

과제계획요청서

PROJECT PROPOSAL REQUEST (PPR)

기억의 미스터리를 푸는 열쇠
(MOM: Unlocking Mystery of Memory)

PPR No. ASTRA_03_2401PPR1

과제계획요청서(PPR) 공고일: 2024. 4. 4.

연구개발계획서 접수 마감일: 2024. 5. 9.

공모유형: 분야공모

보안과제여부: 일반



과학기술정보통신부



한국연구재단

한계도전전략센터

Advanced Science & Technology Research Agency (ASTRA)

1. 과제 개요

한국연구재단 한계도전전략센터에서는 국내의 뇌 기억 관련 연구개발 수준을 빠른 시간에 글로벌 선단 혁신그룹으로 끌어 올리기 위해 한계도전적 혁신기술 개발 프로젝트, 기억의 미스터리를 푸는 열쇠 (Unlocking MOM¹⁾)를 추진 합니다.

우리의 기억은 배우고, 성장하고, 주변을 이해하며, 관계를 형성하고, 삶을 지속하는 인간 기능의 근본적인 부분임에도 기억의 실체는 아직 미스터리로 남아있습니다. 이런 현재의 기술적 한계를 넘기 위해서는 새로운 각도에서 새로운 시도가 절실히 필요합니다.

본 MOM 프로젝트에서는 궁극적으로 우리의 기억을 외부에 저장하고 저장된 기억을 재생할 수 있을까? 라는 근본적 문제제시를 통해 혁신적이며 최선의 접근 방법을 찾아 개발하고, 검증하고자 합니다.

본 MOM 프로젝트는 기존의 연구 방식인 ‘이해탐구 후 적용’ 방식의 기초 연구에 치중하지 않고 개념검증(POC)에 초점을 두는, 즉, ‘선 적용 후 이해’ 방식의 도전적 연구개발 패러다임을 적용하여 현재 기술과 지식을 바탕으로 그 한계를 넘어서는 혁신적 시도를 하고자 합니다. 이 시도가 성공한다면 기억의 데이터화 가능성과 그 실질적 의미를 보여주는 세계 최선단의 기술이 될 것이며 그 과정에서 얻는 새로운 지식을 바탕으로 기억의 실체에 대한 근본 메커니즘 이해도 더 빠른 속도로 달성될 것으로 믿습니다.

2. 추진 배경

우리는 과거 경험을 어떻게 생각해 내는 것일까? 기억이라는 데이터를 따로 저장할 수는 있는 것일까? 저장된 기억을 다시 사용할 수 있을까? 이런 질문은 인간 뇌의 가장 기본적인 기능에 대한 의문입니다. 이런 인간 기억에 대한 의문과 탐구는 1900년 초부터 계속됐고 지난 5년 사이 글로벌 뇌연구가 지속해서 증가하고 있으며 국내 연구팀도 뇌 기억의 실체와 관련 기능을 파악하기 위한 노력을 지속해서 하고 있지만, 아직 정확한 답을 모르고 해결하기 어려운 문제로 남아있습니다.

기억연구는 과학적 탐구의 영역을 넘어 사회적 과제를 해결하는 데도 큰 가능성을 갖고 있습니다. 기억력 결핍이나 인지 기능을 파괴하는 진행성 신경 장애,

¹⁾ MOM: Mystery of Memory

인지장애는 전 세계적으로 수백만 명에게 고통을 주고 있으며 (인구의 19%로 추산²⁾) 개인, 가족 및 의료 시스템에도 막대한 재정적 부담을 주고 있습니다. 특히 치매는 국내 65세 이상 유병률이 10%를 넘고 있습니다.

이러한 인지장애는 뇌졸중, 외상성 뇌 손상 또는 특정 약물의 영향 등에 의해서도 유발되기도 하는데, 기억연구를 통해 기억의 실체가 밝혀진다면, 역으로 인지장애를 유발하는 질환인 알츠하이머, 신경변성 (neurodegenerative) 질환, 외상후 스트레스 장애, 뇌졸중, 뇌손상, 조현병 등 인지 기능과 연관된 수많은 질병을 제어 또는 치료할 가능성이 열리게 됩니다.

