로 활성 측정 및 제어 장비

- 현재 선도적인 기업의 신경회로 측정 및 제어 장비는 대부분 기술집약 형태로, 기술 도입기 이후 고도화기 (2단계)부터 국산 원천 기술 도출
- 국산 원천 기술에 기반한 장비 제작 및 생산 관련 참여 기업에 인센티브 제공 (뇌연구 전문 기술자 파견, 허브 기관 인프라 활용 등)
- 3단계부터 국산 신경회로 활성 측정 및 제어 장비로 얻은 데이터를 멀티스케일 뇌지도를 다층화하는데 활용

(2) 과제 추진체계

□ 세부과제 구성 및 추진체계

- 뇌지도 작성 고도화 기술 개발의 특성으로 인해 이종분야 융합연구가 필수적임
- 지속적인 뇌과학 발전을 위해 고도화 기술을 개발, 개선할 전문 뇌연구자 인력 양성 시스템 구축
- 뇌지도 고도화 기술 연구 내용과 뇌연구 전문 기술 인력 양성 계획을 동시에 평가
- 고도화 기술간 융합을 위한 테스트 베드 구축 및 스케일 프리 이미지 분석 알고리즘의 범용 적용을 통해 뇌지도 빅데이터 처리 고유 기술 확보
- 초고해상도 (150 nm) 뇌지도 (구조-기능-가치 통합 뇌지도) 고속, 자동화 확보를 통해 뇌질환 치료 타겟 신경회로망 해석 기술 제시
- 허브-스포크 모델을 통한 고도화 기술의 테스트 베드 운영

Hub (중심연구단)	Spoke (개별연구실)
뇌지도 작성 기술, 인력 핵심 인프라 확보 뇌지도 작성 기술 표준화 빅데이터 DB 집적, 관리, 공유 플랫폼 운영 뇌지도 고도화 기술 인력 워크샵, 교육, 채용 안정 정책 마련	고속 자동 이미징 기술개발 가치 뇌지도 정보 획득, 이미지 처리 기술 이미지 분석 뉴로툴, 이미지 자동 분석기술 개발 기능 뇌지도 빅데이터 DB 제공 멀티스케일 뇌지도 융합 DB 제공 초고해상도 광학 이미징 원천 기술 개발 광학 이미징 장비 개발

(3) 대내외 협력방안

- 1단계 기술도입 및 국산 원천기술 도출을 시작으로 산자부, 미래부 융합의 기술 기반의 제품 개발에 대한 기회가 발생할 것으로 예측되어 2단계부터 산자부 및 기업 참여 유도 및 2단계 성공적인 안착
 - 3단계 진입 후 국산 원천기술은 다양한 장비 개발에 응용되고 국산 장비를 활용한 뇌지도 작성이 활발해질 것임. 관련 산업 생태계가 조성되고 자생적인 뇌연구 시장을 태동시킬 것임. 이러한 생태계 조성은 보건복지부 등 뇌건강 관련 산업에 파급 효과를 가져올 것임
 - 국내 전자, 전기, IT 산업계는 현재 미미한 뇌관련 산업의 시장 가치가 상승하면서 자연스럽게 뇌연구 관련 생태계로 편입될 것임.
 - 선발 신경기술관련 기업들의 참여가 뇌연구 관련 생태계 조성에 크게 영향을 미칠 것이므로 1단계 연구개발단계에서 기업과 관련 기술 개발의 역할을 분담할 필요가 있음
 - 뇌지도 작성 기술의 고도화는 곧 뇌지도 정밀 활용기술로 전용되어 임상에서 크게 기여할 것으로 보임. 보건복지부의 뇌질환 극복 사업과 연계 가능성이 높음
 - 뇌전문 기술자 양성 프로그램의 지속적인 유지를 위해 교육부의 학연 협력과제, 뇌과학 전문가 학위과정 등 프로그램으로 진화 계기 마련
- 뇌지도 작성 국가간 협력 사업 수행으로 뇌지도 작성 기술 기반의 국제 협력 촉진
 - 국가간 뇌지도 작성 협력 사업에 참여 뇌지도 작성 기술의 고도화 오픈 리소스 개발에 참여
 - 국제 뇌지도 작성 기술 개발 공개 플랫폼 개발에 참여하여 국가 표준 기술 개발에 참여
 - 국제 거대 장비회사와 협력할 수 있는 국내 뇌연구 기업의 협력 견인을 통해 국제 시장에서 성공할 수 있는 이미징 장비 공동 개발
 - 뇌이미지 빅데이터 처리 및 관리 알고리즘의 표준화 추진

3. 차세대 AI 연계 연구

가. 배경 및 필요성

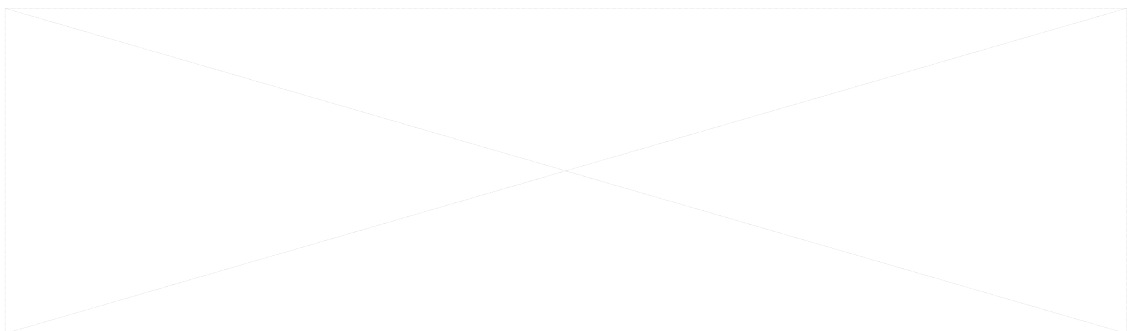
(1) 기본 개념 및 범위

□ 정의

- (정의) 뇌의 구조 및 기능에 대한 포괄적 이해를 바탕으로 뇌신경계의 정보처리 메커니즘을 모사한 “뇌모사 지능 모델” 연구

□ 주요 개념

- Neuro-Perception: 뇌의 인식 정보처리 메커니즘을 모사한 인간 수준의 감각지능 통합 지각판단 회로를 개발
- Neuro-Emotion: 뇌의 감성영역 신경회로의 작동 원리에 바탕을 둔 인간 감성을 모델링하여 인간 수준의 감성을 표현할 수 있는 뇌모사 감성 모델 연구
- Neuro-Action: 뇌의 운동조절 신경망을 모사한 인간 수준의 복잡한 수행능력을 갖춘 뇌모사 행동 모델 연구
- Neuro-Cognition: 고차원 인지기능 (기억, 언어, 의사결정 등)을 인간 두뇌와 유사한 원리로 수행하는 뇌모사 인지(판단) 모델 연구
- Neuro-Autonomy: 원샷러닝과 비디오 학습 등을 바탕으로, 주변 환경/상황 및 학습된 지식을 통해 능력을 스스로 증강시킬 수 있는 자가발전 뇌모사지능모델 연구



[그림 3-30] 뇌모사 지능모델의 개념

□ 범위

○ 기존 뇌연구의 결과를 인공지능연구에 활용하고자 하는 도전연구

- 기존 뇌연구와 공학의 만남은 뇌질환 조기진단 기술과 같은 형태이거나 뇌-기계 인터페이스 연구가 주를 이루었음
- 하지만 최근 인지의 대표적인 과정인 학습, 추론, 지각 기전을 밝혀 인공지능 알고리즘 개발에 적용하려는 연구가 태동하고 있어 차세대 AI는 인간뇌의 고차원적 기능을 모사할 것으로 기대함. 이를 위해 자연지능과 인공지능 연계를 통한 상호 보완 발전이 필요함. 본 차세대 AI 연계 연구는 뇌지도 등의 빅데이터를 활용한 뇌 이해 기반 AI 연구로 인간 유사 AI 연구에 있어 하나의 중요한 축임 (뇌과학발전전략, 2016).
- 미국의 MICRoNS프로젝트가 인간 뇌 모사를 통한 인공지능 알고리즘을 개발하고자하는, 기존 지식 기반 인공지능 연구를 개선하기 위한 새로운 종류의 연구임



- 본 차세대 AI 연계 연구는 현재의 딥러닝 기반 AI를 극복하고 코그니티브 AI를 뛰어 넘은 인간 유사 AI를 목표로 함.(뇌과학발전전략, 2016).

	현 황		향 후 방 향
미 래 기 술	• 뇌관련 기술 발전에 의한 신시장 태동 • 선진국 수준의 미래유망 국내 기술분야 일부 존재	선도전략  기술우위 확보	• 선도기술을 활용한 세계 최고 수준 성과 및 실용화 모범 창출 • 세계 선도 뇌관련 기술 확보
AI 연 계 기 술	• 자연지능(NI) 연구와 인공지능(AI) 연구가 독립적으로 진행되어옴 • 뇌연구의 AI연계를 위한 연구자 응집 부재	연계전략  응집/융합	• NI-AI 연계를 통한 상호 보완 발전 • 연구자 응집을 통한 차세대 AI 기반마련 및 핵심기술 도출

- 따라서 본 연구는 현존하는 인공지능이 이르지 못했던 새로운 경지의 차세대 인공지능을 가능하게 할 뇌 모사 통합적 지능 모델의 개발을 하고자하는 매우 도전적인 연구임

○ 연구의 범위

- 본 연구는 기존의 인공지능 연구와 달리, 뇌지도 및 뇌 작동 원리를 활용하여 새로운 인공지능을 제시하고자 하는 연구임
- 본 연구는 고정밀도를 가진 새로운 이미징 기술을 바탕으로 자극을 받아들이거나 뇌가 실제 학습하는 상황 등에 있어서, 뉴런이 어떻게 작동하는지를 관찰함으로써 뇌의 정보처리 메커니즘을 신경 차원의 활동으로 파악하고, 이를 공학적으로 모델링하여 인간과 유사한 인공지능 시스템을 개발하고자 함.
- 현재 딥러닝으로 대표되는 인공지능 기술은 이러한 뇌정보처리 메커니즘에 대한 자세한 이해없이 대량의 학습 데이터를 네트워크에 입력하여 시냅스 가중치를 최적화하지만, 인간의 뇌는 기존의 정보를 기반으로 현재 입력의 정보를 판단하여 적은 데이터로도 시각이나 청각 정보를 정확히 인식할 수 있는 메커니즘을 갖추고 있음.
- 예를 들어 현재의 딥러닝은 특정 물체라고 하더라도 여러 다른 각도, 크기,

색상을 다양하게 한 충분한 학습 데이터를 통해서만 해당 물체를 정확히 구분할 수 있지만, 인간은 특정 물체를 한 번 보고도 마치 충분한 데이터가 있었던 것처럼 그 물체를 인식할 수 있음. 한편, 청각의 경우에 있어서도 현재의 청각정보 인식은 다양한 잡음 환경에 의한 성능저하가 매우 심각하며, 현재 기술은 다양한 잡음 환경 모두에서 충분한 데이터를 한데 모아 학습하는 형태로 진행하고 있으나, 인간은 특정 환경에서의 특정한 청각 정보만으로도 다양한 환경에서 해당 청각 정보를 매우 정확히 인식할 수 있는 능력을 갖추고 있음

- 이러한 연구는 기존 인지과학과 심리학에서 오랫동안 해온 연구와 어느 정도 관련이 있을 수 있지만, 뇌의 정보처리 메커니즘을 신경차원의 활동으로 파악하고 이와 직접적으로 연관시켜 해석하고 공학적으로 모델링하는 연구와는 차원이 다름. 위 설명에 비추어 볼 때, 본 연구는 인지과학/심리학자, 신경과학자, 공학자의 융합적 접근이 필수적이며 각자의 역할은 매우 자명함
- 우리나라는 현재 뇌와 공학을 동시에 연구하는 연구자들의 모임인 “학국뇌공학회”, 뇌의 작동원리를 수학적모델링을 통해 연구하는 연구자들의 모임인 “한국계산뇌과학회”, 인지과학과 심리학을 통해 인간의 고위뇌기능을 밝히고자 하는 “한국인지과학회”와 “한국심리학회” 등의 학회에 다양한 연구자들이 포진해 있음
- 또한 KAIST바이오및뇌공학과, 서울대 뇌인지과학과, 고려대 뇌공학과, 이화여대 융합학부 뇌인지과학전공, 성균관대 글로벌바이오메디컬공학과 등 관련 대학 학과의 수도 폭발적으로 늘어나며 관련 해외연구자들을 끌어모아놓은 상태임. 이러한 폭발적인 뇌공학·뇌인지과학 연구인력이 해당 연구에 참여할 수 있으리라 기대함
- 아래 인지과학/심리학 및 AI 공학과와의 융합 부문 관련 연구 내용을 더욱 구체화하여 포함하였음

인지과학/심리학 연구자들을 위한 융합연구토픽	뇌신경과학/뇌공학/AI 연구자들의 융합연구 토픽
- 인간의 얼굴, 물체 인식의 뇌모사 지능모듈을 구현할 표준화된 인지행동실험 패러다임 개발 및 실험 - 인간의 음성언어인식 기능의 뇌모사 지능모듈을 구현할 표준화된 인지행동실험 패러다임 개발 및 실험 - 인간의 자연어처리 기능의 뇌모사 지능모듈을 구현할 표준화된 인지행동실험 패러다임 개발 및 실험 - 인간의 추론, 판단 기능의 뇌모사 지능모듈을 구현할 표준화된 인지행동실험 패러다임 개발 및 실험 - 인간의 감정, 사회인지 기능의 뇌모사 지능모듈을 구현할 표준화된 인지행동 실험 패러다임 개발 및 실험 - 인간의 고차인지기능들 통합모듈을 구현할 표준화된 인지행동 실험 통합 패러다임 개발 및 실험	- 최근 심리학적 행동실험에서 활용되는 계산모형 개발 연구(참가자들의 행동을 잘 설명하는 계산모형의 뇌신경과학적 타당도를 검증하기 위해 뇌영상자료와의 비교, Hampton et al., PNAS, 2009; Lee et al., Neuron, 2004; Suzuki et al., PNAS, 2016). - 인지과학/심리학에서 얻어진 인간에 대한 뇌기능데이터를 가우시안 프로세스, 변분법적 베이저안, population receptive field 모델, 딥네트워크 모델 등으로 대표되는 공학적계산모델을 통해 해석하는 연구 - 계산모형을 뇌지도를 통해 개선한다면, 훨씬 더 예측력이 좋은 모델을 생성하여 뇌의 작동원리를 파악하여 인간의 뇌를 모사하는 AI 시스템 개발에 큰 도움이 될 것임. - 개념모델과 수학적모델의 경우 실용적인 결과물을 도출하기가 어려우므로, 실제로 테스트 가능한 인공지능 알고리즘을 개발하여 해당 차세대 AI를 실증함.

- 따라서 해당 연구는 공학자 뿐 아니라 심리학자, 인지과학자, 계산신경과학자 등 다양한 분야의 연구자가 참여하여, 기존의 지능모델의 범위를 확장하고자 하나, 연구자에 따라 성과물에 해당되는 “모델”은 개념모델, 수학적모델, 인공신경망모델 등 다양한 범위를 가짐
- 이 과정에서 연구결과물의 검증을 위해 테스트 베드를 제작하여 실현가능성을 실험함. 이 때 모델의 정의와 접근방법이 연구자에 따라 다를 수 있으므로 과정에서 두 부류의 연구자간의 융합이 반드시 필요함



[그림 3-31] 참여연구자별 검증방법의 예시 및 융합가능성

- **개념모델과 수학적모델의 검증:** 행동기반 모델과 행동과 뇌지도 기반 모델간의 비교를 통해 뇌지도가 추가된 모델이 우수함을 보임. 비교와 모델 생성에 있어서 공학자의 도움이 필요함
- **인공지능 모델의 검증:** 현재의 인공지능은 (특히 영상인식) 평균적인 정확도 및 효율성에 있어서는 인간수준에 거의 근접했다고 할 수 있음. 하지만 최근 이슈가 되고 있는 인공지능이 보여준 사회적 편견 혹은 비윤리적 판단의 사례(MS의 챗봇 'Tay'의 부적절한 언행, 구글 사진인식기가 흑인을 동물로 인식함)를 보면 알 수 있듯이, 정확도가 성능 측정의 최우선 척도가 아닐 수 있음. 이러한 부적절한 윤리강령(moral code)이 인공지능 기술의 상업적 발전을 저해하는 중대요인으로 꼽히고 있기에 (Bonnenfon et al., 2016), 인지심리학자와의 협업으로 새로운 성능평가의 지표가 반드시 필요함 (예: 영상인식결과에의 사회적공감, 혹은 도덕적/이타적 가치 표상)

○ 타 세부와의 관계

- 본 세부는 뇌지도 구축과 관련된 1세부의 뇌구조와 뇌작동원리에 대한 이해도를 바탕으로 인간지능수준의 뇌모사지능모델을 만드는 것을 목표로 함



[그림 3-32] 타 세부과제 및 내부 중점과제와의 연계성

(2) 의의 및 필요성

□ 본 사업의 의의

- 본 사업은 실험적으로 측정된 뇌의 실제 뇌지도와 뇌신경신호를 통해 뇌의 지각, 인지, 학습, 언어, 운동, 자율정보처리 등의 뇌 기전을 이해하고, 이를 바탕으로 뇌의 구조와 기능을 모사하는 뇌모사지능모델을 개발함으로써, 뇌의 작동원리 기반의 차세대 AI 개발에 응용하고자 함

□ 추진 필요성 1: 현 인공지능 알고리즘의 한계성과 극복방안

- 인공지능은 지능정보를 근간으로 한 4차 산업혁명 시대를 주도할 차세대 기술로서 미래의 삶의 방식을 혁신할 유망 분야로 인식되고 있음
- 하지만 현재 화재가 되고 있는 인공지능 일고리즘 (딥러닝 외)은 이미 한계점에 다다르고 있음
- 현재의 기계학습 기법들은 데이터에 너무 민감하며 일반화가 힘든 반면에 뇌는 잡음에 강건하며, 비선형적인 실세계 데이터를 잘 학습하기도 하고, 심지어 매우 제한된 양의 데이터에 대해서도 one-shot 학습을 할수 있음
- 이와같은 차이는 기존의 머신러닝 알고리즘과는 다른 뇌의 구조적인 특성과 함께 학습 알고리즘 구동방식도 다르기 때문에 발생된다고 보여짐
- 이와같은 이유로, 제안하는 프로젝트는 뇌의 고차원 인지 수준의 구조적 이해와 더불어, 근본적인 meso. 레벨의 컴퓨팅 모듈들까지 cortical circuit을 이해하고, 이를 바탕으로 한 새로운 인공신경망 모델을 개발하고 이를 학습할 수 있는 혁신적인 기계학습 알고리즘을 개발하여, 두뇌정보산업과 같은 차세대 국가 신산업 창조 및 기존 산업의 고부가가치화를 통한 국가 부흥에 혁명적 기여를 할 수 있다는 목적을 두고 있음
- 제안하는 프로젝트는 뇌지도 작성 기초 연구와의 상호 협력 연구를 통해 발견하는 뇌 아키텍처의 이해를 바탕으로, 뇌에서 근본적으로 일어나는 신경 정보 표현 메커니즘 (representations)의 공학적 이해와 모델, 그리고 신경세포에서 일어나는 기억과 같은 정보의 변환 (transformations)의 수학적 이해와 표현을 통해, 인간 뇌에서 존재하는 자연지능을 역으로 구현하는 차세대 인공지능 신경회로망 및 학습 알고리즘 구현 계획을 가지고 있음

