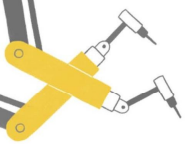


기술동향

항노화 치료제

KISTEP 생명기초사업센터 안지현
KISTEP R&D평가센터 이민정





Contents

 제1장 개요	1
 제2장 기술동향	6
 제3장 산업동향	14
 제4장 정책동향	19
 제5장 R&D 투자동향	26
 제6장 결론	33

제1장 개요

1.1. 작성배경

 우리나라를 포함한 세계 주요국들의 고령화 추세에 따라 노화에 대응하는 항노화 치료제에 대한 사회적 수요와 관련 기술개발 필요성이 증가

- 2023년 우리나라 고령화지수*는 167.1로 1980년대 이후 급격히 상승 중이며, 2060년 고령 인구비중은 43.9%로 세계에서 가장 높아질 것으로 전망(통계청, 2020)

* 65세 이상 인구/15세 미만 인구 x 100

- 제6회 과학기술예측조사에서는 불확실성이 낮고 파급효과가 큰 국내 사회적 이슈 중 하나로 ‘고령화’를 꼽았으며, 이에 따른 질병 및 노화 방지에 대한 수요가 증가할 것으로 예측(KISTEP, 2021)

- 올드 세대*가 2040년에는 국민의 1/4을 차지하며 경제력을 갖춘 경제 소비 주축으로 부상하여 노화 방지 및 관련 의료 산업이 확장될 것으로 전망

* 올드(YOLD: Young Old) : 1946~1964년 베이비붐 세대에 태어나 현재 노년기에 들어서는 65~79세의 ‘젊어진 노인층’

- 고령화로 인해 건강한 삶의 욕구가 확대됨에 따라 노화의 기전 발굴, 예방 및 치료기술 개발의 필요성이 증대

- 노화 과정을 억제 또는 지연시킬 수 있는 기술(항노화 의약품, 노화세포 제거 기술, 세포 리프로그래밍, 세포 역노화 기술 등)은 최근 국내외 미래유망기술로 선정되며 주목받고 있음

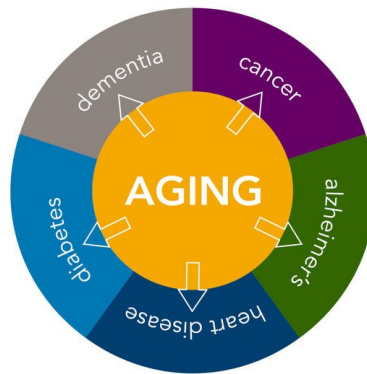
[표 1] 국내외 항노화 치료제 관련 미래유망기술 목록

발간연도	기관	유망기술명	정의
2020	MIT	항노화 의약품 (Anti-aging drugs)	신체 내의 노화 과정을 타겟으로 하여 질환을 치료하려는 약물
2020	한국생명공학 연구원	조직 내 노화세포 제거기술 (Senolytics)	노화 및 기능 이상을 유발하는 노화세포를 선택적으로 제거하여 조직 항상성을 유지하고 질병을 치료하는 기술
2022	한국과학기술 기획평가원	장기지속형 항노화 치료용 세포 리프로그래밍 기술	인체 내 세포의 안전하고 효과적인 리프로그래밍을 유도할 수 있는 신규화합물, 효소, 전사인자, ncRNA, 바이러스 등을 활용한 후성유전학적 세포유전자치료제 기술
2023	한국생명공학 연구원	세포 역노화 (Cell rejuvenation)	세포 리프로그래밍 등을 통해 세포의 건강을 유지하고, 세포의 재생 능력을 복원

※ 출처: MIT Technology Review 2020, KISTEP 2022, 한국생명공학연구원 2020, 2023

세포생물학 연구와 항노화 기술의 발달로 건강수명 연장의 가능성이 확인되고, 노화가 치료·예방이 가능한 질환으로 인식되기 시작하면서 관련 연구개발 및 창업이 활발

- 세포분열, 세포사멸 등 세포생물학 및 유전학에 대한 이해 증진과 젊은 혈액유래 인자, 세포 역노화, 노화세포 제거 등에 대한 연구를 통해 항노화 기술의 가능성이 확인됨
 - 1960~70년대 생쥐를 이용한 병체결합(parabiosis) 연구결과*에 기반하여 젊은 혈장, 혈액유래 인자의 장기 기능 강화 및 수명연장 효과에 대한 연구 확대
 - * 외과적 수술을 통해 젊은 쥐와 늙은 쥐의 순환기관을 결합시킨 결과, 늙은 쥐의 골중량 및 골밀도가 증가하고(Horrington 외, 1960), 수명이 연장되는 것을 확인(Ludwig 외, 1972)
 - 2006년 야마나카 신야 박사는 성숙하고 특화된 체세포에 특정 인자 4가지를 주입, 미성숙 세포로 역분화시켜 유도만능줄기세포(induced pluripotent stem cell, iPSC)로 재프로그래밍하는 데에 성공, ‘역노화’ 개념을 확산
 - 2010년대 노화세포 제거 시 노인성 질환이 개선되고, 수명이 연장되는 현상이 확인되며 항노화 기술에 대한 관심이 고조
- 2018년 WHO는 생물학적 노화현상을 병리학화하고 그에 대응하는 치료 개발을 촉진하고자 ‘고령(Old Age)’에 질병코드(International Classification of Diseases, ICD) MG2A를 부여, 노화가 질환으로 인식되는 계기를 마련
 - 한편 노화를 질환으로 인식할 때 예상되는 사회적 부작용(연령에 기반한 편견이나 차별(Ageism) 가능성 등)에 대한 우려가 지속되어 최근 ‘노화와 관련된 내적 역량 감소(Ageing associated decline in intrinsic capacity)’로 수정됨
 - 이러한 추세에 따라 현재 노화는 당뇨, 퇴행성뇌질환, 암 등 여러 노인성 질환의 선행 질환 개념으로 인식되고 있음



※ 출처: 미국노화연구연맹(American Federation for Aging Research, AFAR) 홈페이지
[그림 1] 노화와 노인성 질환

- 최근 세계 각국의 항노화 기술 개발 스타트업들이 대규모 투자 유치에 성공하면서 사회·경제적 관심이 증폭되고 있음
 - 2022년 항노화 바이오 기술 개발 기업인 'Altos Labs'는 아마존 창업자인 제프 베이조스, DST 창업자인 유리 밀너를 포함한 거대 투자자들의 지원으로 30억 달러 투자를 유치
 - 빈살만 사우디 왕세자, 오라클 창업자인 래리 엘리슨, 챗GPT 개발자인 샘 올트먼, 마이크로소프트의 빌게이츠 등 유명 인사들이 노화 방지 연구에 수억 달러 규모의 투자 계획을 발표하며 관련 연구개발에 대한 관심이 고조
 - 미국 브레인트리 창업자인 브라이언 존슨은 10대의 신체를 갖기 위한 항노화 프로젝트를 위해 연 200만 달러를 투자하고 있으며, 2023년 4월 17세 아들의 혈장을 수혈받아 관련 기술이 재조명됨



※ 출처: 브라이언 존슨 인스타그램
[그림 2] 브라이언 존슨(앞)과 그의 아들(뒤)

본 고에서는 항노화 치료제의 기술개발, 관련 정책 및 투자 현황을 분석하여, 연구개발을 위한 시사점을 도출하고자 함

1.2. 항노화 치료제의 정의 및 범위

본 고에서 항노화 치료제의 범위는 화장품, 건강기능식품, 의료기기 등의 제품(anti-aging products)이 아닌 의료품 분야에 한정하며, 아직은 연구개발 초기 단계임을 고려하여 기전 규명부터 진단, 치료 기술까지를 포함하고자 함

- 세포·조직·개체 단위에서 노화의 기전을 연구하는 ‘기전 규명’, 세포 또는 개체의 노화 정도 및 치료 효과를 측정하는 ‘진단’과 노화를 지연시키거나 세포 기능을 유지·향상시키는 ‘치료’ 단계로 구분
 - (기전 규명) 여러 생물학적·환경적·유전적 요인에 의해 발생하는 노화 과정에서 일어나는 현상 및 원리에 대한 연구
 - (진단) 세포 또는 개체의 노화 정도를 측정하고, 치료 시 활용할 수 있는 특이적인 생물학적 지표(이하 바이오마커)의 발굴
 - (치료) 노화세포를 직접적으로 제거하는 세노리틱, 노화세포의 분비 물질을 억제하는 세노모픽, 유전적인 노화 원인을 편집·관리하는 유전자 치료, 세포를 역노화 시켜 주입하거나, 세포 재생을 돕는 세포 치료, 혈액유래 인자, 항체 등을 활용하는 단백질 기술 등

[표 2] 항노화 치료제의 범위

세부 분야			정의
기전 규명			세포별, 원인별 노화 과정에서 일어나는 현상 및 원리에 대한 연구
진단			노화의 정도를 측정하고, 치료 시 활용할 수 있는 특이적인 생물학적 지표(바이오마커) 발굴 등
치료	약물 (Small Molecules, Senotherapeutics)	세노리틱 (Senolytic)	노화세포를 직접적으로 제거하는 약물
		세노모픽 (Senomorphic)	노화세포에서 특이적으로 분비되는 물질*을 억제하는 약물 * 노화 연관 분비 표현형(Senescence-associated secretory phenotype, SASP)
	바이오향약품 (Biologics)	유전자	유전적인 노화 원인을 편집하거나 관리하는 기술
		세포	노화세포의 건강과 재생 능력을 복원하기 위해 세포 리프로그래밍을 통한 유도만능줄기세포로의 역분화 기술, 세포 재생 기술 등
		단백질	혈액유래 인자, 노화세포를 표적하는 항체 기술 등

1.3. 기술의 목표 및 수준

 항노화 치료제의 궁극적인 목표는 개체의 노화가 완전히 이루어지기 전 노화를 지연시키거나 억제함으로써 건강수명을 연장하는 것임

- 건강수명 연장 목표를 달성하기까지에는 장기간이 소요될 것으로 예상되나, 항노화 치료제의 한 분류인 항노화 약물 중 세노리틱은 2025년 이내, 바이오의약품 중 세포 리프로그래밍 기술은 2034년 이내 실현될 것으로 전망됨
 - 2020년 MIT Technology Review에서는 현재 임상시험 중인 항노화 약물들이 5년 이내 승인될 수 있을 것으로 전망(MIT Technology Review, 2020)
 - 2021년 KISTEP 과학기술예측조사에서는 전문가 델파이 조사를 통해 세포 리프로그래밍 기술이 노화 관련 질환 치료제로 공공보험 적용을 받는 시점을 미국 2030년, 국내 2034년로 예측(KISTEP, 2022)

 개체의 노화 원인 및 기전은 매우 복잡적임에 따라 현재 수준에서는 개체 단위가 아닌 특정 세포, 조직 단위에서 연구가 진행 중

- 기전 규명 및 진단 분야에서는 세포별 혹은 원인별 세부적인 기전과 특이적인 바이오마커를 발굴하는 연구가 진행되고 있으며, 치료 분야에서는 접근 방식(이하 모달리티)별 기술적 한계 극복 및 후보물질의 항노화 효과 확인에 대한 연구가 활발
- 임상단계에서는 이미 안전성이 증명된 기존 치료제의 재창출(repositioning 혹은 repurposing) 전략이 주로 활용되고 있음

제2장 기술동향

2.1. 기전 규명

 다양한 분자생물학적 연구들을 통해 밝혀진 노화의 세포·분자적 특성(hallmark)은 총 12가지로 구분되고 있음(Carlos Lopez-Otin 외, 2023)

- 노화의 특성은 노화 과정에서 발생하는 여러 현상 중 실험적으로 유도할 경우 노화가 가속화되고, 실험적으로 억제시켰을 때 노화가 지연되는 것이 확인된 현상들로, 연구결과에 근거하여 지속적으로 업데이트되고 있음
- ① 일차적 특성(세포 손상의 원인), ② 길항적 특성(세포 손상에 대한 반응), ③ 통합적 특성(①과 ②로 인한 최종 결과물)으로 구분
 - 일차적 특성은 노화과정 중 가장 먼저 일어나는 세포 손상의 원인으로, 유전체 불안정성, 텔로미어 길이의 단축, 후성유전 변형, 단백질 항상성 상실, 자가포식의 저하가 있음