기본적으로 기억연구는 복잡한 신경망, 시냅스 연결, 기억 형성, 저장, 검색을 조율하는 생화학적 과정을 관찰하거나 더 넓은 시스템적 차원에서 뇌 기능에 대한 통찰력을 찾아 인간 두뇌의 작동 방식을 밝히려는 노력이고, 특히 기억이 어떻게 인코딩되고, 통합되고, 검색되는지 이해하는 것은 뇌 기능과 기능 장애의 복잡성을 밝히는 데 중요합니다.

최신 글로벌 기억 관련 기초 연구를 살펴보면, 기억이 한곳이 아닌 해마를 매개체로 조각의 형태로 뇌의 넓은 부분에 걸쳐 저장, 분리, 검색된다는 이론이 검증되었고³⁾, 또한 해마와 뇌의 다른 부분, 예를 들면 신피질과의 효율적 상호작용을 통해 기억의 감각 및 개념 요소가 재구성된다는 결과⁴⁾ 등 뇌의 각 부분의 상호작용 및 역할에 관한 연구가 발표되었으며, 수면 중 호흡과 기억 공고화가 연관이 깊다는 결과⁵⁾와 수면 중 기억이 어떻게 분산되고 프로세스 되는지⁶⁾, 특히 수면과 기억 공고화 과정을 좀 더 깊이 이해하려는 연구의 결과들이 보입니다.

다른 한편으로는, 지식의 응용을 통한 이해탐구라는 관점에서 우리의 생각을 밖으로 옮기려는 시도, 예를 들면, 손글씨를 상상하는 뇌의 데이터를 이용해 타이핑을 완성하거나⁷⁾, 생각을 대화로 옮기거나⁸⁾⁹⁾하는 변혁적 연구들이 다양한 BMI/BCI 기술을 통해 성공적으로 시도 되었고, 최근에는 fMRI를 이용한 비침습적인 방법과 AI 모델링으로 “thought-to-text” 변환이 시도¹⁰⁾되기도

2) Ricardo Pais, et al., Geriatrics, October, 2020.

3) Dheeraj Roy, et al., Nature Communications, April, 2022.

4) Eleanor Spens, et al., Nature Human Behavior, January, 2024.

5) Thomas Schreiner, et al., Nature Communication, December, 2023

6) Maya Geva-Sagiv, et al., Nature Neuroscience, June, 2023.

7) Francis Willett, et al., Nature, May, 2021.

8) Hassan Akbari, et al, Scientific Reports, January, 2019.

9) Sean Metzger, et al., Nature, August, 2023.

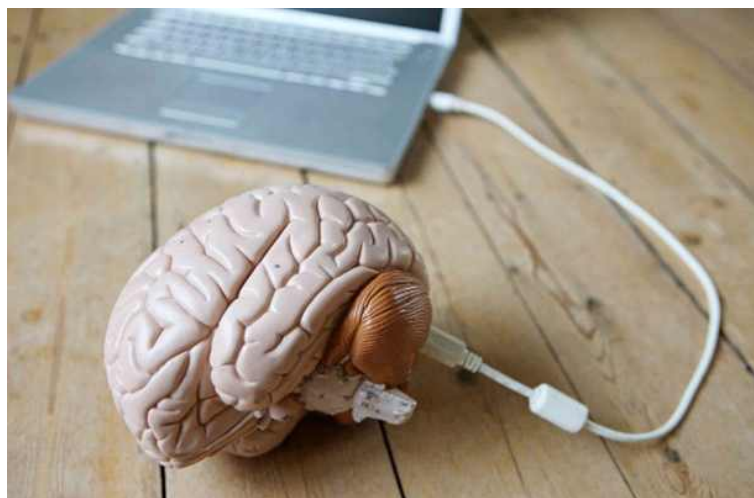
10) Jerry Tang, et al., Nature Neuroscience, March, 2023.

했습니다.