- 이는 meso스케일 cortical circuit에 대해 보다 계획적이며 대규모 뇌과학 실험연구를 기본으로 하며, 나노 스케일의 전자현미경 데이터, 최첨단 광학 현미경 자료 및 고해상도 structural and functional MRI brain mapping 등 정보의 개별 및 융합 이해를 바탕으로 함
- 또한, 제안하는 연구는 뇌기반 cortical 알고리즘의 피드백을 통한 반복 개선 과정을 연구 내용으로 포함하고 있음
- 뇌연구로 부터 제안된 알고리즘을 뇌기반 task (one shot learning, unsupervised clustering, pattern recognition in a complex scene) 에 실행시켜 평가 한 후, 이를 토대로 뇌의 특정 부분들을 더 연구하고, 연구결과를 다시 알고리즘에 적용시키게 됨
- 이와같은 iterative 방법은 각개 분야의 긴밀한 협력을 요구하고 기존 연구에서 실행시키기 힘든 규모의 학제간 협력 연구를 필요로 하고 있음

□ 추진 필요성 2: 실제 뇌 구조 및 기능 기반의 뇌모사지능모델 개발의 필요성

- 10^{11} 개의 신경세포들로 이루어진 복잡한 뇌 신경회로는 뇌의 각 영역별로 서로 다른 뇌의 지도와 정보처리 기전을 바탕으로 지각, 인지, 학습, 언어, 운동, 자율정보처리 등의 고차원적인 뇌 정보처리를 매우 효율적으로 수행함
- 현재 신경과학 실험적 연구 기법을 통한 뇌지도 및 뇌기능의 연구는 Human Brain Project, Allen Institute for Brain Science 등과 같은 우수 해외 기관에서 막대한 연구비를 들여 뇌지도에 대한 많은 데이터베이스를 축적하고 있지만, 현재의 과학 기술로는 대량의 뇌지도 정보를 효율적으로 융합하고 이를 뇌기능과 연계시키는 연구에 많은 한계가 있음
- 또한, 뇌는 가소성, 학습기전, 스스로 발전하는 자가발전능력 등을 통해 지속적으로 뇌의 지도가 유동적으로 변화하고 있지만, 기존의 실험적 뇌 지도 연구법은 이러한 뇌 지도의 변화를 전혀 반영하지 못함
- 따라서, 신경과학적 뇌 지도 및 기능 연구의 한계를 극복하기 위해서는, 실험적으로 직접 측정된 뇌지도와 뇌의 학습 및 정보처리 기전을 반영하는 뇌모사지능모델을 개발할 필요성이 있음
- 이러한 뇌모사지능모델 개발은 뇌 영역별 뇌지도와 정보처리 기전의 신경과학적 이해 뿐만 아니라 차세대 AI 진보에 큰 역할을 할 것임

- “Is the brain a good model for machine intelligence? (Nature, 2012)에서도 인간의 뇌이해에 바탕한 AI 기술의 개발이 매우 중요함을 강조함

□ 추진 필요성 3: 뇌모사지능모델의 장래·시장성

- 뇌연구 및 자연지능과 인공지능의 연계 기술 연구는 인공지능을 근간으로 한 4차 산업혁명의 시대에서 뇌정보처리 메커니즘에 기반한 차세대 인공지능 기술 개발을 이끌 핵심 기술이 될 것임.
- 4차 산업혁명의 핵심은 지능형 시스템 구축으로서, 컴퓨팅 기술의 급속한 발달과 함께 인공지능(AI) 기술의 획기적인 발전을 유도함으로써 코그니티브 컴퓨팅(Cognitive Computing) 시대로 진입할 것으로 예상됨.



[그림 3-33] 토그너티브 컴퓨팅

- 코그니티브 컴퓨팅은 뇌과학, 슈퍼컴퓨팅, 및 나노기술의 세가지 주요 분야의 융합으로 완성됨에 따라, 뇌의 구조 및 기능에 대한 이해는 코크너티브 컴퓨팅 기술에 있어 핵심적인 기반을 제공함
- MarketsandMarkets는 코그니티브 컴퓨팅 시장이 2014년 25억불 시장에서 2019년 126억불 시장으로 연평균성장률(CAGR) 38% 수준으로 성장할 것으로 전망.
- 뇌연구를 통한 인간 이해의 증대는 일상생활 전반에 큰 영향을 가져와 미래의 삶의 방식을 혁신적으로 변화시킬 가능성 확대
- 감성 디자인 건축, 뇌자극 기반의 VR(Virtual Reality)을 이용한 새로운 형태의 영화 및 뉴로 마케팅 등 신산업 분야 창출할 것으로 기대됨

□ 추진 필요성 4: 뇌작동원리와 기전을 밝히는데 뇌모사지능모델의 유용성

- 최근에는 심리학적 행동실험에서 참가자들의 행동을 잘 설명하는 계산모형의 뇌신경과학적 타당도를 검증하기 위해 뇌영상자료와의 비교를 수행하는 연구들이 점차 증가하고 있음(Hampton et al., PNAS, 2009; Lee et al., Neuron, 2004; Suzuki et al., PNAS, 2016).
- 이러한 연구들은 심리학/뇌신경과학/뇌공학 간의 융합적 연계를 가장 잘 보여주는 사례들이라 할 수 있음
- 이는 계산모형을 뇌지도로 통해 개선한다면, 훨씬 더 예측력이 좋은 모델을 생성하여 뇌의 작동원리를 파악하는데 큰 도움이 될 것으로 생각됨



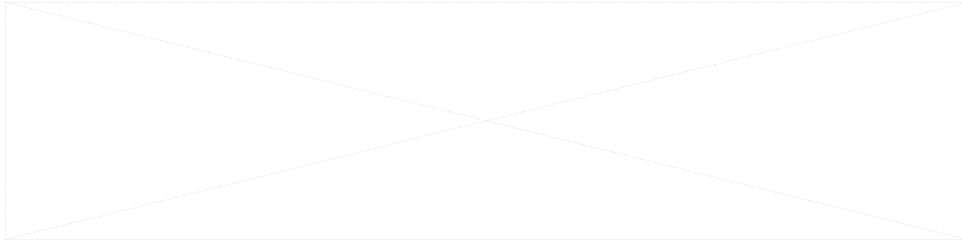
[그림 3-34] 차세대 AI 연계 연구 필요성

□ 추진 필요성 5: 뇌모사지능모델 기반 미래 혁신 기술 개발 (뇌과학발전전략2016)

- 미래산업인 뇌공학산업을 체계적으로 육성 및 발전시키고 차세대 뇌모사 지능모델을 개발하기 위해서 인간의 고차인지기능 별 전체 뇌영역의 정보처리모델의 실제 측정 및 고차 뇌모사지능모델에 기반한 객관적이고 체계적인 연구 및 응용 시스템 개발에의 필요성이 대두됨
- 오감정보 인식, 언어/기억/판단, 지각 등의 고차원 인지, 감성, 수행능력, 자가발전과 같은 뇌의 기능에 대한 모사가 기존에 시도되었으나 뇌의 심층적 이해 부족으로 인해 한계가 있음
- 세계적인 메가트랜드인 인공지능 기술의 도약을 위해서는 인간의 다양한 뇌기능을 매개하는 신경회로와 네트워크의 이해 필요

※ 기존 인공지능 연구는 대부분 딥러닝 기반의 학습과 의사결정 연구에 집중하는 수준

- 인간 뇌의 작동원리 연구를 통한 자연지능(N.I. : Natural Intelligence)과 인공지능(A.I. : Artificial Intelligence) 연결이 돌파구가 될 것으로 전망
 - 뇌모사 시스템 개발을 위하여 뇌 신경구조의 연결구조와 시냅스 활동원리를 인공지능에 접목시키는 심층적 융합연구 필요
 - 학습에 치중되어 개발된 인공지능 시스템의 약점을 감성, 감각, 지각판단을 담당하는 인간 뇌회로 연구의 접목을 통해 극복



[그림 3-35] 뇌모사 시스템 개발 모식도

- 뇌지도 작성으로 인간뇌를 이해하게 되면 보다 우수한 인공지능 알고리즘을 개발하여 보다 뇌와 유사한 컴퓨터 시스템 개발에 기여할 것임.
 - 지각, 감각, 감성지능 회로의 이해로 생각하고 느끼고 인식하는 인공지능 개발 기여
 - 뇌의 기능중 인간고유의 고차원적 뇌인지 및 인간에 대한 정보를 기반으로 지금보다 더 뇌와 유사한 컴퓨터 개발이 가능

뇌연구 분야	연구내용	AI 연계 가능분야
지각판단 회로 연구	인간의 지각판단의 최적화를 위한 신경회로망 연구	공간·사물 인지 등 차세대 패턴인식 알고리즘
감각 지능 회로 다계층화 연구	두 개 이상의 감각정보를 동시 처리, 종합하는 뇌신경망의 신호 측정 및 제어 기술 연구	다중감각 정보처리 알고리즘
감성 지능 회로 심화 연구	두뇌 감성영역 신경회로 및 작동 원리 규명 연구	생각하고 느끼는 인공지능 개발

- 뇌의 고차원적인 기능 뇌모사지능모델을 개발하게 된다면 향후 뇌인지로봇 개발, 고용량 메모리시스템 개발 및 자가발전인공지능 등의 뇌공학 기반의 기술을 이용하여 챌린지 핵심기술을 개발함으로써 실용화를 넘어 신속히 산업화가 가능한 융합연구 및 미래 혁신 기술 개발의 근간이 될 것임
- 따라서, 이러한 연구를 통해 미래 신산업인 뇌산업 분야와 인공지능 분야를 국가적으로 중점 육성하는 것이 필요함

(3) 국내 기술수준 및 역량

□ Neuro-Perception

- 딥러닝 관련 기술과 가장 밀접하게 관련되어있는 분야이며, 따라서 국내 기업들의 세계적인 수준의 영상인식기술 (네이버, 카카오 등), 음성인식기술 (삼성전자, LG전자, SK텔레콤, KT-ETRI)등을 통해 세계적인 경쟁력이 있다고 사료됨.
- 또한 국내 뇌공학 (고려대), 뇌인지과학과(서울대, 이화여대), 의공학과(고려대, 성균관대, 한양대, 서울대 등) 등에서 다양한 뇌영상 연구를 통해 기존 뇌영상데이터를 활용한 연구에도 어느정도 기술이 축적되어 있음. 특히 시지각과정의 뇌영상학적연구 (서울대)는 활용할만 함.
- 그러나, 국내 기업들의 인공지능 관련 연구는 활용 위주인 반면, 본 세부에서 진행하고자하는 뇌작동원리 기반 차세대 인공지능에 관한 연구는 미비한 편임.

□ Neuro-Emotion

- Emotion과 관련된 인공지능 연구는 미비하나, 성격특성 및 정서조절의 개인차 관련 신경학적 요인이라던가, 정서발달 신경학적 규명을 위한 동물모형 연구, 관련 뇌영상 연구 (고려대) 등 다양한 뇌과학적 연구가 진행되어있음.
- 현재 가장 시급한 분야임에도 불구하고 현재 국내 수준은 아직 낮은 상태임. 그러나 해외에서도 최근 대두된 분야로 기술 격차는 크지 않다고 할 수 있음.

□ Neuro-Action

- 해당 분야의 경우 중요함에 비해 그간 연구가 미비한 분야 중 하나임. 하지만 최근 국내에 관련 분야를 전공한 연구자들이 귀국하여 연구를 진행 중에 있음. (단국대, 고려대 등)
- 이 분야는 뇌공학관련 연구자들에게는 바로 활용이 가능한 뇌-기계 인터페이스 연구가 주를 이룸: 뇌졸중환자의 보행의도를 EMG, EEG, fNIRS등의 장비를 통해 추론하여 보행재활로봇을 제어하는 연구 (DGIST, KIST), 원숭이에 적용하는 침습형 뇌-기계 인터페이스 연구 (서울대), 인간행동 의도 인식 연구 (고려대, 한양대 등), 대뇌 운동령에 관련된 연구 (서울의대)

□ Neuro-Cognition

- 인지기능은 인공지능 연구의 가장 기본적인 연구로 국내 여러 대학 (서울대, 경북대, 고려대, KAIST 등)에 관련 전문가들이 포진하고 있으며 해외 학회에서 활발하게 활동하시는 연구자 분들이 많이 있음.
- 또한 다양한 뇌과학적 연구가 진행되고 있는 분야로 경쟁력이 있다고 사료됨. (서울대, 고려대, 연세대, 중앙대, KAIST, 경북대 등)

□ Neuro-Autonomy

- 실제 인간의 뇌의 추론 모델에 기반한 자가발전 기술은 국내외에서 아직 구현된 바 없음.
- 엑소브레인(ExoBrain) 과제에 참여중인 솔트룩스는 자동으로 인터넷에서 정보를 검색하여 지식을 구축하는 AI 기반 지식 엔진 아담(ADAM)을 6월 2일 발표함.

나. 목표 및 과제 구성

(1) 목표 및 최종 결과물

□ 목적

- 뇌의 기능과 구조의 포괄적 이해에 바탕을 둔 인간 수준 뇌모사지능모델 개발을 통한 새로운 뇌산업 창출에 기여

□ 최종 목표

- 오감정보 융합 기반 인간 뇌 인식 수준의 지능모델 구현 및 인간 뇌 고차원 인지기능을 모방한 차세대 뇌모사지능모델 구현
 - (세부목표 1) 뇌지도 기반 차세대 meso scale 지각판단회로 및 학습기법 연구를 통해 감각지능 통합 인지회로 개발
 - (세부목표 2) 인간 감성정보처리 뇌신경회로의 작동 원리에 기반한 인간처럼 느끼고 판단하는 뇌모사 감성모형 개발
 - (세부목표 3) 인간의 운동조절 신경망을 모사한 자연스럽고 복잡한 운동능력을 표상하는 뇌모사 행동 모델 구현
 - (세부목표 4) 인간의 고차원 인지기능(기억, 언어, 의사결정, 감성 등)을 인간 두뇌와 유사한 원리로 수행하는 뇌모사지능모델 및 학습 기법 개발
 - (세부목표 5) 주변 환경/상황 및 학습된 지식을 바탕으로 능력을 스스로 증강시킬 수 있는 학습 방법 및 모델 구현

□ 단계별(연차별) 목표 및 최종 성과물

<표 3-7> 단계별 연구목표 및 주요 성과물

단계	목표	주요 성과물
1단계	NeuroPerception과 NeuroEmotion의 핵심파트에 집중 NeuroPerception (인식지능) 뇌지도 작동원리에 기반한 차세대 meso-scale 뇌모사 지각판단회로 및 관련 지능모델 연구 NeuroEmotion (감성지능) 인간의 감성정보처리 뇌신경회로를 규명하여 인간 감성을 보다 정교하게 모사하는 알고리즘을 개발하고, 이를 토대로 인간과 유사한 수준의 감성정보처리기능을 탑재한 차세대 인공지능을 구현하고자 함.	NeuroPerception (인식지능) 뇌지도 작동원리에 기반한 감각지능모델 1종 뇌지도 기반 차세대 뇌모사 지각판단회로 및 학습 알고리즘 1종 NeuroEmotion (감성지능) 뇌기반 감성/공감 정량적 측정 기술 1종 뇌기반 감성/공감모사 지능모델 1종 사회적/산업적 활용을 위한 뇌기반 집단선택 예측 기술 1종
2단계	NeuroAction과 NeuroCognition의 핵심파트에 집중 NeuroAction (행동지능) 운동에 대한 뇌의 신경학적 정보처리과정을 모델링한 행동 생성 지능모델을 구현하고, 인간 행동 빅데이터를 뇌의 행동 원리 역공학 모델링한 운동 예측 지능모델을 개발하여, 이들을 활용해 궁극적으로 양방향 BMI가 가능한 “뇌 감각-운동 회로 기반 웨어러블 신경-로봇팔을 개발함. NeuroCognition (고위인지지능) 뇌지도 및 뇌신경신호 기반 기억 메카니즘 모방 뇌모사지능모델과 인간의 언어이해/요약 메카니즘을 모방한 뇌모사지능모델, 그리고 그들의 학습기법을 연구	NeuroAction (행동지능) 뇌모사 행동 생성 모델 1종, 뇌모사 복잡 행동 표현 시뮬레이터 1종 상황 대응 행동 생성 지능 모델 1종 상황 대응 행동 표현 시뮬레이터 1종 행동 의도 인식 지능 모델 1종 행동 학습 지능 모델 1종 감각-운동 순환 회로 기반 웨어러블 신경-로봇팔 인터페이스 1종 NeuroCognition (고위인지지능) 단기/장기 기억 뇌모사지능모델 및 학습 알고리즘 1종 언어 이해/요약 뇌모사지능모델 및 학습기법 알고리즘 1종
3단계	앞의 4가지 중점의 결과물을 을 NeuroAutonomy로 통합하는 과정 지각-인지-행동 (Perception-Cognition-Action)의 순환모델을 통해 타 중점과제의 내용을 통합하여 시간/문맥 정보 기반 고차원 인지 정보로부터 최적의 차기 행동(Action) 결정하는 지능모델 연구	지각-인지-행동 (Perception-Cognition-Action) 순순환구조 구성을 위한 인공 신경회로망 통합 알고리즘 1종 인간소통(interaction) 및 동기화(motivation) 모델링알고리즘 1종 시간/문맥정보를 반영하는 인공뇌 신경망 모델 구축 알고리즘 1종