[표 3] 노화의 일차적 세포·분자적 특성

일차적 특성	설명
유전체 불안정성 (Genomic Instability)	• 세포 내부(DNA 복제 오류, 활성산소 등) 및 외부(화학물질, UV, IR 등)에서 오는 각종 자극들은 유전자 돌연변이, 텔로미어 길이의 단축, 유전자 파괴 등 세포의 DNA 손상을 야기 • 손상된 DNA가 누적되거나 제대로 교정되지 않을 경우, 세포의 정상적인 기능에 중요한 유전자의 발현에 영향을 주고, 궁극적으로는 세포 기능에 이상을 일으켜 조직 및 개체의 항상성을 무너뜨림 ※ DNA 수리 기전 이상은 여러 노화증후군의 주요 원인으로 알려져 있음
텔로미어 길이의 단축 (Telomere Attrition)	• 텔로미어는 DNA 복제과정에서 염색체의 끝 말단을 보호하기 위한 반복 염기서열로 복제과정에서 주요 유전자의 손실을 막는 기능을 수행 • 세포의 분열(DNA 복제)이 거듭되면서 텔로미어의 길이는 짧아지고, 텔로미어가 손실될 경우 세포는 분열을 멈추게 되어 노화된 세포일수록 텔로미어의 길이가 짧다는 특성을 지님 ※ 텔로미어 연장을 수행하는 텔로머레이즈의 결핍은 폐섬유증, 이상편모증 등과 같은 질병의 조기 발병과 관련이 있으며, 이는 다양한 조직의 재생 능력 상실을 야기

일차적 특성	설명
후성유전 변형 (Epigenetic Alteration)	- 후성 유전적 변화는 동일한 유전정보를 지니고 있음에도 세포 및 환경에 따라 필요한 각기 다른 유전자를 발현시키기 위해 일어나는 DNA의 구조적 변형, 조절인자의 변화 등을 의미하며, 대표적인 후성 유전적 변화로는 DNA 메틸화*, 히스톤 변형** 등이 있음 * Cytosine에 메틸기(-CH₃)가 부착될 경우, DNA 전사와 alternative splicing이 억제 또는 촉진됨 ** DNA가 감싸고 있는 단백질 복합체인 히스톤이 변형될 시에 DNA의 구조가 좀 더 촘촘하게 혹은 느슨하게 됨으로써 유전자 발현이 조정됨 - 비정상적인 후성 유전적 변화는 DNA 전사 오류(transcriptional noise), DNA 교정 오류, 크로모좀 불안정성을 일으키며, 이는 1번 특성처럼 궁극적으로 세포 노화를 야기
단백질 항상성 상실 (Loss of Proteostasis)	- 세포 생존 및 기능을 위해서는 단백질의 안정성 및 기능 유지가 필수적이며, 이를 위한 올바른 단백질 구조 구성, 불필요·손상 단백질의 분해 등 단백질 항상성 유지를 위한 기작이 존재 - 이러한 기작에 이상이 생겨 단백질 항상성이 유지되지 못할 경우(비정상적 단백질의 축적, 단백질 기능 이상 등) 세포 생존 및 기능에 이상이 발생하며, 노화 관련 병리학을 야기
자가포식의 저하 (Disabled macroautophagy)	- 자가포식은 세포 내 불필요한 물질(단백질, DNA, 세포소기관, 미생물등)을 제거하는 기작 - 자가포식이 정상적으로 작동되지 않을 경우 세포내 불필요한 물질이 제거되지 못하고 축적되어 여러 세포 기능에 이상을 야기

- 길항적 특성은 일차적 특성에 대한 반응으로 비정상적 영양소 감지능력, 미토콘드리아 기능장애, 노화(미분열) 세포를 들 수 있으며, 초기에는 세포 손상을 완화하지만, 만성적 이거나 악화될 경우 오히려 노화를 야기하는 이중적인 특성을 보임

[표 4] 노화의 길항적 세포·분자적 특성

길항적 특성	설명
비정상적 영양소 감지능력 (Deregulated Nutrient Sensing)	- 진화적으로 보존된(evolutionarily conserved) 노화 조절 경로 중 하나는 인슐린 및 IGF-1 신호전달(IIS) 경로로, 해당 경로가 손상될 경우 노화 과정에 영향을 미침 - IIS 경로는 노화와 관련된 다른 주요 경로(AKT, mTOR, FOXO 등)들에 영향을 주어 복합적으로 작용하며, 영양 및 에너지 조절, 즉 식습관이 수명과 연관이 있을 것으로 해석되는 주요 근거이기도 함
미토콘드리아 기능장애 (Mitochondrial Dysfunction)	- 노화와 함께 미토콘드리아 DNA 돌연변이가 축적되고, 단백질 항상성 이상으로 호흡사슬복합체의 안정성과 세포소기관의 전환 속도가 감소하면서 미토콘드리아 역할에 이상이 발생 - 이는 활성산소(ROS) 생성을 촉진하고 염증 및 세포 사멸을 유도함
노화(미분열) 세포 (Cellular Senescence)	- 세포가 손상되었을 때 조직의 항상성 유지를 위해 손상된 세포의 분열이 차단됨 - 세포 손상이 증가하거나, 손상된 세포의 제거 및 손상 복구 기전이 활성화되지 못하여 재생 능력이 포화될 경우 손상된 세포가 쌓이면서 조직의 기능 저하와 염증반응, 조기 노화가 유도됨

- 통합적 특성은 세포 손상과 그에 따른 반응으로 인해 궁극적으로 노화를 야기하는 특성으로 줄기세포의 고갈, 세포 간 신호전달의 이상, 만성 염증, 장내미생물의 불균형이 있음

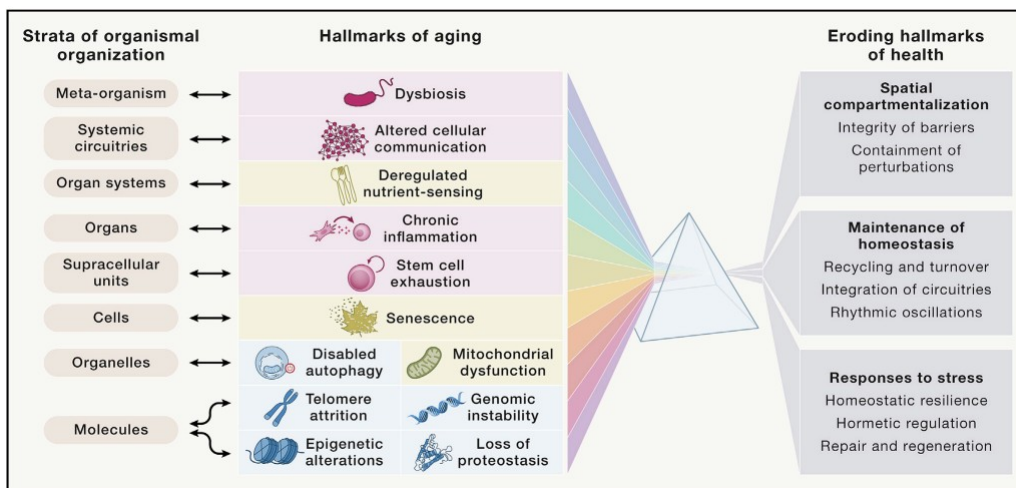
[표 5] 노화의 통합적 세포·분자적 특성

통합적 특성	설명
줄기세포 고갈 (Stem Cell Exhaustion)	• 노화와 관련된 여러 종류의 손상들은 궁극적으로 줄기세포 기능 저하로 이어지며, 이로 인해 세포 분화능력 및 재생능력의 저하가 나타남
세포 간 신호전달 이상 (Altered Intercellular Communication)	• 노화는 세포내 뿐 아니라 세포 간 신호전달에도 변화를 일으켜, 신경호르몬 변화, 염증반응 증가, 면역반응 감소 등을 야기
만성 염증 (Chronic Inflammation)	• 염증성 인자들은 노화와 함께 증가하며 이는 면역체계의 약화, 후성유전학적 이상, 단백질 항상성 저하, 자가포식의 저하 등을 야기함
장내미생물의 불균형 (Dysbiosis)	• 고령 인구에서 특정 장내미생물과 특정 장내미생물의 대사산물의 혈장농도가 증가

※ 출처: Carlos Lopez-Otin 외 2023, KISTEP 요약

노화 과정에서는 여러 특성들이 서로에게 영향을 주며 발생하므로 각 특성들의 명확한 세부 기전뿐 아니라 각 특성 및 하위경로들 간의 상호작용, 아직까지 밝혀지지 않은 새로운 기전 규명에 대한 지속적인 연구가 필요.

- 현재까지는 실험적으로 한가지 특성을 차단하거나, 과도하게 유도함으로써 해당 특성과 노화와의 연관성을 증명하여왔으나 실제로는 모든 과정이 동시다발적으로 일어나므로 시스템 생물학적 관점에서 세부 기전을 밝혀내는 것이 필요
- 특성들 간의 상호작용, 각 특성이 노화에 미치는 영향력과 그 하위단계의 연결성 및 관계 등에 대한 세부적인 연구가 필수적



※ 출처: Carlos Lopez-Otin 외 2023

[그림 3] 노화의 12가지 세포·분자적 특성

- 노화 과정에 대한 새로운 발견도 지속되고 있어 노화에 대한 이해증진과 함께 이에 기반한 새로운 진단 및 치료제 개발 전략의 수립도 중요

※ 예: 2023년 11월 아주대 의과대학 역노화 연구진은 세포노화 과정에서 젊은 세포와 완전노화 세포 중간단계에 있는 중간노화세포의 존재를 발표하며, 중간노화세포를 표적하는 항노화 전략을 제시

2.2. 진단

 현재까지 밝혀진 노화의 특성들에 기반하여 실험단계에서 활용될 수 있는 바이오 마커와 임상단계에서 활용될 수 있는 진단 기술들이 개발되고 있음

- 실험 단계에서 주로 활용되는 노화세포 마커는 노화세포의 형태적 특징과 생화학적 특징에 기반한 것들로, 현 수준에서는 한 개의 마커로 노화세포를 특정하기에는 한계가 존재하여 여러 개의 마커가 조합되어 사용되고 있음
 - 주로 사용되는 마커로는 노화 중 강하게 발현되는 ICAM-1, DEP1과 같은 원형질막 단백질, Bcl-2, Bcl-X와 같은 세포생존을 촉진하고, 세포사멸을 억제하는 단백질, 노화 중 활성화되는 효소인 SA- β -galactosidase, DNA 손상, 텔로미어 길이 단축, 세포분열의 중단 등이 있음
 - 또한 노화세포가 분비하는 염증성 물질(IL-6, CRP, TNRF2 등)과 표적장기의 손상 지표(Cystatin-C 등)도 활용되고 있음
- 임상적으로 생체나이를 진단할 때는 신체적 기능, 혈액 내 생화학적 성분, 면역기능, 산화 스트레스 등을 종합하여 판단하고 있으나, 최근 노화과정의 후성유전학 변화에 기반한 후성유전학 시계(Epigenetic aging clock)에 대한 연구개발이 활발
 - 후성유전학 시계는 나이에 따라 변화하는 후성유전체 정보(DNA 메틸화 패턴)를 AI로 분석하여 생체나이를 계산하는 알고리즘으로, 2013년 UCLA의 스티브 호바스(Steve Horvath)가 호바스 시계(Horvath Clock)를 개발하면서 개념이 확장되기 시작
 - 아직까지는 측정 시점의 몸 상태에 따라 오차가 발생하는 등 정확성이 높지 않아 오류를 최소화하기 위한 추가적인 연구가 필요한 상황이며, DNA 메틸화 패턴과 개체의 수명, 노화로 인한 신체의 기능적 변화 간의 상관관계가 더욱 구체적으로 밝혀질 필요가 있음

일반 및 정상 세포에서는 발현되지 않으면서, 모든 종류의 해로운 노화세포를 표적할 수 있는 특이적인 마커 발굴과 오류를 최소화하는 진단법을 개발하는 것이 향후 주요 과제임

- 항노화 치료제의 궁극적인 목표인 노화 지연을 위해서는 타 질환 치료제 대비 장기간 투여되어야 하거나, 신체 전반에 영향을 줄 가능성이 높으므로 표적기술의 특이성이 확보되지 않을 경우 큰 부작용이 발생할 수 있음
- 따라서 인체 내 존재하는 200종 이상의 세포 종류별, 노화의 원인별, 노화의 정도별 상태를 정확히 표적하고, 진단할 수 있는 기술의 개발이 매우 중요

2.3. 치료

항노화 치료제에 대한 연구개발은 노화의 특성을 지연시키거나 막는 방향으로 진행되고 있으며, 최근 발전하는 IT 기술을 활용하며 더욱 속도를 내고 있음