물론 우리의 복잡한 기억까지 얼마나 정확히 옮길 수 있을지는 의문이지만 기억에 대한 우리의 이해가 높아지고, AI 등 컴퓨터를 이용한 데이터 분석과 모델링 기술이 급격히 발전함에 따라 그 목표 달성도 불가능해 보이지는 않습니다. 특히 위와 같은 응용 연구의 시도는 연구 결과를 통해 뇌의 어느 부분이 어느 기능에 어떠한 역할을 하는지를 네트워크 시스템적 관점에서 확인하고, 역추적하여 빠르게 검증할 수도 있다는 장점이 있습니다.

모든 바이오, 헬스 분야 연구개발의 궁극적 목표는 인간의 기능을 탐구하여 건강과 생명을 유지하는 데 있습니다. 즉, 연구개발의 목표가 지적 탐구에만 머물러 있지 않고 그 결과를 우리에게 적용하여 우리에게 도움이 되게 한다는 측면에서, 본 MOM 프로젝트는 **현상의 이해보다는 응용 가능성 타진에 초점**을 두어 기억의 데이터화, 이동, 그에 따른 기억의 저장과 재인식의 기술 분야에서 혁신적인 시도를 해보고자 합니다.

물론 기억의 이동, 저장, 재인식은 기억의 실체에 대한 이해를 전제로 하므로 현재의 이해와 기술 수준으로는 완전한 목적 달성이 불가능하거나 힘들 수도 있습니다. 그러나 이 목적을 방향 벡터로 설정하고 우리가 어떤 접근 방식으로 얼마만큼 그곳에 도달할 수 있는지는 시도해 보지 않고는 알 수 없고, 이런 혁신적 시도가 본 한계도전 프로젝트의 진정한 의미이고 실현 가능한 목표라 할 수 있습니다.



3. 과제 목표, 범위, 프로젝트 구조

본 MOM 프로젝트는 기억에 대한 이해를 높이는 목적을 넘어 **현재 이해 수준과 지식을 바탕으로 기억의 데이터화, 이동, 저장, 재인식이 어디까지 가능한지에 대한 시도와 그 결과를 가시적으로 보여주는 것이 목표**입니다.

이 목표 달성을 위해 제안자가 제안하는 개념 및 검증 방법은 기억의 데이터화, 이동, 저장, 재인식 기술 분야 내에서 현재 글로벌 연구 커뮤니티의 가장 선단에 있는 연구 수준을 뛰어넘는 새로운 접근 방식, 가설, 검증이어야만 합니다.

어떤 종류의 기억을 타깃으로 잡을지, 어떤 기능을 타깃으로 할 것인지, 어떤 방법과 툴을 사용할 것인지에 대한 고려와 결정이 있어야 하며, 미시적, 즉, 분자생물학적 거동에 초점을 둘 것인지, 아니면 거시적 시스템 변화에 초점을 둘 것인지도 결정해야 합니다.

위 목표를 기반으로, MOM 프로젝트는 아래와 같이 2개의 기술트랙으로 진행합니다.

기술트랙1: Encoder/Editor	특정 기억의 제어 방법 개발 목표
기술트랙2: Decoder	생각을 컴퓨터에 재생시키는 모델 개발 목표

기술트랙 1: Encoder/Editor

기술트랙1은 특정 기억을 선정하여 그 기억의 시스템, 즉, 기억저장소-세포-시냅스-네트워크의 상호 연관성의 이해와 지식을 바탕으로 **특정 기억을 제어하는 (형성, 탑재, 선택적 소거, 변형, 등) 지표 발굴, 제어 방법 개발, 검증을 목표로 합니다.**

기술트랙1에서는 가장 적합한 기억을 선정하고, 다양한 방법을 통해 기억 활성화를 유발시키며, 그 상관관계 연구를 통해 제어 가능 지표를 확인하고, 제어 방법을 선택합니다. (그림 1) 여기서 활성화와 Encoding의 차이는, 활성화는 제어 지표 발굴을 위한 시도 단계이며, Encoding은 개발된 제어 지표를 이용하여 확정, 검증할 재현 가능하고 구체적인 프로세스 또는 모델입니다.