(2) 중점과제 구성

<표 3-8> 중점과제 구성 및 중점과제별 핵심기술

중점과제	핵심기술
인간 수준의 감각지능 통합 지각판단 회로 (Neuro-Perception)	뇌지도 기반 Meso 뇌모사 지각판단 회로 및 학습 알고리즘
	인간 뇌 인식 수준에 근접하는 감각지능 통합 인지회로 연구
	감각간 전환학습 및 지식표현/활용기술을 이용한 감각인지회로 고도화
인간 감성 모방 인공신경망 (NeuroEmotion)	감성지능/공감의 신경학적 회로 규명 및 감성공유지능모형 구축
	감성인지 언어모델 개발
	감정-의사결정 상호작용 기반 인공신경망 활용기술 개발
인간 수준의 복잡한 수행능력을 갖춘 뇌모사 행동모델 (Neuro-Action)	운동 원리 기반 행동 생성 모델 구현 및 행동 학습 기법 연구
	행동 분석 이해 기반 행위 인지·예측 기술 개발
	뇌 감각-운동 회로 기반 웨어러블 로봇 팔 제어 챌린지 기술 개발
고차원 인지기능 모방 인공신경망 (Neuro-Cognition)	단기/장기 기억 뇌모사지능모델 및 학습기법
	언어 이해/요약 뇌모사지능모델 및 학습기법
	판단/의사결정 지원 뇌모사지능모델 및 학습기법
자가발전 뇌모사지능모델(Neuro-Au- tonomy)	뇌지도 기반 자가조직형 신경망 구축 기술 개발
	인식-판단-행동 순환구조 개발
	고차원 인지 및 최적 행동 결정 모델 개발

(3) 단계별 개발 내용

□ 1단계

- 1 중점: 뇌지도기반 기본 지각판단 회로 개발
 - 뇌지도기반 meso-scale 뇌모사 지각판단 회로 및 학습 알고리즘
 - 청각 및 시각 정보 기본 지각판단 회로
 - 시청각 감각 통합에 대한 기초 연구 시작
- 2 중점: 감성회로기반 감성모사모델

- 뇌의 감정 처리 작동원리 기반 지능모델
- 감정 의사결정 상호작용에 대하여 연구함
- 3 중점: 운동 원리 기반 행동 생성 모델 구현 및 행동 학습 기법 연구
 - 뇌의 작동원리를 모방하여 자연스러운 단위 운동을 생성하는 뇌모사 동작 모델 구현
 - 뇌의 운동 계획 수립방식을 모방하여 복잡한 운동능력을 표상하는 뇌모사 행동 모델 연구
 - 운동 능력의 전이 학습 구조를 모방한 뇌모사 전이 학습 기법 연구
 - 뇌모사 복잡 행동 표현 시뮬레이터 개발
- 4 중점: 인지기능 기본 단위 개발
 - 단기/장기 기억 뇌모사지능모델 및 학습기법
- 5 중점: 통합인지의 뇌작동원리 분석 및 관련 동향 분석
 - 통합인지의 뇌모사 학습기법 연구 및 뇌작동원리 분석

□ 2단계

- 1 중점: 감각지능 통합 차세대 인지회로 개발
 - 시청각 정보 통합 뇌모사 인지회로 및 학습 알고리즘
 - 감각 정보 통합 고성능 뇌모사 인지회로
- 2 중점:
 - 감정-의사결정 상호작용 기반 인공지능망 활용기술 개발
 - NeuroCognition과의 연계를 통해 감성인지 언어모델 개발
- 3 중점: 행동 분석 이해 기반 행동 인지·예측 기술 개발
 - 인간 행동 빅데이터의 신경학적 분석 모델 연구
 - 행동 빅데이터 기반 행동 인지·예측 모델 연구
 - 행동 모델 학습을 통해 상황 대응 행동을 생성하는 인공 신경망 개발
 - 상황 대응 행동 표현 시뮬레이터 개발

- 4 중점: 인지기능 기본 단위 개발 (기억 및 언어)
 - 단기/장기 기억 뇌모사지능모델 및 학습기법 고도화
 - 언어 이해/요약 뇌모사지능모델 및 학습기법
- 5 중점: 자가구조 수정 지능모델
 - 뇌발달 과정을 통해 뇌회로가 진화하는 과정을 모사하는 지능모델 개발

□ 3단계

- 1 중점: 감각간 전환학습 및 지식표현/활용을 통한 감각인지회로 고도화
 - 시각 정보의 청각 정보 변환 또는 그 역변환을 위한 뇌모사 지각판단 회로 및 학습 알고리즘
 - 손실 시청각 정보의 정보 보완을 위한 변환(전환) 알고리즘 개발 및 감각인지회로 고도화
 - 손실 시청각 정보에 대한 지식 표현 및 활용 기술을 이용한 감각인지회로 고도화
- 2 중점: 감성모델 고도화
- 3 중점: 뇌 감각-운동 회로 기반 웨어러블 로봇 팔 제어 챌린지 기술 개발
 - 시청각/감각-운동피질을 모방한 행동 의도 인식기 개발
 - 거울뉴런 작동 모형을 모방한 양방향 행동 학습기 개발
 - 감각 자극·조절을 위한 인공피부·근육, 인공골격·관절, 및 신경신호 제어기술 개발
 - 웨어러블 신경-로봇팔 인터페이스 기술 개발 및 통합
- 4 중점: 상황예측 및 의사결정 지능모델
 - 판단/의사결정 지원 뇌모사지능모델 및 학습기법
 - 의도 파악 뇌모사지능모델 및 학습기법
- 5 중점: 지각-인지-행동 순환 구조 개발 및 통합사고 모델 개발
 - 점진적 자율학습 알고리즘 개발
 - 고차원 인지 및 최적 행동 결정 모델 개발

(4) 과제 추진 로드맵



[그림 3-36] 과제추진 로드맵

다. 추진전략

(1) 추진전략

□ 본 세부는 5개의 중점과제를 수행함에 있어서 NeuroAutonomy를 제외하고는 모두 다 병렬적으로 연구를 진행해야 하나, 연구의 집중을 위해 단계별로 수행할 중점 연구 내용을 차별화함

- 1단계: 뇌과학발전전략 (2016)에서 시급함을 지적하고 있는 인식지능(NeuroPerception)과 감성지능(NeuroEmotion)을 먼저 중점적으로 시행하며, 동작지능(NeuroAction)과 인지지능(NeuroCognition)도 소규모 병렬로 수행함.
- 2단계: 동작지능(NeuroAction), 인지지능(NeuroCognition)을 중점적으로 수행함. 타 영역의 경우, 비중을 낮추어서 연구를 계속 진행하며 타 세부와의 연계를 이룸.
- 3단계: 자가발전인공지능(NeuroAutonomy)을 통해 다른 중점과제의 결과물을 융합하여 통합지능을 만듦.

□ 뇌데이터 활용 연구전략

- 본 세부의 연구 목적은 Micro-scale 뇌지도로부터 뇌의 Cerebral Cortex에서 발견되는 Micro-Circuit에 대한 이해를 통해 현재의 인공지능과는 다른 새로운 차원의 인공지능을 개발하는 것을 목적으로 하므로, 뇌지도의 확보가 매우 중요함.
- 따라서 본 연구의 타세부에서 제작될 뇌지도 외에 다음과 같은 뇌데이터 활용 전략을 세움.
 - 해외뇌지도: 현재 Micro-scale 뇌지도 생성에 대해서는 다양한 연구가 해외에서 진행되고 있으며, 미국의 MIT에서 작성중인 EyeWire 등의 커넥톰(connectome)을 활용하여 해당 연구를 진행하도록 함. 특히 본 사업 1단계 시점에 다른 세부과제에서 뇌지도 결과가 아직 생성되지 않았을 때, 본 세부과제의 1단계 연구에서 시각피질의 뇌지도가 필요한데, 많은 결과가 이미 생성되어있는 EyeWire를 활용한다면 인식지능(NeuroPerception)연구와의 연계가 용이할 것으로 생각됨.
 - 인지심리실험: 인간 혹은 동물을 이용한 실험을 통해 인식-인지-동작, 정서

기능 등 특정 행동을 하는 동안 뇌의 반응성이나 행동의 변화에 관한 인지 심리실험이 필요함. 이를 통해 Micro-Circuit이 실제 고위뇌기능에 미치는 효과를 테스트해볼 수 있음. 본 세부과 유사한 목표를 지닌 미국의 “MICrONS 프로젝트”의 경우에도 Micro-circuit연구만 진행하고 있는 것이 아니라 인지심리실험을 병행하고 있음. 이는 전산뇌과학자를 비롯한 관련연구자들 모두 그 필요성을 인정하고 있으며, 해외뇌지도를 사용하는 경우와 본 사업의 뇌지도를 사용하는 경우 모두 반드시 필요한 과정임.

(2) 과제 추진체계



[그림 3-37] 과제 추진체계

□ 세부과제 구성 및 추진체계

- 본 세부은 뇌지도 구축과 관련된 1세부의 결과물인 뇌구조와 뇌작동원리에 대한 이해도를 바탕으로 인간지능수준의 뇌모사지능모델을 만드는 것을 목표로 하며, 각 중점과제간의 관계는 다음과 같음
 - 각각 중점과제 1, 2, 3인 Neuro-Perception, Neuro-Action, Neuro-Cognition 이 서로 지각-인지-행동 순환구조의 기본 모듈이 됨
 - 중점과제 2인 Neuro-Action은 Neuro-Perception의 인식기 기술을 Neuro-Action 기술에 결합하여 뇌 감각-운동 순환 회로 기반의 웨어러블 신경-로봇 팔 제어 챌린지 기술을 개발
 - 4중점과제인 NeuroEmotion은 1중점과제로부터 정교한 오감정보와 3중점과제로부터 기억모델과 언어이해모델을 받아, 인간감성모방 가능 인공지능 시

시스템을 개발하며, NeuroEmotion은 인간의 인식능력과 기억에도 영향을 미치는 상호작용을 위한 인풋을 제공함

- 5중점과제인 NeuroAutonomy는 이러한 관계를 활용하여, 뇌지도에서 밝혀진 인간의 자가학습 모델을 분석하여 그와 유사한 구조의 자가학습 공학모델을 설계함

□ 뇌지도와의 연계 추진 전략

- 본 세부는 뇌지도 구축과 관련된 1세부의 결과물인 뇌구조와 뇌작동원리에 대한 이해도를 바탕으로 인간지능수준의 뇌모사지능모델을 만드는 것을 목표로 하나, 뇌지도가 구체적으로 완성되지 않는 기간 동안의 연구추진전략을 가질 필요가 있음.
 - 1단계(2018~2020)는 통계적으로 유의하다고 알려진 기존의 해외 뇌지도 및 관련 타 학문 분야(인지과학, 계산신경과학 등)의 공개 DB를 활용하여 차세대 AI 연계 연구를 수행하며,
 - 2~3단계(2021~2027)는 1단계 타 사업(1, 2, 3세부)의 연구 결과물인 뇌지도 정보의 순차적 도출과 병행하여 1단계 연구를 심화시켜 확장시키고자 함.

4. 뇌지도 정보를 활용한 개인맞춤형 뇌질환 극복 기술 개발

가. 추진 배경 및 필요성

(1) 기본 개념 및 범위

□ 세부사업 내용

- 본 세부사업은 뇌지도 작성 세부사업에서 실험동물 중심으로 작성된 표준 뇌지도를 응용하여 환자에 적용가능한 뇌질환 극복 기술 개발을 주내용으로 함
- 정밀의학의 핵심은 개인별 차이를 분류할 수 있는 정확한 지표를 발굴, 분석, 응용하는 기술에 있으며, 뇌질환의 특성상 가장 유용성이 높을 것으로 예측되는 개인별 차이 뇌지도를 개인별 뇌질환 차이 분류 지표로 활용하고자 함
- 본 사업은 뇌지도 활용이라는 중요한 차별화된 주제를 연구 흐름을 가지고 있으며, 이 사업 이전에 정밀한 뇌지도가 존재하지 않았기 때문에 시도하지 못했던 ‘신경질환/정신질환’의 ‘진단/예후예측/약물반응예측/치료’ 영역에서의 ‘정밀의학’ 구현을 가능하게끔 챌린지 하는 것을 내용으로 함
- 본 세부사업의 내용은 새로운 뇌지도 작성 및 이를 이용한 새로운 패러다임이기 때문에, 정밀 지도가 없던 환경에서 제안된 기존의 뇌과학기술개발 사업과 뚜렷이 구별되는 내용을 담고 있음.

□ 정의

- (뇌지도) 뇌의 구조적·기능적 연결성을 수치화, 시각화한 데이터베이스
 - *응용 범위 : 뇌 활동 현상 및 작동 원리 규명, 뇌질환 정밀(맞춤)의학 토대 마련 등 차세대 뇌질환 극복 기술 개발을 위한 필수 정보 제공
- (정밀의학) 진단부터 치료에 이르는 모든 단계에서 축적된 환자 개인의 라이프스타일·유전·환경·생물학적 특성 등 다양한 가용 데이터를 통합적으로 분석해 정밀하고 정확한 치료법을 도출해내는 미래 의학의 핵심 개념. 개인별로 가장 적절한 시점에 가장 적합한 치료를 최적의 방식으로 제공하는 것을 목표로 함
 - 현재는 유전자 정보에 주로 의존하는 종양 분야의 정밀 의학이 가장 두드러진 발전을 보이고 있으나, 향후 뇌회로, 뇌활성, 뇌단백, 뇌대사, 환경요인

등에 대한 정보를 축적/통합/분석함으로써 전체 뇌질환으로까지 정밀 의학의 성공을 확대시킬 수 있음



[그림 3-38] 뇌질환에 적용되는 정밀의학의 개념

□ 주요 개념

- 평생 뇌건강을 목표로 정밀의학 지향 개인 맞춤형 뇌질환 극복 기술 개발
- **신경과학에서의 정밀의학** : 정밀의학은 암 연구분야에서 가장 처음 실용적 두각을 나타내기 시작했음. 그 이유는 암은 대체로 유전자 이상 질환으로 보기 때문에 '개인별로 암의 유전 정보'와 '진단, 예후, 치료 방법 선택'사이에 비교적 용이한 일대일 대응이 가능하기 때문임
- 하지만, '뇌질환은 훨씬 더 다양한 이유에 의해 생기며, 특히 복수의 유전자와 환경, 생활 습관 등의 상호 작용에 의해 질환이 결정되는 특징'이 강함
- 또한, 근본적으로 전기 및 대사적 활성을 가진 회로를 특징으로 하는 고기능 장기이기 때문에 단순히 하나의 지표나 생체표지자로 정밀의학 구현이 불가능하며, 한층 고도화된 다양한 개인별 정보 지표(parameter)가 있어야 '개인별 맞춤형 뇌질환 치료'의 목표를 이룰 수 있음
- **정밀 의학 개념에서의 뇌지도 활용** : 정밀 뇌지도는 정밀 의학의 가장 핵심

개념인 ‘개인별 특징’을 구별하는 새로운 지표 개발로서의 실용적 가치를 지님. 뇌는 딱딱한 두개골 안에 싸여 있고, 접근이 가장 어려운 장기이기 때문에, 진단 및 치료법이 다른 질환에 비해 섬세하지 못함

- 또한, 진단 및 치료에 적용될 수 있는 바이오마커가 가장 결핍되어 있는 분야이기에, 개인별 차이를 염두에 둔 정밀 의학의 도입을 위해서 우선 넘어야 할 장애가 다른 분야보다 많고, 달성을 위한 특별한 전략이 요구됨
- 암에서의 정밀 의학의 성공과는 다르게, 뇌는 유전자 정보만 가지고 진단, 예측, 치료에서 큰 성과를 거둘 수 없는 속성을 가지고 있기 때문에 개체 단위의 유전자 정보보다는 시공간적 해상도가 크게 높으며, 뇌 기능을 직관적이면서도 극명하게 반영하는 새로운 지표의 개발이 절실풀
- 정밀 고기능 뇌지도는 개별 뇌질환 환자의 맞춤형 진단, 예후 예측, 약물 반응 예측, 적절한 용량 및 치료법 선택 등에 신뢰성 있는 지표로 이용될 뇌 고유 지표 개발에 선행되어야 할 필수 기반 기술로서의 위치를 가지고 있음
- **대상 질환:** 유아기-자폐증, ADHD 이외 발달 장애 등; 청장년기-조현병, 중독, 우울증, 등; 노년기-치매, 파킨슨씨병, 뇌졸중, 등; 생애 전반-뇌전증 등 전주기적 뇌질환이 적용 가능 대상이 됨
- **활용 분야 :** 정밀의학 개념의 뇌지도 등 통합된 뇌연구 정보의 빅데이터 기술을 활용하여, 개인맞춤형 뇌질환 진단 및 치료법, 뇌건강 관리 프로그램 개발 및 활용
- **요구되는 정밀 의학 기반 정보의 형태 :** 지난 10년간의 유전자 정보 중심의 맞춤형 의학 개발 과정의 교훈(암, 대사성 질환 등 다양한 범위에서 GWAS등 메가스케일 연구들이 이루어져 온 것을 일컬음)은 매우 촘촘한 형태의 정밀 정보가 밑바탕이 되어야만 애매모호하지 않고 확실한 성공적 예측 기술 개발을 가능케 해주며, 관련 지표들을 얼마나 많이 통합적으로 수집하고, 분석하여 성공적으로 연관 관계를 분석할 수 있느냐에 실제 임상 현장 적용한 최고 수준의 개인 뇌기능 분류가 가능

(2) 의의 및 필요성

□ 정밀의학의 의의 및 필요성

- ‘평균 환자’시대에서 ‘1인 환자’시대의 전개에 따라 개인 맞춤형 첨단 의료산업 활성화로 국가 경쟁력 강화 <그림 2>



출처: 맞춤의료 연구개발 동향 분석, 한국보건산업진흥원, 2010

[그림 3-39] 환자의 구분을 통한 맞춤의료

- 이전 의료의 역점 사항은 많은 사람의 생물학적 지표를 평균해 놓은 ‘평균 환자’라는 가상의 환자를 중심으로 진단, 예측, 약물 반응도 측정, 치료 등을 수행할 수 있는 과학적 근거를 마련하는 것이었음
- 최근 의학 및 분석 기술의 고도화 및 분석 비용의 감소로 인해 부상하게 된 의료현장 최고 미충족 수요 중 하나는 왜 개인마다 병의 진행 향상, 유전자의 영향, 약물에 대한 반응 등이 다른지를 이해하고 이에 따른 치료 방침을 정하고자 하는 것임
- 정밀 의학이 더 정확한 진단 및 예측을 가능하게 하고, 치료 성공률을 높이며, 치료 기간을 단축시켜 치료 비용을 줄일 수 있기 때문에, 정밀 의학 구축을 위한 노력은 전 세계적으로 지속적으로 증대될 것임
- 맞춤의료 시장의 급속한 성장 전망
 - ※ 미국의 맞춤의료 시장은 연 11% 이상의 높은 성장으로 2020년 7,600억 달러로 성장 전망이며, 맞춤의료 시장 중 핵심 시장인 맞춤의약 진단 시장은 2015년 420억 달러로 성장 전망
 - 유전체 및 오믹스 기술, 이미징 기술, 다양한 IT 기술 및 데이터 분석 기술 등의 향상으로 인해 개인의 생물학적 정보에 대한 축적도 및 분석 능력이 증대되는 시대를 맞아, 이를 연령별, 질환별, 개인별 질환 예방 및 진단, 치료, 관리에 최적화시키고자 하는 수요 급증
 - 연령대별 주요 뇌질환에 대한 맞춤형 해결을 목표로 기전규명, 진단장비 및 종합적인 진단·치료기술 등 개발 가속화
- 정밀의학은 국가적 아젠더

- 2015 OECD 세계과학정상회의 및 세계과학기술포럼을 통하여 ‘정밀의학’의 중요성 인식
- 미래부 장관 “대전선언문('15.10.21)”*에서 정밀의학 중요성을 인식하여 각국이 노력할 것을 선언

***대전선언문 中**

우리 장관 및 대표들은, 세계화의 진전, 급속한 소득 증대 및 식습관 양식의 변화 등으로 인해 부상하고 있는 새로운 보건 문제의 해법을 찾는데 혁신은 필수적인 요건이 되고 있음을 인식한다. 유전체학 및 정밀의학 등 첨단 보건 기술과 방법들은 새로운 문제나 기존의 보건 문제를 해결하는데 유망한 해법을 제공할 것이다.