- 유전체 불안정성, 후성 유전적 변화로 인하여 손상된 세포나 더 이상 분열을 하지 못하는 노화세포를 제거하는 방식, 텔로미어의 길이를 연장 시키는 방식, 단백질 항상성 유지를 위해 필요한 효소를 활성화시키는 방식, 주요 노화 경로를 억제하는 방식 등이 있음

[표 6] 각 노화의 특성을 표적하는 치료제의 목표 기능

노화의 특성	치료제의 목표 기능
유전체 불안정성 (Genomic Instability)	손상 세포 제거 등
텔로미어 길이의 단축 (Telomere Attrition)	텔로미어를 연장시키는 효소인 Telomerase 활성화 등
후성유전 변형 (Epigenetic Alteration)	후성유전학 기반 약물 등
단백질 항상성 상실 (Loss of Proteostasis)	단백질 구조 형성에 주요 역할을 하는 chaperone 및 비정상적 단백질 제거를 유도하는 시스템(proteolytic system) 활성화 등
자가포식의 저하 (Disabled macroautophagy)	자가포식 활성화 약물 등
비정상적 영양소 감지능력 (Deregulated Nutrient Sensing)	IIS 및 mTOR 경로 억제 등
미토콘드리아 기능장애 (Mitochondrial Dysfunction)	비정상적 미토콘드리아 제거(mitophagy) 등
노화(미분열) 세포 (Cellular Senescence)	노화세포 제거 등

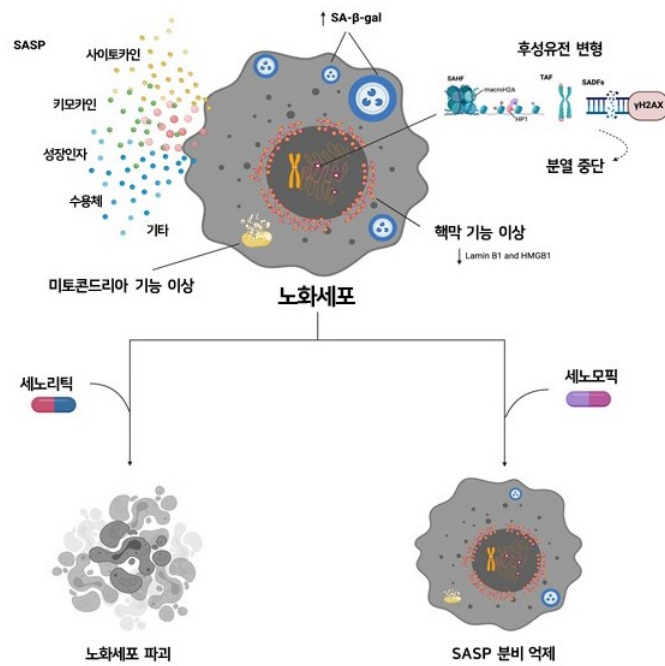
노화의 특성	치료제의 목표 기능
줄기세포 고갈 (Stem Cell Exhaustion)	줄기세포 기반 치료 등
세포 간 신호전달 이상 (Altered Intercellular Communication)	항염증 약물, 혈액 유래 회춘(rejuvenation) 인자 등
만성 염증 (Chronic Inflammation)	항염증 약물 등
장내미생물의 불균형 (Dysbiosis)	음식물 섭취 조절, 프로바이오틱, 프리바이오틱, 대변 이식 등

※ 출처: Carlos Lopez-Otin 외 2023, KISTEP 요약

- 최근에는 차세대 시퀀싱(NGS), 오믹스, 빅데이터, AI 기술 등 IT 기술들과 융합된 방식으로 치료제 개발의 효율성이 극대화되고 있음
 - 차세대 시퀀싱(NGS) 기술은 노화과정에 있는 세포 또는 개체의 유전적·후성유전적인 특성을 발견하는 데에 활용되고 있음
 - 오믹스 기술을 활용하여 노화 과정에서 변화하는 대사체, 유전체, 단백질 등의 집단적 특성 분석과 정량화가 가능해졌으며, 이에 기반한 노화 바이오마커 발굴이 가능
 - 빅데이터 및 AI는 데이터 기반 노화 예측 플랫폼 개발, 항노화 후보약물 스크리닝 등에 활용되어 관련 분야 연구개발이 가속되는 추세

치료기전에 따라 사용되는 모달리티는 크게 약물과 바이오의약품으로 구분할 수 있음

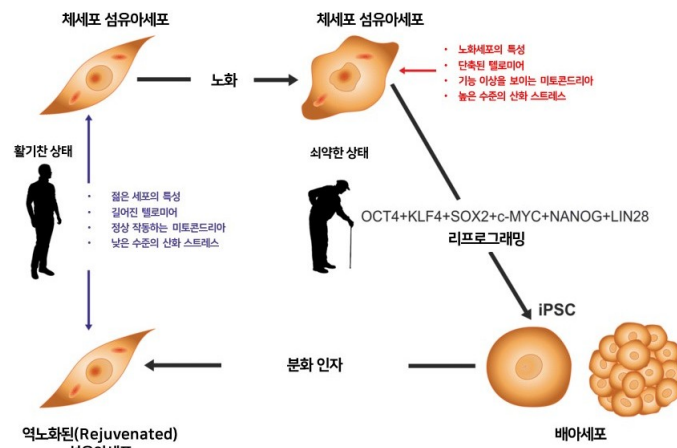
- 세노리틱* 약물은 노화세포 자체를 제거하는 약물로 BCL-2, p53 및 PI3K, AKT 등의 경로를 억제하는 등의 방식으로 세포사멸을 유도
 - * Senescence(노화)와 lytic(파괴하다)의 합성어로 노화세포를 선별적으로 제거
 - 최근에는 노화세포 내 경로를 조절하는 방법 외 노화세포를 공격하는 면역세포를 활성화시키는 등 다양한 접근방식이 연구되고 있음
- 세노모픽* 약물은 사이토카인, 키모카인, 성장인자 등 노화세포에서 분비되는 물질을 억제하는 약물로 NF- κ B, mTOR, p38 MAPK 등의 경로를 차단함
 - * Senescence(노화)와 morphic(표현형)의 합성어로 노화 연관 분비 표현형(senescence-associated secretory phenotype, SASP)을 억제



※출처: Lei Zhang 외 2022, KISTEP 수정

[그림 4] 항노화 약물(세노리틱과 세노모픽)

- 바이오의약품의 경우 타 질환을 대상으로 하는 치료제와 유사하게 유전자, 세포, 단백질 치료 등으로 세분화될 수 있으며, 항노화 분야의 특징적인 기술로는 세포 역노화(이하 리프로그래밍) 기술이 주목받고 있음
- 세포 리프로그래밍 기술은 노화 체세포에 특정 유전자를 주입하여 유도만능줄기세포(iPSC)로 역분화시키는 기술로, 조직 내의 노화세포를 역노화 시킴으로써 노화 표현형이 개선되는 것이 확인된 바 있음



※ 출처: Rodolfo Goya 외 2018, KISTEP 수정

[그림 5] 세포 리프로그래밍 개념

❏ 치료제의 효과를 적정 기간 유지시켜 표적하고자 하는 세포의 생존과 죽음을 알맞게 조절하고 부작용을 최소화, 치료 효과를 극대화할 수 있는 방안에 대한 추가적인 연구가 필요

- 아직까지는 각 모달리티의 효과가 지속적이지 않고, 필요한 노화세포 혹은 노화세포 분비 물질까지 과도하게 제거하여 항상성을 무너뜨리거나 세포 수명을 무분별하게 연장시켜 암을 유발시키는 등의 한계가 존재
 - 표적되는 주요 경로들은 노화 과정에만 관여하는 것이 아니기 때문에 예기치 못한 부작용이 발생 가능하여 특이적인 표적과 부작용 없는 역노화 유도인자를 발굴하는 것이 주요 과제임

제3장 산업동향

※ 산업동향 파트는 타 기관의 보고서 및 분석 결과를 인용하여 작성됨에 따라 본 고에서 다루고자 하는 항노화 치료제 기술의 범위와 차이가 있을 수 있음

3.1. 글로벌 시장전망

항노화 치료제 관련 연구개발은 기전 규명 및 전임상 단계에서 주로 수행되고 있어 시장 형성 초기 단계이나, 높은 사회적 수요와 맞물려 지속 성장할 것으로 전망됨

- 글로벌 항노화 치료제 시장 규모는 2022년 약 5.9억 달러에서 연평균 17.5% 성장하여 2031년에는 24.7억 달러에 이를 것으로 예상



※ 출처: Insight Aceanalytics 2023, 이송하, 김무웅 2023

[그림 6] 글로벌 항노화 치료제 시장 규모(단위: 백만 달러) 및 성장률

글로벌 시장의 모달리티별 비중을 살펴보면 2023년 기준 약물이 58.3%, 바이오 의약품이 41.7%를 차지하고 있으나, 바이오의약품 관련 기술 발전으로 해당 비중은 점차 늘어날 것으로 예측됨

- 바이오의약품은 연평균 17.8% 성장하여 2031년 전체 치료제 시장의 52.4%를 차지할 것으로 예상



※ 출처: Insight Aceanalytics 2023, 이송하, 김무웅 2023

[그림 7] 항노화 치료제 모달리티별 글로벌 시장 규모

3.2. 글로벌 시장동향

현재까지 노화를 대상으로 승인된 치료제는 없으며, 특정 조직 및 장기를 대상으로 하거나, 타 질환 치료제 중 노화 기전에 영향을 주는 약물을 선별하여 재창출 전략 중심으로 임상시험이 진행 중

- 다양한 노화의 특성에 기반한 치료기전을 바탕으로 진단·바이오마커 발굴 연구 및 임상시험이 진행 중이며, 대부분 뇌, 심장, 관절 등 특정 조직 및 장기를 대상으로 연구되고 있음
 - (Unity Biotechnology, 미국) 노인성 안구 질환자를 대상으로 노화세포를 제거하는 세눌리틱 약물인 UBX1325*의 안전성과 효능을 임상시험(2상) 중

* UBX1325는 미토콘드리아에 존재하는 Bcl-x를 억제하여 노화세포의 사멸을 유도

- (Alkagest, 미국) 젊은 혈장에서 유래된 인자들의 알츠하이머, 파킨슨병 등 신경퇴행성 질환의 증상 완화 및 뇌 기능 향상 효과를 임상시험(2상) 중

구 분	진단/바이오마커 (12개社)	임상 1상 (16개社)	임상 2상 (13개社)	임상 3상 (6개社)
후성유전 변형	CHRONOMICS, AGE-ABS, FOXO, DNAGE, BioViva			
텔로미어 길이의 단축	LIFE LENGTH			geron
유전체 불안정성				
세포 간 신호전달 이상	EDIFICE	MyMD, GRIFOLS, TRANOIS	rejenie, ALKAHEST, alector, celularity	biosplice
노화(미분열) 세포		Insilico Medicine, UNITY		
줄기세포 고갈		BlueRock, Intervene Immune	celularity, LONGEVERON CELL-BASED THERAPIES	Athersys, mesoblast
단백질 항상성 상실	AMPRION	DENALI, Proclara, Alterity, InFlectis, Calico	COGNITION Therapeutics	
비정상적 영양소 감지능력		BIOHARKER PHARMACEUTICALS	BIOAGE, NuSirt, biophytis	
미토콘드리아 기능장애		minovia, Amazentis, CohBar	Stealth, KHONDRION, mitobridge	GenSight BIOLOGICS, MITOTECH SKQ
기타	TAMRNA, GlycanAge, IntraClear			

※ 출처: Boston Consulting Group 2022, ARDD 2022 학회 발표자료, KISTEP 수정
[그림 8] 주요 기업별 표적하는 노화의 특성 및 연구개발단계