제어는 Encoding¹¹⁾ (새로운 형성, 탑재) 또는 Editing (선택적 소거, 변형) 둘 중 하나만 시도하거나, 둘 다 시도할 수 있고 연구개발 기간과 제안자/팀의 목표에

11) 단기기억을 장기기억화 한다는 뜻의 encoding 보다, 새로운 기억의 형성 또는 탑재 의미의 encoding

맞춰 선택하면 됩니다. 단, 둘 다 선택할 경우, 타깃 기억의 종류와 제어 기능/방법은 같아야 합니다. 즉, 같은 기억, 같은 기능의 Encoding과 Editing을 완성해야 합니다.

*기술트랙1의 경우 트랙 내 제어 방법 (Encoding/Editing) 선택은 제안서에 명확히 명시해야 함.

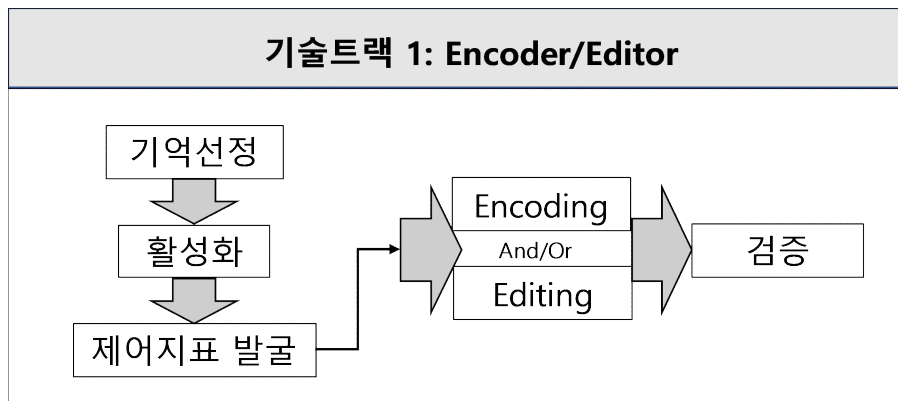


그림 1. 기술트랙1 연구개발 개념도

(그림 1)의 대제목과 흐름을 최대한 맞춰 연구계획서와 작업 분할(WBS¹²⁾) 작성을 요청함

기술트랙1의 제안 시 만족해야 하는 조건은 아래와 같습니다.

- 기억의 종류는 sensory memory (시각, 청각, 후각, 촉각 또는 이의 혼합), working memory, episodic 또는 semantic memory 등 목표 달성을 위해 제안자의 판단하에 가장 효율적이고 도전적인 기억을 선정하나, 인간 대상의 경우 피실험자의 mental privacy를 고려할 수 있는 기억으로¹³⁾ 한정함
- 현재 글로벌 선단 그룹이 이미 encoding/editing 결과를 발표한 기억은 제외하나 다른 응용, 더 높은 수준의 이해를 도출하는 경우는 고려함 (예, 소동물에서의 공포 기억 encoding/editing 등은 제외하나 영장류 또는 인간 대상 공포 기억 encoding/editing은 고려, 등)
- 기억 선정 시 고려할 점은 궁극적 목표 달성 시 사회적으로 임팩트가 크고 응용 분야가 가시적인 기억 선택을 적극 권장함 (예, 감각 제어의 문제가 있는 질병에 응용할 수 있는 감각기억의 Encoding, 우울증 또는 자살을 유발하는

¹²⁾ WBS: work breakdown structure

¹³⁾ 각주 10의 privacy implications 참고

기억의 Editing, 등)

- 실험 대상은 동물 (소동물, 영장류) 또는 인간이며, 동물과 인간의 비교를 통한 연구개발도 장려함
- 동물 또는 임상실험 시 각 윤리규정을 철저히 준수하여 실험을 계획하고 시행해야 함 (IACUC, IRB 등)
- 고등인지 행동과제, 광유전기술 등 기억 활성화 유발 방법 선정과 (i)EEG, fMRI, 광유전기술, acoustic wave, electromagnetic wave, infrared 등 활성화 측정 방법은 제안자의 판단하에 가장 효율적이고 도전적인 방법을 선택함
- 목표 완성의 기준 지표는 각 제안자가 위 지표에 따라 독창적이며 도전적으로 제시하여야 함

기술트랙 2: Decoder

기술트랙2는 뇌의 기억을 밖으로 이동시키는 궁극적 목표로 가는 전 단계로, 뇌의 언어 기억과 시청각 기억을 컴퓨터로 replicate¹⁴⁾하는 튜링 Decoder 개발이 목표인 트랙입니다.