- 미국 대통령 오바마는 2015년 1월 정밀의학 이니셔티브를 발표하고, 2016년 총 2,300억여원을 투입해 총 백만명의 개인 건강 정보 연구 코호트를 구축하는 안을 내놓음 (최초 4년간 총 투자 금액은 1조에 이를 것으로 보건원은 내다보고 있음)

□ 뇌지도 및 뇌질환에서의 정밀 의학

○ 뇌질환에서 정밀 의학의 필요성 및 그 방법

- 뇌질환에서의 정밀 의학 접근은 암 등 다른 질환에서의 접근 방법과 완전히 다른 특성이 있음. 임상적, 행동학적, 유전적, 전기생리학적, 신경영상적 바이오마커 등이 통합되어야만 목표로 하는 개별 환자별 맞춤 치료를 달성할 수 있음
- 특히, 뇌질환에서 정밀 의학은 새로운 치료 약물의 개발 이전에도 기존 약물 및 치료 방법에 대한 모니터링 및 최적화를 가능하게끔 해줄 companion diagnostic에도 중요한 기여를 할 것임이 분명해 짧은 시간에 가시적 효과를 기대할 수 있음
- 본 사업에서 제안하는 뇌지도 관련 정밀 의학 기술은, 뇌지도의 해부학적, 생리학적, 화학적, 대사적, 신경 영상적 지표를 개발, 통합 분석함으로써 세포 단위 유전 정보만을 통한 정밀 의학 접근의 한계점을 극복하고, 뇌질환 극복 분야의 새로운 정밀 의학 기술을 발굴, 구현하고자 하는데 그 의의가 있음

○ 뇌연구의 국가 및 사회적 수요 급증

- “뇌정밀의학*”은 뇌지도-개인맞춤-빅데이터 등 뇌연구 분야별 우선순위 및

핵심기술을 포함하는 최첨단 뇌융합분야

*미래의학의 핵심개념으로서 진단부터 치료에 이르는 모든 단계를 환자 개인의 라이프스타일, 유전, 환경, 생물학적 특성 등을 고려해 축적된 빅데이터를 다각도로 분석하여 정밀하고 정확한 치료법을 도출해내는 개인맞춤형 의학



출처 :Whole-Brain을 대상으로 뇌기능 활용, 뇌능력 증진 및 개발을 위한
사업기획 요구 (미래부 생명복지전문위, '14.11월)

[그림 3-40] 뇌연구 분야별 우선순위 및 핵심 기술 도출
관련 설문조사

- 과학기술 선진국을 중심으로 신경/정신기능장애 극복 기술 선점을 위해 신경/정신과학을 비롯한 신경생리학, 분자신경생물, 의공학, 정보의학 등 다양한 분야의 최신 기술을 융합한 국가 주도형 연구를 진행하고 있음
- 고령화 사회로 인한 뇌질환자 급증에 따라 환자 개인 뇌정보를 통합적으로 관리하는 데이터 구축을 통해 뇌질환 진단에서 치료, 예방 등 전 단계에 이르는 효과적 정밀의학 운영기반 마련 필요
- 뇌질환 극복기술은 가장 고위 기능 장기인 뇌의 질환 예방 및 치료를 통해 가장 직접적으로 삶의 질을 결정하게 되므로, 국민행복과 직결된 문제해결형 사회기술로서 이에 대하여 국민적 기대가 높음

(3) 국내 기술수준 및 역량

□ 뇌영상 기반 뇌조절 치료기술

- 자기장에 의한 나노로봇 제어에 대해서는 최근 보고된 바 있음. 다만 유전자나 약물을 수송할 수 있는 나노베지클* 탑재 나노로봇을 개발하는 것이 관건.
- 치료와 진단을 동시에 수행하는데 있어 이를 실시간으로 파악할 수 있도록 하는 ‘실시간 뇌영상 팩토리’기술은 ‘PARACEST(Paramagnetic Chemical Exchange Saturation Transfer)라는 생리활성을 초정밀도로 정량화하여 실시간으로 영상화할 수 있는 새로운 기술에 접목함으로써 국가적 연구 경쟁력 확보
- 현존하는 비침습적 MR영상기반 집속초음파 기법을 이용하여 특정 뇌영역의 뇌활성을 조절하고자 하는 방법은, 뇌혈관의 tight junction을 개폐하여 국소적으로 전달된 뇌신경 활성제 및 억제제가 확산되기 쉽도록 하여 치료 효과를 극대화함. 나노로봇 기술과 실시간 뇌영상 팩토리 기술에 융합시키는 것이 관건.
- 뇌영상 장비 등 뇌연구를 위한 핵심장비가 전국적으로 분포되어 있고 나노로봇, 집적 초음파, PARACEST 등 전문연구인력이 활발히 연구중이어서 인력 확보에 어려움이 없을 것으로 예상

□ 후성유전체 정보 기반 정밀 진단 및 치료기술

- 암과 줄기세포에서의 후성유전체 연구는 국내에서도 활발하게 일어나고 있으나, 뇌신경과학에서의 후성유전체 연구는 태동 단계임
- 결국 실험재료를 암세포나 줄기세포에서 뇌세포나 biofluid로 바꾸는 문제임.
- 국제적 기술 수준을 자랑하는 한국의 뇌영상 연구 시스템에 임상정보 뿐만아니라, 유전체, 전기생리학적, 행동학적 정보를 연계시키기 때문에, 이 통합 빅데이터 DB를 구축하고 분석하는 새 개념의 통합 분석/활용 플랫폼이 또한 필요함
- 국내에 전사체에 관한 연구 인력은 풍부한 편이며, 후성유전체는 태동단계의 기술이나 핵심기술이 유사하기 때문에 인력확보에 문제 없을 것으로 예상

□ 뇌지도 체외 역설계 기술

- 미니뇌 제작기술은 전세계적으로 선도그룹이 한정되어 있는 초기 단계의 기술이나, 요소기술의 국내 연구 역량은 해외와 거의 유사한 상황임
- 현재 증가추세인 역분화 줄기세포를 이용한 질병 모델링은 주로 2D 배양에 머물고 있고, 3D mini-brain을 만드는 기술은 아직 초기 국내 태동기에 있는 것으로 판단됨
- 다만 마이크로 웰 어레이나, 3차원 세포배양 기술, 마이크로 플루이딕 기술에 기반한 미세환경 조절 기술과 조직공학 및 인공조직 분야 신기술인 3D 바이오프린팅 기술 등은 국내의 연구 역량이 해외와 거의 유사하며, 특히 3차원 미니뇌를 이미징하여 분석하는데 필수적인 조직 투명화 기술은 국내 기술이 세계를 선도하고 있음
- Knoblich 그룹의 경우 미니뇌 친화적 소재를 활용한 인공얼개를 개발 중이며, 최근 발표된 Pasca 그룹의 cerebral cortical spheroid 제작기법은 자체적으로 교세포가 신경 네트워크 안에 연결성을 가지고 존재함(Pasca et al., Nat Method, 2015).
- 따라서, 미니뇌의 신경-교세포-혈관계로 구성되는 미세환경의 발달이 향후 미니뇌 연구의 돌파구를 제시할 수 있음.
- 양수줄기세포의 경우, 국내 활용연구 사례가 보고되어 있으며, 양수검체를 이용한 진단기술도 국내에 개발사례가 있음

나. 목표 및 과제 구성

(1) 목표 및 최종 결과물

□ 목적

- 사회적으로 중요한 이슈로 대두된 뇌질환에 대응하여 개인별 정밀 뇌정보에 기반한 환자별 개인 맞춤형 임상적용 기술개발과 뇌질환 조기진단 및 맞춤형 관리 프로그램 개발
- 본 세부사업은 실험동물 중심으로 작성된 **표준 뇌지도** (1, 2 세부) 및 **뇌지도 작성기술** (3세부)을 활용 또는 응용하여 개별 환자에 적용 가능한 맞춤형 뇌질환 극복 기술 개발

□ 최종 목표

- 이미징기법과 뇌지도 통합형 환자 맞춤형 뇌조절 진단, 치료, 예측기술 개발
 - (세부목표 1) 뇌지도 정보를 활용한 뇌질환 증상 맞춤형 뇌조절 시술 실용화
 - (세부목표 2) 약물 및 유전자의 뇌심부 전달 및 실시간 뇌기능 조절 기술 실용화
- 환경 병인 뇌질환 후성유전체 맵핑 기반 정밀 진단 및 치료 기술 개발
 - (세부목표 1) 개별 환자 유래 환경 병인 반영 후성유전체/전사체 통합 DB구축
 - (세부목표 2) 뇌영역별 분자 맵핑기술을 적용한 환자맞춤형 진단, 치료 및 예측을 위한 분자마커 및 뇌영상 기반 융합 기술 개발
- 뇌지도 체외 역설계를 통한 뇌기능 예측, 진단, 치료 기술 개발
 - (세부목표 1) 양수 줄기세포 활용 맞춤형 조기진단 및 치료 기술 개발
 - (세부목표 2) 미니뇌 기술을 이용한 뇌지도 정보 체외 구성 및 진단, 예후, 치료 반응 예측 응용 기술 개발



[그림 3-41] 개인맞춤형 뇌질환 극복 기술 개발 세부
사업 전체 모식도

□ 단계별(연차별) 목표 및 최종 성과물

<표 3-9> 단계별 연구목표 및 주요 성과물

단계	목표	주요 성과물
1단계 (2018년 ~ 2020년)	뇌영역별 분자 맵핑기술 적용한 개별 환자 유래 환경병인 반영 후성유전체 프로파일링 개별 환자 유래 줄기세포 역분화 및 조작기술 확보	개별 환자 유래 후성유전체-전사체-뇌 활성 융합 데이터 DB (4종) 정밀의료용 바이오마커 분석 시스템 (2 건)
2단계 (2021년 ~ 2023년)	뇌영상지도 기반 뇌활성 조절 기술 확립 개인차 반영 뇌질환 분자 마커 발굴 및 영상 기반 스크리닝 플랫폼 구축	뇌질환 증상별 바이오마커의 뇌영상지도 기 반 유효성 검증 플랫폼 (3건) 나노기술 활용 조영/치료제 뇌심부 국소 전달 시스템 (3건)
3단계 (2024년 ~ 2027년)	미니뇌 및 뇌영상지도 기반 진단, 치료, 예측 기술의 실용화 환자맞춤형 예측, 진단 마커의 국소적 적용 기술 확보	질환 증상별 예측, 진단 키트 (3건) 뇌영상지도 기반 실시간 뇌질환 진단, 치료 활성 측정 시스템 (3건)

(2) 중점과제 구성

중점과제	핵심기술
첨단 이미징기법과 뇌지도 통합형 환자 맞춤형 뇌조절 치료 기술 개발	• 뇌질환 증상별 맞춤형 뇌영상 응용 및 뇌조절 기술 실용화 • 약물 및 유전자의 뇌심부 전달 및 실시간 뇌기능 조절 기술 실용화
환경 병인 유전체 맵핑 기반 정밀 진단 및 치료기술 개발	• 개별 환자 유래 후성유전체/전사체/뇌활성 융합 DB 구축 • 바이오마커 활용 환자 맞춤형 진단/치료 기법 및 영상기 반 모니터링 기법의 융합 기술 개발
뇌지도 체외 역설계를 통한 뇌기 능 예측, 진단, 치료 기술 개발	• 미니뇌를 이용한 뇌지도 검증 및 질환 예측, 진단, 치료 기술 개발 • 양수 줄기세포 맞춤형 조기진단 및 치료기술 개발

※ 과제 구성 기준

- 1) 정밀 의학적 개념 도입을 필수로 하는 학-연-병 네트워크를 유도하되, 구체적인 질
환경은 공개 경쟁을 통하여 선정 (중점 핵심 기술 제안 과정에서 언급된 질환은 기술의
구체성을 보여주기 위한 예이며, 가장 선도 기술을 구현할 수 있는 연구진이 제안한 질
환이 선정되는 것을 원칙으로 함)

- 2) 국내외 기술수요 예측 및 파급력, 성장 가능성, 사회적 시급성, 선진국과의 기술 격차, 국내 연구기반 등을 고려하여 구성
- 3) 원천 기술 확보를 위한 목적 지향적이고 체계적인 융합 연구를 통해 5년 이내 가시적 실용화 성과 도출이 가능한 도전적 경쟁 분야와 이를 학문적으로 강하게 지원하는 분야를 구성
- 4) 사업간 연계성을 통해 사업성과를 극대화시킬 수 있는 과제를 구성. 즉, 동물 뇌지도 정보를 응용하거나, 사람에게 적용할 수 있는 고위 단계로 발전시킬 수 있고, 그 정보를 다시 환류시켜 뇌지도 정밀화에 기여할 수 있는 요소를 가지고 있는 과제로 구성

(3) 단계별(연차별) 개발 내용

□ 1단계

- 개별 환자 유래 환경병인 반영 후성유전체, 전사체 프로파일링
 - 발병원인/질환증상/약물반응성에 따른 환자 코호트구성 (보건복지부)
 - 개별 환자 유래 후성유전체/전사체/뇌활성 융합 데이터 DB 구축
- 개별 환자 유래 줄기세포 역분화 및 조작기술 확보
 - 인간 뇌 최근접 모사 미니뇌 제작, 배양 엔지니어링 기술 개발
 - 태아 DNA 기반 유전체-단백체 빅데이터 분석
 - 양수줄기세포 분리-배양-유도 및 유전자 조작기술 확보

□ 2단계

- 개인차 반영 뇌질환 분자 마커 발굴 및 영상 기반 스크리닝 플랫폼 구축
 - 환자 맞춤형 분자 및 뇌영상 바이오마커 후보군 발굴
 - 유효성 검증을 위한 모델 구축 및 분자영상 기반 스크리닝 플랫폼 구축
- 뇌지도 기반 뇌활성 조절 기술 확립
 - 진단 및 치료, 실시간 뇌활성 측정이 가능한 나노파티클 제조
 - 약물 및 유전자 수송용 나노시스템 개발
 - 국소적 뇌기능 조절 요소기술 개발

○ 줄기세포 기반 뇌질환 예측 및 진단 기술 확보

- 인간 뇌 최근접 모사 미니뇌 제작 기술 최적화
- 양수줄기세포 활용 환자 맞춤형 질환모델 구축 및 태아 적용 기술개발

□ 3단계

○ 환자맞춤형 진단, 치료, 예측을 위한 환경병인 반영 분자마커 및 뇌영상 기법 활용

- 국소적 뇌조절을 위한 치료제 뇌심부 전달 플랫폼 개발
- 영상기반 실시간 뇌질환 진단, 치료, 활성 측정 시스템 구축

○ 미니뇌 및 줄기세포 활용 환자 맞춤형 질환 예측, 진단 시스템 구축

(4) 과제 추진 로드맵



[그림 3-42] 과제 추진 로드맵

다. 추진전략

(1) 추진전략

- 기 설립된 뇌은행의 인프라를 활용하여 타 사업에 추진 중인 코호트 정보를 활용함
 - 사후 뇌조직의 안정적 확보를 위해, 한국뇌연구원 내 한국뇌은행과 협력병원들간의 네트워크(KBBN, Korea Brain Bank Network) 구축
 - '15년 서울대병원, 고려대 안암병원 등 2개소 지정 및 '16년 4개소로 확대 계획
 - 사후 뇌조직 공여자의 뇌부위별 DNA, RNA 등의 분자정보, 뇌영상 MRI 정보 뿐아니라, 연령, 임상 및 부검소견 등 총괄적인 임상/비임상정보 DB 구축
 - 치매연구단 및 인터넷·게임 디톡스사업 등을 통하여 대규모 연구코호트 구축
 - 미래부 치매코호트 3천명, 인터넷 디톡스사업 2,250명, 복지부 K-ADNI 500명 등
- 해외 주요 연구거점기관과 국제협력 네트워크를 구축
 - 중·장기적 글로벌 R&D 협력관계 구축을 통한 중개연구 역량 강화
 - 한국뇌연구원과 브라질 상파울루의과대학 뇌은행('13), 네덜란드 신경과학연구소 뇌은행('14), 체코 세인트 앤 대학병원('15)와 MOU 체결
- 병-학-연 공동참여로 임상유래물의 조직적 수집, 관리, 이용
 - 뇌은행 활성화 및 병원 이외의 연구기관에서 뇌조직을 이용한 뇌연구가 가능하도록 제도개선, 뇌은행 운영규정 및 지침 마련
 - 병원 및 의과대학에서 한국뇌은행으로의 기증 뇌조직에 관한 이관절차 관련 법규정이 시급함
 - 시체해부 보존에 관한 법률은 교육 및 연구를 위한 시체해부 및 보존에 관한 법으로, 기증 뇌조직의 이관절차 규정을 통해 환자 사후 뇌조직을 이용한 연구 활성화