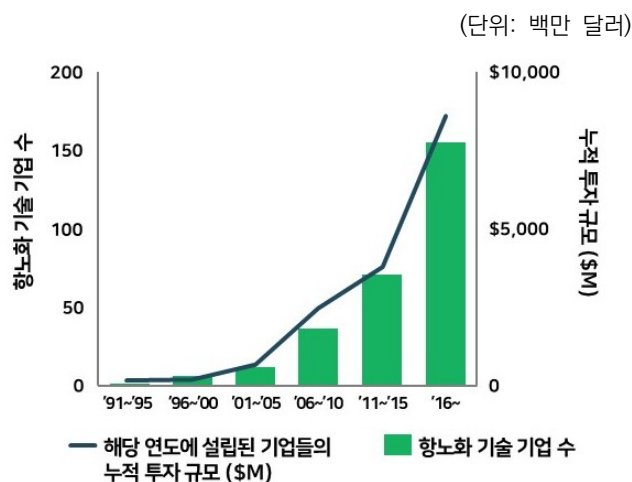
	근골격계	신경학	대사 및 순환계	면역학	안과학	종양학	기타
후성유전 변형							
텔로미어 길이의 단축						LIFE LENGTH	geron
유전체 불안정성							
세포 간 신호전달 이상	biosplice	alector, ALKAHEST, biosplice, GRIFOLS, TRANOIS		MyMD, rejenie, celularity	ALKAHEST A Grifols Company	biosplice	
노화(미분열) 세포			Insilico Medicine		UNITY		
줄기세포 고갈	LONGEVERON CELL-BASED THERAPIES	BlueRock, Athersys, LONGEVERON CELL-BASED THERAPIES, mesoblast, celularity	Intervene Immune, Athersys, mesoblast, Athersys			celularity	
비정상적 영양소 감지능력	BIOAGE	ChromaDex	NuSirt, biophytis, ChromaDex	BIOAGE			BIOHARKER PHARMACEUTICALS
미토콘드리아 기능장애	mitobridge, Stealth, Amazentis	Stealth	CohBar		GenSight BIOLOGICS, Stealth		mitobridge, KHONDRION, minovia, KHONDRION
단백질 항상성 상실		DENALI, InFlectis, Calico, COGNITION Therapeutics					MITOTECH SKQ

※ 출처: Boston Consulting Group 2022, ARDD 2022 학회 발표자료, KISTEP 수정
[그림 9] 주요 기업별 표적하는 노화의 특성 및 관련 분야

- 최근 가장 주목받고 있는 항노화(세노모픽) 약물은 기존 당뇨병 치료제인 메트포르민(Metformin)으로, 노화를 대상으로 한 최초의 임상시험이 진행 중
 - 메트포르민을 투여한 당뇨 환자들이 다른 치료제 투여 환자들보다 장수한다는 점에서 기반하여 3,000명을 대상으로 하는 대규모 장기 임상시험인 'Targeting Aging with Metformin(TAME)'이 추진
 - 노화를 대상으로 하는 첫 번째 임상시험으로 6년간 진행되며, 향후 항노화 치료제 개발에 새로운 장을 열 것으로 기대되고 있음

최근에는 기존 약물 중심에서 유전자, 세포 등 다양한 모달리티를 활용한 항노화 스타트업들이 지속 창업되고 있으며, 수조 원의 투자 유치에 성공하며 성장 중

- 항노화 기술 관련 기업 수는 2015년 100개 미만에서 2016년에서 2020년 사이 약 150개 까지 증가하였으며, 해당 기업들에 대한 투자규모 역시 90억 달러까지 급증하였음



※ 출처: Boston Consulting Group 2022, ARDD 2022 학회 발표자료, KISTEP 수정

[그림 10] 항노화 기술 기업의 수 및 투자규모

- 최근 주목받고 있는 주요 항노화 기술 기업으로는 미국의 Calico, Altos Labs, Rejuvenate Bio, Retro Bioscience 등이 있음
 - (Calico) 10년 전 설립된 미국 구글의 자회사인 칼리코는 건강수명 연장을 목표로 노화의 원인 발굴부터 세포 리프로그래밍 기술 개발까지 항노화 관련 전단계의 연구를 추진하고 있으며, 투자 유치액 15억 달러를 달성
 - (Altos Labs) 2022년 설립되어 제프 베이조스, 유리 밀너 등 거대 투자자들로부터 30억 달러 투자를 유치하여 전세계적으로 화제가 되었으며, 세포 리프로그래밍 기술을 활용한 역노화 기술을 개발 중

- (Rejuvenate Bio) 생후 124주 된 나이 든 생쥐에게 세포 역분화 인자 유전자를 주입하여 평균 수명을 18주 늘리는 데에 성공하는 등 유전자 기반 치료제를 중점적으로 개발 중
- (Retro Bioscience) 건강수명 10년 연장을 목표로 세포 리프로그래밍, 혈장 치료제 등을 개발하는 신생기업으로 오픈 AI 창업자 샘 올트먼으로부터 2030년까지 연구를 수행할 수 있는 1억 8,000만 달러의 투자를 유치
- 글로벌 제약사들 역시 항노화 기술을 개발하는 스타트업들과 전략적 협업을 맺고 대규모 투자를 진행하면서 관련 산업 활성화에 기여하고 있음
 - 예: 세계 제약사 매출 1위를 기록하고 있는 Abbvie는 Calico와 R&D 협력을 추진하면서 Calico의 약물개발을 돕기 위해 임상시험의 노하우를 제공 중

제4장 정책동향

4.1. 주요국 정책동향

-  (미국) 1960년대부터 10년 단위로 백악관 고령화 컨퍼런스(White House Conference on Aging, WHCoA)를 개최하여 관련 이슈들을 고령화 정책에 연계하고 있으며, 1970년대부터 노화 관련 연구를 꾸준히 지원, 최근 강화하는 추세
 - 2015년 WHCoA에서는 의료보험제도, 의료지원, 복지법 등 전반에 대하여 논의하고 고령 인구의 건강증진과 질병예방, 커뮤니티 및 시민참여 최적화 등 고령인구 생활 전반에 대한 중장기 정책방향을 다루는 고령화 정책 브리프를 발간
 - 관련하여 보건복지부, NIH, 질병관리예방본부를 중심으로 만성질환 전략적 프레임워크. Go4Life, 건강한 뇌 이니셔티브, 질병 극복을 위한 계획 등을 추진 중
 - 1974년 설립된 미국 국립노화연구소(National Institute of Aging, NIA)를 중심으로 노화 기전, 노인성 질환 등에 대한 연구를 수행하고 있으며, 실험모델부터 특정 질환의 진단법, 세포노화 기전 등 노화 전문분야에 걸친 연구를 추진하고 있음
 - 2021년 NIH는 NIH 공동기금(Common Fund)을 통해 여러 센터가 협력하여 수행하는 혁신적 연구 프로그램 중 하나로 세포 노화 네트워크(SenNet, Cellular Senescence Network)를 선정
 - 해당 프로그램에서는 사람 및 모델동물 조직에서 수집된 데이터를 사용하여 여러 건강상태 및 연령대별 노화세포를 식별하고 특성화하기 위한 심층연구를 추진하고, 관련 데이터 및 자원을 공개함으로써 노화세포 분류, 항노화 치료제 개발을 촉진하는 것을 목표로 함
 - 세부적으로는 전수명주기 및 여러 생리적 상태에 걸쳐 노화된 세포의 고해상도, 고콘텐츠, 다중 스케일 바이오마커 및 세포지도를 생성하고, 노화세포를 식별하기 위한 혁신적인 분석법 및 기술 개발, 관련 데이터의 저장, 액세스 제공 등을 추진

[표 7] SenNet 5대 목표

SenNet 5대 목표
① 노화세포지도(아틀라스) 구축
② 노화세포 바이오마커 확보
③ 노화세포 식별을 위한 이미징, 시각화 기술 개발
④ 실험모델 시스템 확립
⑤ 노화조절 물질 검증

※ 출처: SenNet 홈페이지

(영국) 최근 영국 생명과학 비전(UK Life Sciences Vision) 및 영국연구혁신기구(UKRI) 핵심 연구분야에 노화 연구를 포함하는 등 정부 차원의 관심 및 투자를 확대 중

- 2021년 영국은 10년 동안 산학연관이 협력하여 신속하게 해결할 임무로 생명과학 10년 미션 7개를 선정하였으며, 그 중 하나로 노화의 근본적인 생물학적 연구를 통한 새로운 진단, 치료 및 의료 기술 발견을 포함
 - 이를 기반으로 지출 검토, 세부 실행계획 수립, 거버넌스 체계를 제시할 예정이며, 해당 미션을 위한 산학연관의 노력이 가속화될 전망

[표 8] 영국 생명과학 비전(UK Life Sciences Vision)

UK Life Sciences Vision
① 신경퇴행과 치매의 번역 능력 향상
② 질병 조기 진단 및 치료(면역 치료 등) 기술 개발
③ 새로운 백신 기술 개발 및 생산 분야의 영국 위상 유지
④ 심혈관 질환 및 주요 위험 요소(비만 등)의 치료와 예방
⑤ 영국 및 전세계의 호흡기 질환으로 인한 사망률과 발병률 감소
⑥ 노화의 근본적인 생물학적 연구
⑦ 정신 건강 상태에 대한 이해 증진 및 대응 기술 개발

※ 출처: HM Government 2021

- 기초연구 주요 지원기관인 영국 UKRI의 Medical Research Council에서는 UKRI의 Strategic Delivery Plan에 기반하여 2023년 하반기 MRC CoRE(Centres of Research Excellence)의 핵심 연구주제 중 하나로 건강수명 연장을 선정

(일본) 고령사회대책 기본법(1995)에 기반하여 고령사회대책회의를 개최, 관련 정책 및 전략을 수립하고 있으며, 국립장수의료연구센터(NCGG, 2004), 일본의료연구개발기구(AMED, 2015)를 설립하여 노화 분야의 연구개발을 수행하고 있음

- 「2기 의료분야 연구개발 종합전략(’20~’24)」에서는 세계 최고 수준의 의료분야 연구개발을 위한 6대 통합 프로젝트에 노화 연구를 포함하고, 건강장수사회 구축에 기여하는 신산업 창출을 위한 방안을 제시하는 등 항노화 산업의 전반적인 생태계 구축을 위한 전략을 제시
 - 6대 통합 프로젝트 중 하나로 의료기술 개발을 목표로 하는 노화 등 생명현상 기능 규명 기초연구를 포함하였으며, 건강장수사회 구축을 위해 민관 펀드를 통해 R&D 성과의 실용화를 촉진하는 계획을 발표
- 2020년 일본학술회의(Science Council of Japan)는 개별적 건강의 관점 뿐 아니라 환경 및 사회의 폭넓은 관점에서 고령화하는 일본사회의 미래 비전에 대한 보고서*를 발표
 - * 「활력 있는 초고령사회 구축(향후 일본의 의학·의료, 사회의 방향성)」(活力ある超高齢社会の構築に向けて - これからの日本の医学・医療、そして社会のあり方 -
 - 건강장수사회 구축을 위해 ‘치료하는 의료에서 치료+예방하는 의료’로 패러다임 전환을 추진하고, 이를 위해 예방 의료 분야, 기초 및 임상연구 등의 강화와 더불어 의료인력 양성, 의료·간병보험제도의 정비의 필요성을 강조
- 연구개발 측면에서는 노화를 질환으로 인식하는 추세로, NCGG와 AMED를 중심으로 노화기전연구, 노화세포 제거 기술, 노화 예측 및 진단 기술 등 전단계에 걸친 R&D에 주력 중
 - NCGG는 내부 병원과 6개의 연구기관을 통해 노화 기전 연구부터 노인성질환 예방 및 치료법 개발, 고령자를 위한 의료기기 개발, 고령자 대상의 복지 및 정책 연구까지 전단계에 걸쳐 광범위한 연구를 수행
 - AMED는 제2차 중장기 계획을 통해 ‘2040년까지에 주요한 질환을 예방, 극복하고 100세 까지 건강 불안 없이 인생을 즐기기 위한 지속 가능한 의료와 돌봄 시스템 실현’을 미션으로 설정, 사회문제가 되는 질환 분야에 노년의학을 포함하고 관련 연구를 추진
- 최근 문부과학성, 과학기술진흥기구 연구개발전략센터(CDRS) 등은 노화연구 관련 세부적인 목표를 포함한 전략 보고서를 통해 보다 구체적인 지원 방향을 발표
 - 문부과학성은 과학기술진흥기구(JST)와 AMED의 전략적 창조연구 추진사업*을 통해 추진할 6대 전략목표 중 하나로 미래 건강장수사회 구축을 위한 노화 기전 연구를 선정, 지원을 강화
 - * 네트워크형 연구체제를 구축하여 혁신·전략적 기초연구를 추진하는 사업

[표 9] 전략적 창조연구 추진사업의 6대 전략목표

6대 전략목표	
일본의 강점을 살린 연구기반 강화	사회문제 해결을 지향한 계측·해석 프로세스 혁신
	양자 정보와 양자 물성의 융합에 의한 혁신적 양자제어기술 확립
사회문제 해결	문리융합을 통한 사회변혁을 위한 사람·사회분석기반 창출
	‘종합지식’으로 개척하는 물질 변환 시스템에 의한 자원화 기술
미래 건강장수사회 구축	면역세포 기억에 대한 이해와 그 제어에 기여하는 의료 기반 창출
	노화에 따른 생체 강건성(robustness)의 변화와 노화성 질환의 제어에 관한 기전 등 해명