언어 또는 시청각 기억 중에서 타겟 기억을 선정하고, 다양한 방법을 통해 뇌 활성화를 유발시켜 활성화된 뇌의 데이터를 습득한 후, AI 분석과 모델링을 통해 언어, 시청각 데이터를 reproduce/replicate 하며 그 작업을 반복적으로 수행할 수 있는 모델, 즉, Decoder를 개발하는 것을 목표로 합니다. (그림 2)

기술트랙2를 위한 기억 및 목표 선정 시 참고할 최근의 연구 결과는 다음과 같습니다.

- 언어 Decoding의 경우 최소침습 전극 implant를 이용하여 영문 글자를 쓰는 생각을 모델링하여 컴퓨터를 통해 replicate 하는 시도⁶⁾
- 시각 데이터 Decoding의 경우 fMRI 데이터와 DNN(Deep Neural Network) 모델링을 이용하여 replicate 한 시도¹⁵⁾¹⁶⁾

¹⁴⁾ 데이터 측정, 이동 후 재생이란 뜻으로 단순 복제(copy & paste)와는 미묘한 차이가 있어 영문으로 표기

¹⁵⁾ Naoko Koide-Majima, et al., Neural Networks, February, 2024

¹⁶⁾ Guohua Shen, et al., PLOS Computational Biology, January, 2019.

- 청각 데이터 Decoding의 경우 iEEG를 이용하여 단어¹⁷⁾ 또는 음악¹⁸⁾ 청취 후 auditory cortex 데이터를 replicate 한 시도

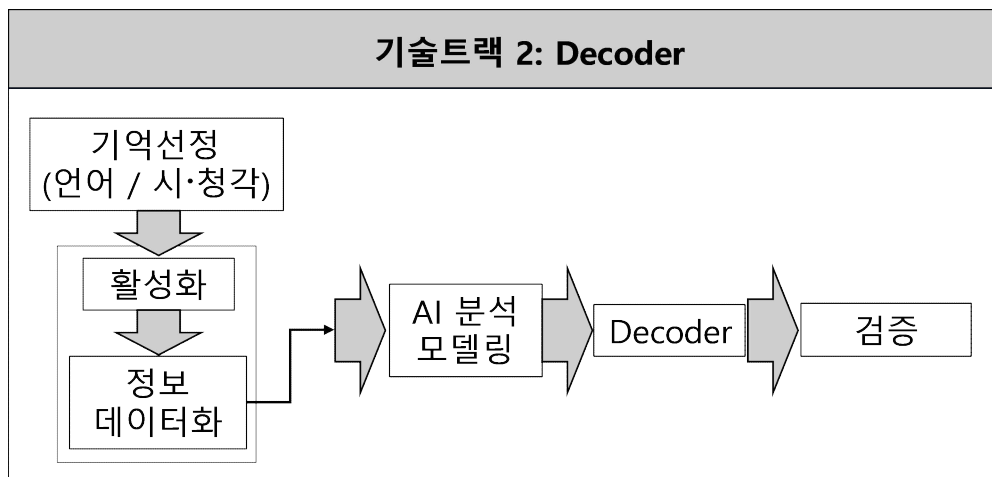


그림 2. 기술트랙2 연구개발 개념도

기술트랙2의 제안 시 만족해야 하는 조건은 아래와 같습니다.

- 타깃 기억의 종류는 언어와 시·청각 기억으로 한정함
- 언어 기억의 경우, 의사소통의 의지 또는 생각만으로 의사를 전달할 수 있다는 실험 검증이어야 하며 단순 글자가 아닌 단어, 대화를 타깃으로 함 (글자를 초기 테스트로 사용은 가능)
- 시각 기억의 경우, 모델의 초기 테스트를 위해 단순 도형의 구분 또는 색의 구분을 사용할 수 있으나, 최종 목표는 복합이미지¹⁹⁾의 replication을 타깃으로 해야 함 (복합이미지는 자연 이미지 또는 목적에 맞게 조합된 이미지도 허용)
- 청각 기억의 경우, 모델의 초기 테스트를 위해 단일 소리²⁰⁾를 사용할 수 있으나 최종 검증은 목소리를 이용한 대화, 음악 또는 그에 준하는 복잡성을 띠어야 함
- 언어와 시청각 기억의 혼합 모델링도 권장함
- 실험 대상은 인간이며, 윤리규정을 철저히 준수하여 실험 계획 및 시행해야 함

¹⁷⁾ Brian Pasley, et al., PLOS Biology, January, 2012.