(2) 과제 추진체계

- 개인 맞춤형 뇌질환 극복을 위한 진단, 치료 및 예방 기술 개발을 위해 뇌영

상 기반, 환경-유전체 DB 구축, 줄기세포 분야로 나누어 정밀의학개념의 기술개발을 도모함

- 각 단계별로 기술개발, 고도화, 실용화 및 산업화의 단계를 거쳐 개발된 기술의 응용범위에 따라 순차적으로 기술개발
- 해당 뇌질환에 대한 신경과학, 임상, 공학 등 다방면의 전문가의 정기적인 자문 및 공동연구를 도모하고, 상용화 단계에서 관련 산업체와 협력체제를 구축, 기술 고도화 및 산업화를 추진
- 뇌질환 극복 기술 개발과정을 통해 뇌과학 전문가 인력 양성 시스템 구축
- (세부과제 간 연계) 구축된 뇌영상 기반 뇌기능 조절기술과 환경-유전체 DB를 줄기세포 기반 테스트 베드 등에서 유효성을 검증하여, 맞춤형 진단 예측 기술 개발을 위한 정밀의학 플랫폼을 완성
- (타세부와의 연계) 1세부에서 작성한 표준뇌지도 뿐만 아니라, 2세부에서 작성한 질환 뇌지도를 적극 활용하여 뇌영상지도 기반 뇌기능 조절기술에 적용하며, 3세부에서 개발될 “비침습형 다중 자극을 통한 신경회로 정밀 제어 기술”은 생체신호분석을 통한 차세대 신경조절 기기 개발에 응용될 것임
- (타세부와의 연계) 5세부에서 개발한 비침습적 국소적 제어기술을 활용하여 1, 2, 3세부에서 개발하는 뇌지도 또는 챌린지기술의 고도화에 기여함

제4절 기존 사업과의 중복성 검토 및 차별화 방안

1. 기존 사업과의 중복성 검토

가. 미래창조과학부 소관 R&D사업

(1) 뇌과학원천기술개발사업

□ 사업 개요

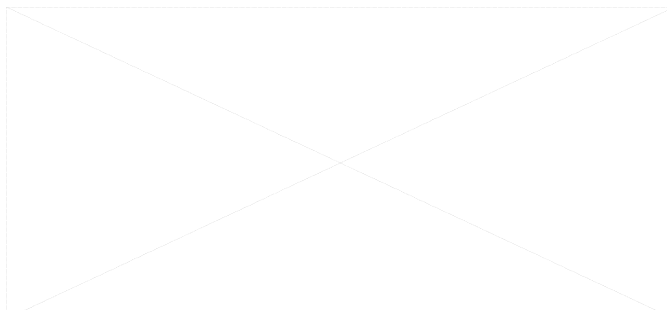
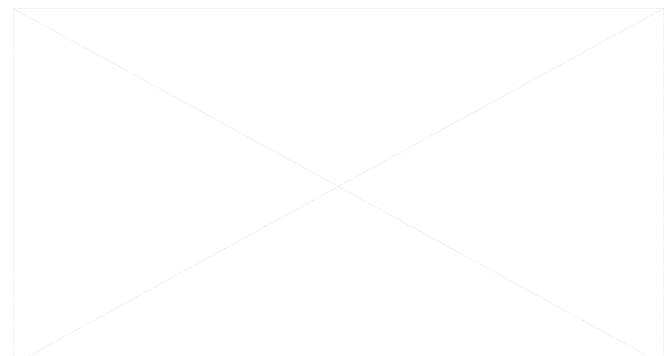
- 태동기 유망분야인 뇌연구를 통해 뇌질환 예방·치료 기술, 신체장애 극복기술, 뇌기능 강화 기술 등의 뇌과학 핵심 4대 분야의 원천기술 확보 및 BT, IT, CS(인지과학) 융합을 통한 신산업 창출을 목표로 실용화에 필요한 요소 원천 기술 발굴과제를 중심으로 구성
- 주요 사업 내용(2016)

구 분	내 용	
사 업 명	뇌과학원천기술개발사업	
주관부처	미래창조과학부(*사업별로 다부처 사업도 있음)	
주관기관	한국연구재단	
목 적	뇌질환 예방·치료기술, 신체장애 극복기술, 뇌기능 강화기술 등 뇌분야 핵심 원천기술 확보 및 새로운 미래시장 창출	
사업추진형태	매년 공모를 통한 (신규)과제 추진	
사업기간	2006년~계속	● 5년(3+2)단위 사업 구성 ● 연간 2~60억 규모 과제 구성
예 산	326.2억원*(2016)	*계속 213.2억, 신규 113억
사업내용 (2016)	(계속사업) ● 뇌연구 4대분야 원천기술개발 - 뇌발달장애 진단 및 조절 기술개발 - 외상후 스트레스에 따른 뇌인지장애 극복 ● 치매뇌지도 구축 등 조기진단기술개발 ● 인터넷 게임 디톡스 사업	(2016 신규과제) ● 뇌혈관 장애 극복기술 개발 ● 뇌공학 뇌-기계 인터페이스 요소기술개발 ● 뇌질환 표적발굴을 위한 뇌융합 원천 기술개발(2개) ● 뇌염증제어 및 뇌후성유전학 원천기술개발(2개) ● 치매 치료소재 융합기술개발

□ 중복성 검토 결과

- 뇌과학원천기술개발 사업의 경우 요소 원천기술개발을 목적으로 하는 반면, 본 사업은 뇌지도 작성과 활용기술 개발을 목적으로 하고 있어 사업의 목적에서 차별성이 있음
 - 뇌과학원천기술개발사업에 포함된 뇌지도 작성 사업을 통해 Macro 수준과 Meso 수준의 뇌지도 작성기술이 확립되었으며, 본 사업에서는 확보된 작성기술을 바탕으로 매크로, 메조, 마이크로 수준의 뇌지도 작성과 최종적으로 Multi-Scale 통합형의 뇌지도작성을 추진함
 - 또한, 뇌과학원천기술개발사업에서 수행하고 있는 뇌질환 극복기술의 경우, 주로 뇌영상 기반의 진단·치료기술 개발 중심이나, 본 사업의 경우, 뇌영상뿐만 아니라 기능·활성 정보까지 포함하는 뇌지도 정보 전체를 기반으로 뇌질환 극복기술을 개발하기 때문에 접근방식에서 차이가 있음

<표 3-10> 뇌과학원천기술개발사업 중 관련분야 세부과제별 연구목표

뇌과학원천기술개발사업 관련분야 세부과제별 연구목표	그림 설명
[치매조기진단과 예측을 위한 뇌지도 및 융합기술 개발] (연구목표) 치매 영상, 혈액, 유전체 분석에 기반을 둔 치매 조기진단 및 예측 융합기술 개발 및 실용화	
[인터넷·게임 중독의 뇌과학적 원인 규명을 통한 스마트 헬스케어 시스템 개발] (연구목표) 인터넷·게임 중독의 뇌과학적 기전 규명 및 스마트기기 기반의 진단/예방/치료를 위한 스마트 헬스케어 시스템 개발	
[외상후 스트레스에 따른 뇌인지 장애 극복] (연구목표) 뇌인지과학 기반의 외상후 스트레스 대응을 위한 조기 예측 및 조기 개입 기술 개발	
[구조·기능기반 뇌발달장애 진단을 위한 장비개발 및 유용성 검증] (연구목표) 뇌발달 장애의 조기 진단기술 및 장비 개발	

(2) 지능정보기술연구소사업

□ 사업 개요

- 핵심 지능정보기술의 확보와 이를 각 산업분야에 적용(상용화)하기 위한 응용 기술 연구 프로젝트로 사업화 투자 등을 수행하기 위해 민관 합동으로 ‘지능정보기술연구소’를 설립하고 한국형 지능정보모델 개발 및 관련 산업 활성화 추진
- 주요 사업내용

구 분	내 용	
사 업 명	지능정보기술연구소사업	
주관부처	미래창조과학부(교육부, 문화부, 산업부, 복지부, 고용부)	
주관기관	지능정보기술연구소	
목 적	기존 R&D의 제약을 극복하고, 국가 연구역량을 하나로 결집하여 지능정보기술에 최적화된 연구수행을 위한 연구소 조직 신설	
사업추진형태	민간-연구소 컨소시엄 구성을 통한 연구소 설립	
사업기간	2016년~2021년(5년)	
예 산	약1조원*(예상)	*정부 발표에 기반한 추정치
사업내용	(추진전략) ●지능정보기술연구소 설립 ●지능정보 기술개발 ●전문인력 저변확충 ●데이터 인프라 구축 ●지능정보산업 생태계 조성	(플래그쉽 과제) ●스토리 이해·요약지능 개발 ●인간 감정인지 감성지능 개발 ●주변상황 이해 및 3차원 거리인지기반 공간지능 개발 ●의료전문가 시스템 개발 ●언어지능(엑소브레인SW) 개발

□ 중복성 검토 결과

- 지능정보기술연구소 사업은 기존에 확보된 기술을 바탕으로 단기간에 AI의 가시적인 산업화를 목표로 하는 사업인 반면, 본 사업에서 차세대 AI연계 연구는 뇌 지도 정보와 AI제품화를 중개하는 Linker 기술 개발을 목적으로 하고 있어 사업 목표와 대상 연구단계에서 차이가 있음
- 또한, 지능정보기술연구소 사업의 기술개발은 인간의 행동 패턴에서 기인한 지식기반 인공지능 개발이며, 본 사업은 인간뇌의 기능과 구조의 포괄적 이해에 바탕을 둔 뇌모사 알고리즘 개발 및 모델링을 목표로 하고 있으므로 접근방식에서 차이가 있음

(3) IBS연구단 사업

□ 사업 개요

- 기초과학연구원은 순수 기초연구로 기존대학이나 출연연과 차별화 및 대형 장기 집단 연구 수행하기 위해 설립되었으며, 뇌과학분야의 연구단으로는 시냅스 뇌질환 연구단, 인지 및 사회성 연구단, 뇌과학 이미징 연구단으로 구성되어있음
- 기초과학연구원 뇌과학분야 연구단 구성

구 분	내 용		
사 업 명	기초과학연구원		
주관부처	교육과학기술부		
주관기관	기초과학연구원		
목 적	세계 최고 수준의 기초과학 및 기초과학 기반 순수 기초연구로 기존 대학이나 출연(연)과 차별화된 대형 장기 집단 연구 수행		
사업추진형태	과학벨트특별법 부칙 제2조에 의거 국제과학 비즈니스 벨트 사업의 일환으로 '기초과학연구원' 설립		
사업기간	2011년~계속		
예 산	약7,000억원*(연간)	*뇌연구분야 예산 : 약227억원(연간)	
뇌과학 분야 사업단 주요 사업내용	시냅스 뇌질환 연구단	인지 및 사회성 연구단	뇌과학 이미징 연구단
	시냅스 단백질과 뇌기능 사이의 관계 규명과 뇌정신 질환 발병 기전 연구	뇌기능의 유전학적·신 경과학적 기전 연구	기능성 자기공명영상기법 기반 분자, 세포, 조직, 시스템 수준의 다양한 뉴로이미징 연구

□ 중복성 검토 결과

- 기초과학연구원은 설립취지가 순수기초연구를 통한 대형 장기 집단 연구를 수행하는 것으로 뇌지도에 기반한 다차원연구 및 응용 및 활용기술 개발을 목표로 하는 본 사업과는 차별성이 있음
- 시냅스 뇌질환 연구단은 시냅스 단백질 이상에 따른 뇌질환 메커니즘에 대한 연구를, 인지 및 사회성 연구단의 경우 동물모델을 활용한 인지·사회성 및 정서조절에 관한 연구를 수행하고 있으므로 본 사업과는 연구범위와 결과의 활용에서 차이가 있음

- 뇌과학 이미징 연구단의 경우 fMRI에 기반한 Macro 수준의 뇌영상 연구를 추진하고 있으나, 본 사업에서는 Macro-Meso-Micro 수준의 뇌지도 작성과 함께 이를 통합한 Multi-Scale의 뇌지도 작성을 추구하고 있어 기초과학연구원의 사업 내용과는 차별성이 있음

(4) 한국뇌과학연구원 기관고유사업

□ 사업 개요

- 한국뇌과학연구원연구원은 기관고유사업으로 ‘후두정 연합피질연구’과제를 추진 중으로, 본 사업의 내용과 밀접한 연관성이 있음
- ‘후두정 연합피질연구’과제 개요

구 분	내 용
주관기관	한국뇌연구원
목 표	뇌신경회로의 이해과 그를 통한 뇌질환 극복기술 개발
연구대상 및 특징	뇌기능에 중요한 후두정피질 영역을 모델로 기술적 문제에 선제적 대응을 위한 연구
기반 기술	3D-SEM 이미징기술, 인공지능을 이용한 이미지 분획화 기술, Array tomography, 뇌투명화, light sheet 현미경 기술을 이용한 메조스케일 매핑 등 확보된 기술의 표준화 및 노하우 확산

□ 중복성 검토 결과

- 한국뇌연구원의 기관고유사업인 ‘후두정 연합피질 연구’의 경우, 뇌신경회로의 이해를 목표를 하고 있는 반면, 본 사업은 뇌지도 구축을 목표로 하고 있어 사업 목표와 범위에서 차이가 있음
- 또한, 후두정 연합피질 연구는 후두정엽을 대상 영역으로 연구하는 반면, 본 사업의 주요 대상 영역은 전전두엽이므로, 연구대상에서 차이가 있음

(5) KIST 기관고유사업

□ 사업 개요

- KIST의 기관고유사업 중 본 사업과 연관성이 높은 뇌 연구 사업은 다음 2개 사업으로 조사됨
- KIST WCI 부처이관사업 ‘광유전학적 기법을 이용한 뇌회로의 기능적 커넥트 연구’
- KIST 미래원천사업 ‘항우울 동물모델을 이용한 우울증 작용회로 규명 및 변화 연구’

	KIST WCI 부처이관사업	KIST 미래원천
종과제명	광유전학적 기법을 이용한 뇌회로의 기능적 커넥트 연구	항우울 동물모델을 이용한 우울증 작용회로 규명 및 변화 연구
사업목표	광유전학적 전기생리 및 행동학, 시냅스 분자 생물학, 3D 구조적 시냅스 맵핑과 신경세포 활성화 모니터링을 통하여 뇌의 기능적 회로를 규명하고, 뇌의 복잡한 기능을 이해하여 다양한 뇌질환의 원인규명 및 치료법 개발	다양한 원인에 의하여 유래되는 우울증 관련 뇌 신경 작용회로를 광유전학, 전기생리학, 신경활성 이미징 측정 방법을 이용하여 규명하고, 우울증이 진행되는 동안의 시간적 회로변화를 연구하여 우울증 기전 이해 및 새로운 치료방법 개발
사업의 의의	멀티스케일 커넥트 구축을 위한 원천기술 개발	TREK1 동물모델의 변연계를 이용한 원천기술의 표준화 및 적용
기간	2015~2017 (1단계, 3년)	2016~2018 (3년)
예산	총 110억원	총 15.3억원
주요 연구내용	- 광유전학 기법을 이용한 해마 및 소뇌에서의 전기생리학적 시냅스 가소성 기작연구 - 해마 내 공간 인지 기작 규명을 통한 행동학과 결합된 기능네트워크와 다이내믹스 연구 - 단백질 상호작용 분석(interactomics)과 분자적 영상기술을 이용한 시냅스 내의 분자적 변화 규명 - 시냅스 상보형광 검침법(mGRASP)을 이용한 멀티스케일 3D 구조적 시냅스 맵핑 - 신경세포 활성화 모니터링을 위한 탐침 개발 및 실시간 뇌영상을 이용한 기능적 회로 규명	- TREK1 유전자 결손 생쥐를 이용한 우울증 작용 회로 규명 - 변연계와 소뇌를 중심으로 시냅스 맵핑기술을 활용한 신규 회로 규명 - 신경활성화 탐침을 이용한 우울증 관련 신경 네트워크 활성분석 및 항우울 동물모델에서의 변화 연구 - TREK1 KO모델을 이용한 시냅스 분자 및 구조적 변화 연구를 통한 항우울 효과의 분자적 기전 규명 - TREK1에 대한 결합단백질 분석을 통한 신규 항우울제 타겟 발굴

□ 중복성 검토 결과

- ‘멀티스케일 기능커넥�믹스 연구’의 목표는 멀티스케일 기능커넥톼을 위한 마이크로/메조 스케일 구조적 연구 툴 개발 및 최적화에 있음
 - 주요 기술은 mGRASP, 뇌영상 분석기술, 광유전학, 조직 투명화 기술, 형광 분자센서개발 및 이미징 기술, 분자적 매핑 기술 (interactomics 등)임
- 따라서, 뇌지도 작성을 목표로 하는 본 사업과는 차별성이 있음
- 또한, 이러한 기술들은 특화 뇌지도의 성공적 작성을 위한 필수적 원천기술로 활용/확장 연계가 가능
- ‘항우울 동물모델을 이용한 우울증 작용회로 규명 및 변화 연구’과제의 목표는 상기 과제에서 개발한 툴의 유효성 검증임
- 특정 동물 (TREK1 KO생쥐)과 특정 국소적 뇌부위 (변연계와 소뇌)에 국한된 연구로 뇌질환 특화 뇌지도 사업과의 관련성이 적음
- 또한, 대상질환이 우울증으로 한정되어 있어 노화 뇌질환을 대상으로 하는 본 사업과 차별성이 있음
- 동 과제의 연구성과를 활용할 경우, 동물모델을 이용한 구조 및 기능 연구 결과와 환자 대상의 매크로 스케일 연구 사이의 허브역할이 가능함

나. 타 부처 소관 R&D사업

(1) 보건복지부 질환극복기술개발사업

□ 사업 개요

- 21세기 대표적 고부가가치 미래 성장산업인 보건의료 산업을 육성·발전시켜 국민의 생명·건강을 증진시키고 사람이 살기 편안한 건강·안전 사회 구현을 목표로 질병중심 중개연구, 뇌의학 연구 그리고 한영국제협력기술교류 사업으로 구성

○ 주요 사업 내용(2016)

구 분	내 용	
사 업 명	질환극복기술개발사업	
주관부처	보건복지부	
주관기관	한국보건산업진흥원	
목 적	질병 극복 및 삶의 질 향상을 위한 중개연구 R&D 지원	
사업추진형태	매년 공모를 통한 (신규)과제 추진	
사업기간	1995년~계속	• 주로 3년 이내 사업 구성 • 연간 3억 규모 과제 구성
예 산	812억원(2016)	*뇌연구분야 예산 : 약127억원(2016)
사업내용	(2016년 사업구성) •질병중심 중개연구 •뇌의학 연구 •한영국제협력기술교류사업 등	(비교검토과제) •섬망의 구조적, 기능적 뇌신경망 이상규명 및 사전진단-뇌표지자 개발(2016) •약물저항성 뇌전증 환자 뇌유전체 분석(2016) •알츠하이머병의 중심병태 생리 바이오마커 연결성 규명(2014) •뇌질환치료를 위한 대규모 뇌 연결망 모델링(2014) •파킨슨질환 바이오마커 후보물질의 임상적 검증(2014) •자폐스펙트럼장애에서 초고해상도 뇌영상 기법을 이용한 사회적 뇌 연결망 연구(2012) •뇌영상-유전자 융합 연구를 통한 우울증 진단 및 항우울제 지표 규명(2012)

□ 중복성 검토 결과

- 질환극복기술개발사업의 R&D사업인 질병중심 중개중점연구는 11개(2016기준)의 분야를 명시하고 있으며, 이중 ‘정신 및 행동장애’분야의 경우 범위로 볼 때 뇌질환의 일부영역이 중복될 수 있으나 연구의 규모 및 활용에서 차이가 있음
- 본 사업에서는 노인성 운동신경장애 특화 뇌지도의 구축과 함께 노화 뇌질환에 대한 조기진단 및 효과적 치료를 위한 멀티스케일 바이오마커를 발굴하고 치료의 타겟으로 원인적 국소 뇌영역을 제시하는 것으로 사업의 규모 활용의 차원에서 차별성이 있음.