※ 출처: S&P GPS 2022

- CDRS는 노화의 기전을 명확히 하고, 노화성 질환의 공통 원리 규명, 예측·예방, 진단 및 치료를 위한 전략보고서를 발표하며 구체적인 세부기술을 제시

[표 10] 연구개발 과제 및 세부 내용

연구개발 과제	세부 내용
노화 연구를 가속화하는 첨단 계측 및 데이터 분석 기술의 개발	복잡한 분자 및 세포 단위의 상호작용을 명확히 밝혀내기 위한 단일세포 오믹스, 다중오믹스, 이미징 등
다양한 생명 현상에 대한 기초연구	영양대사, 염증, 생물학적 시계, 핵산·분자·세포 품질 제어 기전, 세포 간 다양성, 개체 간 특성, 노화 모델, AI, 시뮬레이션 등
노화에 대한 이해를 바탕으로 한 노화성 질환 연구	노화 관련 세포 및 분자의 탐색과 정밀한 분류, 다기관 네트워크(신경·신호 분자의 전신적인 네트워크), 몸과 마음의 관계, 노화에 대한 이해를 기반으로 한 노화성 질환 연구, 노화 관련 바이오마커, 대규모 인간 데이터 인프라(최신 데이터 분석 방법, AI, 기계 학습 등) 등
예측·예방·진단 기술 및 치료 방법의 임상 개발	예측·예방·진단 기술, 치료 방법의 임상연구, 임상연구의 가치평가(개인 및 사회적 영향) 등

※ 출처: CDRS 2022, S&P GPS

 (중국) 중국은 항노화 및 질병 예방 행정위원회를 출범하는 등 항노화 분야에 관심을 기울이며 지원을 지속하고 있으며, R&D 측면에서는 국가자연과학기금 위원회(NSFC)를 중심으로 노화 관련 기초연구에 전략적인 투자를 진행 중

- 2019년 중국 세계평화재단과 유네스코는 인류의 건강수명 연장을 위해 항노화 치료제 및 노인성 질환 예방 기술개발을 촉진하고자 ‘항노화 및 질병 예방 행정위원회(Executive Committee on Anti-aging and Disease Prevention)’를 출범
 - 해당 위원회를 지원하기 위하여 상해대학교, 중국의학과학원 기초의학연구소, 중국과학원 생물물리연구소는 국제노화 및 질병학회(ISOAD)를 설립하고 세계적인 우수 연구자들을 초청하여 항노화 및 질병예방 분야 관련 정책 제언, 교육 프로그램 등을 추진

- 국가자연과학기금위원회(NSFC)에서는 중대연구계획(Major Research Plan)*을 통해 장기 노화와 퇴화, 조직 및 장기 재생 조절에 대한 기전연구를 수행 중

* NSFC의 중대연구계획은 국가의 주요 전략적 수요에 대응하기 위한 핵심 연구를 장기간 지원하는 사업으로, 평균 8년간 지원됨

 (사우디아라비아) 2021년 비영리 단체 헤볼루션 재단(Hevolution Foundation)을 설립하여 항노화 전주기 연구에 연간 10억 달러 이상의 투자계획을 발표

- 건강수명 연장 기술 개발을 목표로 미국, 영국, 아시아 등지에 국제 허브를 설립하여 관련 생명공학 기업과 기초연구에 지원할 계획

4.2. 국내 정책동향

 2010년대 후반부터 생명공학 분야 R&D 최상위 법정계획인 「생명공학육성기본계획」, 보건의료기술진흥에 관한 기본방향을 제시하는 「보건의료기술육성기본계획」 등에 항노화 분야 기술개발을 포함

- 「제3차 생명공학 육성 기본계획(’17~’26)」에서는 30대 전략분야 중 하나로 노화의 분자 기전, 노화제어 등 노화의 기전 규명 및 응용연구를 포함하고, 출연연의 역할에 항노화와 같이 단기간 성공이 불확실하지만 성과창출이 가능한 분야에 투자를 강화할 것을 제시
- 「제4차 생명공학 육성 기본계획(’23~’32)」에서는 ‘글로벌 난제해결을 위한 바이오융합 R&D 강화’ 전략의 일환으로 노화 생체시계, 노화세포 제거기술 등 노화 진단, 예방, 지연을 주요 기술개발로 포함
 - 해당 과제의 목표는 질병으로서의 노화 진단·치료·지연기술 개발이며, 세부기술로는 빅데이터 기반 노화 생체시계 구축과 노화세포제거 기술 등이 있음
- 「제3차 보건의료기술육성기본계획(’23~’27)」에서는 ‘국민의 생명과 건강을 보호하는 보건 의료기술 투자’와 ‘미래 위협을 대비하는 든든한 보건안보 확립’ 전략의 세부과제로 항노화 기술 개발을 강조
 - 건강 약자와 함께하는 복지기술 향상 연구를 위해 노화 기전 규명, 제어·억제 기술 등 항노화 및 역노화 기술 등 생애주기별 건강 노화 기술 연구 확대 등을 제안

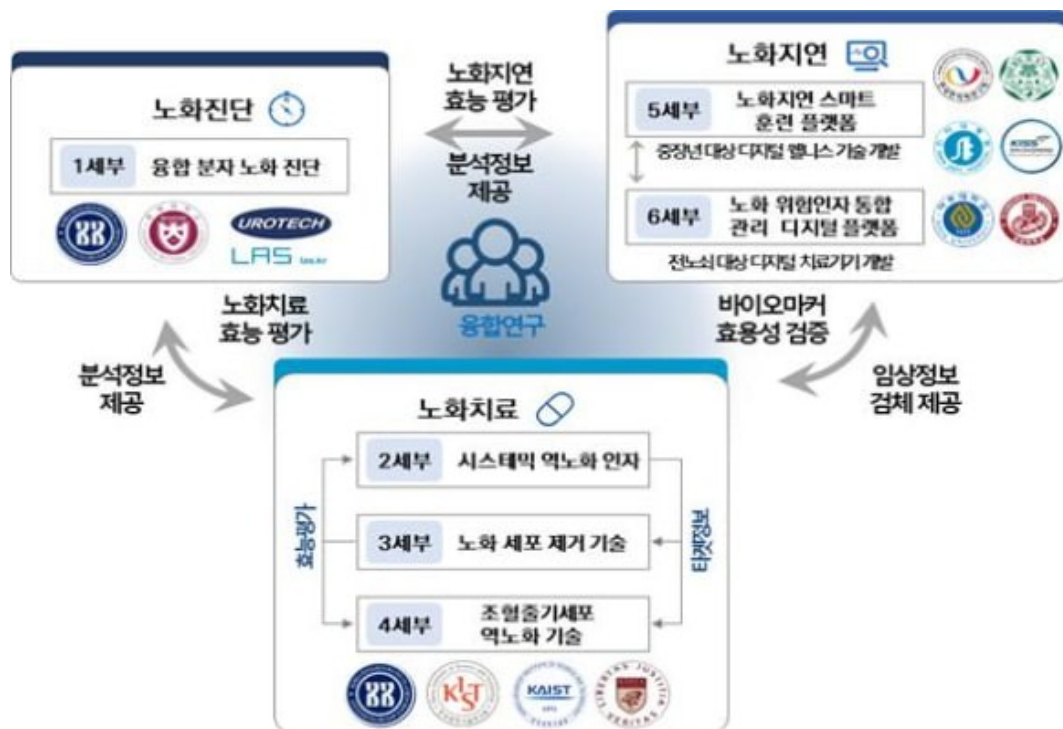
- 혁신적 보건안보기술 확보를 위해 임무중심형 보건의료 기술 R&D 지원체계(한국형 ARPA-H 프로젝트)를 마련하여 노화 등 혁신적이며 성장 가능성이 높은 기술에 확대 투자할 것을 제시

[표 11] 국내 항노화 관련 주요 정책

정책	주요 내용
제3차 생명공학 육성 기본계획 (‘17~’26)	• (30대 전략분야) 노화의 기전 규명 및 응용연구(노화의 분자기전, 노화제어 등) • (바이오경제 창출을 위한 출연(연) 역할) 고위험·고수익(혁신형) 연구개발 및 미래 사회 선도형 대형 프론티어 연구개발 투자 강화 - 항노화 등 단기간 성공이 불확실하지만 성공 시 대형 성과창출 가능 분야에 대한 투자 추진
제4차 생명공학 육성 기본계획 (‘23~’32)	• (글로벌 난제 해결을 위한 바이오 융합 R&D 강화) 인류의 마지막 질병인 노화의 진단·예방·지연기술 개발 - 노화 기전 규명, 노화지표 발견 등 노화를 근본적으로 이해하기 위한 창의적인 기초연구지원 - 노화 생체시계, 노화세포 제거기술 등 노화문제 해결에 필요한 핵심기술 개발 전략적 지원
제3차 보건의료기술 육성 기본계획 (‘23~’27)	• (국민의 생명과 건강을 보호하는 보건의료기술 투자) 국민 생활 건강 증진 연구 강화 - (건강 약자와 함께하는 복지기술 향상 연구) 생애주기별 건강 노화 기술 개발 (노화 기전 규명, 제어·억제 기술 등 항노화 및 역노화 기술 등) • (미래 위협을 대비하는 든든한 보건안보 확립) 선제적 감염병·재난 대응 체계 구축 - (혁신적 보건안보기술 확보) 임무중심형 보건의료 기술 R&D 지원체계(한국형 ARPA-H프로젝트) 마련

 노화융합연구단 등을 통해 정부 주도로 관련 연구가 추진되고 있으며, 최근 한중일 전망계획에서 노화 분야 국제 공동연구 추진 계획을 발표

- 2022년 국가과학기술연구회 융합연구단 사업의 일환으로 ‘노화융합연구단’이 설립되었으며, 노화 진단, 지연, 치료 기술 개발을 목표로 2028년까지 450억 원이 투자될 계획
 - 한국생명공학연구원을 중심으로 14개 연구기관(KIST 등), 대학(고려대학교, 경희대학교 등), 병원(아주대병원, 이화여대병원, 인하대병원 등), 기업(유로테크, 라이프시맨틱스 등)이 참여하고, 기전연구부터 약물 및 바이오의약품 개발까지를 추진



노화융합연구단 연구 분야

- ① 한국인 생체노화 진단 기술 개발
- ② 노화성 기능 제어를 위한 약물 및 바이오의약품 개발
- ③ 노화세포 치료기술 개발
- ④ 면역세포 역노화 원천기술 개발
- ⑤ 노화지연 디지털 헬스케어 기술 개발

※ 출처: 아이뉴스24 2022, 노화융합연구단 홈페이지

[그림 11] 노화융합연구단 개요

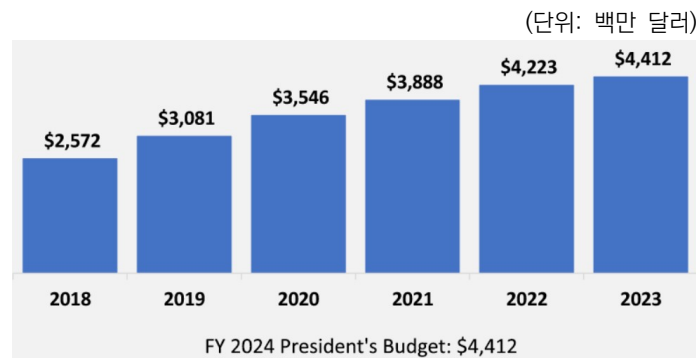
- 최근 한국연구재단, 중국 NSFC, 일본 JSPS는 2023년도 한중일 전망계획(A3 Foresight Program)을 통해 세포 노화 분야에서 공동연구를 추진하겠다고 발표
 - 세 국가는 기전연구부터 치료제 개발까지 전단계에 걸쳐 과학기술인재의 공동 양성, 아시아 지역의 과학연구 수준 향상, 국제영향력 제고를 위해 공동연구를 추진할 계획
 - 한국은 노인성 질환과 관련된 세포 노화 연구, 중국은 대규모 세포 노화 데이터베이스 연구, 일본은 세포 노화와 관련된 바이오마커 발굴 연구에 집중할 예정

제5장 R&D 투자동향

5.1. 주요국 R&D 투자동향

주요국은 국립노화연구소 혹은 정부 기초연구 지원 기관을 중심으로 노화 연구를 지원하고 있으며, 최근 투자를 확대하는 추세

- (미국) 2021년 NIH는 SenNet 프로그램에 5년간 1억 2천5백만 달러(한화 약 1,600억 원) 지원 계획을 발표하였으며, 노화 기전과 노인성 질환 등에 대한 연구를 수행하고 있는 NIA의 총 예산은 매년 증가하여 2023년 약 44억 달러(한화 약 5.7조 원)에 달함