¹⁸⁾ Ludovic Bellier, et al., PLOS Biology, August, 2023.

¹⁹⁾ 도형, 색, 등이 다양하게 표현된 하나의 이미지

²⁰⁾ 단일 pitch 소리, 등

- 데이터 습득 방식은 **비침습 방식**만 허용 (단, 아직 공개되지 않은 최소침습의 경우 해외 선단 연구팀 수준보다 우위이며 임상시험 진행의 문제가 없을 시 고려 가능)
- Decoder 완성의 기준 지표는 각 제안자가 위 조건에 따라 독창적이며 도전적으로 제시하여야 함

*기준 지표 예시 (접근 방법에 따라 다를 수 있음)

- 1) 생각→대화의 경우 ‘의도한 대화’ 대비 ‘Decoder 생성 대화’의 정확도
- 2) ‘True 이미지’ 대비 ‘Decoder 생성 이미지’의 정확도 (이 경우 pixel to pixel 비교뿐만 아니라 제삼자의 전체 이미지 인식(perception)에 대한 데이터도 포함해야 함)

위 2가지 기술트랙의 공통 조건은 다음과 같습니다.

- 이미 알려진 기존 기술을 활용한 점진적 성능 향상 연구는 고려 대상에서 제외함 (각 기술트랙 별 제시된 조건 및 연구 결과 참고)
- 모든 제안은 현재 글로벌 선단 그룹의 발표된 결과 대비 기술적 우위를 명확히 보일 수 있는 목표 설정이 필수임
- 본 연구에 맞는 특정 동물모델 또는 인간 모델 개발의 복잡성에 따라 연구가 늦어질 수 있어 이를 고려한 사전 철저한 준비 및 계획이 필요함
- 실험을 위한 방법 또는 툴은 이미 개발된 것을 사용할 것을 권장함 (단, 본 MOM 프로젝트에 이용하기 위한 추가 개발이 필요한 경우 1년 이내 (6개월 권장) 완성하여 이용할 수 있도록 계획해야 함, 즉, 방법 또는 툴 개발을 위해 1년 이상의 연구 기간 사용은 지양)
- 본 MOM 프로젝트는 기억 데이터를 다루기 때문에 인간을 대상으로 할 경우, 이에 따른 윤리 이슈, 보안 이슈를 충분히 고려하여 연구개발 계획을 하여야 함

4. 추진 일정

한계도전전략센터는 다음과 같이 MOM 프로젝트의 수행을 계획하고 있습니다.

- 과제 수: 프로젝트의 범위와 제안서의 제안 범위에 따라 3개 내외 예상
- 예산 규모: 과제별 연간 5억 원 내외²¹⁾
- 연구 기간: 최대 3년 7개월
- 연구 진행 단계: 3단계 (1단계:19개월, 2단계:12개월, 3단계:12개월)

과제 제안자는 한계도전전략센터가 계획하는 자원과 기간의 범위 내에서 상기 목표의 달성을 위한 독창적인 아이디어와 새로운 접근방식, 연구 내용을 자유롭게 제시합니다.

제안자는 아래 과제 추진 일정을 참고하여, 수행 기간 전체에 걸쳐 연구개발 목표, 로드맵과 마일스톤을 구체적으로 명시해야 하며 연구개발 로드맵에는 단계별로 세부 분할 작업을 제공해야 합니다. 제안자는 또한 전체 프로그램 일정을 준수하고 모든 프로그램 목표, 지표, 중간 단계 및 최종 성과물을 완전히 해결하기 위한 공격적인 계획을 상세히 제시해야 합니다.