(2) 산업통상자원부 웰니스휴먼케어플랫폼구축사업

□ 사업 개요

- 일반인 대상으로 신체적/정신적 상태를 모니터링하여 건강 유지 및 증진에 필요한 다양한 솔루션을 제공할 수 있는 웰니스 생활 건강서비스 모델 및 기반 기술 개발을 목표로 추진하는 사업임
- 웰니스 휴먼케어플랫폼 구축사업 주요 내용

구 분	내 용
사 업 명	웰니스휴먼케어플랫폼구축사업
주관부처	산업통상자원부
주관기관	대구경북과학기술원
목 적	고령화 사회 및 치료 중심에서 사전 예방적 건강관리 차원의 건강 패러다임 확대에 따른 웰니스의 수요 증가를 견인하기 위해 웰니스 생활건강서비스 기반기술 개발
사업추진형태	지식경제부 공모과제(2013년도 미래산업선도기술개발사업)로 사업자 선정
사업기간	2013년~2016년(38개월)
예 산	23억원(2015)
사업내용	(추진전략) ●최소자각 기반 생체신호 측정기술 개발 ●생체정보 모니터링 및 분석기술 개발 ●PWR(Personal Wellness Record; 개인생활건강정보기록) 기반 기술 개발 ●생활건강 서비스 시스템 개발 (사업단 수행과제) ●일반인 대상의 신체적/정신적 상태 모니터링 기술 연구 ●정신적/신체적 통합 웰니스 인포메틱스 엔진 개발 ●건강상태 유지 및 증진에 필요한 서비스 기술 연구개발 및 실증사업 수행 ●웰니스 생활건강서비스 모델 및 기반 기술 개발

□ 중복성 검토 결과

- 웰니스 휴먼케어플랫폼 구축사업의 경우 인간의 외현적 행동 및 반응(생체신호 등)에 기반하여 다양한 직업을 가진 사람들의 웰니스 지수를 측정해 질병에 대한 예후를 알아내고, 웰니스 실증사업 기반기술을 빅데이터(Big data)화해 통합시스템으로 구현하는 사업으로 본 사업에서 추구하는 인간 뇌활동의 근원 연구와 이의 활용과는 차이가

있음

- 웰니스 휴먼케어 플랫폼 구축사업은 상용화 가능한 생활건강서비스 모델개발을 목표로 하고 있으며, 본 사업은 뇌지도 작성에 기반한 인간뇌 이해와 이를 바탕으로 한 활용기술 개발을 목표로 하고 있음

나. 유관 사업과의 차별화 방안

- ☐ 뇌과학원천기술개발사업에서 확보된 핵심기술과 데이터 및 기 구축된 장비와 분석 플랫폼을 본 사업에 활용할 수 있으며 본 사업에서 구축되는 뇌지도 정보를 뇌과학원천사업의 연구에서 활용하도록 공개할 예정임
- ☐ 확보된 핵심기술 연계
 - 뇌과학원천기술개발사업을 뇌투명화기술 이미지 획득 이미징 분석 기술과 연계하여 Meso 수준의 뇌지도 작성이 가능하며 하드웨어-소프트웨어가 충족되는 기술 개발로 연계
 - 뇌과학원천기술개발사업에서 뇌영상 기반의 Macro 수준의 뇌지도 작성기술이 확보됨으로써, 본 사업에서 Macro 수준의 뇌지도를 위한 다양한 질환의 뇌영상 확보를 통해 신속한 사업진행이 가능함
- ☐ 데이터 활용
 - 뇌과학원천기술개발사업을 통해 확보된 고령 한국인 연령대별 남녀 표준 뇌지도의 연계 활용이 가능하며, 신경병리 PET 뇌영상 기반 치매 노인 뇌지도와의 비교분석 가능
- ☐ 핵심장비 및 분석 플랫폼 구축
 - 뇌투명화기술을 위한 핵심장비가 확보됨으로써 저속, 저해상도 3차원 이미징 장비 개발에서 고속, 고해상도 3차원 분자 이미징 장비 개발로 확대
 - 뇌투명화 기술과 연계되어있는 저해상도 가변 평면 이미징 기술을 발전시킴으로써 최고해상도 고속 가변 평면 이미징 기술 확보 가능
 - 과제를 통해 확보된 데이터 분석 기술을 활용하며, 데이터베이스 플랫폼을 확장하여 국가 뇌정보를 위한 인프라 구축 가능

<표 3-11> 미래부 기존사업과의 차별화 방안

사업명	사업목적	지원대상	기술분야	세부내용	추진방법	차별성
뇌과학원천 기술개발사업	뇌질환 예방·치료기술, 신체장애 극복기술, 뇌기능 강화기술 등 뇌분야 핵심 원천기술 확보 및 새로운 미래시장 창출	연구기관, 대학, 기업, 의료법인 등	뇌연구 4대 분야별 핵심 원천기술 확보	- 뇌연구 4대분야 원천기술개발 - 치매·뇌지도 구축 등 조기진단기술개발 - 인터넷 게임 디톡스 사업	공모	(차별성) 뇌질환 예방·치료기술 개발의 경우, 본 사업과 관련성이 높으나, 본 사업은 뇌지도 정보의 통합적 이해를 바탕으로 뇌질환 극복기 술을 개발한다는 점에서 연구목표와 접근방법 에서 차이가 있음
지능정보기술 연구소사업	기존 R&D의 제약을 극복하 고 국가 연구역량을 하나 로 결집하여 지능정보기술 에 최적화된 연구수행을 위한 연구소 조직 신설	지능정보 기술연구소	인공지능, 행동과학	- 지능정보기술연구소 설립 - 지능정보 기술개발 - 전문인력 저변확충 - 데이터 인프라 구축 - 지능정보산업 생태계 조성	사업단	(차별성) 사업의 목표와 대상연구단계 및 접근 방법에서 차별성이 있음 - 동 사업은 단기간내 AI제품화를 목표로 하는 반면, 본 사업은 뇌지도 정보를 AI에 활용할 수 있는 기술개발을 목표로 하고 있어 목표와 대상 연구단계가 다름 - 지능정보기술연구소사업은 인간행동패턴 연구 에 기반한 AI개발을, 본사업에서는 실제 인간 뇌의 기능과 구조에 기반한 AI연구를 추진
IBS 연구단사업	세계 최고 수준의 기초과학 및 기초과학 기반 순수 기초연구로 기존 대학이나 출연(연)과 차별화된 대 형 장기 집단 연구 수행	기초과학 연구원	분자생물학, 동물행동학	(시냅스 뇌질환 연구단) - 시냅스 단백질과 뇌기능 사이의 관계 규명과 뇌정신질환 발병 기전 연구 (인지 및 사회성 연구단) - 뇌기능의 유전학적·신경과학적 기전 연구 (뇌과학 이미징 연구단) - 기능성 자기공명영상기법 기반 분자, 세포, 조직, 시스템 수준의 다양한 뉴 로이미징 연구	사업단	(차별성) 연구범위 및 결과활용에 차이가 있음 - 순수기초연구를 추구하는 기초과학연구단과 달리 본 사업은 활용기술 개발을 추진하고 있 으며, 연구범위에 차별성이 있음
한국뇌연구원 기관고유사업	신경회로망 이해 및 뇌질환 극복기술 개발	한국뇌연구원	4대 뇌연구분야	뇌기능에 중요한 후두정피질 영역을 모델로 기술적 문제에 선제적 대응을 위한 연구	기관고유 사업	(차별성) 사업목표와 대상영역에서 차이가 있음 - 동 사업은 뇌신경회로의 이해를 목표를 하고 있는 반면, 본 사업은 뇌지도 구축을 목표로 함

사업명	사업목적	지원대상	기술분야	세부내용	추진방법	차별성
						- 동 사업은 후두정엽을 대상 영역으로 연구하는 반면, 본 사업의 주요 대상 영역은 전전두엽임 (차별성) 연구목표 및 연구대상에서 차이가 있음
KIST 기관고유사업	멀티스케일 기능커넥톰을 위한 마이크로/메조 스케일 구조적 연구 툴 개발 및 유효성 검증	KIST	뇌 신경생물	광유전학적 기법을 이용한 뇌회로의 기능적 커넥톰 연구 항우울 동물모델을 이용한 우울증 작용 회로 규명 및 변화 연구	기관고유사업	- 동물모델을 활용한 뇌지도 작성기반 기술 개발을 목표로 하고 있어 뇌지도 구축이 목적인 본사업과 차별화 - 대상 질환이 우울증으로, 본 사업의 대상질환과 다름

<표 3-12> 타부처 소관 R&D 사업과의 차별성

사업명	사업목적	지원대상	기술분야	세부내용	추진방법	차별성
(보건복지부) 질환극복기술 개발사업	질병 극복 및 삶의 질 향상을 위한 중개연구 R&D 지원	산·학·연·병	질 병 중 심 연구	(2016 사업내용) - 질병중심 중개중점연구 - 치과의료융합 기술개발 - 세계선도 의생명과학자 육성	공모	(차별성) 연구의 범위, 연구방식 및 결과 활용도에 차이가 있음
(산업통상 자원부) 웰니스휴먼 케어플랫폼 구축사업	고령화 사회 및 치료 중심에서 사전 예방적 건강관리 차원의 건강 패러다임 확대에 따른 웰니스의 수요 증가를 견인하기 위한 웰니스 생활건강 서비스 기반기술 개발	제한없음	생 체 신 호 분석, 활용 제품 개발	-최소자각 기반 생체신호 측정기술 개발 -생체정보 모니터링 및 분석기술 개발 -PWR(Personal Wellness Record: 개인생활건강정보 기록) 기반 기술 개발 -생활건강 서비스 시스템 개발	사업단	(차별성) 사업의 목표, 연구범위, 결과 활용에 차이가 있음

제 4 장. 사업 운영계획

제1절 사업추진체계

1. 전체 사업추진체계

- 본 사업은 미래부를 주관부처로 하여 뇌지도의 작성과 활용을 위해 필요한 기술을 발굴·개발하고 연구개발 결과물의 활용도를 극대화할 수 있는 사업관리 및 평가체계를 도입하여 추진
 - 사업의 원활한 운영관리를 위한 ‘사업운영위원회’를 구성·운영하고, 운영위원회 산하에 과제 선정평가, 단계, 최종평가를 위한 평가단을 구성·운영
 - 1세부사업의 연구단장 중 1명이 사업단장을 겸임하며, 사업단 운영을 담당
- 사업단과 세부사업이 Hub-Spoke 구조를 이루는 운영체계를 구축
 - 사업단이 Hub가 되어 각 세부사업의 연구단 및 과제를 운영 관리
 - 각 세부사업은 Spoke 역할로서 뇌지도정보 획득, 기술개발 및 뇌지도 정보 활용의 역할 수행
 - 1세부사업의 경우, 세부사업 내에서도 hub-spoke 구조로 운영되는 2layer 운영모델 도입



[그림 4-1] 사업추진 체계도



[그림 4-2] Hub-Spoke 운영체계

□ 사업수행주체 및 수행주체간 역할 분담

- 사업수행주체 : 국가(미래창조과학부)
- 총괄부처 (미래창조과학부)

- 상위계획, 정책 및 법·제도 제/개정
- 재정보호 및 지원
- 관련 부처 대상 사업 홍보 및 협조 요청
- 사업 기본계획의 수립 및 공고
- 전문기관 (한국연구재단)
 - 연차별 시행계획 수립
 - 과제 공모 및 선정평가 (Core 과제 포함)
 - 협약 체결, 사업비 집행 및 관리
 - 과제 연차/단계, 최종평가
- 연구기관
 - 과제별 연구개발계획 수립 및 실행
 - 과제별 연구개발 결과 및 성과 보고
- 참여기업
 - 기술개발 참여 및 사업화 추진

사업운영위원회 구성·운영 방안

☐ 목적

- 사업의 기획·운영에 관한 심의 기능

☐ 구성 및 자격

- 수행부처인 미래부와 전담기관인 연구재단, 핵심참여기관 (국내 주요 뇌연구기관, 병원) 및 전문가들로 구성
 - 운영 위원은 미래부의 담당관 및 연구재단 뇌 연구분야 PM, 한국뇌연구원 및 한국과학기술연구원 뇌과학연구소 소장, 주요 뇌 분야 관련 학회 학회장, 대학·병원·기업체의 민간전문가들로 구성

☐ 운영

- 사업 수행기간동안 상시적 기구로 운영 (1년 2회)

☐ 역할

- 사업 관리·운영에 관한 자문
- 과제 선정 및 지원액 확정
- 성과평가 및 사업관리 점검 등 주요사항 최종 심의

사업단 구성·운영 방안

☐ 목적

- 연구단 및 개별과제의 운영·관리와 대내외 연계·협력 활동을 통하여 사업 전체의 목표 달성에 기여

☐ 사업단장 선임

- 1세부사업의 연구단 중 기반구축 사업을 수행하는 연구단장을 사업단장으로 선임
 - 본 사업 기획에서는 ‘고위 뇌기능 특화 뇌지도 구축’ 세세부사업에서 기반구축을 수행하므로 해당 세세부사업 연구단장을 사업단장으로 선임

☐ 연구단장 자격

- 대학, 출연연, 병원, 기업 등에 소속된 자로 뇌 연구분야와 기술경영 전반에 걸쳐 전문성과 행정능력, 경험과 지도력이 뛰어난 자
- 뇌 분야 핵심기술 개발 및 해외 선진기관과의 협력 및 공동 R&D 수행 경험을 보유하였거나 연구 기획·관리 경험을 통해 뇌 연구 사업 운영의 역량을 보유한 자
- 뇌 연구분야 전문성과 역량이 높고 뇌 연구 인프라가 갖추고 있는 기관에 소속된 자

☐ 사무국

- 사업의 운영관리 총괄 등 사업단장의 전주기적 경영관리 지원
- 뇌지도 DB 운영관리
- 국내외 네트워크 구축 등 대내외 대응 총괄

☐ 자문위원회

- 연구단 및 세부과제 관리·운영에 관한 자문
- 세부과제 지원금액 조정에 대한 자문

2. 과제 추진체계

□ 본 사업의 과제는 연구단 과제와 개별과제 형태로 추진

- 뇌지도 구축을 수행하는 1세부사업의 경우, 연구단과제로 구성하여 세부 과제간의 연계·협력 하에 하나의 뇌지도 구축 목표를 달성
- 뇌지도 작성 및 활용 기술개발을 수행하는 2, 3, 4세부사업의 경우, 개별 과제로 구성하여 연구자의 자율성을 유도하되, 연구개발 수행관리와 성과 관리는 사업단에서 담당하여 세부사업 및 사업 전체의 목표 달성에 기여 하도록 지원

□ 지원조건

- 과제의 지원기간은 연구단 과제는 10년, 개별과제는 3년으로 함
 - 연구단 내 세부과제의 지원기간은 3년 내외로 하여 사업 단계평가 결과에 따라 계속 지원 여부를 결정
- 연구단 과제의 연구비는 장비 구입 등 기반구축 비용을 제외한 연구개발 비로 연간 60억원 내외 지원
- 개별과제 연구비는 연간 5~20억원 범위에서 지원

제2절 사업 관리방안

가. 사업 관리 방안

□ 상시 모니터링 체제 구축을 통한 사업 성공률 향상 및 R&D 생산성 제고

- R&D 비용의 증가와 함께 첨단기술일수록 성과에 대한 불확실성과 위험이 커지고 있어 실패 확률을 줄이기 위해서는 체계적인 사업 모니터링을 통한 과제 중단 또는 과제 추진방향 변경 등 피드백이 매우 중요
- 전문기관인 한국연구재단은 동 사업의 추진과정에서 과제선정 이후 연차 또는 단계평가, 중간평가, 최종평가 및 필요시 수시 검토를 통해 과제 초기와 비교하여 수요 변화와 과제 목표달성 정도를 지속적으로 점검

- 과제의 주요 마일스톤 별로 기존 평가위원을 활용하여 수요 및 외부 연구개발 동향, 목표 달성 가능성 등을 종합 점검하며 필요시 종합진단팀을 구성하여 정밀 점검을 실시
- 점검을 통해 모니터링 결과를 과제 내에서 반영할 수 있는 경우 해당 과제를 추진하며 성공가능성이 높지 않은 경우 과제 추진방향 변경을 통한 추진 또는 과제 중단 등 후속 조치를 추진

<표 4-1> 상시 모니터링 및 평가 항목

구 분	항목
환경 변화	- 뇌 연구 분야에서 대두되고 있는 새로운 이슈를 반영하고 있는가? - 사업에서 다루고 있는 주요 이슈 중에서 그 중요성이 현저히 떨어진 이슈는 없는가? - 사업에 영향을 미칠 수 있는 최근 정책 변화는 없는가?
연구개발 동향	- 뇌 연구 분야에서 최근 발표된 중요한 연구개발 성과는 무엇인가? - 주요 선진국에서의 최근 중요한 연구방향의 변화는 없는가?
사업 목표	- 당초 계획된 사업 목표가 어느 정도 달성되었는가? - 최근 환경변화 및 연구개발 동향 변화에 따라 사업 목표의 수정이 필요하지는 않는가?
사업 수행	- 당초 계획된 사업 진도가 차질 없이 진척되고 있는가? - 목표 달성을 위해 현재 수행되는 연구방법이 적절한가? - 사업 목표와 진도에 따라 연구자원이 적절하게 배분 혹은 집행되고 있는가?
사업 성과	- 당초 계획된 연구 성과가 창출되고 있는가? - 사업을 통해 창출된 성과 정보가 적절하게 관리되고 있는가?
추진 계획	- 향후 사업 추진일정이 적절하게 수립되어 있는가? - 추진일정의 조정이 가능한 프로그램이나 과제는 없는가? - 향후 추진 계획에서 환경변화를 적절히 반영하고 있는가?