※ 출처: NIA 홈페이지

[그림 12] 연도별 NIA 예산

- (영국) UKRI는 2023년 하반기 MRC CoRE의 핵심 연구주제 중 하나로 건강수명 연장을 선정, 해당 분야의 혁신적 연구에 5천만 파운드(한화 약 827억 원)를 지원할 계획
- (일본) NCGG는 노화 기전 연구부터 노인성 질환 예방 및 치료법 개발, 고령자를 위한 의료기기 개발, 고령자 대상의 복지 및 정책 연구까지 광범위한 연구를 수행하며, 2022년 56억 엔(한화 약 511억 원)이 지원됨

[표 12] 일본 NCGG 연도별 예산

(단위 : 억 엔)

2019	2020	2021	2022
53	11	14	56

※ 출처: 일본 재무성 홈페이지

- (중국) NSFC는 중대연구계획을 통해 장기 노화와 퇴화, 조직 및 장기 재생 조절에 대한 기전 연구에 최근 5년간 총 2억 5,816만 위안(5년 평균 5,163만 위안, 한화 약 94억 원)을 투자

[표 13] NSFC의 노화관련 중대연구계획 과제 예산

(단위 : 만 위안)

중대연구계획명	2018	2019	2020	2021	2022	총합
장기 노화 및 퇴화 기전 연구	3,700	3,800	3,450	1,850	2,500	15,300
조직·장기 재생 및 수리 조절과 관련 정보 해독 연구	-	-	3,457	3,859	3,200	10,516
총합	3,700	3,800	6,907	5,709	5,700	25,816

※ 출처: NSFC Annual Report 2018~2023

- (사우디아라비아) 비영리 단체 헤볼루션 재단은 항노화 분야의 기초연구, 인력양성, 산업계에 연간 10억 달러(한화 약 1.3조 원) 이상을 투자할 계획이며, 2023년 11월 1억 100만 달러(한화 약 1300억 원)가 걸린 단일규모 최대 상금의 대회 엑스프라이 헬스스팬*의 시작을 발표

* 7년 동안 항노화 치료법을 성공적으로 개발한 팀에 상금을 수여

5.2. 국내 R&D 투자동향

※ 2017~2021년 NTIS 국가연구개발사업 과제정보 중 항노화치료제 관련 키워드를 검색하여 추출한 과제 중, '과제명', '연구목표', '연구내용', '기대효과'에 기재된 내용과 과학기술표준분류 기준 생명, 보건의료, 뇌과학 분야, 6T분류 기준 BT 분야 해당여부를 검토하여 분석 대상을 확정 (노인성 질환에 대한 연구는 제외하고, 노화 및 항노화적 관점에서 수행한 연구만 포함)

최근 5년간(2017~2021년, 이하 동일) 항노화 치료제 관련 정부R&D 투자규모는 총 1,294.5억 원(5년 평균 258.9억 원)으로, 총 1,021개의 과제를 지원

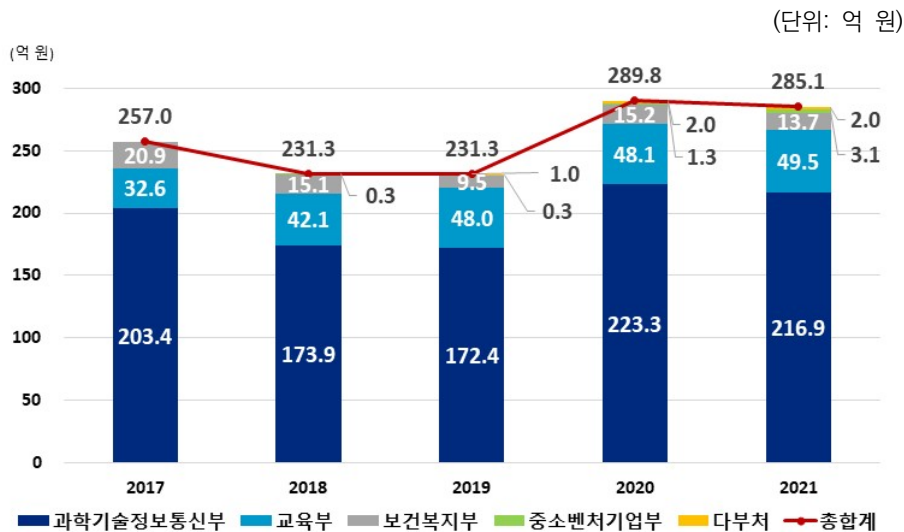
- 2021년 투자규모는 285.1억 원, 과제 수는 237개로 2017년 대비 각각 11.0%, 41.1% 증가



[그림 13] 항노화 치료제 관련 정부R&D 투자규모(단위: 억 원) 및 과제 수 추이

최근 5년간 항노화 치료제 관련 정부R&D 과제의 부처별 투자규모는 과기정통부가 가장 큼

- 과기정통부가 989.9억 원으로 가장 큰 비중(76.5%)을 차지하고 있으며, 그 다음으로 교육부 220.3억 원(17.0%), 보건복지부 74.4억 원(5.7%) 순으로, 3개 부처가 전체 투자의 99.2%를 차지
- 2021년 과기정통부와 교육부의 투자규모는 각각 216.9억 원, 49.5억 원으로 2017년 대비 각각 6.6%, 51.8% 증가



[그림 14] 항노화 치료제 관련 정부R&D 과제의 부처별 투자규모 추이

 최근 5년간 항노화 치료제 관련 정부R&D 과제의 연구개발단계는 기초연구 단계가, 연구수행주체는 대학이 가장 많음

- 연구개발단계별로 살펴보면 기초연구가 1,133.8억 원으로 가장 큰 비중(87.6%)을 차지하고 있으며, 그 다음으로 개발연구 81.0억 원(6.3%), 응용연구 63.7억 원(4.9%) 순

[표 14] 항노화 치료제 관련 정부R&D 과제의 연구개발단계별 투자규모

(단위: 백만 원)

연구개발단계	2017	2018	2019	2020	2021	총합계(비중)
기초연구	23,144	20,453	20,976	24,518	24,294	113,385(87.6%)
개발연구	1,700	1,880	1,055	1,623	1,840	8,098(6.3%)
응용연구	820	787	317	2,121	2,328	6,374(4.9%)
기타	38	11	780	716	52	1,596(1.2%)
총합계	25,701	23,131	23,128	28,977	28,515	129,452(100.0%)

- 연구수행주체별로 살펴보면 대학이 1,097.9억 원으로 가장 큰 비중(84.8%)을 차지하고 있으며, 그 다음으로 출연연 180.8억 원(14.0%), 중소기업 9.3억 원(0.7%) 순

[표 15] 항노화 치료제 관련 정부R&D 과제의 연구수행주체별 투자규모

(단위: 백만 원)

연구수행주체	2017	2018	2019	2020	2021	총합계(비중)
대학	18,188	18,935	20,804	26,645	25,220	109,791(84.8%)
출연연구소	7,402	4,165	2,035	2,004	2,476	18,083(14.0%)
중소기업	-	30	230	209	460	928(0.7%)
기타	-	-	-	-	359	359(0.3%)
국립연구소	-	-	60	120	-	180(0.1%)
중견기업	111	-	-	-	-	111(0.1%)
총합계	25,701	23,131	23,128	28,977	28,515	129,452(100.0%)

 최근 5년간 항노화 치료제 관련 정부R&D 과제에서 가장 많이 연구된 세부 분야는 기전 규명 분야로 나타남

- 기전 규명 분야가 770.4억 원으로 가장 큰 비중(59.5%)을 차지하고 있으며, 그 다음으로 치료 272.2억 원(21.0%), 진단 251.9억 원(19.5%) 순

[표 16] 항노화 치료제 관련 정부R&D 과제의 세부분야별 투자규모

(단위: 백만 원)

세부분류			2017	2018	2019	2020	2021	총합계(비중)
기전 규명			14,540	14,065	15,127	17,023	16,282	77,037(59.5%)
진단			6,286	4,291	3,822	5,288	5,504	25,191(19.5%)
치 료	약물	세노리틱	282	661	700	1,510	1,297	4,450(3.4%)
		세노모픽	650	357	482	922	884	3,295(2.5%)
	바이오 의약품	세포	3,843	3,656	2,747	3,483	3,644	17,373(13.4%)
		유전자	100	100	250	146	133	729(0.6%)
		단백질	-	-	-	607	770	1,377(1.1%)
	소계		4,875	4,774	4,179	6,667	6,728	27,224(21.0%)
	총합계		25,701	23,131	23,128	28,977	28,515	129,452(100.0%)

최근 5년간 항노화 치료제 관련 정부R&D 과제에서 가장 많이 연구된 연구부위는 특정 부위에 한정되지 않은 노화 전반에 대한 연구로 분석됨

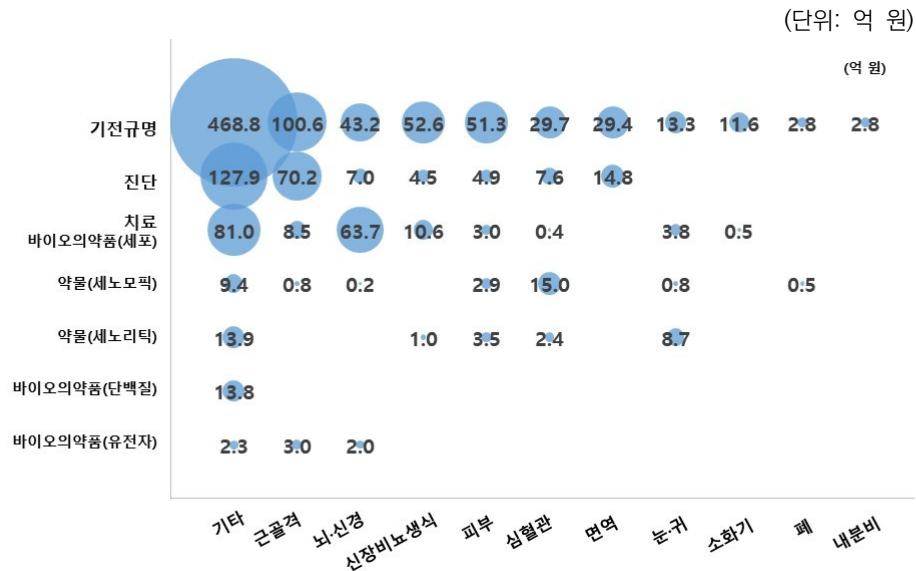
- 특정 부위에 한정되지 않은 줄기세포, 노화세포, 신호전달과정, 단백질, 세포소기관 등에 대한 연구(기타)가 717.2억 원으로 가장 큰 비중(55.4%)을 차지하고 있으며, 그 다음으로 근골격 183.0억 원(14.1%), 뇌·신경 116.0억 원(9.0%) 분야 순

[표 17] 항노화 치료제 관련 정부R&D 과제의 연구부위별 투자규모

(단위: 백만 원)

연구부위	2017	2018	2019	2020	2021	총합계(비중)
기타	30,402	27,215	26,933	31,698	31,503	71,720(55.4%)
근골격	4,701	4,084	3,805	2,721	2,988	18,298(14.1%)
뇌·신경	1,017	1,353	1,674	1,720	1,373	11,600(9.0%)
신장비뇨생식	985	1,255	1,577	1,671	1,373	6,861(5.3%)
피부	1,611	864	974	1,426	1,687	6,562(5.1%)
심혈관	604	984	1,049	1,661	1,208	5,505(4.3%)
면역	1,171	735	753	830	934	4,425(3.4%)
눈·귀	236	300	553	871	704	2,663(2.1%)
소화기	180	229	167	195	442	1,214(0.9%)
폐	-	-	15	50	263	328(0.3%)
내분비	33	98	98	49	-	277(0.2%)
총합계	25,701	23,131	23,128	28,977	28,515	129,452(100.0%)

- 항노화 치료제 관련 정부R&D 과제에서 가장 많이 연구된 세부분야-연구부위는 기전 규명 분야-기타 부위에 대한 연구인 것으로 나타남
 - 기전 규명 분야-기타 부위에 대한 연구가 468.8억 원으로 가장 큰 비중(36.2%)을 차지하고 있으며, 그 다음으로는 진단-기타 127.9억 원(9.9%), 기전 규명-근골격 100.6억 원(7.8%) 순으로, 3개 분야가 전체 투자의 53.9% 차지