기술분야1: Encoder/Editor 주요 일정 (연구 내용은 참고용)

1단계						2단계				3단계			
2024		2025				2026				2027			
Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
기억선정/셋업		활성화 측정/데이터 확보				제어(Editing/Encoding)				검증/Show&Tell			
△	△	△	△	△	▲	△	△	△	▲	△	△	△	▲
분기리뷰		단계평가				단계평가				최종평가			

기술분야2: Decoder 주요 일정 (연구 내용은 참고용)

1단계						2단계				3단계			
2024		2025				2026				2027			
Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
기억선정/셋업		활성화 측정/데이터 확보/임상				AI 모델링/Decoding				검증/Show&Tell			
△	△	△	△	△	▲	△	△	△	▲	△	△	△	▲
분기리뷰		단계평가				단계평가				최종평가			

²¹⁾ 단계별 예산 규모는 공고문 참고

한계도전R&D 사업에서는 목표 달성을 위해 책임PM이 수시로 연구 수행자와 소통하며 (예, 진도점검²²⁾ 미팅) 분기별 현장 방문과 전문가 패널 리뷰 미팅 등을 시행할 수 있습니다. 단, 진도점검 미팅과 분기별 현장 방문은 통합 진행할 수도 있습니다. 또한, 각 단계별 평가를 통해 마일스톤 달성 과정과 달성 여부를 확인하여 다음 단계 연구 수행에 대한 진행 여부(Go/No-Go)를 결정하며, 책임PM 중심의 연구 수행 내용 검토 및 평가를 통해 다음 연도 연구비 가감이 가능합니다.

본 프로젝트는 수행에 있어 전문성을 갖춘 연구자가 도전 의식을 가지고 연구에 몰입할 수 있도록, 1인의 연구책임자 중심의 과제 기획을 권장합니다. 같은 또는 다른 주관기관 내 책임자급 연구자와 팀을 이루어 과제 제안을 할 경우에도 1인의 연구책임자 중심으로 과제 기획을 권장합니다. 이 경우, 각 연구책임자 간의 명확한 R & R을 제시해야 하며, 책임PM은 MOM 프로젝트의 궁극적 목표를 위해 제시된 연구 부분을 독립적으로 진행할지 아니면 통합 진행할지 결정할 수 있습니다.

5. 제공 성과물

연구 수행자는 최소한 다음과 같은 성과물을 제공해야 하며 책임PM의 요구에 따라 추가 자료, 데이터를 제공해야 합니다.

- 분기별 책임PM과의 회의(현장 방문, 전문가 리뷰 등 사전 공지)에서 연구 수행의 진척 상황을 파악할 수 있는 실험 데이터 및 결과 요약 자료
- 단계 점검일 2주 전까지 제출되어야 하는 단계 보고서
- 과제 완료 시 최종 목표물의 검증 결과 및 시연 (기술트랙2)
- 연구 수행 과정에서의 의미 있는 성과물 혹은 시행착오 분석 및 대처 방안 등을 포함한 연구자의 목표 달성을 위한 노력을 입증하는 자료

6. 기타 정보

한계도전전략센터는 연구과제 선정 심사를 통해 서로 다른 접근 방법으로

²²⁾ 한계도전R&D 사업의 진도점검은 연구자의 부담을 최소화하기 위해 개별 보고서 등의 제출은 요구하지 않고 온라인 또는 오프라인을 통한 상황 공유, 문제해결, 컨설팅 등의 방법으로 리스크를 사전에 감지하여 예방하는 목적으로 시행합니다.

제안된 다수의 과제를 선정할 수도 있습니다. 이 경우, 책임PM과 한계도전 전략센터는 프로젝트의 총괄 목표 달성을 위해 각 과제의 범위, 목표 등을 조정할 수 있으며, 지식재산권 혹은 이해상충의 문제가 없는 조건에서 투명성이 보장된 협업을 추진할 수 있습니다. 각자의 접근 방식이 다를지라도 본 프로젝트의 모든 연구 수행자가 전문성에 기반한 상호 협력과 소통을 통해 목표 달성을 위해 협업이 이루어지도록 운영할 것입니다.