나. 사업추진절차

- ☐ 본 사업은 사업기획 및 시행공고, 사업수행, 사업결과 활용까지 다음과 같은 절차로 추진함



[그림 4-3] 사업추진절차

다. 과제 평가 방안

- ☐ (선정 평가) 한국연구재단의 일반적인 평가·조정체계를 따라 연구기관이 작성한 연구개발계획서를 바탕으로 전문기관의 사전검토, 분야별 평가위원회 대상으로 한 전문가 평가, 전문기관 조정, 총괄조정, 확정의 단계를 거쳐 진행
- 사전검토와 전문기관 조정은 한국연구재단의 본 사업 운영PM을 중심으로 수행하며 총괄조정은 사업운영위원회를 활용
 - 한국연구재단의 일반적인 평가절차에 따라 관련 분야의 평가위원을 구성하고 수행
 - 연구단 선정평가를 위한 평가지표는 다음 표와 같으며, 연구책임자 소속 기관의 역량과 연구수행인력의 역량에 높은 가중치를 부여

<표 4-2> 연구단 선정평가의 평가지표

평가항목		가중치 (10%)
연구수행 인력 역량 (20)	①연구책임자 및 참여인력의 전문성 -연구책임자의 연구역량 및 연구윤리 수준은 적절한가? -연구관련 기반기술(특허 등)을 보유하고 있는가? -보유한 기반기술은 기존 기술과 차별성이 있는가? -연구책임자의 관련 연구수행경험 및 실적은 풍부한가? -참여 연구인력의 역량은 충분한가?	20
연구책임자 소속 조직 역량 및 연구지원 정도 (25)	②연구책임자 소속 조직의 역량 -연구책임자 소속기관의 전문성 및 관련과제 실적 -뇌연구 관련 보유 시설 및 장비 -연구책임자 소속기관의 안정성 -총괄/세부 과제 조직간 협력·연계방안은 적절한가?	15
	③연구책임자 소속 기관의 연구수행 지원 계획의 적절성 -연구책임자의 과제수행 투입시간을 보장하고 있는가? -과제 운영관리 인력 지원 계획이 있는가? -연구수행을 위한 시설 및 조직의 지원계획이 있는가?	10
연구 타당성 및 성과목표 적절성 (20)	④연구 필요성 및 타당성 -연구의 필요성과 시의성이 적절한가? -연구 타당성에 대한 객관적 근거제시가 되었는가?	5
	⑤연구 성과목표의 적절성 -연구성과목표가 명확하며, 합리적으로 설정되었는가? -연구성과목표, 성과지표, 목표치 설정이 적절한가? -연구성과목표의 달성 가능성이 높은가? -총괄/세부 과제간 성과목표 연계가 적절한가?	15
연구내용 및 추진계획의 타당성 (25)	⑥연구내용의 충실성 -관련특허, 논문 및 시장 등 사전 분석이 충실한가? -목표달성을 위한 연구내용 도출은 적절한가? -기존 또는 타 연구와의 중복문제는 없는가?	10
	⑦연구추진 계획(전략)의 적절성 -연구방법이 구체적이고 합리적으로 제시되었는가? -연구기간 및 연구추진일정은 적절한가? -연구시설·장비 구축 및 연구비 산정은 합리적인가? -기술수요자, 전문가 등 필요한 연계활동계획은 수립되어있는가? -연구의 위험요인 및 이에 대한 대응 방안 수립은 제시되어 있는가? -(통합형) 전체 과제관리계획은 적절하게 제시되어 있는가?	15
활용가능성 및 파급효과의 적절성 (10)	⑧연구성과 활용방안의 적절성 -연구성과 활용목표는 구체적으로 제시되었는가? -연구성과 활용방안 제시는 적절한가? -연구성과 활용목표는 달성 가능한가?	5
	⑨예상되는 파급효과 -연구의 파급효과가 명시적으로 제시되어 있는가? -연구를 통한 파급효과는 충분히 매력적인가?	5
합 계		100

<표 4-3> 개별과제 선정평가의 평가지표

평가항목		가중치 (10%)
연구수행 인력 역량 및 연구책임자 소속 조직 역량 (30)	①연구책임자 및 참여인력의 전문성 -연구책임자의 연구역량 및 연구윤리 수준은 적절한가? -연구관련 기반기술(특허 등)을 보유하고 있는가? -보유한 기반기술은 기존 기술과 차별성이 있는가? -연구책임자의 관련 연구수행경험 및 실적은 풍부한가? -참여 연구인력의 역량은 충분한가?	25
	②연구책임자 소속 조직의 역량 -연구책임자 소속기관의 전문성 및 관련과제 실적 -연구책임자 소속기관의 안정성	5
연구 타당성 및 성과목표 적절성 (20)	③연구 필요성 및 타당성 -연구의 필요성과 시의성이 적절한가? -연구 타당성에 대한 객관적 근거제시가 되었는가?	5
	④연구 성과목표의 적절성 -연구성과목표가 명확하며, 합리적으로 설정되었는가? -연구성과목표, 성과지표, 목표치 설정이 적절한가? -연구성과목표의 달성 가능성이 높은가?	15
연구내용 및 추진계획의 타당성 (40)	⑤연구내용의 충실성 -관련특허, 논문 및 시장 등 사전 분석이 충실한가? -목표달성을 위한 연구내용 도출은 적절한가? -기존 또는 타 연구와의 중복문제는 없는가?	15
	⑥연구추진 계획(전략)의 적절성 -연구방법이 구체적이고 합리적으로 제시되었는가? -연구기간 및 연구추진일정은 적절한가? -연구시설·장비 구축 및 연구비 산정은 합리적인가? -기술수요자, 전문가 등 필요한 연계활동계획은 수립되어있는가? -연구의 위험요인 및 이에 대한 대응 방안 수립은 제시되어 있는가? -(통합형) 전체 과제관리계획은 적절하게 제시되어 있는가?	25
활용가능성 및 파급효과의 적절성 (10)	⑦연구성과 활용방안의 적절성 -연구성과 활용목표는 구체적으로 제시되었는가? -연구성과 활용방안 제시는 적절한가? -연구성과 활용목표는 달성 가능한가?	5
	⑧예상되는 파급효과 -연구의 파급효과가 명시적으로 제시되어 있는가? -연구를 통한 파급효과는 충분히 매력적인가?	5
합 계		100

□ (진도 관리) 한국연구재단의 일반적인 진도관리체계에 따라 수시점검을 통한 마일스톤 관리와 필요시 현장평가를 통한 평가결과 조치를 수행

- 연구개발계획서 대비 추진실적이 미비한 경우에는 한국연구재단의 본 사업 담당 PM이 마일스톤에 따라 수시점검을 실시
- 수시점검과정에서 현장평가가 필요하다고 판단되는 경우 평가위원회 및 기타 전문가 등으로 구성된 현장평가팀이 현장평가를 실시
- 현장점검은 계획 대비 연구수행성과 및 연구비 집행실적을 점검
- 현장평가결과를 바탕으로 당해 연구개발과제의 “계속”, “중단”, “보완” 3 등급으로 결정하여 주관연구기관장에게 통보하여 보완

□ (연차 평가·단계 평가) 한국연구재단의 일반적인 연차·단계평가체계를 따라 연구기관이 제출한 보고서 및 향후 계획서를 바탕으로 전문가 평가, 전문기관 조정, 총괄조정을 통해 확정하는 절차로 진행

- 전문가 평가는 분야별 평가위원회가 수행하며 전문기관 조정은 한국연구재단의 본 사업 담당PM 중심으로, 총괄 조정은 사업운영위원회가 수행

<표 4-4> 연차·단계평가의 평가지표

평가항목		가중치
연구수행 과정의 충실성 (35)	①연구계획 내용 이행의 충실성 -사전에 수립된 전략대로 실행되었나? -환경변화에 적절한 대응이 이루어졌는가? -관련기관 및 산업계, 타 연구주체와의 협력 노력은 충분하였는가? -(연구단) 세부과제간 연계, 조정, 통합 노력은 충분하였는가?	20
	②계획의 이행수준 -일정계획은 어느 정도로 지켜졌는가? -연구예산은 계획대로 집행되었는가? -연구기자재는 계획대로 확보되었는가? -연구인력구성은 계획대로 투입되었는가?	15
계획대비 성과 (35)	③계획 대비 연구성과목표 달성도 -협약시 제시된 연차/단계 성과목표가 양적·질적으로 달성되었는가?	30
	④부가적 성과 -성과계획에는 없었으나 부가적으로 달성된 성과의 양적, 질적 수준은? -당초 예상되었던 문제점들이 해결되었는가?	5
당해 연도/단계 연구계획의 적절성 (30)	⑤계획 내용의 적절성 -최근의 환경변화를 제대로 반영하고 있는가? -환경변화 고려 시 여전히 과제는 유효한가? -당해연도/단계 성과목표수립은 적절한가? -당해연도/단계 수행 연구내용은 적절한가?	10
	⑥연구추진전략 및 수행방법의 적절성 -당해연도/단계 연구수행전략은 적절한가? -당해연도/단계 연구수행 조직, 인력은 적절한가? -당해연도/단계 연구수행 일정, 예산은 적절한가?	10
	⑦과제성공가능성 및 활용방안 -현 시점에서 과제 성공가능성은 제고되었는가? -연구결과의 활용계획 및 방안은 적절한가? -예상되는 연구의 기대효과는?	10
합 계		100

□ (최종 평가) 한국연구재단의 일반적인 최종평가체계를 따라 연구기관이 제출한 최종보고서와 성과활용계획서, 기술개발성과확약서를 바탕으로 검토 또는 현장실태조사, 전문가평가, 평가결과 보고의 순서로 진행

- 검토 또는 현장실태조사는 한국연구재단이 PM을 중심으로 수행하며 전문가평가는 분야별 평가위원회가 수행

<표 4-5> 최종평가의 전문가평가 평가지표

평가항목		가중치
계획대비 최종성과 (50)	①계획 대비 연구성과목표 달성도 -협약시 제시된 최종 성과목표가 양적·질적으로 달성되었는가?	4
	②부가적 성과 -성과계획에는 없었으나 부가적으로 달성된 성과의 양적, 질적 수준은? -당초 예상되었던 문제점들이 해결되었는가?	1
연구수행 과정의 충실성 (35)	③연구계획 내용 이행의 충실성 -사전에 수립된 전략대로 실행되었는가? -환경변화에 적절한 대응이 이루어졌는가? -관련기관 및 산업계, 타 연구주체와의 협력 노력은 충분하였는가? -(연구단) 세부과제간 연계, 조정, 통합 노력은 충분하였는가?	2
	④계획의 이행수준 -일정계획은 어느 정도로 지켜졌는가? -연구예산은 계획대로 집행되었는가? -연구기자재는 계획대로 확보되었는가? -연구인력구성은 계획대로 투입되었는가?	1.5
최종 연구계획의 적절성 (15)	⑤계획 내용의 적절성 -최근의 환경변화를 제대로 반영하고 있는가? -환경변화 고려 시 여전히 과제는 유효한가? -최종 성과목표수립은 적절한가? -최종 수행 연구내용은 적절한가?	1
	⑥연구추진전략 및 수행방법의 적절성 -최종 연구수행전략은 적절한가? -최종 연구수행 조직, 인력은 적절한가? -최종 연구수행 일정, 예산은 적절한가?	0.5
합 계		10

제3절 사업 성과 관리 및 활용방안

1. 성과지표별 성과측정 및 관리계획

<표 4-6> 성과지표별 성과측정 및 관리계획

목표	성과지표	정의	단 위	단계별 목표치 (누적)			가중치 (%)	지표 측정방법 (측정산식)	실적치 검증방법 (자료출처)
				1단 계	2단 계	3단 계			
혁신적 뇌융합 기술 개발	뇌지도 작성 플랫폼	기능, 구조, 분자 지도 작성의 표준화를 위한 각 지도작성 과정의 모듈화 및 모듈간 파이프라인 구축	건	2			15	뇌구조 및 기능지도 작성 SOP 수립 여부	과제책임자 제출자료
	특화 뇌지도	고위뇌기능 연관 신경회로망의 기능-구조-분자적 특성을 포함하는 데이터 플랫폼	종		2		25	멀티스케일 통합 특화 뇌지도 작성 여부	사업단 구축 DB
	뇌지도 작성 원천기술	신경회로의 기능 구조를 측정하거나 제어하는데 관련된 제반 기술로 관련 장비에 직접 이용되는 기술	건	1	2	5	20	장비개발 건수 또는 장비개발 관련 핵심 특허 기술이전 건수	특허출원문헌 기술이전계약서
뇌지도 정보 활용기반 구축	뇌모사 지능 알고리즘	뇌지도 혹은 뇌작동원리에 기반한 새로운 지능 알고리즘의 개발. 주요 결과물 : 개념모델 또는 수학적모델	건		2	5	15	심리학 실험들을 통해 검증된 다양한 정서적/사회적 판단 혹은 의사결정의 상황에서 보이는 뇌모사 지능 알고리즘의 수행이 인간의 행동과 유사한 정도를 측정하여 비교검증	과제책임자 제출자료
	정밀의학 융합데이터	환경, 질환 등에 따른 뇌유전자의 후성유전체적 변화와 전사체적 변화를 biofluid에서 규명하고, 이것이 특정 뇌영역 및 기능으로 투사되는 원칙 정보를 포함한 후성유전체/전사체/뇌활성/이미징 융합데이터	종		1	3	10	환자 biofluid의 후성유전체적 변화 및 전사체적 변화가 특정 뇌영역 뇌활성으로 연계되는 데이터 구축. 객관적인 정밀도, 재현도, 예측도 등이 수치적으로 제시되는 데이터여야 함	과제책임자 제출자료 (융합데이터 DB)

목표	성과지표	정의	단 위	단계별 목표치 (누적)			가중치 (%)	지표 측정방법 (측정산식)	실적치 검증방법 (자료출처)
				1단 계	2단 계	3단 계			
	뇌질환 진단키트	뇌기능 이상 진단 또는 약물반응 예측 키트의 시제품	종		1	3	15	특정 뇌질환자의 후성유전학적/전사체 변화 측정이 개인별 뇌기능 차이를 예측할 수 있는 민감도와 특이도를 확보한 진단 키트 현 기술보다 미니뇌 제작의 고속화, 표준화, 분석기술 자동화를 기반으로 한 환자 맞춤형 미니브레인 진단 방법을 키트화, 간편 배양, 간단 표지자 등의 기술이 포함되어야 함	과제책임자 제출자료

2. 사업 성과 확산 및 활용방안

- ☐ 본 사업을 통하여 도출되는 대표적인 성과는 ①뇌지도 구축 플랫폼과 ②특화 뇌지도 DB, ③뇌지도 작성기술, ④뇌모사 지능모델, ⑤뇌질환 정밀의료 빅데이터 DB, ⑥뇌질환 진단키트 등임
- ☐ 뇌지도 구축 플랫폼의 경우, 뇌지도 작성을 위한 SOP를 수립함으로써 향후 다양한 영역의 특화뇌지도 및 전체 뇌지도 작성에 활용
 - Hub 사업단에서 대용량 뇌지도 구축 및 분석을 위한 데이터베이스를 구축하고 다수의 spoke기관에서 표준화된 뇌지도의 효율적 작성이 가능하도록 Atlas 등의 소프트웨어 제공 (클라우드 기반 분산 데이터 처리시스템 구축 필요)
- ☐ 본 사업에서 개발되는 고위 뇌기능 뇌지도 DB와 노화 뇌질환 특화뇌지도 DB는 인간 뇌의 작동원리를 이해하기 위한 기초 지식을 제공함
 - 구축된 특화 뇌지도의 매크로/메조/마이크로 정보를 일관되고 통합된 형태로 데이터베이스화하여 일반 국민과 학계에 공개하여 다양하게 활용될 수 있도록 함
 - 고위뇌기능 관련 대뇌피질의 초고해상도 구조 뇌지도에 신경세포 활성화, 기능 및 분자 정보를 통합한 새로운 개념의 데이터 플랫폼을 연구자 및 일반에 제공
 - 현존하는 소규모의 개별적 정보 DB와 차별화된 구조-기능-분자 통합 뇌지도를 인터넷 상에서 열람, 다운로드, 가공, 분석 가능한 통합 DB 플랫폼 형태
 - 지속적으로 산출될 멀티스케일의 이종 뇌지도 DB에 대응 가능한 빅데이터 가시화 가능한 하드웨어 및 소프트웨어 기술 개발
 - 다양한 스케일별로 구축될 뇌지도 정보는 하나의 website를 통해서 마치 구글 지도를 통한 세부 지역 탐색과정과 유사하도록 뇌지도의 세부 영역, 미세 정보로의 탐색이 가능한 직관적인 검색 형태로 구축하도록 함
- ☐ 뇌지도 작성으로 인간의 뇌를 이해하게 되면 이를 모사한 인공지능 알고리즘 개발과 컴퓨터 시스템 개발에 활용 가능

- 본 사업의 성과물인 뇌모사 지능모델은 보다 인간에 가까운 인공지능 제품 개발에 적용되어 의료, 금융, 자율주행, 마케팅, 법률 자문 등 생활 전반에 활용될 수 있음
- 오감정보 융합기반 인간 뇌인식 수준의 인식기 구현 및 인간 뇌 고차원 인지기능을 모방한 인공신경망 모델 구현, 다중 감각정보에 대한 고성능 인식기와 인간 뇌의 기억, 감성, 의도, 의사결정 등을 모방할 수 있는 차세대 인공신경망 모델 개발에 활용
- 본 사업을 통하여 개발된 뇌모사 지능모델은 인공지능 성능에 대한 새로운 기준을 제시함
 - 현재의 인공지능 알고리즘은 정확도를 가장 중요한 성능기준으로 삼고 있으나, 감성 인지 및 표현, 상황 인지 및 표현, 계획 및 스케줄링, 온톨로지 등 다른 종류의 기준의 필요성이 대두되고 있음.
 - 본 연구는 성능을 새롭게 정의하여 기존의 인공지능과는 완전히 다른 인공지능의 나아갈 길을 개척하고자 함.
- NeuroPerception
 - 뇌의 인식 정보처리 메커니즘을 모사한 인간 수준의 감각지능 통합 지각판단 회로 개발을 통해서 실세계 환경에 의해 왜곡된 입력 정보에 강한 인식이 가능한 모델 개발
- NeuroEmotion
 - 감정의 뇌과학적 모형에 기반한 사용자 감정상태 예측능력 향상기술 개발
 - 사용자의 감정에측에 바탕한 응용시스템 연구
- NeuroAction
 - 복잡한 동작을 인간과 유사한 형태로 모사하는 시스템
 - 뇌의 작동원리를 활용한 Neuro-Robotics, Neuro-Interface(Neuro-VR/AR) 및 Neuro-Interaction 기술 [※ VR: Virtual Reality, Augmented Reality]
- NeuroCognition
 - 기존의 의사결정모델에 감정에 의한 효과를 추가한 의사결정 모델
 - 뇌의 작동원리를 활용한 뇌모사 소셜네트워크 모델