[그림 15] 항노화 치료제 관련 정부R&D 과제의 세부분야-연구부위별 투자규모

최근 5년간 항노화 치료제 관련 정부R&D 과제를 가장 많이 지원한 세부사업은 과기정통부의 개인기초연구 사업으로 나타남

- 과기정통부의 개인기초연구 사업이 452.1억 원으로 가장 큰 비중(43.3%)을 차지하고 있으며, 그 다음으로 과기정통부의 집단연구지원 223.9억 원(17.3%), 바이오·의료기술개발 173.0억 원(13.4%) 순으로, 과기정통부의 대표 자유공모형 연구사업이 60.6%를 차지

[표 18] 항노화 치료제 관련 주요 정부R&D사업(투자규모 상위 10개 사업)

(단위: 백만 원)

사업명	부처명	투자규모(비중)
개인기초연구	과기정통부	45,211(34.9%)
집단연구지원	과기정통부	22,386(17.3%)
바이오.의료기술개발	과기정통부	17,295(13.4%)
이공학학술연구기반구축	교육부	11,013(8.5%)
개인기초연구	교육부	10,810(8.4%)
한국생명공학연구원연구운영비지원	과기정통부	6,234(4.8%)
연구중심병원육성	보건복지부	4,622(3.6%)
광주과학기술원연구운영비지원	과기정통부	4,297(3.3%)
대구경북과학기술원연구운영비지원	과기정통부	1,130(0.9%)
첨단의료기술개발	보건복지부	1,000(0.8%)
피부과학응용소재선도기술개발	보건복지부	855(0.7%)
기타	-	4,599(3.6%)
총합계		129,452(100.0%)

제6장 결론

6.1. 요약

 우수 연구결과에 근거하여 노화의 특성 및 기전에 대한 이해가 지속 증진되고 있으며, 이에 기반하여 진단 및 치료 기술 개발이 이루어지고 있음

- 현재까지 과학적으로 입증된 노화의 특성은 12가지로, 각 특성들 간, 또 그 하위 경로들 간의 상호작용에 대한 연구를 통해 세포별·원인별 명확한 세부기전을 밝혀내는 것이 필요
- 세부기전의 규명과 이해는 향후 표적하고자 하는 노화세포 혹은 치료하고자 하는 대상자를 정확히 선별하여 치료효과를 연구하고 치료제를 개발하는 데에 필수적
 - 아직까지는 노화의 여러 특성들을 조합하여 측정하는 방식으로 세포 및 개체의 노화 정도를 판단하고 있으며, 특이적인 바이오마커를 발굴하여 오류를 최소화하는 것이 주요 과제
- 노화의 특성을 차단하는 다양한 기전을 통해 여러 치료제에 대한 연구개발이 이루어지고 있으며, 각 치료 모달리티별 부작용 및 기술적 한계 극복을 위한 연구가 활발

 항노화 치료제 관련 연구개발과 시장 형성은 아직 초기 단계에 있으나 미래 경제적 가치 및 사회적 수요가 매우 높은 유망분야로 주목받으며 급격히 성장 중

- 현재 개발되고 있는 항노화 치료제는 대부분 특정 조직·장기를 대상으로 하며, 임상 1~2상 단계에 머물러 있음
- 메트포르민과 같은 기존 치료제의 재창출 전략 중심으로 개발이 이루어지다 최근 세포, 혈액 유래 인자, 항체 등 다양한 모달리티 기반의 기술들로 확대
- 항노화 치료제는 현 의료 패러다임을 순식간에 전환할 수 있는 기술로, 최근 글로벌 제약 회사 및 대규모 투자자들의 관심을 받으며 관련 기업 수와 투자 규모가 급성장

 주요국은 초고령사회를 대비하여 노화 연구에 대한 관심 및 투자를 확대하고, 정부연구기관을 중심으로 전단계에 걸친 통합적인 노화 관련 R&D를 추진

- 특히 일본과 미국은 노화연구를 전담하는 연구기관을 설립하여 수십년 동안 관련 연구에 투자하고 있으며, 최근에는 보다 세부적인 목표를 수립하며 지원을 더욱 강화하는 추세
- 우리나라 역시 관련 주요 정책에서 항노화 분야 기술개발의 중요성을 강조하며, 국제협력 연구를 추진하는 등 지원을 확대 중

6.2. 시사점

 항노화 치료제는 아직 글로벌 시장을 주도하는 선두주자가 없는 상황으로 격차 발생 전 기술확보가 필요한 분야

- 주요국에서는 기술의 시장진입을 목표로 기전 규명부터 다양한 모달리티의 임상시험을 진행 중으로, 우리나라 역시 도전적인 연구개발을 추진하여 기술 및 시장을 선점할 필요가 있음
 - 노화의 기전연구부터 치료제 개발까지 전단계를 아우르는 주요국의 스타트업 수와 투자 규모가 증가하고 있으나, 대부분이 미국의 사례로 국내 사례는 전무한 상황

 사회·경제적 파급효과가 크나, 오랜 시간과 막대한 비용이 소요되는 혁신·도전적 연구분야라는 점을 고려하여 국가 차원의 종합지원체계 검토 필요

- 국내외 연구개발 현황의 심층분석에 기반하여 중장기 연구개발 로드맵 수립 및 차세대 국가 전략분야로서의 투자 필요성에 대한 검토가 요구됨
 - 2021년 기준 항노화 치료제 관련 과제 중 약 88%는 기초연구 단계이며, 약 60%는 기전 규명 분야로, 심도있는 기초연구가 필요한 분야인 만큼 정부 차원의 지원이 더욱 절실
 - ※ 항노화 치료제 세부 기술 중 하나인 세포 리프로그래밍 기술을 대상으로 전문가 설문조사를 수행한 결과, 해당 기술이 사회적으로 확산되려면 연구비 확대(27.1%), 제도개선(20%), 협력 활성화(19.3%) 등을 정부에서 우선시행해야 하는 것으로 나타남(KISTEP, 2022)
 - 국내 항노화 치료제 관련 연구의 50% 이상은 자유공모형 기초연구 과제를 통해 지원되고 있으며, 노화융합연구단 외 노화를 대상으로 하는 장기 대규모 사업은 없는 상황으로 대규모 투자 타당성에 대한 검토도 고려
 - ※ 최근 5년 기준 항노화 치료제 관련 연구는 과기정통부의 개인기초연구(약 35%)와 집단연구 지원(약 17%) 사업을 통해 지원됨

- 일본, 미국 등의 사례를 참고하여 노화 분야의 연구개발뿐 아니라 인력양성과 사회·경제적 기반을 마련하는 다학제적 노화연구기관 설립도 재고려해 볼 수 있을 것

※ 국립노화연구원 설립 사업은 2007년부터 2012년까지 총 4차례에 걸쳐 예비타당성 조사사업 대상이었으나 설립 근거 법령 미비, 지자체간의 유치 경쟁 등의 이유로 미선정된 바 있음

항노화 치료제의 시장이 본격적으로 확대되고, 관련 기술이 확산되는 것에 대비하여 노화에 대한 사회적 인식 개선 및 안전장치 등 선제적인 기반 마련도 중요

- 노화 치료의 개념이 확대되고 있으나, 고령자에 대한 차별적 인식 확산 등 발생 가능한 사회적 부작용 및 논쟁에 대한 사회적 합의가 필요
- 과학적 근거 및 기술의 안전성이 확보되지 않은 상황에서의 사업화와 비공식적 확산을 경계하고, 기술의 부작용 극복 방안 마련을 위한 노력이 꾸준히 추진되어야 함
- 또한 빈부격차로 인한 건강수명의 격차 발생을 고려하여 관련 규제 및 제도 등도 선제적으로 검토될 필요가 있음

참고문헌

국내문헌

- 관계부처 합동(2017), 「제3차 생명공학 육성 기본계획('17~'26)」.
- 관계부처 합동(2023), 「제3차 보건의료기술 육성 기본계획('23~'27)」.
- 관계부처 합동(2023), 「제4차 생명공학 육성 기본계획('23~'32)」.
- 권기선 외(2017), 「노화대응 신체활력 기술개발 현황 및 제언」, KHIDI 전문가 리포트 2017-2.
- 데이비드 A 외(2020), 「하버드 의대 수명 혁명 프로젝트 노화의 종말」.
- 문혜선·이준(2013), 「고령화시대 항노화산업의 부상과 성장전략」, 산업연구원.
- 박봉현, 김용순(2022), 「항노화 임상시험 현황 - 약물 중심으로」, Bio Economy Brief.
- 생명공학정책연구센터(2022), 「인류의 마지막 질병, 노화 극복을 위한 최근 동향」, BiolNwatch 22- 16.
- 생명공학정책연구센터(2022), 「초고령화 대응 노화과학 R&D 현황」, BiolNpro 107.
- 양재현, 김경규(2023), 「세포 역노화 연구 및 산업 동향」, BiolNpro 110.
- 윤석준 등(2020), 「정밀공중보건 구현을 위한 한국인의 건강수준 측정 플랫폼 개발 연구」.
- 원시연(2022), 「초고령사회 대비 국립노화연구기관 설치 필요성과 과제」, 국회입법조사처 이슈와 논점.
- 이기백(2021), 「항노화 기술의 연구 사례 및 기술 동향」, BRIC Vlew 동향브리프 2021-T26.
- 이송하, 김무웅(2023), 「2023년 글로벌 항노화 치료제 시장 전망」. BiolNdustry 179(2023-03).
- 이정석(2015), 「주요 국가의 항노화산업 동향과 그 시사점」, KHIDI 브리프.
- 통계청(2020), 「2020 고령자 통계」.
- 통계청(2020), 「장래인구추계」.
- 한국과학기술기획평가원(2021), 「제6회 과학기술예측조사(1차년도)」.
- 한국과학기술기획평가원(2022), 「제6회 과학기술예측조사(2차년도)」.
- 한국생명공학연구원(2020), 「2020년 10대 바이오미래유망기술」.
- 한국생명공학연구원(2023), 「2023년 10대 바이오미래유망기술」.
- S&T GPS(2015), 「고령화사회 대비 주요국 과학기술 정책 현황」.
- S&T GPS(2019), 「차세대 헬스케어 산업협의회 액션플랜 논의」.
- S&T GPS(2020), 「활력 있는 초고령사회 구축-향후 일본의 의학/의료, 사회의 방향성-」.
- S&T GPS(2022), 「2023년도 한중일 전망계획 프로젝트 지침 발표, 건당 최고 400만 위안 지원」.

- S&T GPS(2022), 「22년 전략적 창조연구추진사업의 전략목표」.
- S&T GPS(2022), 「노화에 따른 생체 회복력의 변용·파괴 기구」.

해외문헌

- Boston Consulting Group(2022), 「ARDD 2022 학회 발표자료」.
- Carlos Lopez-Otin 외(2013), 「The Hallmarks of Aging」, Cell.
- Carlos Lopez-Otin 외(2023), 「Hallmarks of aging: An expanding universe」, Cell.
- CDRS(2022), 「加齢に伴う生体レジリエンスの変容・破綻機構-老化制御モダリティのシーズ創出へ-」.
- HM Government(2021), 「Life Science Vision」.
- Insight Aceanalytic(2023), 「Global Anti-aging Therapeutics Market Research Report」.
- Kudlova 외(2022), 「Cellular Senescence: Molecular Targets, Biomarkers, and Senolytic Drugs」, Int J Mol Sci.
- Lei Zhang 외(2022), 「Targeting cellular senescence with senotherapeutics: senolytics and senomorphics」, The FEBS Journal.
- Megan Scudellari(2015), 「Ageing research: Blood to blood」, Nature.
- MIT Technology Review(2020), 「10 Breakthrough Technologies 2020」.
- NSFC(2020), 「Annual Report 2019」.
- NSFC(2021), 「Annual Report 2020」.
- NSFC(2022), 「Annual Report 2021」.
- NSFC(2023), 「Annual Report 2022」.
- Robert S. Rosen 외(2023), 「Current Trends in Anti-Aging Strategies」, Annual Review of Biomedical Engineering.
- Robert Zhao, Illia Stambler(2020), 「The Urgent Need for International Action for Anti-aging and Disease Prevention」, Aging Dis.
- Rodolfo Goya 외(2018), 「Rejuvenation by cell reprogramming: A new horizon in gerontology」, Stem Cell Research & Therapy.

보도자료

- 매거진한경(2022.08.01.), 「일본이 '노화 방지 기술' 개발에 매달리는 이유 [이지평의 경제 돋보기]」.
- 매일경제(2023.07.25.), 「세포노화 원리 찾으면...암·치매 '정복' 길 열린다」.
- 아이뉴스24(2022.05.02.), 「“노화는 치료 가능한 질병”, 14개 산학연병 융합연구단 발족」.