- 질환 뇌지도 정보와 이를 바탕으로 한 뇌질환 진단·치료기술은 회로망 관련 뇌질환의 정밀의료에 활용 가능
 - 뇌지도 정보로부터 정밀한 뇌회로망을 이해할 수 있기 때문에 정확한 좌표를 찾아 뇌심부를 자극하는 방식으로 뇌전증, 파킨슨병 등 회로망 관련 질환 치료에 활용 가능
 - 실험동물 중심으로 작성된 뇌지도 정보를 응용하여 환자에 적용 가능한 뇌질환 극복기술을 개발
 - 뇌지도의 해부학적, 생리학적, 화학적, 대사적, 뇌영상학적 지표를 개발, 통합, 분석함으로써 뇌질환 분야의 새로운 정밀의학 기술을 개발
 - 해당 뇌질환에 대한 신경과학, 임상, 공학 등 다방면의 전문가의 정기적인 자문 및 공동연구를 도모하고, 상용화 단계에서 관련 산업체와 협력체제를 구축, 기술 고도화 및 산업화를 추진
- 또한, 본 사업에서 개발되는 뇌지도 작성 원천기술은 1세부사업의 뇌지도 작성에 활용되며, 나아가 뇌 영상진단 기기 또는 신경 측정, 분석장비 개발 및 실용화를 추진
 - 개발된 뇌지도 작성 기술을 사업내 워크샵 등을 통해 스포크 기관과 기타 뇌연구 그룹에 기술을 전수하고 수시 지원
 - 본 사업 참여 국내 기업과 협력하여 장비의 국산화를 달성하고 실용화를 추진하며, 1세부사업의 연구기관에 개발된 장비를 지원
- 본 사업의 연구개발 성과를 미래부 및 타 부처의 뇌연구 유관 사업에 연계시켜 제품화 및 상용화에 활용
 - 미래부의 지능정보기술연구소 사업의 경우, 단기적으로 제품화 가능한 AI 개발을 목적으로 하고 있어, 본 사업의 성과를 활용할 경우 보다 고차원적이고 인간 뇌에 근접한 AI 개발이 가능할 것임
 - 보건복지부의 질환극복기술개발사업 등에 연구성과를 연계하여 관련 제품 및 서비스의 상용화에 기여

3. 세부사업간 연구 성과의 연계 및 활용방안

□ 특화 뇌지도 구축사업 (1세부사업)성과의 연계·활용 방안

○ 고위 뇌기능 특화뇌지도 성과의 3세부사업 연계방안

- 본 사업의 차세대AI연구는 기존의 AI연구와는 달리 뇌의 작동원리에 기반하여 인공지능 기술을 한단계 진보시키고자 하는 연구로서, 뇌지도와의 연계성이 이 연구의 핵심이라고 할 수 있음.
- 뇌 작동원리가 인공지능연구에 필요한 이유에 대해서는 세부사업 추진 필요성 3,4,5 (405-407페이지)에 자세히 설명되어있음
- ※ 간략한 예를 들어 현재 인공지능 연구의 핵심인 딥러닝의 경우 뇌의 시각피질을 모사한 연구에서 시작되었음.
- 한국의 연구풍토상 사업간 경쟁구도로 인해 사업 간 연구교류가 미약하며, 이로 인해 별도추진시에는 해당 연구에서 가장 필요한 뇌작동원리, 뇌구조 등의 정보를 얻을 수 없게 되어 경쟁력을 상실할 것으로 사료됨.
- 예를 들어 두정엽에서 이루어지는 중요한 뇌기능 중의 하나는 감각신호의 통합이 있음. (시각정보와 proprioceptive정보, 청각정보 등) 두정엽 (parietal cortex)의 뇌회로를 밝혀낼 경우, 직접적으로 본 세부의 중점 중 하나인 “감각지능통합기반 고성능 뇌모사 인지회로연구”로 연결됨.

○ 특화뇌지도 성과의 4세부사업 연계방안

- 1세부에서 동물 중심으로 작성한 특화뇌지도를 적극 활용하여 인지나 정신질환에 관련한 뇌의 작동원리를 우선 이해하고, 나아가 뇌지도 작성의 기술과 노하우를 기반으로 4세부사업의 인간 뇌영상지도 기반 뇌기능 조절기술에 발달시킴

□ 3세부사업(차세대 AI연계 연구)와 4세부사업(개인맞춤형 뇌질환 극복 기술 개발)과의 연계성

- 4세부에서 생성된 뇌영상자료와 분자DB자료의 환자별 융합데이터들은 각 환자의 증상/행동 데이터들과 연동되어 분석되어야 함
- 이때 환자 각개인의 행동 빅데이터가 뇌의 행동원리 관점에서 해석되어야 하고 나아가, 질환행동을 인지하고 예측하는데 쓰일 수 있는데, 여기에 3세부의 ‘인간 행동분석 이해 기반 인지-예측 기술’이 활용될 수 있음

제4절 사업 추진상의 위험요인 및 대응방안

- 본 사업 목표 달성의 근간이 되는 뇌지도 작성이 외부 요인에 의해 예정 기간 내에 미완성될 경우, 전체 사업 목표의 달성이 지연되거나 어려워질 수 있음
 - (대응방안) 1세부사업의 연구 성과물인 뇌지도 정보를 활용할 예정인 3,4세부사업의 경우, 기존의 해외 뇌지도 정보 등을 활용하여 기술개발을 추진하며, 추후 특화뇌지도가 구축되었을 때 개발된 기술을 검증
- 동물모델 중심의 뇌지도 정보가 환자 임상 데이터와의 연관성 부족으로 활용도가 낮을 가능성이 있음
 - 본 사업의 특화 뇌지도 작성은 우선 동물모델을 기반으로 진행되며, 사업 후반기에 인간 뇌지도 작성 기반을 구축할 예정
 - 또한, 4세부 사업 ‘개인맞춤형 뇌질환 극복기술 개발’은 인간 (환자)를 대상으로 한 진단·치료기술 개발이므로, 1세부사업에서의 연구 결과물이 상호 연관성이 약하거나 활용이 어려울 가능성이 있음
 - (대응방안) 질환 동물모델의 경우, 약물처리 모델과 유전모델을 포함하는 다수의 동물모델을 동시 사용하고, 보다 대표성이 있는 신규 동물모델을 제작하여 환자 데이터와의 관련성을 제고하도록 함
 - (대응방안) 동물 모델 대상 뇌지도 작성 후 사후 인간 뇌조직을 이용한 연구를 통해 검증하며, 인간 뇌 시료는 한국뇌은행 연계 대학병원을 통해 확보. 또한, 국내 뇌은행에서 뇌 시료 확보가 여의치 않을 경우, 해외 네트워크 뇌은행과 연계하여 뇌 조직을 확보
- 개발된 뇌지도 정보의 공개 및 활용, 환자 임상 데이터의 수집 등에서 법·제도적인 제한점이 있어 즉각적인 활용이 어려울 가능성이 있음
 - (대응방안) 데이터 공개 및 활용 법·제도상의 문제점이 없는지 사전 검토하고 미래부가 제도 개선 노력을 병행
 - (대응방안) 정밀의료 실현을 위해서는 환자 임상데이터의 수집과 함께 타 데이터와의 통합이 중요. 따라서 정밀의료 구현을 위해 개인 정보 수집 및 활용 관련 정책·제도상의 미비점을 보완하도록 정부 차원에서 노력

- 본 사업수행을 위한 연구인력 pool은 충분하나, 뇌지도 구축에 필수적인 뇌융합 분야 인력은 부족한 상황임
 - (대응방안) 통합뇌지도 구축, 빅데이터 융합기술 등 일부 분야의 경우 뇌융합 분야 인력이 필요하여, 본 사업에 뇌융합 분야 인력양성계획을 포함
 - (대응방안) 기존 인력 pool의 뇌지도 작성 역량을 보다 강화하기 위해 특화기술 워크숍을 연 2회 개최하여 전문인력을 양성하고자 함 (2.5억/년, 총 25억원)
 - (대응방안) 뇌지도 작성 핵심기술 개발에 필요한 이종 기술 보유자(컴퓨터 공학, 광학, 재료공학 등 공학자) 참여를 유도하기 위하여, 연구팀 구성시 이종기술 분야 인력이 참여하면 평가시 가산점 부과 및 이종기술 보유한 post-doc 채용을 위한 연구비 증액을 지원하도록 설계함(7.5억/년, 총 75억)

제5절 기대효과

1. 과학기술적 기대효과

- 통합 뇌지도는 뇌과학 쏠분야의 기반 정보로 활용될 수 있으며, 특히 뇌신경 생물학과 뇌인지의 접점을 제공할 것으로 기대
 - 뇌질환의 예방, 조기 진단 및 근원적 치료와 같은 약학, 의학 기술 뿐 아니라 향후 전방위적 응용이 가능한 플랫폼을 제공함으로써 미래 고부가가치 생명자원으로서 매우 중요한 의의를 가짐
 - ICT 지능정보 및 뉴로인포매틱스를 활용한 뇌지도 구축을 통해 의학 영상 이미지 분석, 빅 데이터 처리 등 관련 분야의 ICT 지능정보와의 접목을 통한 기술 고숙화 및 고도화가 가능함
- 뇌지도 작성을 위한 혁신기술 개발로 관련 분야의 기술경쟁력을 확보 가능
 - 뇌지도 작성 신기술 개발을 통해 뇌지도 작성의 효율성이 제고되고, 개발된 혁신기술은 장비개발, 프로토콜 수립, 기술지도 등의 방법으로 확산 가능
 - 멀티스케일 시냅스 신경회로 매핑기술, 뇌 신호/활성 측정/제어 기술, 뇌질환 마커 탐지 기술 및 임상 진단용 툴 등 핵심원천기술 개발을 통하여 관련 분야의 과학 기술적 국가 경쟁력을 확보할 수 있음
 - 우수 기술을 바탕으로 해외 뇌지도 작성 시장에 진출가능하며, 뇌질환 극복, 뇌모사 인공지능 개발 등 미래기술에 기여함
 - 광유전학 등의 기법이 해외 시장을 개척한 것처럼, 우수 국내기술이 해외의 표준기술로 채용되면 실용화 가능성이 높아지며 연구개발의 위상이 제고됨
- 다양한 분야의 연구자들의 학제 간 시너지를 일으킬 수 있는 융합 연구를 통해 관련 연구 분야의 학문적 파급 효과 및 연구 경쟁력 제고에 기여
 - 신경과학, 뇌 신경공학, 컴퓨터공학, 분자 생물학, 의약학, 분자 영상학 등 다양한 분야의 연구자들의 융합 연구를 통해 관련 연구 분야의 학문적 파급 효과 및 연구 경쟁력 제고에 기여
 - 또한 뇌는 사고의 원천이자, 철학적 연구 대상이므로 뇌 연구는 인문사회 연구에 많은 시사점을 제공할 것임

2. 사회경제적 기대효과

- 뇌과학의 우수성과와 이종기술 융합으로 국가산업 신성장 동력 제공
 - 선택과 집종의 R&D를 통해 우수 연구성과를 도출하여 글로벌 경쟁력을 확보하고 뇌연구 신흥강국으로의 발판 마련
 - 이종기술과의 융합 연구를 촉진하고 뇌산업 클러스터를 구축하여 미래 기술 기반의 신산업 창출 도모
- 뇌에 대한 근본적인 이해로 일상생활 및 미래 삶의 방식 혁신
 - 뇌 연구를 통한 인간에 대한 이해의 증대는 소비행태, 영화산업, 건축 및 디자인 등 우리의 생활 전반에 긍정적 영향 확산
 - 인공지능, ICT, 로봇공학 등과의 융합으로 삶의 방식을 혁신할 수 있는 신경컴퓨터, 감성 및 재활로봇 개발 등 본격화
 - 다양한 분야에 적용될 수 있는 범용 뇌모사 지능모델 기술의 확보로 생활 속의 경험(ambient experience) 기술로 활용되어 제4차 산업혁명 시대의 생활 패러다임의 변화를 주도
 - 뇌모사지능모델 기술의 확보를 통해서 정확한 인지를 통한 인공지능에 대한 신뢰도를 높여 다양한 영역에서 적용되는 인공지능을 통해서 생활의 큰 변화를 주며, 개인적인 삶 및 사회 전체에 변화를 주도
 - 뇌의 의사결정과정, 감정회로의 작동원리를 뇌경제학(NeuroEconomics)에 적용할 경우, 인간의 의사결정과정에 감정이 기여하는 바를 보다 정확하게 예측하거나 마케팅에 활용할 수 있게 됨
- 뇌의 구조와 기능에 대한 이해를 바탕으로 한 뇌질환 극복기술 개발로 뇌질환에 의한 사회경제적 부담을 경감 가능
 - 뇌질환은 고령화사회에서 경제적으로도 심각한 문제이며 환자 진료 및 관리비는 보건 의료재정과 국가 재정에 부담이 되므로 뇌질환 환자들에 대한 사회경제적 부담의 증가뿐 아니라 이를 보살피는 가족들에게도 막대한 비용을 초래함
 - 통합 뇌지도 구축은 뇌질환의 보다 정확하고 과학적인 이해를 통해 조기진단 시스템 및 효과적인 치료방법의 개발에 기여할 수 있을 것으로 예상하며, 이를 통해 중증 환자로 악화되는 시간을 늦추어 환자 개인적 의

료비 절감 및 국가사회적 케어비용의 절감을 기대할 수 있음

- 또한 뇌질환 치료제 개발 등의 제약, 의료 등 관련 산업을 활성화 시켜 국가적 경제활성에 기여할 수 있으며, 성공적인 치료제 개발은 글로벌 시장을 통해 국가 이익을 창출 할 수 있을 것임

□ 인간 뇌를 모사한 인공지능의 개발은 미래 지능정보사회에서 우리나라의 산업경쟁력 확보를 가능하게 함

- 뇌지도 정보를 통한 인공지능 분야의 발전은 자율주행 자동차, 지능형 로봇, 지능형 감시 및 통제 시스템과 같은 ICT 융합형 신규 장비 산업 발전을 유도할 수 있으며 이에 따라 경제적이며 스마트한 미래 사회가 가능할 수 있음
- 또한 3차원 인지 플랫폼 개발, machine vision 기술 개발, 이미징 자동화 기술 개발 등의 직접 연계산업의 동반 성장과 함께 게임 산업과 같은 응용 산업의 발전을 가능하게 함
- BMI 분야에서도 기존의 뇌심부자극기에 표적조직 맞춤형, 바이오피드백, Deep Learning 등 차세대 기술을 추가, 업그레이드시킴으로써 미래 경제동력 창조 가능

<참고문헌>

□ 국내

- BioINpro 19호, “국내외뇌연구정책동향”(2015.5)
- ETRI, “글로벌 Brain Project 추진 동향분석”(2013)
- KT경제경영연구소, “디지에코 보고서, 인공지능 완생이 되다”(2016. 03. 09)
- WHO, “세계건강통계”(2016)
- 과학기술자문회의, “뇌 중심 융합과학의 세계적 허브 실현방안”(2015)
- 국회예산정책처, “장기 재정전망 및 분석”(2014)
- 디지털타임스, “빛으로 뇌 기능 조절해 치매 치료한다”(2014. 6)
- 미래창조과학부, “뇌과학 발전전략”(2016.5.30.)
- 미래창조과학부, “뇌연구촉진시행계획”(2010~2016)
- 미래창조과학부, “제2차 뇌연구 촉진 기본계획('08~'17)”(2009)
- 보건복지부, “2012년 치매 유병률 조사”(2012)
- 브레인미디어, “광유전자학을 활용한 뇌신경 자극으로 알코올중독 치료: 감광성 바이러스로 뇌 속의 도파민 뉴런을 자극”(2014.01)
- 식품의약품안전처, “의료기기 생산·수출·수입 실적 보고”(2012)
- 한국보건산업진흥원, “맞춤의료 연구개발 동향 분석”(2010)
- 한국보건산업진흥원, “의료기기 품목시장 리포트”(2013)
- 한국보건산업진흥원, “정신질환 R&D 동향 및 시사점”(2013.12)
- 한국연구재단, “정책분석”(2016)
- 한국콘텐츠진흥원, “BCI 기술동향”(2011. 3)

□ 국외

- “The Neurotechnology Industry Report”(2015~2016)
- Brain/MINDS, “brain-mapping project in Japan (Hideyuki Okano)”
- Brüstle O, “Nature”(2013)
- Datamonitor, “Generics Market Outlook: 2015”(2010)
- Datamonitor, “Market and Product Forecasts: Alzheimer’s Disease” (2011.11), “Market and Product Forecasts: Schizophrenia”(2012.7), “Market and Product Forecasts: Depression”(2012.1)
- Dolmetsch & Geschwind, “Cell”(2011)
- Einevoll, “Reviews Neuroscience”(2013)
- Espicom, “Market Worldwide Medical Market Forecasts to 2017”
- Fatehullah et al., “Nat Cell Biol”(2016)
- Gulü and van Gerven, “Journal of Neuroscience”(2015)
- IMS Health, “IMS Health Data”(2011. 5)
- IMS Health, “IMS National Sales Perspectives”(2010)
- IMS, “Institute for Healthcare Informatics”(2012. 5)
- IMS, “Institute for Healthcare Informatics”(2012. 7)
- Jean Livet, “Institut de la Vision”
- Lancaster et al., “Nature”(2013)
- Markram, “Reconstruction and simulation of neocortical microcircuitry”(2015)
- MEdical cTrack, GlobalData (2012)
- Miyawaki et al., “Neuron”(2008)
- NeuroInsights Inc., “Neurotechnology Industry Report”(2006)
- Neuroinsights, “The Neurotechnology Industry 2012 report”(2012)

- Nishimoto et al., “Current Biology”(2011)
- Paik, “Neuroscience”(2011)
- Pasca et al., “Nat Method”(2015)
- Silver, “Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search”(2016)
- The Brain Operation Database (BODB), “An Introduction and Tutorial”(2011)
- The Neurotechnology Industry '15~'16 Report
- The NIH BRAIN Initiative (2013)
- The Wall Street Journal, “The Future of Brain Implants”(2014. 3)
- Tonegawa, “Creating a false memory in the hippocampus”(2013)

□ 웹사이트

- http://en.wikipedia.org/wiki/Blue_Brain_project
- <http://www.neuroeconomics.org/about-sne/>
- <http://www.saltlux.com/>
- <http://www.wormatlas.org>
- 국가과학기술지식정보 (<http://www.ntis.go.kr>)
- 통계청 (<http://kostat.go.kr/portal/korea>)
- 한국과학기술기획평가원 (<http://www.kistep.re.kr>)
- 한국보건산업진흥원(<http://www.khidi.or.kr/kps>)