- 약업신문(2021.02.04.), 「日 AMED, 재생의료 등 6개 통합 프로젝트 가동」.
- eLife(2022.4.8.), 「Multi-omic rejuvenation of human cells by maturation phase transient reprogramming」.
- IFSPost(2023.05.21.), 「오테광의 바이오 산책 <51> 노화(老化) 극복으로 불로장생할 수도 있다」.
- KBS(2023.11.27.), 「늙게 만드는 ‘중간노화세포’ 찾았다…“자극주면 ‘젊은 세포’로 회복돼”」.
- Lifesapn.io(2022.01.10.), 「Debate Rages on the Inclusion of Old Age in the ICD-11(The debate hinges on what is, and is not, a pathology)」.
- MIT Technology Review(2021.9.4.), 「Meet Altos Labs, Silicon Valley’s latest wild bet on living forever」.
- MIT Technology Review(2023.11.23.), 「역노화 기술, 특정 장기의 기능 회복과 질병 치료 가능해진다」.
- The Economist(2022.1.22.), 「A \$3bn bet on finding the fountain of youth」.

사이트

- 노화융합연구단 홈페이지(2023.11.27.),
https://www.kribb.re.kr/kor/sub01/sub01_04_01_00_01.jsp
- 브라이언 존슨 인스타그램(2023.12.12.),
https://www.instagram.com/bryanjohnson_/
- 일본 재무성 홈페이지(2023.12.15.),
https://www.mof.go.jp/about_mof/councils/fiscal_system_council/sub-of_filp/report/zaitoa040728.html
- AFAR 홈페이지(2023.12.03.),
<https://www.afar.org/what-is-geroscience/>
- MedicalStartups 홈페이지(2023.10.24.),
<https://www.medicalstartups.org/top/aging>
- NIA 홈페이지(2023.11.23.),
<https://www.nia.nih.gov/about/budget/fiscal-year-2024-budget#graphs>
- SenNet 홈페이지(2023.11.14.),
<https://commonfund.nih.gov/senescence>
- WHO ICD-11 Browser 홈페이지(2023.10.23.),
<https://icd.who.int/browse11/l-m/en>

| 저자 소개 |

안지현

한국과학기술기획평가원 생명기초사업센터 부연구위원

Tel: 043-750-2464 E-mail: jyhyunahn@kistep.re.kr

이민정

한국과학기술기획평가원 R&D평가센터 연구원

Tel: 043-750-2526 E-mail: lmj2526@kistep.re.kr

| 편집위원 소개 |

전승수

한국과학기술기획평가원 사업조정본부 본부장

Tel: 043-750-2404 E-mail: dabins@kistep.re.kr

김주원

한국과학기술기획평가원 생명기초사업센터 센터장

Tel: 043-750-2434 E-mail: juwon@kistep.re.kr

윤성용

한국과학기술기획평가원 생명기초사업센터 연구원

Tel: 043-750-2591 E-mail: chopper@kistep.re.kr

※ 본 KISTEP 기술동향브리프의 내용은 필자의 개인적 견해이며, 기관의 공식적인 의견이 아님을 알려드립니다.

[KISTEP 브리프 발간 현황]

발간호 (발행일)	제목	저자 및 소속	비고
57 (23.01.06.)	MZ세대를 위한 미래 기술	지수영·안지현 (KISTEP)	미래예측
- (23.01.20.)	KISTEP Think 2023, 10대 과학기술혁신정책 아젠다	강현규·최대승 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제341호)
58 (23.02.02.)	세계경제포럼(WEF) Global Risks 2023 주요내용 및 시사점	김다은·김유신 (KISTEP)	혁신정책
59 (23.02.07.)	미국의 「오픈사이언스의 해」 선포와 정책적 시사점	이민정 (KISTEP)	혁신정책
- (23.02.21.)	‘데이터 보안’ 시대의 10대 미래유망기술	박창현·임현 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제342호)
60 (23.03.06.)	연구자산 보호 관련 주요국 정책 동향 및 시사점	유지은·김보경 (KISTEP)	혁신정책
61 (23.03.20.)	美, 「과학적 진실성 정책 및 실행을 위한 프레임워크」의 주요 내용 및 시사점	정동덕 (KISTEP)	혁신정책
- (23.03.29.)	우리나라 바이오헬스 산업의 주력산업화를 위한 정부 역할 및 지원방안	홍미영·김주원 안지현·김종란 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제343호)
62 (23.03.30.)	2021년 한국의 과학기술논문 발표 및 피인용 현황	한혁 (KISTEP)	통계분석
63 (23.03.30.)	2021년 신약개발 정부 R&D 투자 포트폴리오 분석	강유진·김종란 (KISTEP)	통계분석
- (23.04.03.)	국방연구개발 예산 체계 진단과 제언	임승혁·안광수 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제344호)
64 (23.04.06.)	2023년 중국 양화의 주요 내용 및 과학기술외교 시사점	강진원·장지원 (KISTEP)	혁신정책
65 (23.04.10.)	2023 인공지능 반도체	채명식·이호윤 (KISTEP)	기술동향
66 (23.04.13.)	생성형 AI 관련 주요 이슈 및 정책적 시사점	고윤미·심정민 (KISTEP)	혁신정책
- (23.04.17.)	STI 인텔리전스 기능 강화 방안 -12대 과학기술혁신 정책 이슈를 중심으로-	변순천 외 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제345호)

발간호 (발행일)	제목	저자 및 소속	비고
67 (23.04.17.)	「OECD Science, Technology, Innovation Outlook 2023」의 주요 내용 및 시사점	홍세호·심정민 (KISTEP)	혁신정책
- (23.04.19.)	임무지향형 사회문제해결 R&D 프로세스 설계 및 제언	박노언·기지훈·김현오 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제346호)
68 (23.05.02.)	전기차 배터리 핵심광물	이승필·여준석·조유진 (KISTEP)	기술동향
- (23.05.03.)	기업 혁신활동 제고를 위한 R&D 조세 지원 정책 연구 : 국가전략기술 연구개발 기업을 중심으로	구본진 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제347호)
69 (23.05.04.)	허위·조작정보 대응을 위한 OECD 원칙 및 과학기술 시사점	배용국·정미나 (KISTEP)	혁신정책
70 (23.06.08.)	OECD MSTI 2023-March의 주요 결과	정유진 (KISTEP)	통계분석
71 (23.06.09.)	2022년 지역 과학기술혁신 역량평가	한혁·안지혜 (KISTEP)	통계분석
72 (23.06.23.)	일본, 『사이언스 맵 2020』의 주요내용 및 정책적 시사점	이미화·심정민 (KISTEP)	혁신정책
- (23.06.27.)	국가연구개발 성과정보 관리체계 개선 제언	김행미 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제348호)
- (23.06.28.)	신입과학기술인 직무역량에 대한 직장상사·신입간 인식 비교 분석	박수빈 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제349호)
73 (23.06.30.)	2021년도 국가연구개발사업 내 여성과학기술인력 현황	한혁 (KISTEP)	통계분석
74 (23.07.03.)	2022년 국가 과학기술혁신역량 분석	김선경·한혁 (KISTEP)	통계분석
- (23.07.05.)	기술패권경쟁시대 한국 과학기술외교 대응 방향	강진원·김진하 (KISTEP), 이정태(KIST)	이슈페이퍼 (제350호)
- (23.07.06.)	학문분야별 기초연구 지원체계에 대한 중장기 정책제언 (국내외 지원현황의 심층분석을 기반으로)	안지현·윤성용·함선영 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제351호)
75 (23.07.14.)	美 2023 국방과학기술전략서(NDSTS)의 주요 내용 및 시사점	유나리·최충현·임승혁· 한민규(KISTEP)	혁신정책
76 (23.07.27.)	2023년 IMD 세계경쟁력 분석	한혁 (KISTEP)	통계분석

발간호 (발행일)	제목	저자 및 소속	비고
77 (23.07.27.)	2021년 미국 박사학위 취득자 현황 분석	한혁 (KISTEP)	통계분석
78 (23.07.26.)	제 5차 과학기술기본계획과 과학기술분야 중장기계획 간 연계현황 및 시사점	홍정석·심정민 (KISTEP)	혁신정책
79 (23.08.01.)	일본 통합혁신전략 2023외 주요 내용 및 시사점	양은진·심정민 (KISTEP)	혁신정책
80 (23.08.21.)	일본 2023 우주기본계획외 주요 내용 및 시사점	최충현·문태석·이재민· 강현규(KISTEP)	혁신정책
81 (23.08.29.)	미국의 R&D와 혁신 현황	한혁 (KISTEP)	통계분석
82 (23.08.30.)	2023년 유럽혁신지수 분석과 시사점	한웅용 (KISTEP)	통계분석
83 (23.09.01.)	희토류 화수 및 재활용 기술	박정원·문윤실·이현경 (KISTEP)	기술동향
84 (23.09.20.)	화합물 전력반도체	유형정·김기봉 (KISTEP)	기술주권
85 (23.09.21)	『OECD Artificial Intelligence in Science: Challenges, Opportunities and the Future of Research』의 주요 내용 및 시사점	정하선·심정민 (KISTEP)	혁신정책
86 (23.09.22.)	우주쓰레기 제거 기술	문성록, 최충현, 한민규 (KISTEP)	기술동향
87 (23.10.04.)	2023년 The Global AI Index 결과 분석	한혁 (KISTEP)	통계분석
- (23.10.17.)	중소기업 경쟁력 강화를 위한 고경력 과학기술인 활용 조사 및 시사점	김인자·김가민·이원홍 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제352호)
88 (23.10.24.)	스마트양식	이선명 (KISTEP)	기술동향
89 (23.10.25.)	지구관측위성	최충현 (KISTEP)	기술동향
90 (23.10.31.)	2023년 세계혁신지수(GII) 분석	한혁 (KISTEP)	통계분석
91 (23.11.02.)	2022년도 국가연구개발사업 집행 현황	김한울·한혁 (KISTEP)	통계분석

발간호 (발행일)	제목	저자 및 소속	비고
92 (23.11.02.)	2022년도 국가연구개발사업 협력 현황	한혁·김한울 (KISTEP)	통계분석
93 (23.11.10.)	최근 전쟁 양상 분석을 통한 국방 R&D 시사점 제언	김상준·한민규 (KISTEP)	혁신정책
94 (23.11.16.)	국내 과학기술 전공 학생 현황 분석	김가민·박수빈 (KISTEP)	통계분석
- (23.11.20.)	대학의 기술사업화 전담 조직 현황진단과 개선방안	이길우·방형욱(KISTEP) 정영룡(전남대학교) 김성근(부산대학교) 이지훈(서울과학기술대학교) 김태현(과학기술사업화진흥원)	이슈페이퍼 (제353호)
95 (23.11.21.)	일본 지역 과학기술혁신정책의 발전 및 시사점 - 『과학기술혁신백서 2023』을 중심으로 -	김다희·심정민 (KISTEP)	혁신정책
96 (23.11.22.)	차세대 이차전지	김선교 (KISTEP)	기술주권
97 (23.11.24.)	주요국 양자정보과학기술 인력양성정책 동향 및 시사점	권재영·임승혁 (KISTEP)	혁신정책
98 (23.11.27.)	2021년도 세계 R&D 투자 상위 기업 현황	한혁 (KISTEP)	통계분석
99 (23.11.28.)	2021년도 우리나라 민간기업의 연구개발활동 현황 분석	김한울·이새롬·한혁 (KISTEP)	통계분석
100 (23.11.30.)	폐플라스틱 화학적 재활용 기술	이연진·여준석 (KISTEP)	기술동향
- (23.12.04.)	플라스틱 국제협약 대응을 위한 과학기술의 역할	유새미·고진원·박노언 (KISTEP)	이슈페이퍼 (제354호)
101 (23.12.07.)	청정 암모니아 생산·활용	이소희·정두엽 (KISTEP)	기술동향
102 (23.12.12.)	지진재난 대응 기술	유현지(KISTEP)· 윤혜진(KICT)	기술동향
103 (23.12.14.)	탄소중립 녹색기술의 환경적 영향	KISTEP 기술예측센터, KEITI 기술산업기획실	미래예측
104 (23.12.15.)	자율주행시스템	박종록 (KISTEP)	기술주권

발간호 (발행일)	제목	저자 및 소속	비고
105 (23.12.21.)	배양육의 미래	조아라, 임현, 정의진 (KISTEP)	미래예측
106 (23.12.22.)	우주 발사체-누리호 이후 세계 발사체 기술동향 중심으로	정지훈, 김은수 (KISTEP)	기술동향